

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA APERTURA CAMINO
SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA**

5+000 – 10+000

TOMO I

POR:

Segovia Lizárraga Alvaro Daniel

Proyecto de Ingeniería Civil II CIV-502, presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**GESTIÓN 2016
TARIJA – BOLIVIA**

ÍNDICE DEL PROYECTO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA	2
1.2.1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.3.2. PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1.1. CARRETERAS	9
2.1.2. NORMAS EN CARRETERAS.....	15
2.1.3. PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS.....	16
2.1.4. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	24
2.1.5. DRENAJES	28
2.1.6. SOFTWARE.....	28
CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO	31
3.1. UBICACIÓN.....	31
3.1.1. Ubicación Física del Proyecto.....	31
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	31
3.1.3. UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE PRESTAMOS.....	32
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DEL PROYECTO.	33
3.2.1. Aspectos Productivos.....	33
3.2.3. Servicios Básicos, Salud y Educación.	34
3.3. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO.....	34
3.3.1. Estudio Topográfico.....	34
3.3.1.1. Levantamiento topográfico.....	34
3.3.1.2. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.	35
3.3.2. Estudio Hidrológico.....	40

3.3.3. Estudio Geotécnico	47
3.3.4. Estudio de Tráfico.....	65
3.3.4.1. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.	66
3.4. DISEÑO DE INGENIERÍA.....	69
3.4.1. Análisis y Elección de Alternativas.	69
3.4.2. Diseño Geométrico.	74
3.4.2.1. Parámetros de diseño geométrico.	74
3.4.2.2. Categoría de la vía.	74
3.4.2.3. Velocidad de proyecto (Vp).....	75
3.4.2.4. Características según categoría.....	76
3.4.2.5. Distancia de visibilidad.....	76
3.4.2.5.1. Distancia de Frenado.....	76
3.4.2.5.2. Distancia de visibilidad de sobrepaso.....	76
3.4.2.6. Diseño Planimétrico.....	77
<input type="checkbox"/> Curvas horizontales.	77
<input type="checkbox"/> Radios mínimos.	80
<input type="checkbox"/> Peralte en curvas circulares.	80
3.4.2.7. Diseño Altimétrico.....	81
<input type="checkbox"/> Rasante.....	81
<input type="checkbox"/> Pendientes máximas en rectas.	82
<input type="checkbox"/> Enlaces de rasantes.	82
<input type="checkbox"/> Curvas Verticales.....	83
<input type="checkbox"/> Sección Transversal.....	84
<input type="checkbox"/> Calzadas.....	86
<input type="checkbox"/> Bermas.	86
<input type="checkbox"/> Sobre ancho de plataforma SAP.....	86
3.4.2.8. Movimiento de tierras.	92
3.4.3. Diseño Estructural.....	94
3.4.3.1. Alternativas de rodadura.	94
3.4.3.2 Parámetros de entrada comunes para el diseño.	94
3.4.3.3. Pavimento flexible.	94
3.4.3.4. Métodos para el Diseño de Espesores.....	94

3.4.3.5. Diseño de espesores	99
3.4.3.6. Tratamiento Superficial Doble (TSD).	105
3.4.4. Diseño de Drenaje.....	108
3.4.4.1. Alcantarilla.....	108
3.4.4.2 Cunetas.	111
3.5. CÓMPUTOS MÉTRICOS.	113
3.6. PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO.....	115
3.6.1. Descripción de los componentes de los precios unitarios	115
3.6.2. Presupuesto General.	124
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
4.1. CONCLUSIONES.....	128
4.2. RECOMENDACIONES.	129
SECCIÓN DE REFERENCIA	130
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS.	
ANEXO 1 TOPOGRAFÍA.	
ANEXO 2 HIDROLOGÍA.	
ANEXO 3 GEOTECNIA.....	
ANEXO 4 TRAFICO.	
ANEXO 5 DISEÑO GEOMÉTRICO.....	
ANEXO 6 DISEÑO ESTRUCTURAL.	
ANEXO 7 DISEÑO HIDRÁULICO.....	
ANEXO 8 CÓMPUTOS MÉTRICOS Y PRECIOS UNITARIOS.....	
ANEXO 9 FICHA AMBIENTAL.	
ANEXO 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	
ANEXO 11 PLANOS.....	

DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA APERTURA CAMINO
SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA
5+000 – 10+000

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al estudio a diseño final de ingeniería del tramo de carretera de San Telmo (Rio Bermejo) a Playa Ancha en una longitud de aproximadamente 5 Km.

El diseño completo del trazo corresponde a 19km de pavimento flexible de los cuales a la fecha disponemos de un camino precario de aproximadamente 8 km el cual se puede considerar como una primera fase de este proyecto conectando la comunidad de San Telmo (Rio Bermejo) con la cooperativa John Kennedy.

El objeto del proyecto es realizar el diseño final de ingeniería, en donde se elaborarán estudios topográficos, estudios geológicos, estudios de tráfico, estudios hidrológicos y otros, para después poder diseñar las alternativas del recorrido, seleccionando la mejor alternativa para después poder realizar todas las obras de arte correspondientes al diseño mediante la normativa de la ABC.

Actualmente la única forma de que la comunidad de Playa Ancha y comunidades cercanas pueda comunicarse con la red fundamental del departamento de Tarija es por medio de un rodeo por Bermejo teniendo un recorrido de aproximadamente de 80km los cuales al no encontrarse pavimentados, presentan dificultades en el transporte generando pobreza en este sector, ya que al ser la agricultura la principal fuente de ingreso en la zona esta no puede crecer debido al coste del transporte generando más pérdidas que ganancias.

Por los motivos anteriormente expuestos la ampliación de la vía en estudio es de suma importancia, ya que así se podrá satisfacer las necesidades de los habitantes de esta zona; ayudando a la movilización de sus productos a diferentes puntos del cantón, para su posterior comercialización; como también para la comunicación interna.

1.2 FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA

1.2.1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto corresponde a un diseño final de ingeniería documento que servirá de base para el diseño a las comunidades de San Telmo (Rio Bermejo) y Playa Ancha, dos comunidades productoras de diversos productos como ser cítricos, caña de azúcar y cultivos en general.

Los cuales no disponen de un camino para la comercialización de sus productos hacia las ciudades y pueblos cercanos teniendo dificultades en el transporte.

Hoy en día la comunidad de San Telmo al no tener un diseño final de ingeniería dispone solamente de un camino precario en muy mal estado que no permite la circulación de vehículos en todo el año, generando también problemas en los vehículos que circular, deteriorándolos, perjudicando mucho a los lugareños en su producción.

Por otra parte, la comunidad de Playa Ancha que tampoco dispone de un diseño final de ingeniería para su carretera se encuentra en peores condiciones ya que los comunarios del lugar deben recorrer un tramo de 11 km a pie transportando sus productos a lomo de burro y algunas carretas manuales lo cual dificulta mucho el transporte de los mismos incrementados costos al producto reduciendo considerablemente sus ganancias.

La ejecución de este proyecto permitirá el fácil acceso a estos centros poblados pues el morador, en su código agricultor tendrá la facilidad para efectuar el comercio de sus productos, evidenciado por el rápido traslado de estos hacia los centros de comercialización, colocando a cada agricultor en una situación ventajosa respecto al crecimiento económico de la región, generando así un bajo costo de inversión en el proceso de expendio de sus cultivos mejorando la calidad de vida de los comunarios de San Telmo, Playa Ancha y todas las zonas, intermedias.

Este proyecto también beneficiara indirectamente a la ciudad de Bermejo principalmente y pueblos cercanos pudiendo de disponer de productos frescos y a mejor precio, poniendo San Telmo y Playa Ancha en competencia dentro del mercado local.

También como una parte fundamental de este proyecto beneficiamos enormemente a la comunidad de Playa Ancha y sectores cercanos acortando distancia para llegar hacia la ruta principal, ya que actualmente se debe realizar un rodeo pasando por bermejo para lograr este cometido, sin embargo, al realizar este proyecto acortaríamos los actuales 80 km aproximadamente que deben de realizar los comunarios de Playa Ancha y sectores cercanos para llegar hacia San Telmo mientras que al construirse este camino se reducirá esta distancia en 19km una diferencia bastante significativa y de gran impacto para la zona.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La falta de una vía a diseño final de ingeniería actualmente existe en las comunidades de San Telmo (Rio Bermejo), Playa Ancha y sectores intermedios entre ambas.

Se caracteriza por la falta de comunicación entre ambas comunidades y en el caso de Playa Ancha hacia la red fundamental del departamento de Tarija.

El problema está ocasionando elevados costos de transporte para los productos que disponen las comunidades.

Asimismo, su impacto se observa en un valor agregado en sus productos, por lo cual no les permite competir en el mercado local, afectando directamente a la economía de los comunarios,

Debido a estos problemas los habitantes de las comunidades de las comunidades de San Telmo, Playa Ancha y sectores intermedios no pueden vivir en condiciones óptimas ya que estos no disponen de muchos recursos económicos por falta de una fuente de ingreso segura, observando pobreza en la zona.

También podemos observar falta de formación académica tanto en los adultos como en los niños ya que no disponen de escuelas cercanas o de fácil acceso principalmente a la comunidad de Playa Ancha y sectores intermedios hacia San Telmo.

1.3.2. PROBLEMA

¿De qué manera se puede solucionar la comunicación terrestre entre las comunidades San Telmo (Rio Bermejo) y Playa Ancha, ubicado en la provincia Aniceto Arce del departamento de Tarija?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño final de ingeniería apertura camino San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha en las progresivas 5+000 a 10+000, aplicando las normas de la ABC, para solucionar el problema de comunicación entre comunidades.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio topográfico de la franja de terreno a utilizar para el proyecto.
- Realizar un estudio hidrológico de la zona recopilando información de estaciones cercanas.
- Realizar el estudio de suelos cada 500m.
- Realizar estudios de tráfico en la zona.
- Realizar un diseño Geométrico entre las progresiva 5+000 – 10+000.
- Realizar el cálculo de espesores de pavimento flexible por el método AASHTO.
- Realizar el diseño de todas las obras de drenajes requeridas.
- Elaborar todos los planos resultantes de los cálculos realizados.
- Elaborar los cómputos métricos en base a los volúmenes tanto de movimiento de tierras como de la estructura del pavimento y obras complementarias.
- Realizar las especificaciones técnicas en base a los ítems obtenidos.
- Realizar los precios unitarios para posteriormente elaborar un presupuesto.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente documento tiene como finalidad el diseño final de ingeniería de un tramo de 5 km de la apertura San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha.

Para lo cual se requiere siguientes alcances:

RECOPIACIÓN Y EVALUACIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN EXISTENTES.

La recopilación de datos e información existente se iniciará con la visita de reconocimiento de campo que permitirá conocer la comunidad beneficiaria y obtener datos iniciales importantes acerca de ella, esta visita también nos permitirá el reconocimiento de la topografía del terreno e ir evaluando posibles alternativas de trazo.

La información anterior se podrá complementar y afinar con datos e información que se obtendrá de diferentes instituciones afines, tales como la Alcaldía Municipal de El Puente, Servicio Nacional y Departamental de Caminos (ABC- SEDECA), Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Geográfico Militar (IGM), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y otras más.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Después del recorrido de reconocimiento de campo y de la evaluación de la información inicial se procederá al levantamiento topográfico del terreno con el empleo de un equipo topográfico adecuado (Estación Total), y este trabajo consistirá en lo siguiente:

Se iniciará con el levantamiento de la poligonal base, para esto necesitamos realizar el levantamiento de una línea base de partida georeferenciada en dos puntos con la ayuda de un GPS (sistema de referencia en coordenadas UTM), luego en base a esta línea realizar la poligonal abierta base dejando como referencias los Bench Marks (BM) correspondientes a cada 500 metros aproximadamente visibles entre si. Luego se realizará el levantamiento de la franja de diseño misma que tendrá su base en la poligonal base anteriormente indicada y siguiendo la línea de trazo hilvanada en el recorrido inicial, este trabajo se realizará levantando puntos en franjas transversales separadas longitudinalmente a cada 20 metros cuando el terreno sea llano y no presente grandes ondulaciones y pendientes fuertes y caso contrario a cada 10 metros, donde la franja levantada tendrá una faja aproximada de 60 metros considerando 30

metros a cada lado del eje de línea de trazo hilvanado considerando que el diseño de las alternativas no tendrán problemas en grandes variaciones y de lo contrario en otras circunstancias donde se observe que el trazo hilvanado no es claro y presente grandes y visibles posibilidades de cambio y juego de trazo, la faja incrementará lo suficientemente necesario en su amplitud para así de esta manera obtener un panorama más amplio de la topografía y jugar con el trazo hasta obtener las mejores alternativas de trazo para su evaluación y posterior elección de la más favorable.

Es indispensable tomar en cuenta el levantamiento de puntos obligados que pudieran existir.

Con el estudio topográfico se localizarán también los yacimientos de préstamo o fuentes de material para ser empleados en la construcción de los terraplenes, capa de rodadura y obras de arte. Para el caso de los cursos de agua como son las quebradas y ríos se realizarán levantamientos a detalle para que se pueda realizar el diseño de las obras de arte correspondientes.

Estudio topográfico del terreno de la alternativa seleccionada nos permitirá realizar todos los diseños inherentes al proyecto, y éstos finalmente se los presentará en planos a escalas adecuadamente seleccionados y los datos se presentarán en planillas adecuadamente elaborados.

DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO.

El diseño geométrico del tramo, se realizará tomando en cuenta las recomendaciones de los parámetros del Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Administradora Boliviana de Caminos ABC, porque se acomoda más y presenta bastante consideración al diseño de caminos del área rural y además se tomaran en cuenta las normas AASTHO.

Este trabajo se iniciará con el desarrollo del trazo preliminar y luego el trazo definitivo para diferentes alternativas, luego ésta se enlazará con curvas horizontales, el trazado alimétrico, y enlace con curvas verticales. En sentido vertical, se procederá a regular la rasante tratando de obtener un trazo dentro de condiciones más suaves y

económicas posibles. En sentido longitudinal, se tratará de obtener un trazado lo más balanceado posible entre cortes y rellenos, recurriendo a terraplenes, donde las condiciones topográficas lo permitan. Se adoptarán taludes teniendo en cuenta tanto las condiciones de los terrenos, como la seguridad.

MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Concluido el diseño geométrico y con las secciones transversales y longitudinales se procederá a cuantificar el volumen resultante del movimiento de tierras y posteriormente obtener el diagrama masa.

DIMENSIONAMIENTO DEL DRENAJE.

Para el dimensionamiento del drenaje, se iniciará con el estudio hidrológico que se realizará en base a los registros pluviométricos existentes en el área de influencia del proyecto obtenido de datos extraídos de las estaciones pluviométricas más cercanas. Los caudales de aporte de las cuencas están en función de los registros históricos de descargas y/o precipitaciones. Las cuencas que cruzan el diseño de la carretera serán delimitadas y clasificadas a partir de la cartografía existente. Así también se tomarán directamente todos los parámetros físicos geomorfológicos necesarios para definir el coeficiente de escurrimiento y el tiempo de concentración. Parámetros estos últimos indispensables, de modo particular en las cuencas menores, para calcular el caudal máximo en una determinada sección usando el método racional. Con los caudales calculados para cada una de las cuencas de escurrimiento, tendremos los elementos necesarios para el diseño de las diferentes obras hidráulicas, más conocidas en carreteras como obras de arte menor y si existe la necesidad incluiremos el diseño de las obras de arte mayor.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA.

Este trabajo se iniciará con el análisis y la evaluación de un levantamiento geotécnico y el levantamiento de muestras en sectores representativos (cada 500 metros y a una profundidad adecuada) para su análisis en laboratorio. La totalidad de las muestras indicadas anteriormente serán procesadas en el laboratorio de mecánica de suelos, con el propósito de clasificar los suelos y tener los parámetros geotécnicos

Luego se pasará a la obtención y evaluación de parámetros de diseño importantes tales como el tráfico y la Subrasante y posterior a ello realizar el dimensionamiento de la estructura final.

CÓMPUTOS MÉTRICOS.

Luego de la obtención de los volúmenes resultantes del movimiento de tierras (volúmenes de corte y relleno), y después de obtener el diseño de las diferentes obras de drenaje, para ambos se procederá a la tabulación y cálculo de volúmenes más conocidos como los cómputos métricos del proyecto, en el que aparecerán los volúmenes y cantidades de todos y cada uno de los ítems resultantes y constitutivos del proyecto, pero de manera totalmente explícito.

PRESUPUESTO.

Después de obtener la lista de todos los ítems tabulado con sus respectivas cantidades, para éstos se procederá a la evaluación y obtención de los precios unitarios de acuerdo a las normas vigentes para la elaboración de precios unitarios en nuestro país. Finalmente, el presupuesto del proyecto será el resultado de la intervención de los cómputos métricos versus precios unitarios de cada ítem respectivamente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Finalmente, para cada ítem se procederá a la elaboración de las especificaciones técnicas que serán utilizadas obligatoriamente en el momento de su construcción.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. CARRETERAS

DEFINICIÓN

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

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

FUNCIÓN DE LA CARRETERA O CAMINO

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

En el primer caso interesa posibilitar velocidades de desplazamiento elevadas, que puedan ser mantenidas a lo largo de toda la ruta en condiciones seguras. Para que se justifiquen económicamente las inversiones que implica la infraestructura asociada a este tipo de servicio, se requerirán demandas de tránsito elevadas, del orden de varios miles o decenas de miles de vehículos como promedio diario anual. Los elevados volúmenes de tránsito a que se hace referencia obligan, normalmente, a pasar de carreteras de dos carriles para tránsito bidireccional a carreteras de cuatro o más carriles destinadas a tránsito unidireccional.

Lo anterior con el objeto de evitar problemas de congestión que invalidan la función asignada: "permitir tránsito ininterrumpido a elevados volúmenes de demanda, en los que coexistirán vehículos rápidos y lentos (automóviles y camiones), sin que unos restrinjan la libertad de maniobra y selección de velocidad deseadas por los otros."

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN

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

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

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

Terreno Llano: Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas.

Terreno Ondulado: Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta.

Terreno Montañoso: Está constituido por cordones montañosos o “Cuestas”, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos.

La Tabla 1, que se presenta a continuación resume las características principales según categorías

TABLA 1. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

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

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

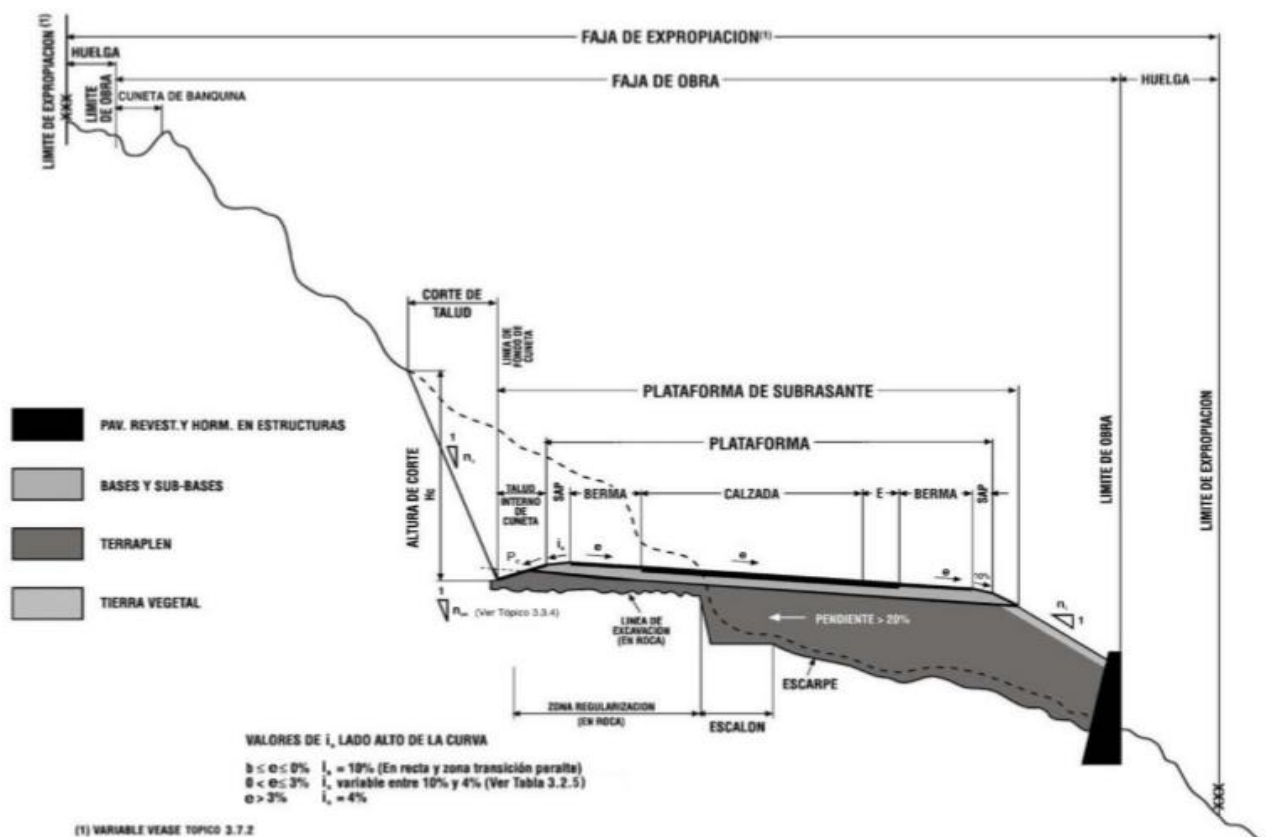
COMPONENTES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

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

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

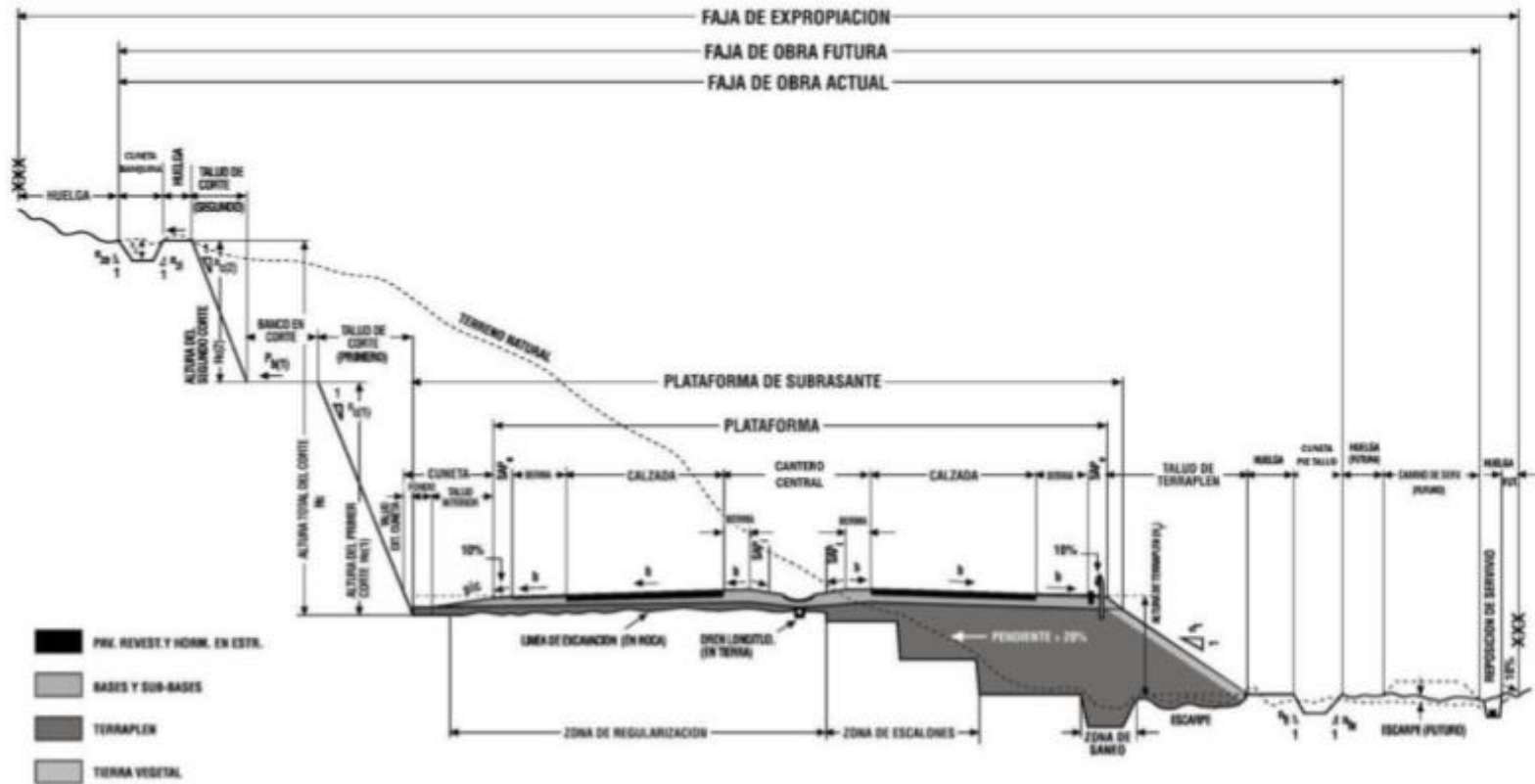
En la Figura N° 1 y Figura N°2 se ilustra la plataforma indicando los componentes de la sección.

FIGURA N° 1. PERFIL TRANSVERSAL DESCRIPTIVO, CALZADAS UNICA EN CURVA.



FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

FIGURA N° 2 PERFIL TRANSVERSAL DESCRIPTIVO, CALZADAS ÚNICA EN RECTA



PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP EXTERIOR EN CURVAS Y SAP INTERIOR: VER TABLA 3.2-5

DETALLE DE CUNETAS - VER TOPICO 3.3.4

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

TABLA 2. CUADRO RESUMEN DE ANCHOS DE PLATAFORMA EN TERRAPLÉN Y DE SUS ELEMENTOS A NIVEL RASANTE

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORIA	VELOCIDAD PROYECTO (km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO CANTERO CENTRAL - M (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ⁽⁵⁾ ATP = na + 2(be + Se) + M final				
			"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE a 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS	2 PISTAS		
			CALZADAS UNIDIRECCIONALES											
AUTOPISTA	120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-		
	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-		
	80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,6	-		
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-	
		90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-	
		80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-	
	COLECTOR	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-	
		70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	27	20	-	
		60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	26	19	-	
CALZADA BIDIRECCIONAL														
PRIMARIO	COLECTOR	100 - 90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	-	14,0	
		80	3,5	-	2,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	12,0	
		80	3,5	-	1,5	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	11,0	
		70	3,5	-	1,0 - 1,5 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	10 - 11,0	
	LOCAL	60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0	
		DESARROLLO	50	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
			40	3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
			30	2,0 - 3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	5,0 - 6,0

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

(2) El ancho de las Bermas de Locales y de Desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento.

(3) La Tabla Especifica anchos de SAP en Terraplén; caso sin Barrera de Seguridad SAPE = 0,5 m; con Barrera SAPE = 0,8 m.

(4) Para Ancho Final de Cantero central de 3 y 2 m, los SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una Barrera Rígida de Hormigón con anchos en la base de: Tipo F (0,56 m ó 0,82 m) o New Jersey (0,61 m).

(5) Ancho Total de Plataforma en Terraplén con SAP mínimo = 0,5 m. Para corte cerrado o Perfil Mixto agregar Ancho(s) Cunetas(s) y corregir Ancho del SAP exterior
Si cuneta es revestida Se = 0,0 m - Cuneta sin Revestir Se = 0,5 m. En Unidireccionales "bi" y "si" están comprendidos en el ancho del Cantero central.

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

LA PLATAFORMA

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

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

En las Figura 1 y Figura 2 se ilustró la plataforma.

LA(S) CALZADA(S)

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

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

BOMBEOS

En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contraperalte, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia de 1 Hora de Duración con Período de Retorno de 10 Años (I^1_{10}) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

LAS BERMAS

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzadas(s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

SOBREANCHOS DE LA PLATAFORMA

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado.

2.1.2. NORMAS EN CARRETERAS

2.1.2.1. MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS EN BOLIVIA

El tema central de este Volumen, como lo fue en su antecesor ('Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras', Servicio Nacional de Caminos, 1990), es el diseño geométrico de los elementos constitutivos de la vialidad, entendida ésta como parte inseparable de un contexto espacial.

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

El Volumen se encuentra dividido en ocho Capítulos:

1. Controles Básicos de Diseño.
2. Diseño Geométrico del Trazado.
3. La Sección Transversal.
4. Túneles.
5. Puentes y Estructuras Afines.
6. Intersecciones, Excepciones.
7. Criterios Ambientales.

En cada uno de estos Capítulos se entregan recomendaciones de diseño en las obras consideradas en este manual, incluyendo los antecedentes técnicos necesarios para su aplicación y se especifican normas y criterios de proyecto.

2.1.3. PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

2.1.3.1 DISEÑO GEOMÉTRICO

EL TRAZADO

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

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

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

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y elevación y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas según una Instrucción de Diseño, constituye el trazado del eje y, por extensión, de la carretera.

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

- Categoría de la Ruta
- Topografía del Área
- Velocidad de Proyecto
- V85 % para diseñar las Curvas Horizontales
- V* para verificar Visibilidad de Frenado
- Coordinación con el Alineamiento Vertical
- Costo de Construcción, Operación y Mantenimiento

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la clasificación funcional para el diseño.

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requeridas por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la Visibilidad de Frenado que corresponda a la V^* del tramo.

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

- Categoría del Camino
- Topografía del Área
- Trazado en Horizontal
- Velocidad
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

El sistema de cotas del proyecto se referirá en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia del estudio con los pilares de nivelación del Instituto Geográfico Militar.

LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA

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

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

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

LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PLATAFORMA DE SUBRASANTE

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

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

ALINEAMIENTO HORIZONTAL

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

- Las tangentes.
- Las curvas, sean estas circulares o de transición.

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

El establecimiento del alineamiento horizontal depende de:

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

TANGENTES

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

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

Longitudes máximas en recta

Se procurará evitarán longitudes en recta superiores a:

- $L_r (m) = 20 V_p (km/h)$
- $L_r =$ Largo en m de la Alineación Recta
- $V_p =$ Velocidad de Proyecto de la Carretera

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

1. Curvas en S

- a. En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.
- b. En las recuperaciones o cambios de estándar, si lo expuesto en el Acápate i no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

$$L_{rs} \text{ máx} = 0,08*(A1+A2)$$

Siendo A1 y A2 los parámetros de las clotoides respectivas.

- c. Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla N° 3. los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal. y están dados por

$$L_{r\text{mín}} = 1,4*V_p$$

TABLA 3. LR MIN ENTRE CURVAS DE DISTINTO SENTIDO

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

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

2. Tramo recto entre curvas en el mismo sentido

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en Terreno Llano y Ondulado Suave con velocidades de proyecto medias y altas.

TABLA 4. LR MIN ENTRE CURVAS DEL MISMO SENTIDO

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

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, ABC.

GRADO Y RADIO DE CURVATURA

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas y pueden ser simples, compuestas y reversas. Entre sus elementos característicos principales se tienen los siguientes:

GRADO DE CURVATURA

Es el ángulo formado por un arco de 20 metros. Su valor máximo es el que permite recorrer con seguridad la curva con el peralte máximo a la velocidad de diseño. El grado de curvatura constituye un valor significante en el diseño del alineamiento. Se representa con la letra GC y su fórmula es la siguiente:

$$Gc = \frac{1145.92}{R}$$

RADIO DE CURVATURA

Es el radio de la curva circular y se identifica como “R” su fórmula en función del grado de curvatura es:

$$R = \frac{1145.92}{Gc}$$

TABLA 5. RADIO MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES

CAMINOS COLECTORES – LOCALES - DESARROLLO			
Vp	E _{max}	F	R _{min}
Km/h	(%)		(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250
CARRETERAS – AUTOPISTAS – AUTORRUTAS - PRIMARIOS			
80	8	0.122	250
90	8	1.114	33
100	8	0.105	425
110	8	0.095	540
120	8	0.087	700

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I: MANUAL DE DISEÑO
GEOMÉTRICO, ABC.

CURVAS CIRCULARES SIMPLES

Es un arco de circunferencia tangente a dos alineamientos rectos de la vía y se define por su radio, que es asignado por el diseñador como mejor convenga a la comodidad de los usuarios de la vía y a la economía de la construcción y el funcionamiento.

CURVAS CIRCULARES COMPUESTAS

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

Estas curvas son útiles para lograr que la vía se ajuste mejor al terreno, especialmente en terrenos montañosos donde pueden necesitarse dos, tres o más curvas simples de diferente radio.

CURVAS CIRCULARES REVERSAS

Existen cuando hay dos curvas circulares con un punto de tangencia común. En general están prohibidas por todas las clases de especificaciones y, por tanto, se deben evitar en carreteras pues no permiten manejar correctamente.

CURVAS DE TRANSICIÓN

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

PERALTE

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

VELOCIDAD DE DISEÑO.

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

Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical.

DISTANCIA DE SEGURIDAD ENTRE DOS VEHÍCULOS

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

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Es la distancia mínima que debe existir en toda la longitud del camino, necesaria para que un conductor que transita a ó cerca de la velocidad de diseño, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él y producir un colapso. Por lo tanto, es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera.

DISTANCIA DE VELOCIDAD DE REBASE ENTRE DOS VEHÍCULOS

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

ALINEAMIENTO VERTICAL

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL ALINEAMIENTO VERTICAL

GRADIENTES

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

CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales se utilizan para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el movimiento vertical de los vehículos.

SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA

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

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

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

Las cunetas son zanjas, generalmente de forma triangular, construidas para lentamente a la bermas.

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

2.1.4. DISEÑO ESTRUCTURAL

PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO AASHTO-93

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

A continuación, se describe las variables que se consideran en el método AASHTO:

MÓDULO DE RESILIENCIA

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

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

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

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

PERIODO DE DISEÑO

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

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

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

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

PÉRDIDA O DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

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

ANÁLISIS DE TRÁFICO

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

TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL

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

CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

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

TASA DE CRECIMIENTO

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

PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO

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

DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL

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

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

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

TRÁNSITO EQUIVALENTE

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

FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA (LEF)

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

NIVEL DE CONFIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

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

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL “SN”

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

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

Donde:

W18 = Tráfico equivalente o ESAL's.

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

So = Desviación estándar

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

MR = Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante

SN = Número estructural

DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS

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

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

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

Donde:

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

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

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

2.1.5. DRENAJES

DEFINICIÓN DE DRENAJE

Las obras de drenaje son los elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad. Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino
- Reducir y eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.

Los puntos importantes que deben considerarse en el diseño y construcción de una obra de

drenaje, son los siguientes:

- **Localización del eje de la obra.** - Deberá hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrideros, tomando en cuenta la pendiente, ya que de ésta dependerá el tipo de obra.
- **Área por drenar.** - Es la superficie que limitada por dos o más líneas del parteaguas y el eje del camino, da el área tributaria del escurridero para el cual se pretende proyectar la obra.
- **Área hidráulica necesaria.** - Es aquella capaz de dejar pasar un gasto, igual a una lámina de agua de 10 cm de altura durante una hora, producto de la precipitación del lugar.
- **Selección del tipo de obra.-** El tipo de obra se selecciona una vez calculada el área hidráulica necesaria, de tal manera que la satisfaga adecuadamente y dentro de condiciones de máxima seguridad.

Para una buena elección de tipo de obra de drenaje, debe tomarse en cuenta:

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

Al cumplir con éstas normas las obras de drenaje trabajaran de una manera eficiente y duradera proporcionando las mejores condiciones para los usuarios de los caminos y carreteras.

CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE DRENAJE.

Para llevar a cabo lo anteriormente mencionado, se utilizan diferentes tipos de obras de drenaje como lo son las obras de drenaje superficial y subterráneo. Se conocen como obras

de drenaje y subdrenaje las siguientes:

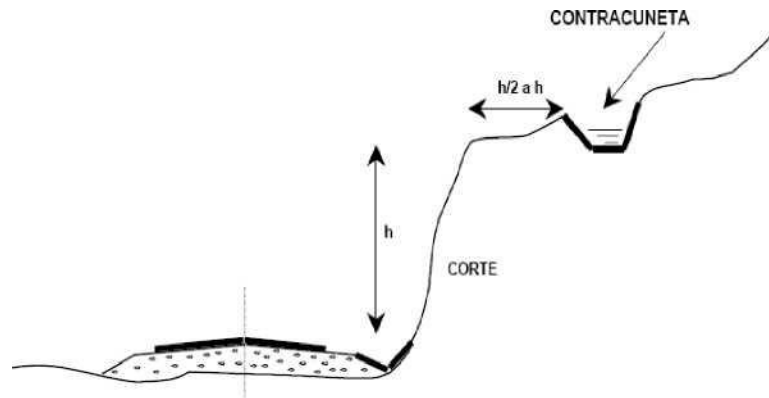
- Cunetas
- Contracunetas
- Bombeo
- Vado
- Tubos y Tubos Perforados
- Puentes y Alcantarillas
- Bordillos
- Vegetación

CUNETAS

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

CONTRACUNETAS

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

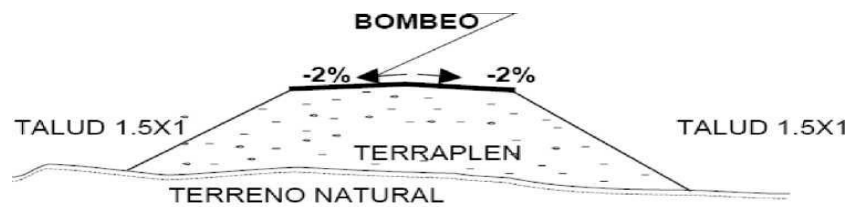
FIGURA N° 3. UBICACIÓN DE UNA CONTRACUNETA EN UN CAMINO

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

BOMBEO

Se denomina Bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. (Figuras 4 y 5)

SECCION EN TERRAPLEN

FIGURA N° 4. BOMBEO EN TANGENTE

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

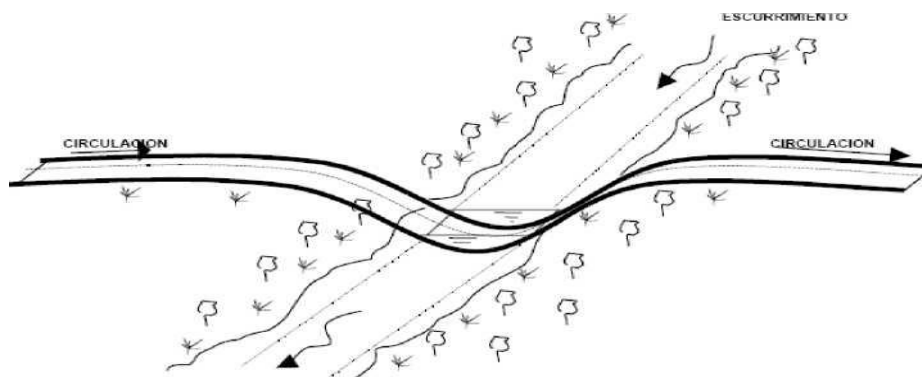
FIGURA N° 5. BOMBEO EN CURVA

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

VADO

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

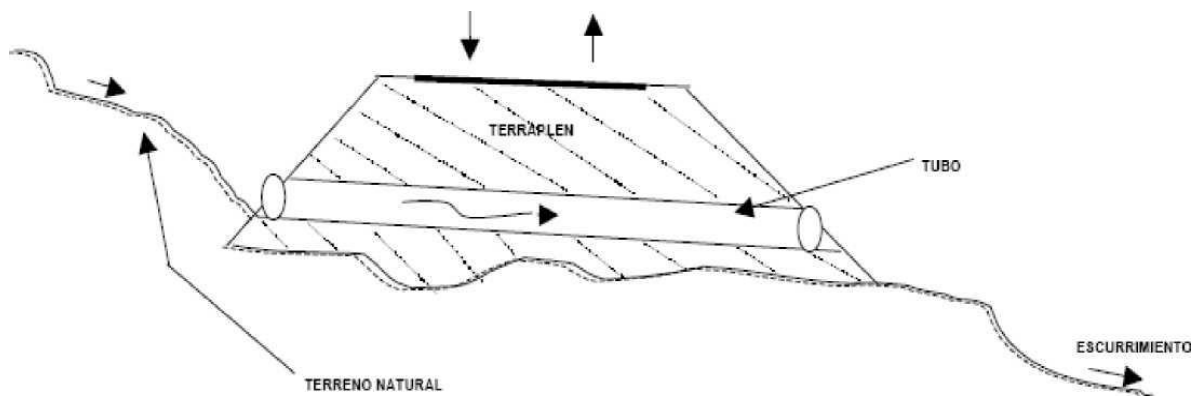
FIGURA N° 6. PROYECCION DE VADO EN UN CAMINO



FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

TUBOS Y TUBOS PERFORADOS

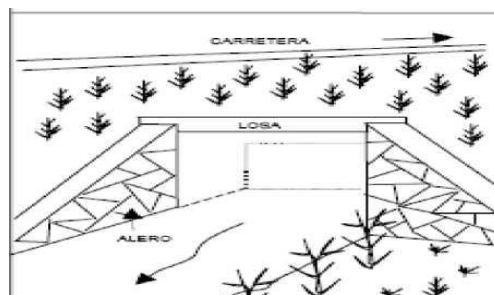
Esta obra complementaria es muy parecida a una alcantarilla, son elementos de solución para el drenaje que van implementados bajo las terracerías de la carretera que se va construir. Existen varios tipos de tubo como el de lámina corrugada, tubos deseción circular con doble capa de cemento asfáltico, tubos de concreto y tubos desarmables intercambiables. El tubo va colocado transversalmente al camino y permite la continuidad del caudal existente, si está correctamente calculado. El diámetro del tubo depende del gasto que se genere por el escurrimiento natural, el que puede variar entre 0.45 cm y 1.50 cm de diámetro regularmente. (Figura 7).

FIGURA N° 7. PROYECCIÓN DE TUBO EN TERRAPLÉN

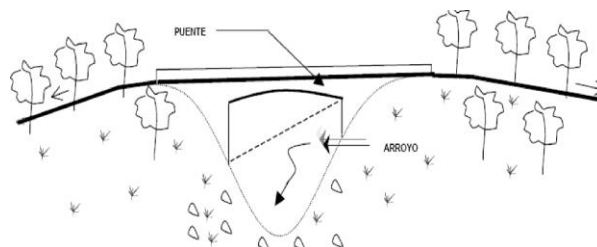
FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

PUENTES O ALCANTARILLAS

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

FIGURA N° 8. PUENTE LIBRANDO UN ARROLLO

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

FIGURA N° 9. ALCANTARILLA TIPO

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

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

BORDILLOS

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

VEGETACIÓN

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

FIGURA N^a 10. ACOTAMIENTO, BORDILLO Y TERRAPLÉN BIEN VEGETADOS



FUENTE: MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.

2.1.6. SOFTWARE

2.1.6.1 AUTOCAD CIVIL 3D

Con respecto al diseño de caminos asistido por computadora tendríamos que decir que, lamentablemente, la mayoría de los ingenieros (principalmente los que mantienen un empleo en instituciones gubernamentales, se encuentran con un índice bajo de actualización; comparados con los ingenieros que se desempeñan en la iniciativa privada, donde se exigen niveles de competitividad y rendimiento altos; debido a la saturación en el mercado de ingenieros prestadores de servicios que se mantienen al día en su preparación. Normalmente, en otros tiempos, hacer el proyecto geométrico de un camino nos llevaría meses dependiendo de las circunstancias, ya que todos los cálculos y dibujos se tenían que hacer mediante métodos obsoletos; por ejemplo el tener que hacer plantillas de plástico para utilizarlas en el trazo de las curvas horizontales y verticales o dibujar las secciones en papel milimétrico manualmente con regla y obtener sus volúmenes de corte y terraplén midiendo cada metro cuadrado, así como calcular y transcribir todo a nuestra memoria de cálculo. Con el paso de los años se han desarrollado diferentes herramientas para facilitar el trabajo del diseño en ingeniería, en específico la proliferación de herramientas CAD (Por sus siglas en inglés, Computer, Aided Design) proveen al ingeniero proyectista de instrumentos automatizados para el diseño geométrico de un camino, tales que es posible concentrar la capacidad técnica y la creatividad en los aspectos principales de la geometría del camino, tales, que es posible concentrar la capacidad técnica y la creatividad en los aspectos principales de la geometría del camino, poniendo menor atención al cálculo mecánico de longitudes, cambios de pendiente, volúmenes de corte ó terraplén., etc. Las aplicaciones CAD para computadora sirven, como sus siglas lo indican (Computer Aid Design en inglés, Diseño Asistido por Computadora) para llevar acabo diseños relacionados con la geometría (dibujos) de manera rápida, precisa y automatizada. Es posible realizar, prácticamente cualquier tarea relacionada con el dibujo; modificando cada diseño de manera rápida, de manera que se pueden tener varias opciones del mismo con el objeto de decidirse por el mejor de ellos.

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

2.1.6.2. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA USAR CIVIL CAD.

La mayoría de los ingenieros justifican no aprender a utilizar las herramientas CAD por falta de tiempo y porque piensan que se van a enfrentar a un proceso muy complicado, en esta tesina se mostrará la mecánica o la lógica de uso de los comandos en Civil CAD, que es una herramienta CAD especializada para ingenieros civiles que trabaja en conjunto con el programa Auto CAD. Los requisitos que debe cumplir el usuario para utilizar el programa Civil CAD son: Contar con el programa Auto CAD instalado en su computadora, tener conocimientos sobre el manejo del programa Auto CAD, así como, tener conocimientos en el diseño de Vías Terrestres, específicamente en caminos. Por otra parte, las características necesarias que debe tener una

computadora para ejecutar correctamente el programa Civil CAD son: 80MB de espacio mínimo en el disco duro, un ratón, 256MB de memoria RAM, procesador Pentium III ó mejor, y una unidad de CD-ROM 12x como mínimo. El tiempo de ejecución de la mayoría de las rutinas de Civil CAD será directamente proporcional a la velocidad de procesamiento de datos, por lo que se recomienda utilizar el equipo más rápido y actualizado posible.

CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. UBICACIÓN.

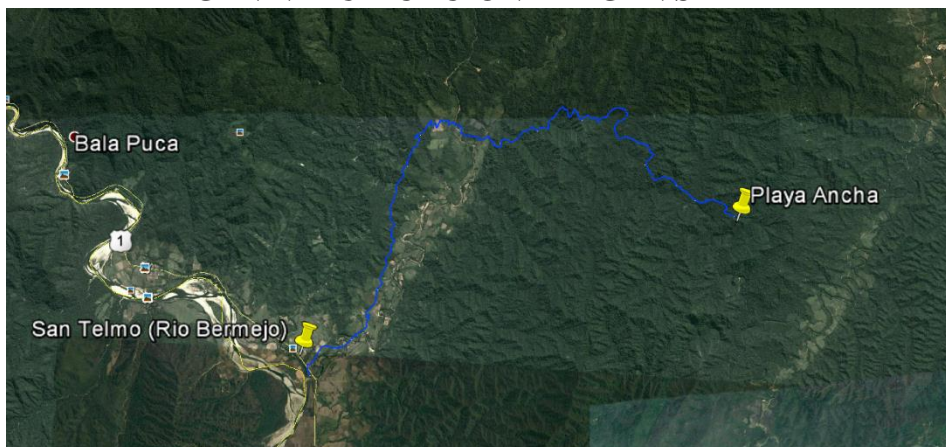
3.1.1. Ubicación Física del Proyecto.

País:	Bolivia
Departamento:	Tarija
Provincia:	Arce
Municipio:	Padcaya 1 ^{RA} Sección

3.1.2. Ubicación Geográfica.

Geográficamente, el proyecto inicia en la comunidad de San Telmo (Rio Bermejo) en los 22°32'0.59" de Latitud Sud y 64°24'41.41" de Longitud Oeste y finaliza en la comunidad de Playa Ancha en los 22°30'30.38" Latitud Sud y 64°19'24.99" Longitud Oeste.

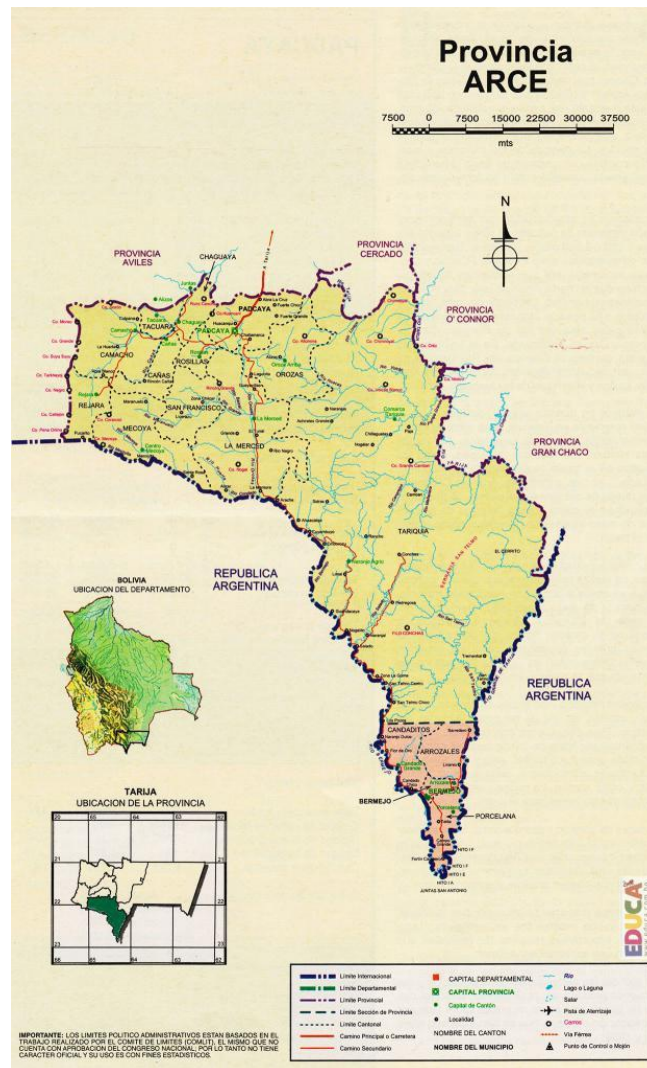
IMAGEN N° 1 UBICACIÓN IMAGEN SATELITAL



FUENTE: GOOGLE EARTH

La siguiente imagen, muestra un mapa referencial donde se encuentra ubicada la zona de influencia directa del proyecto en el contexto departamental.

IMAGEN N° 2 UBICACIÓN DEL PROYECTO (MAPA REFERENCIAL)

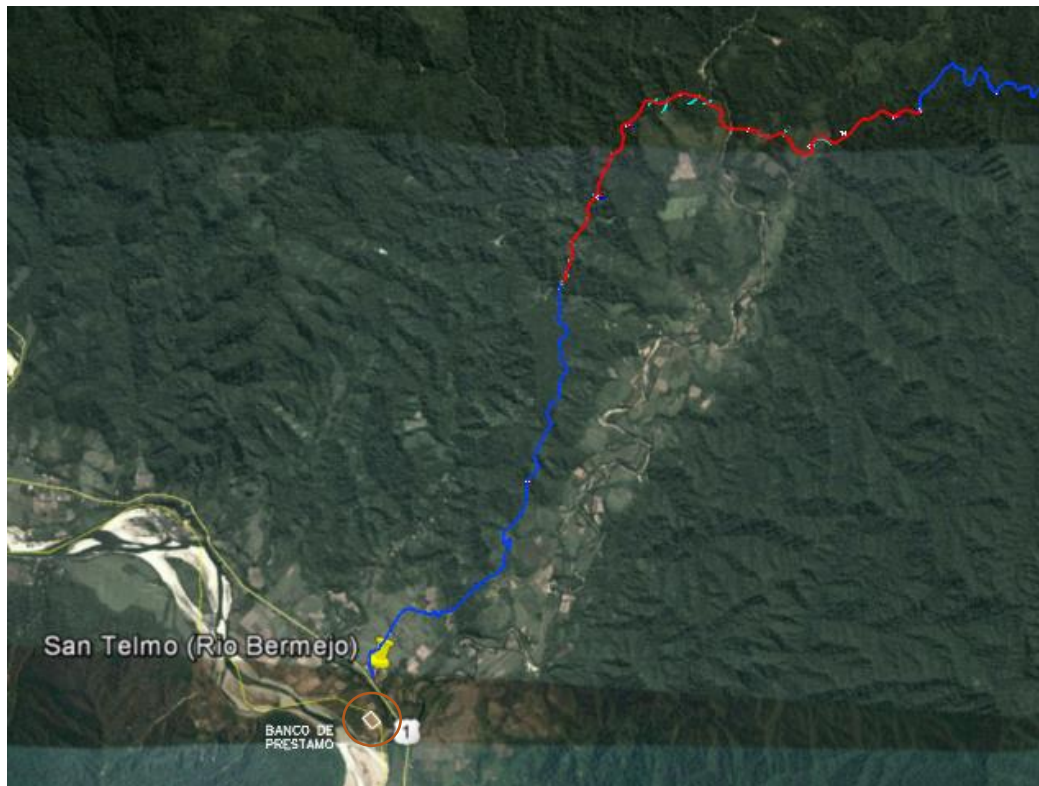


FUENTE: [HTTP://WWW.EDUCA.COM.BO/GEOGRAFIA/PROVINCIA-ANICETO-ARCE-MAPA](http://www.educa.com.bo/geografia/provincia-ANICETO-ARCE-MAPA)

3.1.3. UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE PRESTAMOS

El trabajo de campo consistió en localizar los bancos de préstamo más cercanos y con mejores características, con el fin de reducir costos y dar calidad a la construcción de la carretera. Con tal motivo se localizó bancos de préstamo cercanos a la zona del proyecto.

IMAGEN Nª 3 PLANO DE UBICACIÓN DE BANCO DE PRÉSTAMO



FUENTE: GOOGLE EARTH

Los materiales provenientes de las fuentes de préstamo deben presentar características uniformes.

Las especificaciones de calidad para los materiales de capa base y de subbase, se extrajeron de las "Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway" de AASHTO.

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DEL PROYECTO.

3.2.1. Aspectos Productivos.

La producción agrícola y ganadera se da especialmente en las comunidades de San Telmo y Playa ancha, Siendo principalmente la agricultura su principal fuente de ingresos en donde se puede apreciar cultivos de mandarina, naranja, pomelo, caña de azúcar y durazno, los cuales a pesar de tener una gran extensión de cultivos tienen

dificultades de sacarlos dado que no disponen de un camino en condiciones por lo cual llegan a perder gran parte de los cultivos.

3.2.2. Infraestructura.

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

3.2.3. Servicios Básicos, Salud y Educación.

La dotación de agua potable es muy poca en la zona y la mayor parte de la comunidad no accede a ella debido a que los pobladores se encuentran dispersos en toda el área; no cuenta con alcantarillado sanitario ni con agua potable en las viviendas; Se cuentan con un Centro de Salud. Se cuenta con una Unidad Educativa en la Comunidad de San Telmo.

3.3. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO.

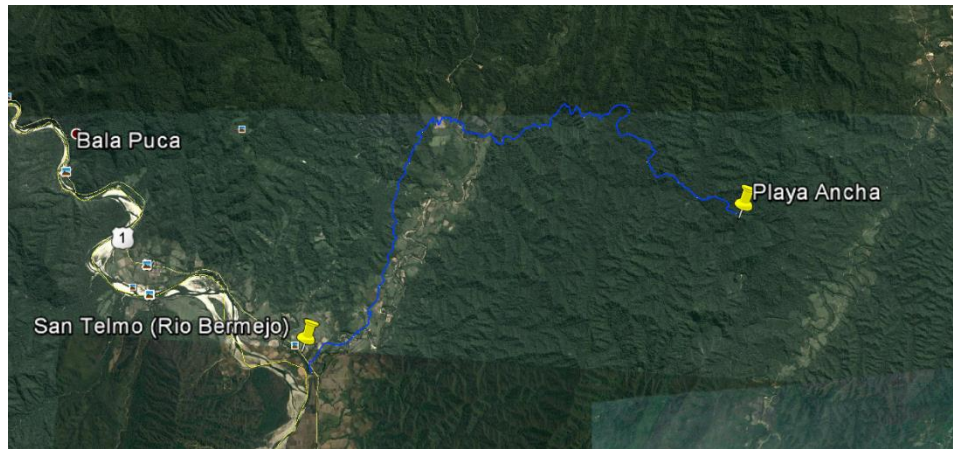
3.3.1. Estudio Topográfico.

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

3.3.1.1. Levantamiento topográfico.

El estudio topográfico fue realizado por la empresa constructora Procosur y a solicitud de mi persona, los datos de dicho levantamiento me fueron facilitados en medio magnético.

IMAGEN Nª 4 IMAGEN SATELITAL, CROQUIS PARA EL
LEVANTAMIENTO TRAMO
SAN TELMO (RIO BERMEJO)- PLAYA ANCHA



FUENTE: GOOGLE EARTH

3.3.1.2. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

Teniendo los datos de Campo del levantamiento topográfico se procede a la modelación del terreno en forma digital; para esto se empleó el Software AutoCAD Civil 3D 2017, para la modelación hasta reproducir las curvas de nivel de terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el ordenador. La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la Estación Total creados en varios trabajos, 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.

Un total de 1088 puntos levantados. A continuación, tenemos la siguiente tabla de resumen de BMs.

TABLA 6. RESUMEN DE BMs

Punto N°	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
308	7516946.43	361046.06	817.65	BM_12
442	7517598.16	361311.69	898.14	BM_14
601	7517883.28	361804.30	831.52	BM_16
756	7517555.63	362423.23	750.66	BM_18
928	7517416.17	362980.45	714.84	BM_20
951	7517674.76	363753.75	686.41	BM_22

Fuente: Levantamiento Topográfico Tramo San Telmo (Rio Bermejo)-Playa Ancha
 Las coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (Norte, Este, Elevación, más su respectiva descripción) se muestran a continuación. (Hacemos notar que debido a la gran cantidad de puntos levantados se presentará una tabla parcial con dichos puntos y el detalle completo de coordenadas geográficas estará en el ANEXO 1. Estudio Topográfico).

IMAGEN Nª 5 Ubicación de BMs.

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 7. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Nº	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	7517606.09	361291.40	885.31	962
2	7517603.18	361276.19	883.10	957
3	7517618.30	361255.32	893.12	958
4	7517601.51	361265.39	881.12	956
5	7517600.63	361236.03	892.12	951
6	7517577.08	361215.18	887.01	950
7	7517520.55	361190.67	881.61	944
8	7517543.18	361182.87	887.46	945
9	7517519.55	361184.82	879.43	944
10	7517535.76	361179.79	882.24	945
11	7517499.08	361195.50	873.42	940
12	7517499.39	361208.30	872.32	940_1
13	7517492.99	361203.19	872.32	940_2
14	7517491.36	361195.64	870.43	940_3
15	7517514.42	361180.72	876.80	944_1
16	7517534.94	361175.33	879.32	945_1
17	7517570.55	361262.61	879.32	932_1
18	7517538.78	361276.85	874.31	928_1
19	7517514.73	361307.67	866.31	917_1
20	7517530.26	361307.69	866.31	917_2
21	7517533.27	361292.52	866.31	917_3
22	7517534.70	361304.17	866.31	917_4
23	7517485.60	361297.22	862.13	920_1
24	7517489.46	361278.98	854.42	920_2
25	7517443.87	361259.07	849.22	916_1
26	7517411.54	361272.93	850.12	914_1
27	7517420.21	361256.66	847.12	914_2

28	7517370.12	361250.92	844.55	908_1
29	7517385.70	361237.74	842.76	909_1
30	7517362.92	361199.80	841.23	901_1
31	7517344.73	361204.08	838.12	900_1
32	7517320.48	361162.80	837.31	888_1
33	7517294.68	361159.73	831.65	885_1
34	7517290.85	361145.79	833.11	886_1
35	7517293.15	361145.35	833.92	886_2
36	7517288.73	361145.91	833.92	886_3
37	7517289.99	361152.61	833.62	886_4
38	7517291.51	361160.17	832.46	886_5
39	7517296.67	361159.44	832.46	886_6
40	7517339.88	361174.33	836.23	893_1
41	7517358.92	361213.22	840.56	904_1
42	7517358.92	361207.35	839.62	904_2
43	7517346.53	361207.29	838.21	904_3
44	7517346.33	361208.95	837.12	904_4
45	7517346.14	361210.90	838.45	904_5
46	7517194.21	361100.57	826.01	872_1
47	7517195.96	361101.36	827.56	872_2
48	7517192.06	361100.05	827.56	872_3
49	7517205.19	361084.96	828.46	870
890	7517370.20	362842.58	718.38	382
891	7517364.77	362828.84	721.45	383
892	7517362.52	362834.21	718.20	384
893	7517371.96	362860.66	717.07	385
894	7517371.03	362873.60	716.86	P_57
895	7517383.11	362877.56	721.11	386
896	7517361.07	362869.97	714.44	387

897	7517364.74	362891.07	715.97	388
898	7517360.50	362889.10	714.68	389
899	7517350.78	362905.94	717.62	P_58
900	7517342.95	362898.87	712.61	390
901	7517357.58	362899.65	715.75	391
902	7517349.46	362894.46	712.96	392
903	7517358.48	362910.80	720.24	393
904	7517345.05	362920.92	714.41	394
905	7517354.52	362919.57	718.14	395
906	7517335.92	362938.31	711.54	396
907	7517325.69	362953.93	712.65	P_59
908	7517340.86	362953.33	714.61	397
909	7517319.55	362947.10	711.20	398
910	7517329.07	362963.85	712.74	399
911	7517320.45	362966.26	711.98	400
912	7517345.47	362994.98	710.19	P_60
913	7517359.52	362994.42	711.31	P_61
914	7517351.94	362985.27	711.42	401
915	7517342.12	362998.74	707.81	402
916	7517339.20	362982.89	710.88	403
917	7517361.35	362998.94	706.99	404
918	7517380.51	362991.16	707.74	405
919	7517358.73	362985.26	713.18	406
920	7517398.60	362991.83	707.71	P_62
921	7517417.38	362992.93	710.30	P_63
922	7517394.08	362999.02	704.83	407
923	7517400.42	362981.67	712.15	408
924	7517416.76	362999.88	707.01	409
925	7517429.32	362995.38	706.11	410

926	7517440.09	363001.26	707.07	411
927	7517477.43	363013.95	705.08	P_64
928	7517416.17	362980.45	714.84	BM_20
929	7517466.98	363010.10	703.33	412
930	7517458.03	363005.56	705.35	413
931	7517444.21	363001.02	705.38	414
932	7517410.88	363028.36	688.53	415
933	7517426.07	363025.13	687.90	416
934	7517448.06	363021.80	687.34	417
935	7517483.02	363021.32	701.44	418
936	7517463.80	363025.59	686.68	419

Fuente: Levantamiento Topográfico Tramo San Telmo – Playa Ancha

3.3.2. Estudio Hidrológico.

Este acápite trata el estudio hidrológico del tramo San Telmo (Rio Bermejo) – Playa ancha, la parte correspondiente al análisis pluviométrico, determinación de las intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno y la intensidad en los 10 min de máxima concentración para el diseño hidráulico de las obras de drenaje de carreteras.

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. En el caso del presente proyecto se tiene tan solo el registro continuo de la lluvia en la zona de influencia del proyecto de la estación Emborozu, por lo que sólo se trabajará con dicha estación para determinar las curvas de intensidad - duración - frecuencia para la zona de influencia del proyecto.

La metodología del estudio hidrológico y drenaje considera la evaluación de las variables hidrológicas que se pueden obtener de la zona, a partir del cual se propone

el sistema de drenaje, para lo cual se realizó la siguiente tarea:

- Análisis del estudio hidrológico existente.

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.

Realizando un análisis pluviométrico se tiene los siguientes 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 muestra de las precipitaciones registradas.

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 8. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL

ESTACIÓN	EMBOROZU
N° DE DATOS	19
MEDIA (hd)	114.70
DESV. (Sd)	34.17
MODA (Ed)	90.00
CARACTERÍSTICA(kd)	0.59

Fuente: Estudio Hidrológico.

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.

$$h_{dT} = E_D \cdot (1 + K_D \cdot \text{Log}T)$$

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

Donde:

hdT = Lluvia máxima diaria para un periodo de retorno (mm)

ED = Moda (mm).

KD = Característica de la distribución.

T = Periodo de retorno (años).

$$ED = 90.00$$

$$KD = 0.68$$

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

TABLA 9. ALTURA DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA

T (años)	hdT (mm)
10	151,346
25	175,759
50	194,226
100	212,693
500	255,572
1000	274,039

Fuente: Estudio Hidrológico.

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:

$$h_{dT} = E_D \cdot \left(\frac{T}{\alpha}\right)^{\beta} \cdot (1 + K_D \cdot \text{Log}T)$$

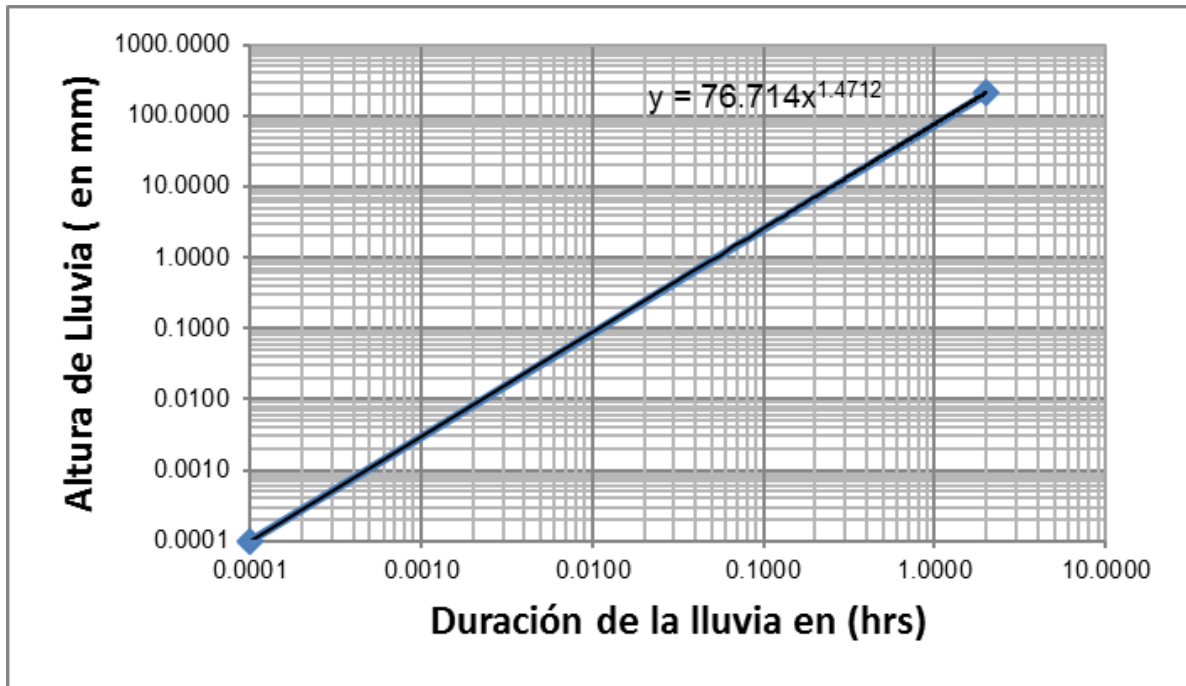
Adoptando: $\alpha = 2$ $\beta = 0.2$

Los valores de intensidad calculada con las ecuaciones explicadas en el presente inciso, fueron los utilizados para el dimensionamiento de alcantarillas a lo largo de la ruta.

TABLA 10. INTENSIDADES MÁXIMAS PARA PERÍODOS DE DURACIÓN MENORES A 24 HORAS.

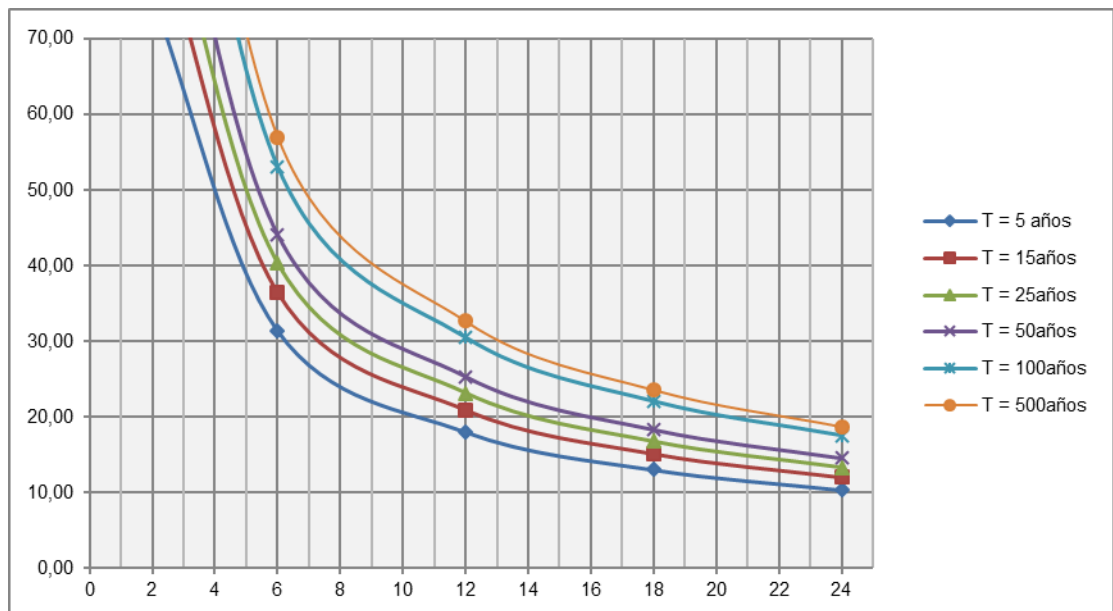
Período de retorno (años)	Intensidades de Lluvias(hr)								
	0.25	0.5	1	1.5	2	6	12	18	24
10	7.63	20.65	55.90	100.11	151.35	188.54	216.57	234.87	248.78
25	8.58	23.48	64.24	115.75	175.76	218.95	251.51	272.75	288.90
50	9.29	25.59	70.50	127.54	194.23	241.95	277.93	301.41	319.26
100	9.98	27.67	76.71	139.30	212.69	264.96	304.36	330.07	349.61
500	11.54	32.40	91.00	166.49	255.57	318.37	365.72	396.61	420.10
1000	12.19	34.41	97.10	178.16	274.04	341.38	392.14	425.27	450.45

Fuente: Estudio Hidrológico.



Para lluvias menores a 2 horas se empleó el método gráfico.

GRAFICO N° 1 LLUVIAS MENORES A 2 HRS PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS



Fuente: Estudio Hidrológico.

GRAFICO N° 2 CURVAS IDF

Fuente: Estudio Hidrológico.

Para determinar el Tiempo de Concentración existen fórmulas que dan el mismo sin tener en cuenta la intensidad de la lluvia.

Datos:

A= 94.600 km ²	Área de la Cuenca
L= 10.200 km	Longitud del río principal
ΔH= 577.00 m	Diferencia de cotas
S= 0.05657 %	Pendiente media del río principal

Kirpich:	$tc = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385}$	tc= 1.1971 hrs
Temez:	$tc = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.35}}\right)^{0.76}$	tc= 3.7625 hrs
Chereque:	$tc = \left[0.871 * \frac{L^3}{H}\right]^{0.385}$	tc= 1.1989 hrs
Giandotti:	$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * S * L}$	tc= 3.7132 hrs
California:	$tc = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$	tc= 1.1924 hrs
Ventura y Heras:	$tc = 0.05 \sqrt{\frac{A}{S}}$	tc= 2.0447 hrs

Se adoptó como tiempo de concentración de la cuenca el promedio de los distintos métodos, descartando aquel que se dispara mucho que es el Temez y Giandotti:

$$t_c = 1.196 \text{ horas}$$

Intensidad de precipitación en los **10 min.** de máxima concentración: **$t_c = 0.16667$ horas.**

TABLA 11 INTENSIDAD DE LLUVIA TC DE 10 MIN.

Período de Retorno T (años)	htT Altura de Lluvia en (mm)	"imax" Intensidad Máxima (mm/hr)
10	4.26	25.55
25	4.76	28.58
50	5.13	30.81
100	5.50	32.98
500	6.31	37.84
1000	6.64	39.87

Fuente: Estudio Hidrológico.

Entonces tenemos una Intensidad Máxima de 30.81 mm/hr (Para 10 min de máxima concentración) y un período de retorno $T = 50$ años (Valor de T fue adoptado de la TABLA 1.2-2 PERÍODOS DE RETORNO PARA DISEÑO, Manual de Hidrología y Drenaje de la ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, ABC).

Se hace notar que el periodo de retorno $T = 50$ años será tanto para drenaje transversal y drenaje de plataforma, esto se justifica porque para éste período de retorno la intensidad máxima no varía considerablemente en relación a la intensidad máxima para un período de retorno $T = 10$ años (Ver TABLA 11).

El detalle de cálculo del Estudio Hidrológico estará en ANEXO 2. (Estudio Hidrológico).

3.3.3. Estudio Geotécnico

El presente acápite se refiere al estudio en detalle de la geotecnia del proyecto, comprendido entre las comunidades de San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha, circunscritas en las provincias Arce (Padcaya) del departamento de Tarija y abarca la mecánica de suelos; por ende, comprende el estudio de suelos, más sus propiedades físico-mecánicas. El objetivo principal de la Mecánica de Suelos, es estudiar el comportamiento del suelo, para ser usado como material de construcción o como base de sustentación de las obras de ingeniería, en la ingeniería de caminos.

La investigación geotécnica, se subdividió en tres Etapas:

- Etapa de campo.
- Etapa de laboratorio.
- Etapa de gabinete.

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 11 apiques, cada 500 m del desarrollo de la apertura “San Telmo (Rio Bermejo)-Playa Ancha” hasta el final del tramo, con una profundidad mínima de entre 20 y 50 cm, obteniendo de cada apique una cantidad aproximada de muestra de 25 Kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en cada punto de exploración y así establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la subrasante. Se obtuvieron un total de 7 muestras.

TABLA 12. MUESTREO.

Nº	Prog.	Muestra
1	5+000	M1
2	6+000	M2
3	7+500	M3
4	8+500	M4
5	9+000	M5
6	9+500	M6
7	10+000	M7

Fuente: Elaboración Propia

Se tomaron 7 muestras debido a que desde la progresiva 5+000 hasta la progresiva 8+000 se disponía de una base granular en toda la sección mientras que desde la progresiva 8+500 a la progresiva 9+000 se observó un tipo de suelo diferente como también se encontró otro diferente en las progresivas 9+500 en adelante, las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis especializado de mecánica de suelos.

Los ensayos de laboratorio son:

- Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM. (este proceso se realizó desde el tamiz de 21/2” hasta el tamiz N° 200).

TABLA 13. NÚMERO DE TAMICES CON SU RESPECTIVO DIÁMETRO.

Tamices	Tamaño
(pulg.)	(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” 4ª edición.

Para empezar con el ensayo de granulometría, se procedió a pesar 12000 gr aproximadamente para material granular sin embargo se tomó la totalidad para material fino, entonces se comenzó el tamizado de manera mecánica en primer lugar con el ROP TAP y luego de manera manual, luego se pesó el retenido de material, si hubiere, en cada tamiz y anotando los valores de pesos retenidos en planillas para éste ensayo, a continuación presentamos la granulometría para la muestra M6 Prog. 9+500.

TABLA 14. GRANULOMETRÍA MUESTRA N°6 PROG. 9+500

PESO SECO DE LA MUESTRA TOTAL						
Muestra Total Húmeda			12160	grs.		
Agregado grueso reto Tamiz n° 4			0	grs.		
Pasa Tamiz n° 4 Húmedo			12160	grs.		
Pasa Tamiz n° 4 Seco			12154	grs.		
Muestra Total Seca:			12154	grs.		
AGREGADO GRUESO						
TAMICES		PESO RET. EN (gra)	PESO RETO. ACOMUL.grs	PORCENTAJE		ESPECIFI CACIONES
SERIE	mm			RETIENE	PASA	
3"	75.00	0	0	0	100	
2 1/2"	62.50	0	0	0	100	
2"	50.00	0	0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0	0	0.0	100.0	
1"	25.40	0	0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.0	
1/2"	12.50	0	0	0.00	100.0	
3/8"	9.50	0	0	0.00	100.0	
N° 4	4.75	0	0	0.00	100.0	
AGREGADO FINO						
TAMICES		PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO gris.	% PASA MORTER O gris.	% PASA DEL TOTAL	ESPECIF.
SERIE	mm					
N°10	2.000	0.0	0.0	100.0	100.00	
N°40	0.425	15.0	3.2	96.8	96.84	
N°200	0.075	51.7	10.9	89.1	89.12	

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

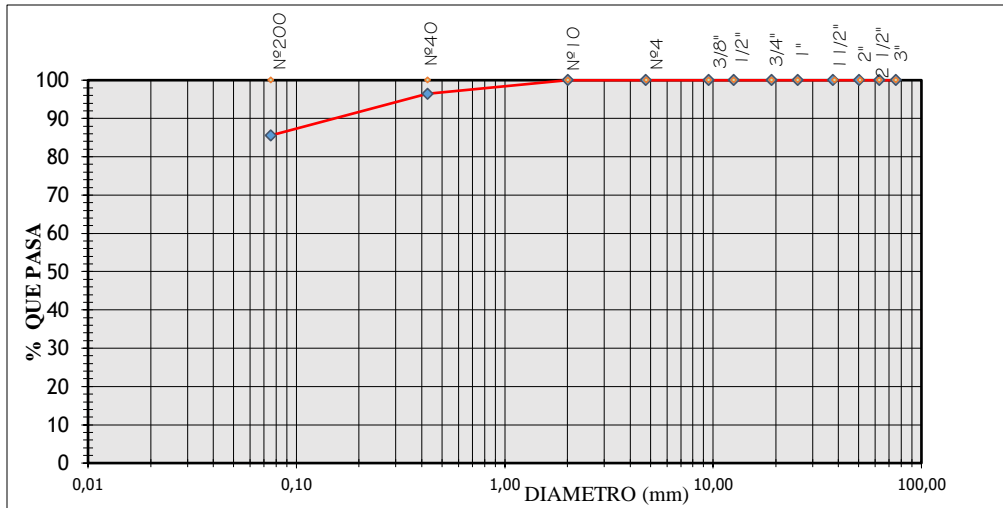


GRAFICO N° 3 CURVA GRANULOMÉTRICA MUESTRA N°6

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

CLASIF. AASHTO	
A-7-6	17
CLASIF. SUCS	
CL	
SUELO ARCILLOSO MUY PLASTICO	

La granulometría para cada una de las muestras estará presentada en el ANEXO 3. Estudio Geotécnico.

- Establecimiento de los límites de consistencia o límites de Atterberg:
 - ✓ Límite líquido (LL).

Para la determinación del límite líquido, primero se tamizó una cantidad de muestra (Sin pesar) por el tamiz N°40, el material que pasó por este tamiz se lo utilizó en el ensayo, primero se dio a la muestra una determinada humedad mojándola hasta que la misma tenga forma de pasta o masa, esta masa fue colocada en el equipo Casagrande y fue separada a la mitad con el ranurador, luego se procedió a dar los golpes y

contarlos hasta que la ranura realizada se uniera aproximadamente un centímetro, se sacó la muestra de la parte que se unió, se la peso, se identificó la tara y se puso a secar en el horno 24hrs, se realizó esto tres veces (por muestra) variando la cantidad de agua y siguiendo el procedimiento descrito párrafos más arriba, se anotaron todos los datos en la planilla correspondiente a este ensayo. A continuación, presentamos la planilla de LL para la muestra M6.

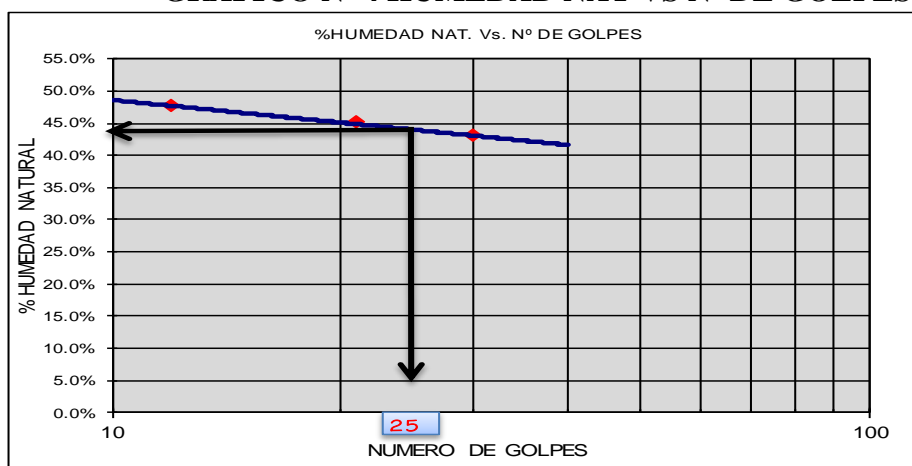
Con estos datos se hace una gráfica entre Contenido de Humedad vs. N° de golpes, de la gráfica se obtiene una ecuación de tipo logarítmica y se reemplaza el valor en X por 25, que es el N° de golpes para el LL.

TABLA 15. ENSAYO LIMITE LIQUIDO MUESTRA N°6

LIMITE LIQUIDO	ENSAYO N°	1	2	3
	GOLPES	30	21	12
	N° TARA	13	14	15
	PESO TARA (gr)	22.60	22.57	22.60
	PESO SUELO HUMEDO+TARA (gr)	48.33	41.88	44.18
	PESO SUELO SECO+TARA (gr)	40.60	35.88	37.22
	PESO DEL AGUA (gr)	7.73	6.00	6.96
	PESO SUELO SECO (gr)	18.00	13.31	14.62
	% HUMEDAD NATURAL	42.94%	45.08%	47.61%

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

GRAFICO N° 4 HUMEDAD NAT VS N° DE GOLPES M6



LIMITE LIQUIDO
43,87%

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

✓ Límite plástico(LP)

Para determinar el Límite Plástico se emplea una base de vidrio y con la muestra que pasa el Tamiz N° 40, se la humedece y se hacen rollitos en la base de vidrio hasta que tengan un diámetro aproximado de 3mm y presenten agrietamientos, se toma la muestra se la pesa y se la coloca en el horno, luego de 24 hr se la vuelve a pesar para obtener el peso del agua y contenido de humedad. A continuación, mostramos la planilla de LP para la muestra M6.

Determinación del LP.

TABLA 16. LIMITE PLÁSTICO M6

LIMITE PLÁSTICO	N° TARA	1	3	LIMITE PLÁSTICO
	PESO TARA (gr)	27.21	24.20	
	PESO SUELO HUMEDO+TARA (gr)	49.47	31.35	15.36%
	PESO SUELO SECO+TARA (gr)	46.50	30.40	
	PESO DEL AGUA (gr)	2.97	0.95	
	PESO SUELO SECO (gr)	19.29	6.20	
	% HUMEDAD NATURAL	15.4%	15.3%	

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

✓ Índice de plasticidad (IP).

El Índice de plasticidad es la diferencia entre el LL y el LP.

INDICE PLASTICO	28.5%
------------------------	--------------

Los límites para cada una de las muestras se presentarán en el ANEXO 3.

Teniendo los ensayos de granulometría y límites se procedió clasificar los suelos de las muestras con las normas AASHTO y SUCS, a continuación, presentaremos una tabla con la progresiva y su respectiva clasificación.

TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Nº	Muestra	Prog.	Clasificación	
			AASHTO	S.U.C.S.
1	M1	5+000	A-1-b (0)	SM
2	M1	5+500	A-1-b (0)	SM
3	M2	6+000	A-1-b (0)	SM
4	M2	6+500	A-1-b (0)	SM
5	M2	7+000	A-1-b (0)	SM
6	M3	7+500	A-1-b (0)	SM
7	M3	8+000	A-1-b (0)	SM
8	M4	8+500	A-6 (7)	CL
9	M5	9+000	A-6 (7)	CL
10	M6	9+500	A-7-6 (17)	CL
11	M7	10+000	A-7-6 (17)	CL

Fuente: Elaboración Propia

De la TABLA 17. Tenemos que en el tramo San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha (Prog 5+000 hasta Prog 8+000) predomina un suelo granular debido a que existía una apertura en el tramo, mientras que desde la progresiva 8+000 se presenta dos suelos arcillosos diferentes ya que en este sector se debe aperturar para continuar el camino:

A-1-b (0) Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

A-6 (7) El suelo típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También

se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

A-7-6(17) Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

En la siguiente tabla podremos ver el resumen de los suelos en el trazo del camino.

TABLA 18. RESUMEN DE SUELOS SOBRE EL TRAZO DEL CAMINO

Suelo	Grupo	Subgrupo	N° de Muestra	Porcentaje	
Granulares	A-1	A-1-b	7	63.64%	63.64%
Finos	A-6		2	18.18%	36.36%
	A-7	A-7-6	2	18.18%	
Total de Muestras:			11	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo tres tipos de suelo distintos en todo el desarrollo del camino se hará un ensayo de Compactación y CBR para cada uno de estos.

- Determinación de la relación Humedad-Densidad mediante el ensayo Proctor modificado. AASHTO T 180.

Para la compactación se utilizó el Proctor T-180 para lo cual se tomaron 3 muestras que fueron tamizadas por el tamiz N° ¾ y N° 4 para luego compensar con el retenido del N° 4, luego se humedeció la muestra y se colocó en la probeta normalizada para este ensayo en tres capas, se procedió a compactar con un martillo también normalizado en una cantidad de 56 golpes cada capa, se desarma la probeta y se extrae la muestra del corazón de la misma, es pesada y puesta en el horno, luego se fue incrementando un pequeño porcentaje de agua a cada muestra para ir cambiando su densidad de acuerdo a sus cambios de humedad, todo este proceso es anotado en

planilla para este tipo de ensayo. A continuación, mostraremos la planilla de datos y resultados.

Compactación para el tipo de suelo A-7-6 (17) Muestra N° 6.

TABLA 19. COMPACTACIÓN M6

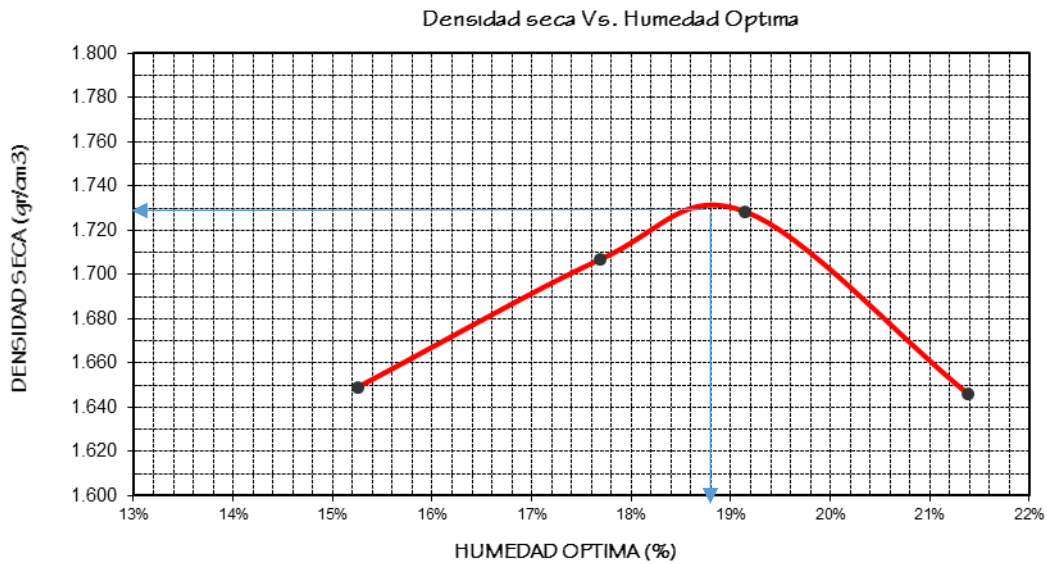
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	GRANULOMETRIA		L. DE CONSISTENCIA		CLASIFICACION SISTEMA AASHTO		
	T-Nº 4	100.00					
	T-Nº 10	100.00	L.L.	43.88%	A-7-6	17	
	T-Nº 40	96.84	L.P.	15.36%			
	T-Nº 200	89.12	I.P.	28.52%			

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO Y DEL ENSAYO					
PESO DEL MOLDE (gr)	1867	GOLPES POR CAPA	25	P.MARTILLO	10 lb.
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	945	NUMERO DE CAPAS	5	ALT.DE CAIDA	18"

DETALLE	1	2	3	4
Peso muestra humeda + molde	3663	3765	3813	3755
Peso muestra humeda	1796	1898	1946	1888
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm³)	1.901	2.008	2.059	1.998
Recipiente No.	9	6	5	9
Peso muestra humeda + tara	618.60	618.60	618.60	618.60
Peso muestra seca + tara	552.20	543.20	538.00	530.20
Peso del recipiente	116.80	116.80	116.80	116.80
Peso del agua	66.40	75.40	80.60	88.40
Peso muestra seca	435.40	426.40	421.20	413.40
HUMEDAD (%)	15.25%	17.68%	19.14%	21.38%
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.649	1.707	1.728	1.646

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

GRAFICO N° 5 DENSIDAD SECA VS H.O. M6



FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

Derivando la ecuación del gráfico y despejando “x” que es CHO (Contenido de Humedad Optimo) se obtiene este valor, con el CHO reemplazamos en la ecuación sin derivar y tenemos la Densidad máxima.

TABLA 20. RESULTADOS DENSIDAD MAX Y CHO

RESULTADOS FINALES	DENSIDAD SECA (max)	% HUMEDAD OPTIMA
	1.730	18.8%

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

TABLA 21. DENSIDAD MÁXIMA Y CHO PARA CADA SUELO PRESENTE EN EL DESARROLLO DEL CAMINO

N°	Muestra	Clasificación		Proctor	
		AASHTO	S.U.C.S.	Dmax	%Hop
1	M1-M2-M3	A-1-b (0)	SM	2.179	7.70
2	M4-M5	A-6 (7)	CL	1.825	8.20
3	M6-M7	A-7-6 (17)	CL	1.73	18.80

Fuente: Elaboración Propia

Ver el detalle de ensayos para los cuatro tipos de suelos encontrados en ANEXO 3.

- Determinación de la capacidad soporte CBR programada según los resultados de clasificación de los suelos investigados.

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

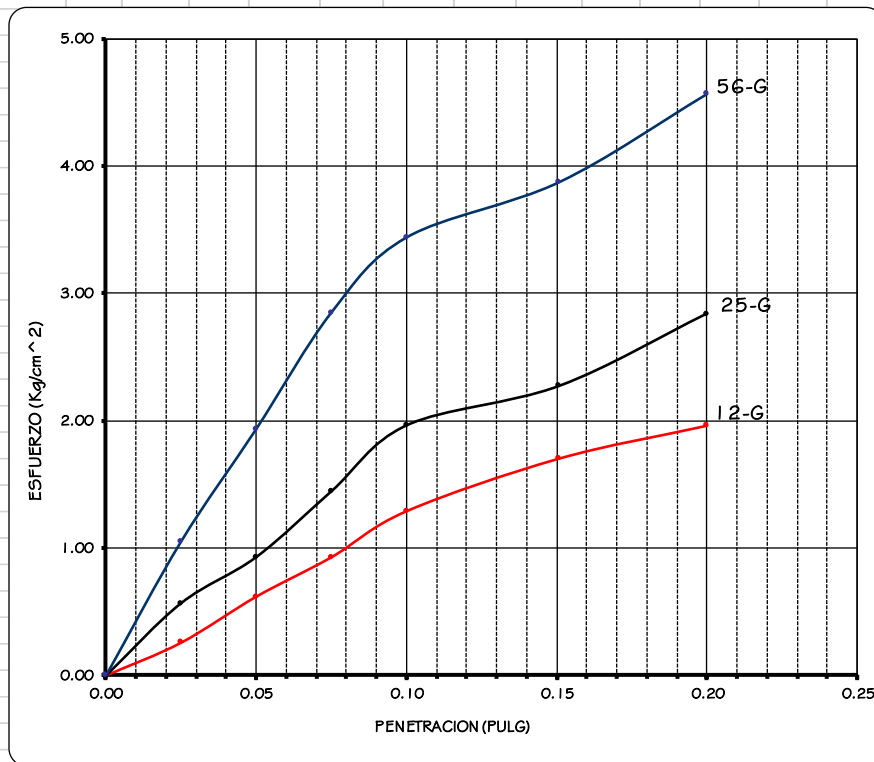
Se realizó el tamizado por el tamiz N° 3/4 y N° 4 para luego compensar con el retenido del N° 4, para el cálculo del CBR se confeccionaron 3 probetas, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 12 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo.

Antes de determinar la resistencia a la penetración, se saturaron las probetas durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

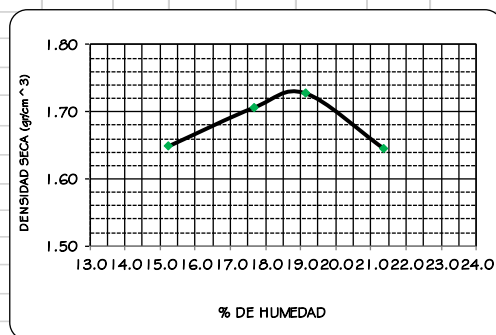
A continuación, mostraremos el cálculo del CBR para un suelo A-7-6 (17).

RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

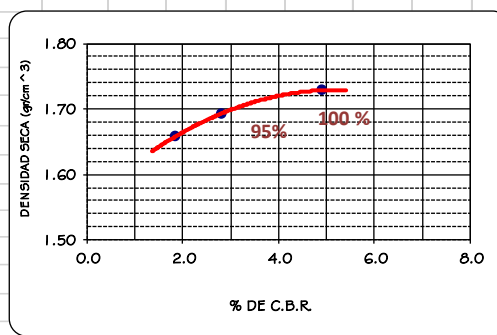
GRAFICOS
ESFUERZO Vs. PENETRACION



CURVA DE PROCTOR T-180
DENSIDAD SECA Vs. % DE HUMEDAD



CURVA DE C.B.R.
DENSIDAD SECA Vs. % DE C.B.R.



LABORATORISTA
Alvaro Segovia

DATOS FINALES	% DE CBR P/ 0.1"
PARA 100% DENSIDAD MAX.	5.00%
PARA 95% DENSIDAD MAX.	1.00%

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

De esta manera se obtiene el CBR para los tres tipos de suelos encontrados en el desarrollo del camino.

Ver el detalle de ensayos para los cuatro tipos de suelos encontrados en ANEXO 3.

TABLA 23. RESUMEN DE COMPACTACIÓN Y CBR EN CADA PROGRESIVA

N°	Prog.	Destino	Clasificación		Proctor		C.B.R.	
			AASTHO	S.U.C.S.	D _{max}	%H _{op}	100%	95%
1	5+000	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.179	7.70	26.00	18.00
2	5+500	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.179	7.70	26.00	18.00
3	6+000	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.190	6.50	24.50	17.50
4	6+500	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.190	6.50	24.50	17.50
5	7+000	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.185	6.50	28.00	18.00
6	7+500	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.185	6.50	28.00	18.00
7	8+000	Estudio	A-1-b (0)	SM	2.185	6.50	28.00	18.00
8	8+500	Estudio	A-6 (7)	CL	1.825	8.20	10.00	6.00
9	9+000	Estudio	A-6 (7)	CL	1.882	8.00	11.00	7.50
10	9+500	Estudio	A-7-6 (17)	CL	1.730	18.80	5.00	1.00
11	10+000	Estudio	A-7-6 (17)	CL	1.740	18.80	6.00	2.00

Fuente: Elaboración Propia.

De la TABLA N°23, se define el CBR de diseño para el tramo en estudio, de donde se eligieron dos alternativas ya que se dispone de un 64% del camino con suelo granular mientras que solo se tiene un 34% con suelo arcilloso por lo cual se realizara un diseño con un CBR del 17.50% para los primeros 3 km mientras que en el segundo tramo se descubrió al hacer el estudio que se dispone de suelo granular a una profundidad aproximada de 60cm con unas características similares a las del primer tramo por lo cual se optara por realizar un cambio de material de 60cm de espesor con material sobrante del primer tramo completando con material de préstamo.

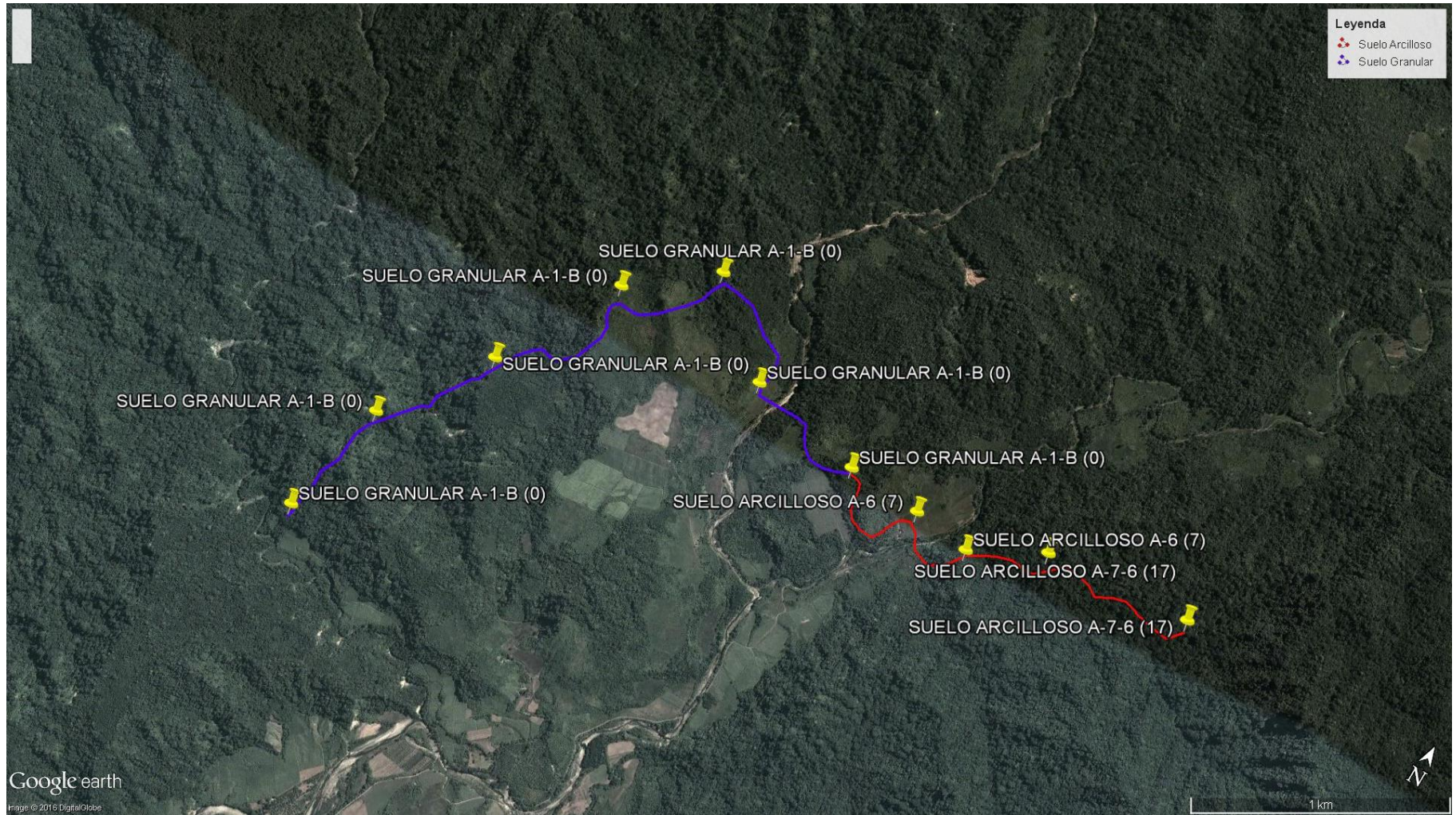
Concluidos los ensayos de laboratorio y trabajo de gabinete presentamos la TABLA 24, de resumen de los ensayos de control en la sub rasante.

TABLA 24. RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO DE MATERIALES - SUB RASANTE

Nº	Procedencia	Prog.	Muestra Nº	Destino	Granulometría (% que pasa)											Límites de Atterberg			Clasificación		Proctor		C.B.R.		
					3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	LP	IP	A.ASTHO	S.U.C.S.	Dmax	%Hop	100%	95%
1	Subrasante	5+000	1	Estudio	100.00	94.50	90.70	85.80	75.10	73.10	66.00	64.70	58.70	55.80	49.56	15.09	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.179	7.700	26.00	18.00
2	Subrasante	5+500	1	Estudio	100.00	94.50	90.70	85.80	75.10	73.10	66.00	64.70	58.70	55.80	49.56	15.09	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.179	7.700	26.00	18.00
3	Subrasante	6+000	2	Estudio	100.00	94.50	90.60	85.80	75.00	73.00	65.90	64.50	58.60	55.78	49.70	15.36	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.190	6.500	24.50	17.50
4	Subrasante	6+500	2	Estudio	100.00	94.50	90.60	85.80	75.00	73.00	65.90	64.50	58.60	55.78	49.70	15.36	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.190	6.500	24.50	17.50
5	Subrasante	7+000	3	Estudio	100.00	94.50	90.80	86.10	75.10	73.10	66.20	64.70	58.80	55.74	49.79	15.81	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.185	6.500	28.00	18.00
6	Subrasante	7+500	3	Estudio	100.00	94.50	90.80	86.10	75.10	73.10	66.20	64.70	58.80	55.74	49.79	15.81	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.185	6.500	28.00	18.00
7	Subrasante	8+000	3	Estudio	100.00	94.50	90.80	86.10	75.10	73.10	66.20	64.70	58.80	55.74	49.79	15.81	0.00	0.00	NP	A-1-b (0)	SM	2.185	6.500	28.00	18.00
8	Subrasante	8+500	4	Estudio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	95.91	60.51	28.34	14.79	13.55	A-6 (7)	CL	1.825	8.200	10.00	6.00
9	Subrasante	9+000	5	Estudio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	95.51	60.42	27.59	14.83	12.76	A-6 (7)	CL	1.882	8.000	11.00	7.50
10	Subrasante	9+500	6	Estudio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	96.84	89.12	43.88	15.36	28.52	A-7-6 (17)	CL	1.730	18.800	5.00	1.00
11	Subrasante	10+000	7	Estudio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	96.39	85.40	43.79	15.37	28.42	A-7-6 (17)	CL	1.740	18.800	6.00	2.00

Fuente: Elaboración Propia

IMAGEN Nª 6 Plano Geotécnico



Fuente: Elaboración propia

Durante las visitas a la zona de emplazamiento del camino se logró localizar una planta de agregados en la entrada al camino en el río Bermejo, la cual podría proporcionar material para la capa base ya que estos cumplen con las características necesarias según la TABLA N° 25 que mostraremos a continuación, recibiendo la clasificación de excelente con un CBR de 65% mientras que en la capa base se utilizara material sobrante de los primeros 3 km junto a un banco de préstamo en la zona ya que se dispone de un suelo ideal para sub-base con un CBR de 17.50% presentando estos informes en Anexos.

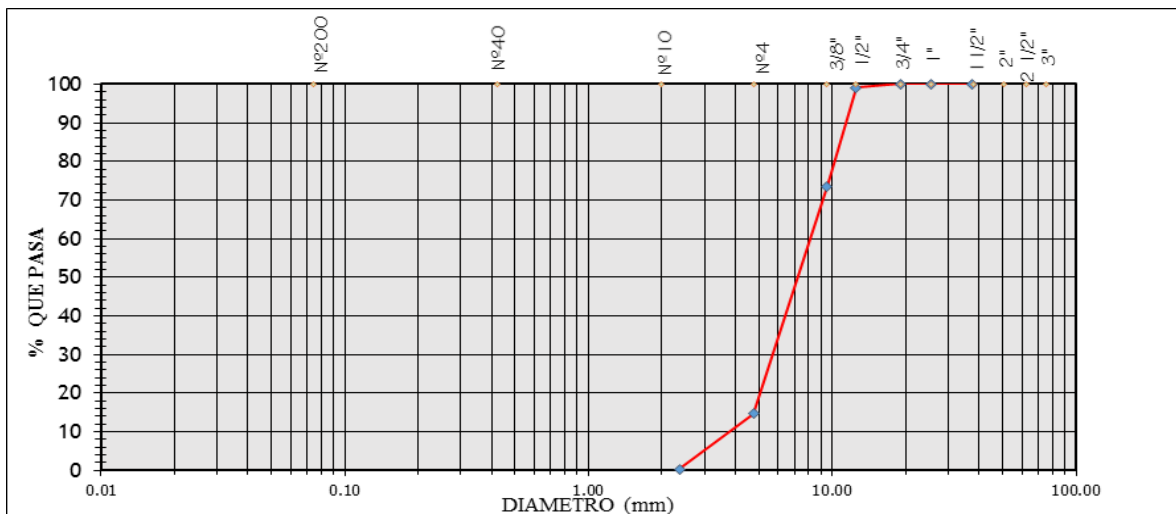
TABLA 25. RANGOS DE CBR DE MATERIALES SEGÚN CLASIFICACIÓN Y USO

CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3 - 7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7 - 20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20 - 50	Bueno	Sub base y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A-3

Fuente: Manual de diseño de AASHTO 93

A continuación, se presentará las características del material para la conformación de la Capa de Rodadura obtenido de la chancadora a orillas del río Bermejo cerca a la entrada del camino a San Telmo.

PESO SECO DE LA MUESTRA TOTAL						
Muestra Total Seca:			5000		grs.	
AGREGADO GRUESO						
TAMICES		PESO RET. EN (gra)	PESO RET. O. ACOMUL.grs	PORCENTAJE		ESPECIFICACIONES
SERIE	mm			RETIENE	PASA	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0	100.00	
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.0	100.00	
1/2"	12.50	49.00	49.00	1.0	99.02	
3/8"	9.50	1277.20	1326.20	26.5	73.48	
N° 4	4.75	2943.90	4270.10	85.40	14.60	
N° 8	2.36	721.50	4991.60	99.83	00.17	
BASE	0.00	7.80	4999.40	99.99	00.01	

GRAFICO N° 6 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

TABLA 26. CARACTERÍSTICAS AGRADO PARA C°A°












TAMAÑO NOMINAL		1/2"
PESO ESPECIFICO		2.49 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S.		2.51 gr/cm ³
ABSORCIÓN DEL AGUA		6.40%
DENSIDAD	SUELTA	1.39 gr/cm ³
	COMPACTADA	1.51 gr/cm ³
GRADACIÓN N°		c
CARGA ABRASIVA		8 Esferas
ABRASIÓN EN PORCENTAJE		23.62%

FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.3.4. Estudio de Tráfico.

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 27. TIPO DE VEHÍCULOS

CÓDIGO	TIPO DE VEHÍCULOS	FIGURA
1	Automóviles, Jeep y Vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2 tn.)	
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
6	Buses Grandes (hasta 35 pasajeros; de 3 ejes)	
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10 tn; de 2 ejes)	
8	Camiones Grandes (más de 10 tn; de 2 ejes)	
9	Camiones Grandes (más de 10 tn; de 3 ejes)	
10	Camiones Semi remolque	
11	Camiones Remolque	

Fuente: Manual de Carreteras de la ABC.







Los aforos han sido calculados para once tipos de vehículos: 1: automóvil, vagoneta, jeep, 2: camioneta, 3: minibús, 4: microbús, 5: Bus mediano, 6: Bus grande, 7:

camión mediano, 8: camión grande dos ejes, 9: camión grande tres ejes, 10: camión semirremolque y 11: camión con remolque, se realizó el aforo manual por el tesista en la comunidad de San Telmo en un periodo de siete días de aforo.

3.3.4.1. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

Se presenta la TABLA 28 del total de aforos en 7 días de aforo (06:00 – 19:00).

TABLA 28. AFOROS DE 7 DÍAS

TIPO DE VEHICULO		DIAS (06:00 - 19:00)						
		LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
LIVIANOS		6	7	5	6	5	3	4
		4	4	5	3	5	6	3
MEDIANO		5	4	5	3	4	3	4
PESADOS		6	5	7	5	7	4	6
		0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Estudio de Tráfico.

Se obtiene con estos valores el TPDA y se muestra a continuación en la siguiente tabla.

TABLA 29. TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL

Tipo de Vehículo	TPD [veh/día]	% TPD
Livianos	7.00	50
Medianos	3.00	21
Pesados	4.00	29
Total =	14	100.0

Fuente: Estudio de Tráfico.

La proyección del tráfico consiste en la predicción del tránsito futuro en la red del proyecto. Para los estudios de transporte en los países en vías de desarrollo, al estimar

la magnitud de la demanda de transporte, es conveniente examinar por separado las siguientes fuentes generadoras de tráfico: El Tráfico Normal, el Tráfico Inducido y el Tráfico Generado.

El tráfico normal corresponde al tráfico existente y su proyección; el tráfico inducido, al que se atraería de otras vías próximas por las ventajas que se ofrecerán con la nueva carretera como ser el ahorro en la distancia recorrida, ahorro en el tiempo de viaje, confort, etc. El tráfico generado consiste en: a) tráfico que se origina exclusivamente por la construcción de la nueva vía, sin necesidad de cambio en el uso de la tierra, es decir el tráfico por la novedad o mayor comodidad y b) El tráfico de desarrollo, debido al desarrollo del uso de la tierra adyacente al camino.

Los proyectos de nuevas carreteras, o el mejoramiento de las existentes, no deben basarse solamente en las características del volumen del tráfico actual, sino que se debe tomar en cuenta también los tráficos probables en años futuros. De esta manera el volumen de proyecto ha de corresponder al del año escogido para proyectar dicho proyecto, en este caso se proyectó para 20 años (Para concreto asfáltico).

Entonces para proyectar al tráfico futuro en 20 años, será el producto del TPD * (FC)_i que será el tráfico normal, así se tiene:

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

Donde:

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

(IC)_i = Índice de crecimiento del vehículo tipo i=3.62

(N) = Número de años hasta el período de diseño: (20 años).

Hacemos notar que el valor de (IC)_i=3.62, fue obtenido del RUAD 2015 de la Provincia Arce.

El tráfico Inducido será un 5% del tráfico normal, y el tráfico Generado será un 10% del tráfico normal, estos porcentajes se adoptan en función a lo que se espera ocurra

en el camino durante la proyección que se realizó para 20 años, estos porcentajes podrán variar de acuerdo al criterio del proyectista y de lo que el mismo espera ocurra en la proyección futura de tráfico.

La siguiente tabla muestra la proyección de tráfico, incluido el normal, el inducido y el generado.

TABLA 30. TRÁFICO TOTAL.

AÑO	N°	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	TOTAL
					
NORMAL+GENERADO+INDUCIDO					
2016	0	15	6	8	29
2017	1	15	6	8	29
2018	2	17	6	8	31
2019	3	17	6	8	31
2020	4	17	6	11	34
2021	5	17	8	11	36
2022	6	19	8	11	38
2023	7	19	8	11	38
2024	8	19	8	11	38
2025	9	21	8	13	42
2026	10	21	8	13	42
2027	11	21	8	13	42
2028	12	23	11	13	47
2029	13	23	11	13	47
2030	14	25	11	15	51
2031	15	25	11	15	51
2032	16	25	11	15	51
2033	17	27	11	15	53
2034	18	27	13	17	57
2035	19	29	13	17	59
2036	20	29	13	17	59

Fuente: Estudio de Tráfico.

A partir de éstos resultados, el TPDA en los 20 años de tráfico proyectado para el camino se puede ver en la siguiente tabla:

TABLA 31. TPDA PROYECTADO PARA 20 AÑOS

T.P.D. [veh/día]	Índice de Crecimient	Factor de Carga Equiv. (FCE)i
29.0	3.62	0.0265
13.0	3.62	1.1329
17.0	3.62	1.5531

Fuente: Estudio de Tráfico.

Estos valores serán utilizados en el diseño estructural para la Conversión de los Vehículos a ESALs/vehículo.

Ver detalle de cálculo completo de tráfico y proyección de tráfico futuro, inducido y generado en ANEXO 4. (Estudio de Tráfico).

Concluidos los estudios previos al diseño presentamos la siguiente tabla de parámetros que serán utilizados para el diseño geométrico, diseño estructural y las obras complementarias.

TABLA 32. PARÁMETROS DE ESTUDIOS PREVIOS

ESTUDIOS PREVIOS	PARÁMETROS	
TOPOGRÁFICO	TOTAL, DE PUNTOS	3881
	TOTAL DE BMs	6
HIDROLÓGICO	INTENSIDAD MAX.	30.81 mm/hr
	PERÍODO RETORNO	50 años
GEOTÉCNICO	N° DE MUESTRAS	7
	TIPOS DE SUELO EN EL TRAMO	3
	CBR DE DISEÑO	17.50%
TRÁFICO	TPDA LIVIANOS	29 [veh/día]
	TPDA MEDIANOS	13 [veh/día]
	TPDA PESADOS	17 [veh/día]

Fuente: Elaboración Propia

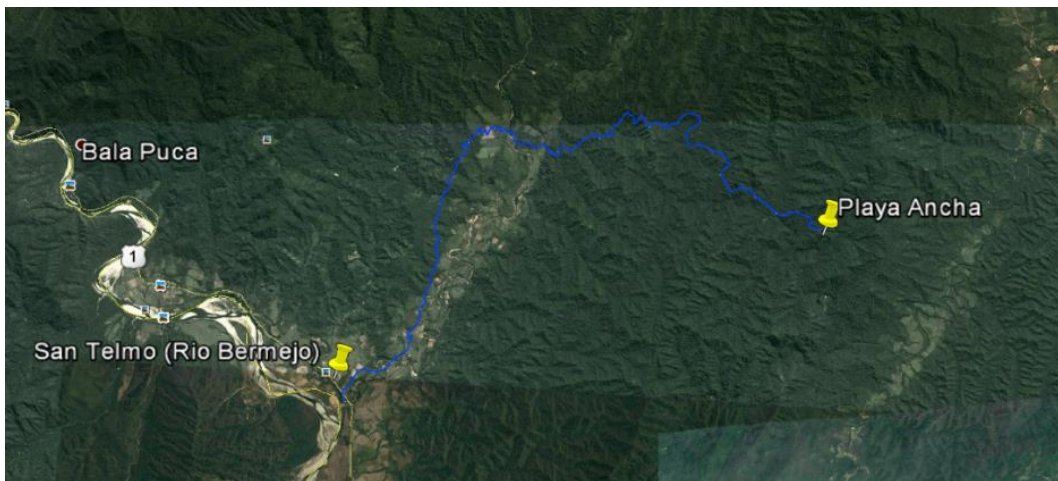
3.4. DISEÑO DE INGENIERÍA.

3.4.1. Análisis y Elección de Alternativas.

El análisis y elección de alternativas consiste en escoger el trazo preliminar más adecuado, utilizando mapas, planos levantados o características del terreno. En este caso se utilizaron imágenes satelitales de Google Earth y el modelo de superficie realizado a partir del levantamiento topográfico. Se realizó solo un trazo de alternativa debido al camino ya existente como también las características topográficas.

ALTERNATIVA 1

IMAGEN N° 7 Trazo Alternativa 1



Fuente: Google Earth

El trazo de la alternativa 1 presenta una longitud de aproximadamente 5004 m, el trazo realizado se apega al trazo existente. En esta alternativa se tendría que realizar el diseño de dos puentes nuevos porque la vía atraviesa por dos quebradas de gran longitud; además se encuentran alrededor de 32 alcantarillas, entre alcantarillas de alivio y de cruce. Presenta una pendiente máxima de 10,00% y una pendiente mínima 2,30%.

Para ver a detalle cada alternativa se verán desde tres puntos de vista:

SOCIAL

Desde el punto de vista social la alternativa 1 beneficia tanto a las comunidades de San Telmo como Playa Ancha y beneficiarios que se encuentran en el tramo, esta alternativa es la más aconsejable considerando que no altera el medio ambiente puesto que esta sigue el trazo existente con mejoras de pendiente y curvas más amplias realizando mínimas afectaciones a los pobladores de la región

TECNICO-ECONOMICO

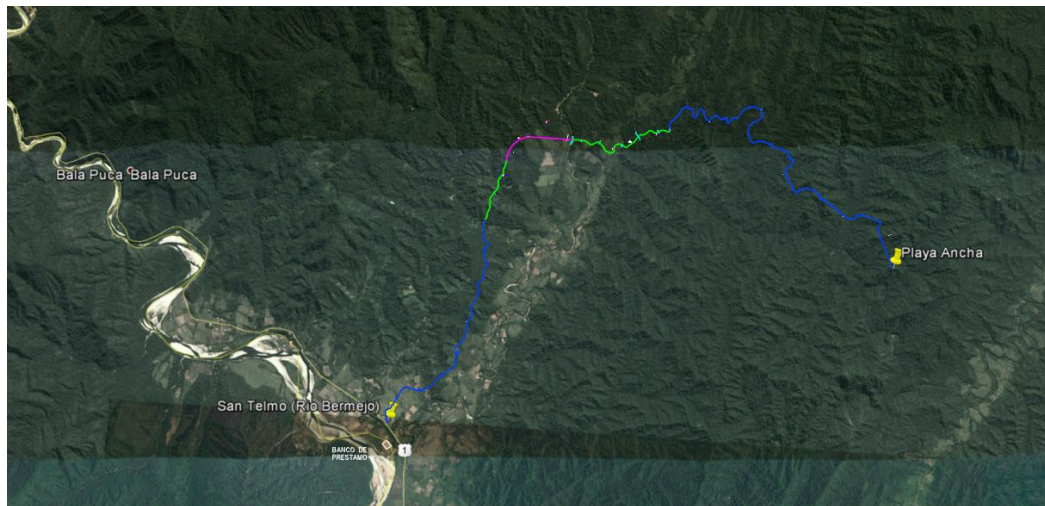
Desde el punto de vista Técnico es la mejor opción porque permite radios de curvatura, pendientes adecuadas para la circulación de vehículos, con costos dentro de los parámetros de mejoramiento y apertura de carreteras para el tipo de zona.

AMBIENTAL

Desde el punto de vista ambiental esta alternativa es la que tiene menos afectaciones al ecosistema ya que los movimientos de tierras no son de mucha envergadura por lo cual no afecta los ríos, cursos de agua ni terrenos de cultivo.

ALTERNATIVA 2

IMAGEN N° 8. Trazo Alternativa 2

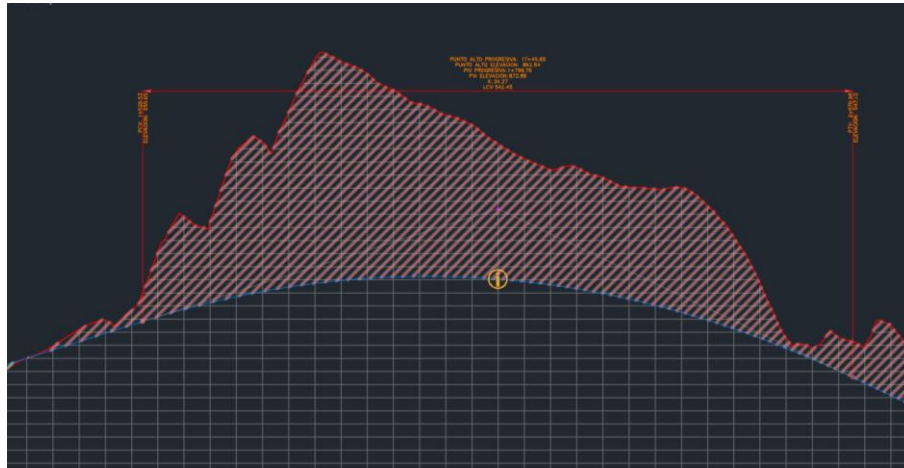


Fuente: Google Earth

El trazo de la alternativa 2 presenta una longitud de aproximadamente 5000 m, el trazo realizado se apega al trazo existente. En esta alternativa se tendría que realizar el diseño de dos puentes nuevos porque la vía atraviesa por dos quebradas de gran longitud; además se encuentran alrededor de 32 alcantarillas, entre alcantarillas de alivio y de cruce. Presenta una pendiente máxima de 8,00% y una pendiente mínima 2,30%.

Sin embargo, la gran diferencia que posee esta alternativa a diferencia de la primera es la construcción de un túnel entre las progresivas 5+900 – 7+180 El cual se puede apreciar en la Imagen N° 8 de color Magenta debido a la existencia de una montaña muy empinada, la cual no se puede llegar a rodear por las condiciones topográficas y la categoría del camino generando cortes excesivos en esta zona, como también pendientes muy altas.

Para ver a detalle cada alternativa se verán desde tres puntos de vista:

IMAGEN N° 9 Emplazamiento del túnel

Fuente: Elaboración Propia

SOCIAL

Desde el punto de vista social la alternativa 2 si bien beneficia a las comunidades de San Telmo como Playa Ancha sin embargo en el trazo en donde se debería realizar el túnel alejaría las distancias entre las casas y la carretera.

Y esta alternativa podría perjudicar los cursos de agua y por lo tanto a los cultivos indirectamente.

TECNICO-ECONOMICO

Desde el punto de vista Técnico es la mejor opción porque permite radios de curvatura, pendientes adecuadas para la circulación de vehículos más cómodamente y realizando movimientos de tierra menores en algunas zonas, evitando la posibilidad de derrumbes y reduciendo la distancia entre comunidades, sin embargo, el costo se incrementa debido al tipo de maquinaria a ser usada.

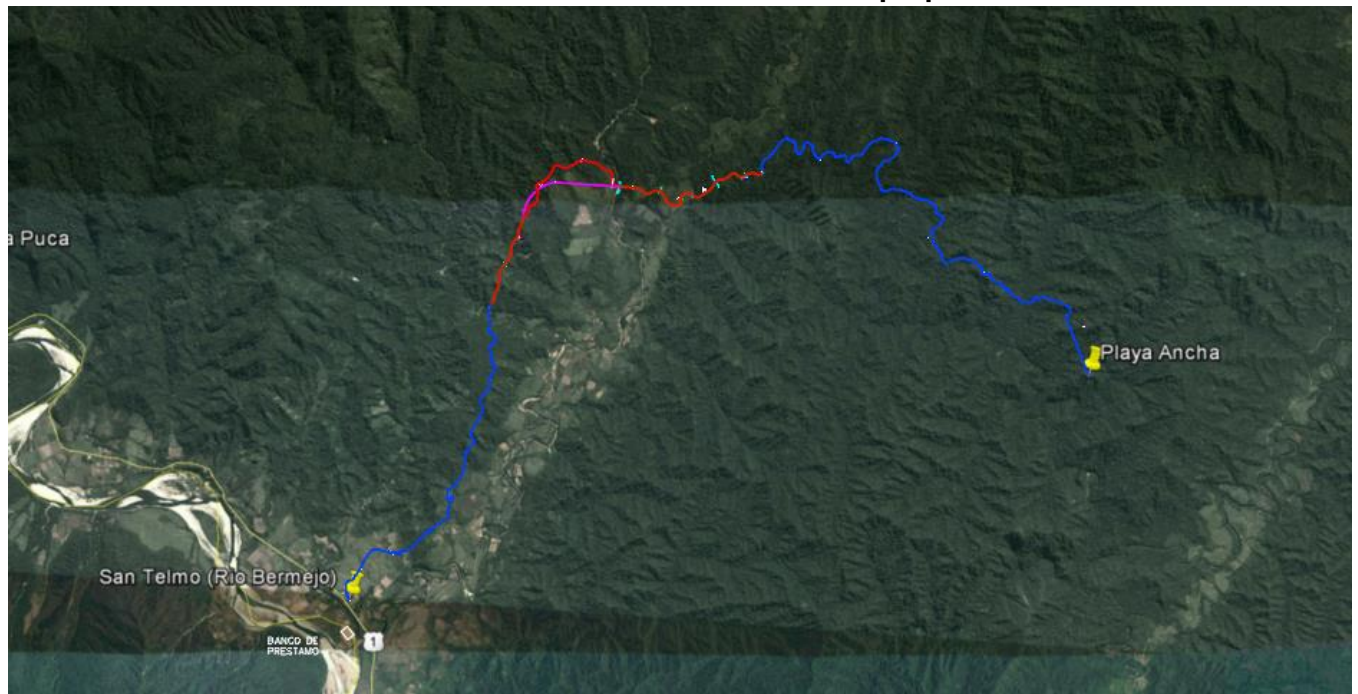
AMBIENTAL

Desde el punto de vista ambiental esta alternativa genera un impacto ambiental considerable debido a los posibles cambios de los cursos de agua como posibles daños a la flora y fauna zona.

TABLA 33. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Alternativa	Longitud	Pendientes		Obras de Arte		Túneles	Alcantarillas
	(m)	MAX.	MIN.	Puentes a Construir	Puentes Existentes		
1	1900	10.00	1,24	2	0	0	32
2	1790	9.34	1.24	2	0	1	25

Fuente: Elaboración Propia

IMAGEN Nª 10 Plano de alternativas superpuertas.

Fuente: Google Earth

Debido a la existencia de una apertura se debe pasar obligatoriamente por los últimos 3km de 8km aproximadamente ya que el trazo empieza en la progresiva 5+000 y termina en la progresiva 10+000 teniendo cultivos a ambos lados del camino respetando en lo posible a estos, como también el camino se encuentra bordeando el rio San Telmo por lo cual no se puede desviar mucho de este, más adelante las condiciones topográficas entre la progresiva 8+000 y 19+000 se tiene un terreno accidentado en montaña el cual no permite desviarse mucho del trazo realizado ya

que esto impondría cortes excesivos y la necesidad de túneles y otras obras de arte mayor las cuales no se justifican en un camino de esta categoría e importancia.

Analizando ambas alternativas y debido tanto al daño ambiental que provoca la construcción de un túnel y que la categoría al que está diseñado el camino es muy baja un túnel quedaría descartado tomando la Alternativa 1 como la mejor opción.

3.4.2. Diseño Geométrico.

El diseño geométrico es el primer aspecto que se considera al diseñar una carretera o camino, es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética y economía de la vía. El presente proyecto adquiere mayor relevancia con el fin de facilitar la incorporación de conceptos a la práctica habitual de diseño de carreteras.

3.4.2.1. Parámetros de diseño geométrico.

Tienen un papel muy importante ya que se toman en cuenta los diferentes factores como los funcionales, físicos, factores de costo y otros que son adoptados del Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

3.4.2.2. Categoría de la vía.

Para definir la categoría se utiliza la norma ABC y la topografía. Como consecuencia de un análisis mecánico, se obtuvo la siguiente clasificación funcional:

TABLA 34. CLASIFICACIÓN PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

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

- UD: Unidireccionales
- BD: Bidireccionales

(n) Número Total de Carriles
- xx Velocidad de Proyecto (km/h)
* Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a la TABLA N° 34., se utilizan las normas de diseño correspondientes a la categoría *Camino de Desarrollo Rural*, teniendo en cuenta la cantidad de tráfico proyectado y principalmente a la topografía (Ondulado Fuerte a Montañoso), ya que está dada para las condiciones para un alineamiento, tanto en lo horizontal como en lo vertical.

3.4.2.3. Velocidad de proyecto (Vp).

Es la velocidad de proyecto que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, bajo condiciones de seguridad y comodidad. Previamente y clasificado el camino con la TABLA N° 34., consideramos las condiciones del terreno para seleccionar la velocidad del proyecto; entonces, del Manual de Diseño Geométrico ABC (2009), se tienen como velocidades referenciales las siguientes:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 50 y 40 Km/hr.
- Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso 30 Km/hr.

Entonces la velocidad del proyecto **Vp= 40 Km/hr.**

3.4.2.4. Características según categoría.

Se tiene la siguiente categoría **D (2)-40** (Camino de Desarrollo Rural de dos carriles y velocidad de 40 Km/hr).

3.4.2.5. Distancia de visibilidad.

La distancia de visibilidad es la longitud continúa hacia adelante del camino, que es visible al conductor del vehículo.

En diseño se consideran dos distancias: la de visibilidad suficiente para detener el vehículo (Distancia de frenado) y la necesaria para que un vehículo adelante a otro (Distancia de visibilidad para sobrepaso) que viaje a una velocidad inferior, en el mismo sentido.

3.4.2.5.1. Distancia de Frenado.

Las distancias mínimas de frenado en función de la velocidad directriz, están unificadas en la TABLA N° 35, para rasantes horizontales.

TABLA 35. DISTANCIA DE FRENADO

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 de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a lo indicado, entonces $D_f = 38\text{m}$.

3.4.2.5.2. Distancia de visibilidad de sobrepaso.

Llamada también distancia de adelantamiento “ D_a ” se requiere solo en caminos con carriles para tránsito bidireccional. A continuación, se muestran los valores mínimos a considerarse en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

TABLA 36. DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

Se hace notar que por las condiciones topográficas de la zona no hay longitudes mayores en recta a 240 m, entonces en la carretera misma las zonas de no adelantar se señalarán, y en aquellas zonas con visibilidad adecuada para adelantar, los conductores actuarán en conformidad con la situación particular que enfrenten.

3.4.2.6. Diseño Planimétrico.

➤ **Curvas horizontales.**

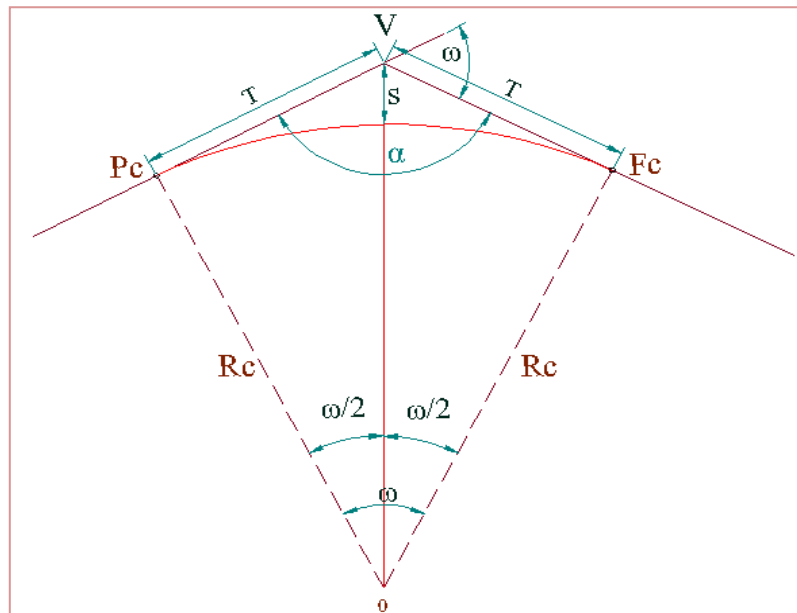
Las curvas horizontales pueden ser de dos tipos: de curvas circulares y curvas clotoide. Para este proyecto sólo se trazó un solo tipo de curva, *curva circular*, debido a la categoría del camino (de Desarrollo y con velocidad de 40 km/hr) y la topografía, ya que la misma es de características de terreno montañoso a ondulado fuerte; por esto está compuesto de diferentes tipos de radios de curvaturas.

➤ **Curvas circulares.**

Según la norma del Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia) se aplican curvas circulares cuando; los caminos de desarrollo tienen una velocidad de proyecto igual a 40 km/h.

Podemos ver como en la Figura N° 11 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

FIGURA N° 11 Elementos de curvas circulares



Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

A continuación, se muestra el cálculo que se realizó utilizando las formulas empíricas para una curva circular.

N° PI. 1

$$\text{Tangente: } T = R \cdot \tan\left(\frac{\omega}{2}\right) = 50 \cdot \tan\left(\frac{44^{\circ}57'23''}{2}\right) = 33.99$$

$$\text{Externa: } E = R \cdot \left(\sec\left(\frac{\omega}{2}\right) - 1\right) = 50 \cdot \left(\sec\left(\frac{44^{\circ}57'23''}{2}\right) - 1\right) = 6.75$$

$$\text{Desarrollo: } D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{180} = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 44^{\circ}57'23''}{180} = 62.81$$

$$\text{Longitud: } L = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\omega}{2}\right) = 2 \cdot 25 \cdot \sin\left(\frac{44^{\circ}57'23''}{2}\right) = 64.46$$

TABLA 37. ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES

Nº PI	DIRECCION	Ang. Deflex.	Radio	Tang.	Long de Curva	Desarrollo	Ordenada Externa	PROGRESIVAS CIRCULAR			UBICACIÓN	
			m	m	m	m	m	(Interseccion)	(Inicio)	(Fin)		
		(Delta = I)	(R)	(T)	(L)	(D)	(E)	PI	PC	PT	PI NORTE	PI ESTE
P11	N23° 39' 24E"	44°57'23"	82,15	33,99	64,46	62,81	6,75	5+050.85	5+016.86	5+081.32	7516201,51	360752,7
P12	N12° 03' 17E"	21°45'07"	110,24	21,18	41,85	41,6	2,02	5+102.50	5+081.32	5+123.17	7516256,67	360753,84
P13	N8° 45' 20E"	28°21'02"	107,79	27,23	53,34	52,8	3,39	5+229.75	5+202.52	5+255.86	7516374,34	360803,61
P14	N12° 27' 00E"	35°44'22"	58,57	18,88	36,54	35,95	2,97	5+274.74	5+255.86	5+292.39	7516420,24	360799,26
P15	N5° 35' 30E"	49°27'22"	51,3	23,63	44,28	42,92	5,18	5+316.02	5+292.39	5+336.68	7516456,94	360820,72
P16	N10° 07' 47E"	58°31'56"	105,87	59,33	108,15	103,51	15,49	5+396.00	5+336.68	5+444.83	7516535,31	360793,53
P17	N28° 08' 30E"	22°30'30"	211,46	42,08	83,07	82,54	4,15	5+619.90	5+577.82	5+660.89	7516716,45	360942,3
P18	N1° 30' 52E"	30°44'46"	92,37	25,4	49,57	48,97	3,43	5+686.29	5+660.89	5+710.46	7516781,01	360961,9
P19	N11° 27' 00E"	50°37'00"	106,6	50,41	94,17	91,14	11,32	5+710.46	5+710.46	5+804.63	7516854,61	360943,74
P110	N40° 22' 50E"	7°14'41"	221,87	14,05	28,05	28,04	0,44	5+874.11	5+860.06	5+888.12	7516950,66	361015,48
P111	N25° 20' 51E"	37°18'40"	68,46	23,11	44,58	43,8	3,8	5+911.23	5+888.12	5+932.70	7516977,39	361041,3
P112	N21° 55' 35E"	30°28'09"	51,82	14,11	27,56	27,23	1,89	6+006.70	5+992.59	6+020.15	7517073,84	361052,62
P113	N25° 51' 58E"	22°35'25"	59,58	11,9	23,49	23,34	1,18	6+032.05	6+020.15	6+043.64	7517094,57	361068,33
P114	N34° 10' 20E"	39°12'10"	98,28	35	67,25	65,94	6,05	6+139.52	6+104.52	6+171.77	7517198,89	361095,44
P115	N24° 53' 47E"	57°45'17"	82,59	45,55	83,25	79,77	11,73	6+217.32	6+171.77	6+255.02	7517246,49	361160,42
P116	N37° 08' 21E"	82°14'25"	60,53	52,84	86,88	79,61	19,82	6+307.86	6+255.02	6+341.90	7517344,64	361153,59
P117	N59° 03' 27E"	38°24'13"	77,32	26,93	51,82	50,86	4,55	6+368.83	6+341.90	6+393.73	7517360,88	361231,69
P118	N24° 56' 23E"	29°49'54"	98,32	26,27	51,35	50,77	3,44	6+420.00	6+393.73	6+445.08	7517401,71	361265,79
P119	N12° 55' 03W"	45°52'59"	75,8	32,08	60,7	59,09	6,51	6+536.55	6+504.47	6+565.17	7517517,66	361286,28
P120	N24° 56' 12E"	121°35'28"	51,36	91,88	108,99	89,66	53,9	6+657.05	6+565.17	6+674.16	7517618,13	361213,67
P121	N67° 01' 18E"	37°25'16"	73,11	24,76	47,75	46,9	4,08	6+698.92	6+674.16	6+721.91	7517626,81	361329,98
P122	N42° 02' 07E"	12°33'06"	50	5,5	10,95	10,93	0,3	6+791.21	6+785.71	6+796.66	7517689,36	361400,22
P123	N28° 55' 22E"	13°40'24"	50	5,99	11,93	11,9	0,36	6+857.67	6+851.67	6+863.60	7517743,33	361439,09
P124	N54° 40' 28E"	65°10'37"	50	31,96	56,88	53,86	9,34	6+953.78	6+921.82	6+978.69	7517832,44	361475,24
P125	S81° 10' 12E"	23°08'03"	77,25	15,81	31,19	30,98	1,6	6+994.50	6+978.69	7+009.88	7517834,72	361522,96
P126	N89° 12' 54E"	42°21'50"	50	19,38	36,97	36,13	3,62	7+088.35	7+068.97	7+105.94	7517801,87	361611,33
P127	N57° 11' 58E"	21°40'02"	50	9,57	18,91	18,8	0,91	7+192.77	7+183.20	7+202.11	7517841,59	361709,82
P128	N74° 47' 52E"	56°51'49"	163,29	88,41	162,06	155,49	22,4	7+290.52	7+202.11	7+364.17	7517909,2	361780,73
P129	S61° 28' 24E"	30°35'38"	50	13,68	26,7	26,38	1,84	7+504.79	7+491.11	7+517.81	7517856,79	362003,68
P130	S26° 25' 34E"	89°20'16"	60,35	59,65	94,09	84,85	24,51	7+726.22	7+666.57	7+760.66	7517753,16	362194,88
P131	S22° 24' 54E"	81°18'56"	84,21	72,32	119,51	109,73	26,79	7+832.99	7+760.66	7+880.17	7517627,82	362153,57
P132	S81° 12' 49E"	36°16'55"	183,35	60,07	116,1	114,17	9,59	7+940.25	7+880.17	7+996.28	7517567,86	362271,61
P133	S88° 23' 44E"	21°55'05"	94,55	18,31	36,17	35,95	1,76	8+014.59	7+996.28	8+032.45	7517580,6	362348,95
P134	S86° 56' 27E"	19°00'32"	82,04	13,74	27,22	27,09	1,14	8+108.47	8+094.74	8+121.96	7517560,08	362441,02
P135	S78° 00' 19E"	36°52'48"	78,22	26,08	50,35	49,48	4,23	8+148.04	8+121.96	8+172.30	7517564,55	362480,59
P136	S55° 31' 18E"	8°05'14"	489,58	34,61	69,1	69,05	1,22	8+206.91	8+172.30	8+241.41	7517533,81	362532,91
P137	S83° 37' 26E"	64°17'29"	73,38	46,11	82,34	78,09	13,29	8+287.52	8+241.41	8+323.75	7517483,53	362596,07
P138	S80° 22' 56E"	70°46'28"	50	35,52	61,76	57,91	11,33	8+423.59	8+388.07	8+449.83	7517546,99	362727,51
P139	S28° 15' 40E"	33°28'04"	95,65	28,76	55,87	55,08	4,23	8+547.86	8+519.11	8+574.98	7517452,54	362821,93
P140	S42° 52' 40E"	62°42'04"	73,05	44,51	79,95	76,02	12,49	8+619.48	8+574.98	8+654.92	7517380,76	362836,57
P141	S65° 05' 43E"	18°15'57"	96,74	15,55	30,84	30,71	1,24	8+670.48	8+654.92	8+685.76	7517364,43	362894,37
P142	N59° 17' 13E"	129°30'03"	64,29	136,33	145,32	116,3	86,43	8+822.09	8+685.76	8+831.08	7517279,42	363020,23
P143	N54° 47' 23E"	120°30'22"	72,91	127,58	153,34	126,6	74,03	8+958.66	8+831.08	8+984.42	7517542,12	362995,1
P144	N84° 56' 43E"	60°11'40"	50	28,98	52,53	50,15	7,79	9+100.03	9+071.05	9+123.58	7517439,19	363215,42
P145	N46° 54' 01E"	15°53'45"	50	6,98	13,87	13,83	0,48	9+271.15	9+264.16	9+278.04	7517540,83	363359,77
P146	N67° 05' 35E"	56°16'54"	58,9	31,5	57,86	55,56	7,7	9+435.40	9+403.90	9+461.75	7517668,64	363463,09
P147	N73° 45' 38E"	42°56'49"	103,21	40,6	77,36	75,57	7,7	9+502.35	9+461.75	9+539.12	7517662,06	363534,89
P148	S87° 30' 39E"	80°24'16"	50	42,26	70,17	64,55	15,46	9+650.27	9+608.02	9+678.18	7517754,89	363654,95
P149	S88° 14' 26E"	81°51'51"	94,56	82	135,1	123,9	30,6	9+760.18	9+678.18	9+813.28	7517670,64	363746,28
P150	N67° 20' 28E"	33°01'40"	104,4	30,95	60,18	59,35	4,49	9+844.23	9+813.28	9+873.46	7517741,98	363833,84
P151	S78° 52' 37E"	34°32'09"	92,08	28,62	55,5	54,66	4,35	9+902.08	9+873.46	9+928.96	7517748,36	363893,07
P152	S78° 26' 40E"	33°40'16"	98,43	29,78	57,84	57,01	4,41	9+958.74	9+928.96	9+986.80	7517720,59	363944,45

Fuente: Diseño Geométrico.

En la TABLA N° 37, se mostrarán los elementos de las curvas horizontales correspondientes al tramo San Telmo (Rio Bermejo) - Playa Ancha.

➤ Radios mínimos.

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están unificados en la TABLA N° 38, que servirá para adoptar un radio mínimo de curvatura, para curvas horizontales.

TABLA 38. RADIOS MÍNIMOS EN CURVAS HORIZONTALES

Caminos colectores – locales - desarrollo			
V_p	e máx	f	R_{min}
Km/h	(%)		(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a lo indicado, entonces $R_{\min} = 50$ m.

➤ Peralte en curvas circulares.

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

De acuerdo a la velocidad de proyecto se define el peralte máximo.

TABLA 39. PERALTE SEGÚN LA VELOCIDAD DE PROYECTO

V_p	e máx
Km/h	(%)
30	7
40	7
50	7
60	7
70	7
80	7

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a lo indicado, entonces $e_{\text{máx}} = 7\%$.

3.4.2.7. Diseño Altimétrico.

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta. A esta línea se la denomina subrasante. Las pendientes que se adopten para subrasante no deben sobrepasar las especificadas en el manual, correspondiendo a la pendiente máxima; es necesario que el cambio se realice gradualmente; para esto se usan las llamadas curvas verticales.

➤ Rasante.

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

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

- Pendientes máximas en rectas.

La Tabla N° 40, establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

TABLA 40. PENDIENTES MÁXIMAS DE LA RASANTE

CATEGORÍA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	(-1)	-
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 de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

Debido a todo lo expuesto en este acápite, se adoptó una pendiente máxima admisible 10% para el proyecto, sin embargo, esta puede llegar a ser 11% si fuera necesario en algún lugar en particular según aclara la norma.

- Enlaces de rasantes.

Después de haber definido la subrasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferente pendiente. Toda vez que la deflexión (θ) es igual o mayor que $0,5\% = 0,005$ m/m, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

En la TABLA N° 41, se resumen los valores de K_v y los valores K_c solo en función de V_p , entonces según lo expuesto:

TABLA 41. PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR CRITERIOS DE VISIBILIDAD DE FRENADO

Velocidad de proyecto	Curvas convexas	Curvas cóncavas
V_p=(km/h)	K_v	K_c
30	300	400
40	400	500
50	700	1000
60	1200	1400
70	1800	1900
80	3000	2600
90	4700	3400
100	6850	4200
110	9850	5200
120	14000	6300

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

➤ **Curvas Verticales.**

Para el diseño geométrico en el alineamiento vertical se han previsto curvas verticales parabólicas de segundo orden, para asegurar un trazado seguro, buena apariencia estética, comodidad a los usuarios, para pasar gradualmente entre dos pendientes adyacentes del perfil longitudinal, proporcionando, como mínimo una distancia de visibilidad igual a la distancia mínima de frenado. A continuación, se mostrará la tabla resumen de las curvas verticales (para las 6 primeras curvas).

TABLA 42. CURVAS VERTICALES.

Nº	Prog.(m)	Elevación (m)	Grado Entrada	Grado Salida	Tipo de curva	Valor de K	Longitud (m)
1	0+642.82m	787.896m	5.84%	9.12%	CONVEXA	10.657	35.000m
2	1+059.30m	825.895m	9.12%	6.10%	CÓNCAVA	23.14	70.000m
3	1+317.56m	841.646m	6.10%	10.00%	CONVEXA	8.978	35.000m
4	1+738.51m	883.729m	10.00%	-10.00%	CÓNCAVA	6.001	120.000m
5	3+198.88m	737.696m	-10.00%	-4.19%	CONVEXA	11.189	65.000m
6	3+636.25m	719.370m	-4.19%	-9.69%	CÓNCAVA	24.557	135.000m
7	3+914.94m	692.370m	-9.69%	-1.24%	CONVEXA	24.866	210.000m
8	4+146.18m	689.497m	-1.24%	-4.32%	CÓNCAVA	19.812	61.000m
9	4+458.12m	676.017m	-4.32%	2.39%	CONVEXA	29.781	200.000m
10	4+763.53m	683.329m	2.39%	-2.61%	CÓNCAVA	23.998	120.000m

Fuente: Elaboración Propia.

El reporte completo está en ANEXO 5 (Diseño Geométrico).

➤ Sección Transversal.

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

TABLA 43. RESUMEN DE SECCIONES TRANSVERSALES TIPO

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORIA	VELOCIDAD PROYECTO (km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO CANTERO CENTRAL - M (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ⁽⁵⁾ ATP = na + 2(be + Se) + M final			
			"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE a 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS	2 PISTAS	
			CALZADAS UNIDIRECCIONALES										
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTOPISTA	120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-
		100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,6	-
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-
		80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-
	COLECTOR	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-
		70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	27	20	-
		60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	26	19	-
CALZADA BIDIRECCIONAL													
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO	100 - 90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	-	14,0
		80	3,5	-	2,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	12,0
	COLECTOR	80	3,5	-	1,5	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	11,0
		70	3,5	-	1,0 - 1,5 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	10 - 11,0
		60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
	LOCAL	50	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
		40	3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
		30	2,0 - 3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	5,0 - 6,0

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

(2) El ancho de las Bermas de Locales y de Desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento.

(3) La Tabla Especifica anchos de SAP en Terraplén; caso sin Barrera de Seguridad SAPE = 0,5 m; con Barrera SAPE = 0,8 m.

(4) Para Ancho Final de Cantero central de 3 y 2 m, los SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una Barrera Rígida de Hormigón con anchos en la base de: Tipo F (0,56 m ó 0,82 m) o New Jersey (0,61 m).

(5) Ancho Total de Plataforma en Terraplén con SAP mínimo = 0,5 m. Para corte cerrado o Perfil Mixto agregar Ancho(s) Cunetas(s) y corregir Ancho del SAP exterior. Si cuneta es revestida Se = 0,0 m - Cuneta sin Revestir Se = 0,5 m. En Unidireccionales "bi" y "si" están comprendidos en el ancho del Cantero central.

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia)

➤ Calzadas.

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los vehículos; la misma está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un mismo sentido

➤ Bermas.

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzada(s); ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

Para el proyecto tenemos una berma de 0.5m de acuerdo a la TABLA 43.

➤ Sobre ancho de plataforma SAP.

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de sub-base y base, de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado.

Hacemos notar que de la TABLA N° 43, se ve que los caminos de desarrollo no tienen sobre ancho interno ni externo, pero para fines académicos se adoptara un sobre ancho de 0.5m.

➤ Bombeos.

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

TABLA 44. BOMBEO DE LA CALZADA.

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	$(I^1_{10}) \leq 15 \text{ mm/h}$	$(I^1_{10}) > 15 \text{ mm/h}$
Pav. De Hormigón o asfalto	2.0	2.5
Tratamiento superficial	3.0	3.5
Tierra, grava, chancado	3.0 -3.5	3.5-4.0

Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC

Entonces de esta TABLA 44, se tiene un bombeo del 2.50%.

Una vez definido el peralte y sobre ancho se presentará TABLAS de replanteo de peraltes y sobre anchos en el siguiente formato.

TABLA 45. TABLA DE REPLANTEO

PROG.	Dist.	Peralte	Sobre Ancho	S+ Berma (m)
	(m)	%	S [m]	

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, presentaremos tablas de replanteo de peraltes y sobre anchos para las curvas horizontales, se hace notar que para el replanteo de peraltes se analizaron dos casos, el primero cuando se tiene espacio entre curvas para la transición con una longitud mínima de 20m (inicia en recta) para inicio y final de curva, el segundo caso cuando no hay espacio para transición la distancia será 25% de la longitud de la curva L_c , en este caso la transición se dará dentro de la curva. Ambos casos tienen como referencia al manual de diseño geométrico AASHTO 93.

PI:	5+ 051	PC:	5+ 017	e = 7%
PT:	5+ 081	25% LC:	16,115	S = 0,50m
CURVA 1				
PROG.	Distancia	Peralte	Sobre Ancho	S+Berma (m)
	(m)	%	S [m]	
5+ 017	0,00	0,00%	0,00	0,50
5+ 025	8,06	3,50%	0,25	0,75
5+ 033	8,06	7,00%	0,50	1,00
5+ 051	17,88	7,00%	0,50	1,00
5+ 065	14,35	7,00%	0,50	1,00
5+ 073	8,06	3,50%	0,25	0,75
5+ 081	8,06	0,00%	0,00	0,50

PI:	9+ 435	PC:	9+ 404	e = 7%
PT:	9+ 462	LC:	57,85	S = 0,50m
CURVA 46				
PROG.	Distancia	Peralte	Sobre Ancho	S+Berma (m)
	(m)	%	S [m]	
9+ 384	0,00	0,00%	0,00	0,50
9+ 394	10,00	3,50%	0,25	0,75
9+ 404	10,00	7,00%	0,50	1,00
9+ 435	31,50	7,00%	0,50	1,00
9+ 462	26,35	7,00%	0,50	1,00
9+ 472	10,00	3,50%	0,25	0,75
9+ 482	10,00	0,00%	0,00	0,50

PI:	9+ 959	PC:	9+ 929	e = 7%
PT:	9+ 987	25% LC:	14,46	S = 0,50m
CURVA 52				
PROG.	Distancia	Peralte	Sobre Ancho	S+Berma (m)
	(m)	%	S [m]	
9+ 929	0,00	0,00%	0,00	0,50
9+ 936	7,23	3,50%	0,25	0,75
9+ 943	7,23	7,00%	0,50	1,00
9+ 959	15,32	7,00%	0,50	1,00
9+ 972	13,60	7,00%	0,50	1,00
9+ 980	7,23	3,50%	0,25	0,75
9+ 987	7,23	0,00%	0,00	0,50

Hacemos notar que, debido a la gran cantidad de curvas replanteadas, el resto de las mismas estará en ANEXO 5 (Diseño Geométrico).

➤ Taludes de Corte y Relleno

Para el cálculo de los taludes de corte y relleno se utilizará el método del factor de seguridad debido a que se disponen de los datos necesarios para este, obteniéndolos mediante tablas en relación a datos de laboratorio como se puede ver a continuación.

TABLA 46. ÁNGULOS DE FRICCIÓN INTERNA Y PESO ESPECÍFICO DE SUELOS

Tipo de suelo	Consistencia	Angulo de fricción interna ϕ en grados	Peso específico en kg/cm ²
Arena gruesa o arena con grava	Compacta	40	2250
	suelta	35	1450
Arena media	Compacta	40	2080
	suelta	30	1450
Arena limosa fina o limo arenoso	Compacta	30	2080
	suelta	25	1365
Limo uniforme	Compacta	30	2160
	suelta	25	1365
Arcilla - limo	Suave a mediana	20	1440 - 1920
Arcilla limosa	Suave a mediana	15	1440 - 1920
Arcilla	Suave a mediana	0.1	1440 - 1920

Fuente: Rico. Del Castillo. (2005) La Ingeniería de los suelos en las vías terrestres. Vol. 2.

México: Limusa S.A.

De la tabla 46 se obtuvieron dos ángulos de fricción interna, uno para cada tipo de suelo que se encuentra en el camino, para el primero que se clasifica como una arena con grava con un peso específico de 2179 kg/cm² tenemos un Angulo de 35° para el corte y de 40° para el relleno, para el segundo caso tenemos una arcilla que pasa a ser orgánica en un tramo e inorgánica en otro sin embargo esta presenta en ambos casos cantidades de limo por el 10% por lo cual no se puede considerar una arcilla pura, y dispone de un peso específico de 1730 kg/cm² aproximadamente, por lo cual se toma un Angulo de 15°

Para el factor de seguridad se tomará el valor recomendado por la tabla 47 en la cual para este tipo de cálculo se utiliza de 1.2 a 1.3 por lo cual asumiremos un F.S. = 1.3 Ya que este camino no es de gran importancia.

TABLA 47. FACTORES DE SEGURIDAD EN LOS SUELOS

Parámetro del suelo	F.S.
c (cohesión)	2.0 a 2.5
ϕ (ángulo de fricción interna)	1.2 a 1.3
Cimentaciones	
Construcción temporales	1.5
a) Datos del suelo y cargas razonablemente exactos y definitivos	2.5
b) La carga accidental es descartada	2
c) Máxima combinación de cargas con viento o con sismo	1.5
d) Cimentación con condiciones dudosas	4
Muros de contención	
Seguridad contra el volteo	2
Seguridad contra el deslizamiento	1.5
Seguridad contra el aplastamiento	
Terrenos granulares	2
Terrenos cohesivos	3

Fuente: Rico, Del Castillo.(2005) La Ingeniería de los suelos en las vías terrestres. Vol. 2.

México: Limusa S.A.

Una vez obtenidos estos datos se procede al cálculo del Angulo que se utilizara para los taludes de corte y relleno para los diferentes suelos.

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

En donde:

ϕ = *angulo de rozamiento interno del suelo*

β = *angulo de reposo entre el talud y la horizontal*

FS = *Facto de seguridad (1.2)*

despejando tenemos:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{FS} \right)$$

Calculo del talud de corte y relleno 5+000 – 8+000

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{FS} \right)$$

Datos:

$$FS = 1.3$$

$$\phi = 55^\circ \text{ Corte} - 50^\circ \text{ Relleno}$$

Corte $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 55^\circ}{1.3} \right) = 47.69^\circ$ Asumimos 45°

Relleno $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 50^\circ}{1.3} \right) = 42.51^\circ$ Asumimos 40°

Pasamos a convertirlo:

Corte $m_1 = \tan 45 = 1$

Relleno $m_2 = \tan 40 = 0.84$

Calculo del talud de corte y relleno 8+000 – 10+000

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{FS} \right)$$

Datos:

$$FS = 1.3$$

$$\phi = 75^\circ \text{ Corte} - 50^\circ \text{ Relleno}$$

Corte $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 75^\circ}{1.3} \right) = 70.80^\circ$ Asumimos 70°

Relleno $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 50^\circ}{1.3} \right) = 42.51^\circ$ Asumimos 40°

Pasamos a convertirlo:

Corte $m_1 = \tan 70 = 2.74$

Relleno $m_2 = \tan 40 = 0.84$

De acuerdo a la categoría adoptada y las condiciones topográficas de la zona de estudio, se adoptó para el proyecto, una velocidad de diseño de 40 km/hr. Sobre la base de este valor se calculan o se asumen el resto de los parámetros de diseño. Además, el tramo comprende una longitud de 5.0 km, los cuales se pretende mejorar el alineamiento horizontal y vertical, aumentando los radios de curvatura mayores o iguales a 50m, pendiente máxima de un 10%, ancho de plataforma de 7m con taludes (V:H) 1:1 en corte en suelo granular, con talud 2.74:1 en suelo arcilloso y 0.84:1 en relleno en todo el tramo.

TABLA 48. RESUMEN DE PARÁMETROS

CARACTERÍSTICA	PARÁMETRO
Categoría de la carretera	Desarrollo
Calzada (m)	6.0
Carril (m)	Simple 3.00
Berma (m)	0.5 m
Topografía	Montañoso
Velocidad de proyecto (km. /hr.)	40.0
Peralte máximo (%)	7.0
Radio mínimo (m)	50.0
Pendiente máxima en rectas (%)	10

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.8. Movimiento de tierras.

Cálculo de volumen de excedentes:

$$E_c = \sum \text{Excedente de corte}$$

$$E_R = \sum \text{Excedente de relleno}$$

$$V_c = \text{Volumen de excedente} = E_c + E_R$$

A continuación, en la siguiente tabla se mostrará el movimiento parcial (la tabla completa se la mostrará en el ANEXO 5., Diseño Geométrico).

TABLA 49. MOVIMIENTO DE TIERRAS

<u>Progresiva</u>	<u>Vol. Acum de Corte</u>	<u>Vol. Acum de Relleno</u>	<u>Volumen Neto</u>
5+000.000	0.00	0.00	0.00
5+020.000	257.49	0.00	257.49
5+030.000	424.15	0.91	423.24
5+040.000	554.02	2.90	551.13
5+050.000	747.16	3.98	743.18
5+060.000	1032.45	3.98	1028.48
5+070.000	1374.36	3.98	1370.38
6+000.000	17100.93	2952.77	14148.17
6+010.000	17177.60	2952.77	14224.83
6+020.000	17229.62	2954.98	14274.63
9+870.000	197402.73	100253.92	97148.82
9+880.000	197474.40	100540.57	96933.83
9+890.000	197478.91	101139.35	96339.57
9+900.000	197478.91	102080.87	95398.04
9+910.000	197478.91	103364.78	94114.14
9+920.000	197478.91	104750.45	92728.46
9+930.000	197478.91	105941.83	91537.09
9+940.000	197478.91	107109.38	90369.54
9+950.000	197478.91	107989.94	89488.97
9+960.000	197541.31	108438.06	89103.25
9+970.000	197645.14	108654.24	88990.91
9+980.000	197715.41	108805.35	88910.06
10+000.000	198320.28	108950.27	89370.01
10+006.408	198614.90	108950.27	89664.62

Fuente: Elaboración Propia

Volumen de excedencia = $198614.90 - 108950.27 = 89664.62 \text{ m}^3$

Volumen de excedencia = 89664.62 m^3

Se adoptará una distancia libre de acarreo de 300m obteniendo los siguientes volúmenes libre de acarreo obtenidos del Diagrama Masa que se encuentra en el Anexo 11.

$VLA = (116000 - 105500) + (94000 - 79000) = 25500 \text{ m}^3$

$VLA = 25500 \text{ m}^3$

3.4.3. Diseño Estructural.

3.4.3.1. Alternativas de rodadura.

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

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

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

3.4.3.2 Parámetros de entrada comunes para el diseño.

Los parámetros de entrada comunes al diseño para el pavimento flexible y tratamiento superficial son:

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

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

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

3.4.3.3. Pavimento flexible.

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

3.4.3.4. Métodos para el Diseño de Espesores

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

éstos tenemos:

- El método AASHTO - 93.
- El método de CBR.
- El método de índice de Grupo.

En este proyecto se diseñarán los espesores del paquete estructural con el Método AASHTO - 93, esto debido a que este método tiene mayores datos de entrada que los anteriores y toma en cuenta varios factores.

➤ Método AASHTO – 93.

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

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 = Perdida de serviciabilidad (serviciabilidad inicial menos serviciabilidad final)

M_r = Módulo de resilienci.

SN = Número estructural.

El valor de M_r la relación es: $M_r = 1500 * \text{CBR}$

Expresada en [Psi], formula empírica según AASTHO.

Las variables a Considerarse en el Método AASHTO son:

En Función al Tiempo. Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- 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 50. PERÍODO 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

Se adoptó un periodo de diseño de 20 años.

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 51. NIVELES DE CONFIABILIDAD

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

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

Se asumirá una Confiabilidad $R=80\%$, de acuerdo a este valor se tiene $Z_r=0.841$.

Serviciabilidad. Los criterios para determinar la Serviciosabilidad de una estructura de pavimento, se basan en la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciosabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciosabilidad (PSI) inicial y la serviciosabilidad final; el PSI inicial es función directa de la estructura del pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, el PSI final, va en función de la categoría del camino.

Serviciabilidad Inicial.

PSI = 4.5 para pavimentos rígidos.

PSI = 4.2 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad Final

PSI = 2.5 o más para caminos principales.

PSI = 2.0 para caminos de tránsito menor.

Entonces tenemos PSI inicial= 4.2 y PSI final= 2.0

Drenaje. 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 52. 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

La calidad del drenaje es expresada 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 53. 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
Regula	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.

Para desviación estándar (So). Se recomienda usar los valores comprendidos entre los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles 0.40-0.50

Para pavimentos rígidos 0.30-0.40

El valor recomendado que utiliza la varianza del tránsito futuro es $S_o=0.49$

3.4.3.5. Diseño de espesores






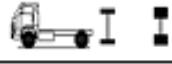
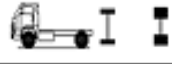
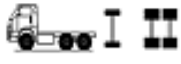
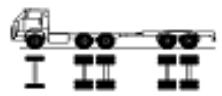
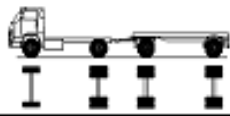
Anteriormente presentamos la fórmula AASTHO de diseño para pavimentos flexibles y las variables que intervienen en ella, esta fórmula puede resolverse en forma manual a través de iteraciones para obtener el número estructural SN y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural. Para empezar el cálculo iniciamos con la conversión de los Vehículos a ESAL's/vehículo para transformar cada tipo de carga que actuará sobre el pavimento se determina el factor de equivalencia de carga LEF (Load Equivalent Factor). Entonces se comenzó de la siguiente manera:

Calculo del Factor Camión. LEF, es una manera de expresar los ejes en ESAL's, pero es necesario saber el daño que producen los diferentes tipos de vehículos en el pavimento con los varios tipos de ejes que posee. Factor camión es el número de ESAL's que equivale un vehículo.

Configuración de Ejes de los Vehículos. De acuerdo con los censos de origen y destino, la configuración de los ejes de los vehículos se puede ver en la Tabla 52.

Para la construcción del pavimento se realizaron los estudios de suelos necesarios para la construcción de este adjuntándose en el Anexo 6.

TABLA 54. CONFIGURACIÓN DE EJES

MEDIO DE TRANSPORTE	PESO TOTAL (Tn)	PESO POR EJES (Tn)		
		EJE	NOMENCLATURA	CARGA POR EJE
VEH.LIV 	3.00	Del.	1.00	1.00
		Post. 01	1.00	1.00
CAMIONETA 	3.50	Del.	1.00	1.60
		Post. 01	1.00	3.30
MINIBUS 	5.00	Del.	1.00	3.00
		Post. 01	1.00	6.20
BUS MEDIANO 	7.00	Del.	1.00	4.20
		Post. 01	1.00	8.30
BUS GRANDE 	18.00	Del.	1.00	7.00
		Post. 01	2.00	14.00
VEHICULOS PESADOS				
C=CAMION				
MEDIANO (C1-1) 	14.00	Del.	1.00	5.60
		Post. 01	1.00	5.60
GRANDE (C1-1) 	18.00	Del.	1.00	5.60
		Post. 01	1.00	8.80
GRANDE (C1-1-1) 	25.00	Del.	1.00	5.60
		Post. 01	2.00	14.40
CAMIÓN + A COPLADO				
CAM.SI REMOLQUE (1-1-1-2) 	36.00	Del.	1.00	5.60
		Post. 01	2.00	14.40
		Post. 02	2.00	14.40
CAM.REMOLQUE (1-1-1-1) 	40.00	Del.	1.00	5.60
		Post. 01	2.00	11.20
		Post. 02	1.00	8.80
		Post. 03	1.00	8.80

Fuente: Teoría Flujo de Tráfico en Vías

Entonces tenemos la siguiente tabla de tipo de vehículo:

TABLA 55. TIPOS DE VEHÍCULO

Tipo de Vehículo	TPD [veh/día]	Tipo de Vehículo
Livianos	29	Camioneta
Medianos	13	Bus Mediano
Pesados	17	Camión Grande

Fuente: Elaboración Propia.

Para las cargas de los Ejes, según el Decreto Ley N°11771, los Límites de la Ley de Cargas para los diferentes tipos de ejes se pueden ver en la tabla 55.

TABLA 56. LÍMITES DE CARGAS POR EJE DECRETO LEY N°11771

Carga Máxima para Eje Delantero:	7,00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero simple (llanta doble):	11,00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero Tandem (llanta doble):	18,00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero Tridem (llanta doble):	25,00 ton.

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

Con estos datos de tipo de vehículo y límites de cargas por eje (Ley de Cargas), obtenemos el Factor de carga Equivalente, con la ayuda del programa DIPAV 2.0, tenemos:

TABLA 57. FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE

Tipo de Vehículo	Tipo de Vehículo	Factor de Carga Equiv.
Livianos	Camioneta	0.0265
Medianos	Bus Mediano	1.1329
Pesados	Camión Grande	1.5531

Fuente: DIPAV 2.0

Entonces con los datos completos aplicamos la fórmula:

Se tiene la siguiente tabla de resultados.

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

Donde:

W18 = Número de ejes Equivalentes

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

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

(IC)_i = Índice de crecimiento del vehículo tipo i

(N) = Número de años hasta el período de diseño: (20 años).

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

TABLA 58. RESULTADOS W18

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
LIVIANOS	8602
MEDIANOS	164856
PESADOS	295541
TOTAL EJES EQUIVALENTES	468999.54

Fuente: Elaboración Propia.

$$W18 = 468999.54$$

Aplicando con este valor la fórmula AASHTO 93.

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

A continuación, se calcula los espesores de capas en base al número estructural SN.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

CALCULO DE ESPESORES PROGRESIVAS 8+000 – 10+000**TABLA 59. DATOS ASUMIDOS**

Material	CBR (%)	Mr (Psi)	a i	m i
Concreto Asfáltico		450000	0,44	----
Base Piedra chancada	65,00	36954	0,13	1,00
Sub-base Granular	18,00	16247	0,10	0,80
Subrasante	17,50	15957	----	----

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$D1 \geq 12,12 \text{ [cm Adoptamos } 6,00 \text{ [cm]} \quad SN1: 2,64$$

$$D_2 \geq \frac{SN_{sb} - SN_2}{a_2 * m_2}$$

$$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$$

$$D2 \geq 9,39 \text{ [cm Adoptamos } 10,00 \text{ [cm]} \quad SN2: 1,30$$

$$D_2 \geq \frac{SN - (SN_1 + SN_2)}{a_3 * m_3}$$

$$SN_2 = a_3 * m_3 * D_3$$

$$D3 \geq 18,06 \text{ [cm Adoptamos } 20,00 \text{ [cm]} \quad SN3: 1,60$$

$$SN \leq SN_1 + SN_2 + SN_3 = 5,54 \geq 5,38$$

$$SN = 2,12 \text{ [pulg]} \quad \text{Número Estructural}$$

$$SN = 5,38 \text{ [cm]}$$

$$SN_b = 2,10 \text{ [pulg]} \quad \text{Número Estructural de la capa base}$$

$$SN_b = 5,33 \text{ [cm]}$$

$$SN_{sb} = 1,52 \text{ [pulg]} \quad \text{Número Estructural de la capa Sub base}$$

$$SN_{sb} = 3,86 \text{ [cm]}$$

Los valores de los coeficientes estructurales fueron obtenidos del IBCH Diseño de Pavimentos AASHTO-93, pg. 166 Tabla 8.3. Propiedades de los materiales.

CALCULO DE ESPEORES PROGRESIVAS 8+000 – 10+000**TABLA 60 DATOS ASUMIDOS**

Material	CBR (%)	Mr (Psi)	a i	m i
Concreto Asfáltico		450000	0,44	----
Base Piedra chancada	65,00	36954	0,13	1,00
Sub-base Granular	18,00	16247	0,10	0,80
Subrasante	1,00	1500	0,10	0,50
Subrasante Mejorada	17,50	15957	0,10	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

$M_R = 1500 * CBR$ [PSI] Fórmula Empírica Según AASTHO CBR < 10%

$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$ [PSI] Fórmula Empírica Para todo tipo de suelo

SN = 4,82 [pulg] Número Estructural

SN = 12,23 [cm]

SNb = 1,52 [pulg] Número Estructural de la capa base

SNb = 3,86 [cm]

SNsb = 2,10 [pulg] Número Estructural de la capa Sub base

SNsb = 5,33 [cm]

SNsr = 2,12 [pulg] Número Estructural de la Subrasante mejorada

SNsr = 5,38 [cm]

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

$$D1 \geq 8,77 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$6,00 \text{ [cm]} \quad SN1 = 2,64$$

$$D_2 \geq \frac{SN_{sb} - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D2 \geq 20,72 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$20,00 \text{ [cm]} \quad SN2 = 2,60$$

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

$$D3 \geq 1,45 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$10,00 \text{ [cm]} \quad SN3 = 1,00$$

$$D_4 \geq \frac{SN - (SN_1 + SN_2 + SN_3)}{a_4 * m_4}$$

$$D4 \geq 59,90 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$60,00 \text{ [cm]} \quad SN3 = 6,00$$

$$SN \leq SN_1 + SN_2 + SN_3 + SN_4 = 12,24 \geq 12,23$$

Por otro lado, en el segundo tramo al disponer una subrasante de CBR=1% por lo cual se calculó una subrasante mejorada de 60cm de suelo sobrante de los primeros 3km como también así de un banco de préstamo ubicado en la zona, obteniendo un CBR=17.50%.

TABLA 61. PAQUETE ESTRUCTURAL PAVIMENTO FLEXIBLE.

TRAMO	PROG.	CBR DE DISEÑO	PAVIMENTO FLEXIBLE				
			MÉTODO DE DISEÑO AASTHO				
			C. RODAD (cm)	C. BASE (cm)	C. SUB-BASE (cm)	SUBRASANTE MEJORADABA (cm)	TOTAL(cm)
San Telmo (Rio Bermejo) - Playa Ancha	5+000 - 8+000	17.50 %	6	10	20	0	36
San Telmo (Rio Bermejo) - Playa Ancha	8+000 - 10+000	1.00 %	6	10	20	60	96

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3.6. Tratamiento Superficial Doble (TSD).

Para el diseño del Tratamiento Superficial Doble, se aplicará la misma fórmula de número estructural SN variando únicamente el coeficiente de la Capa de Rodadura para TSD que es $a_1=0.27$ obtenido el dato de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO 1993.

Entonces aplicando la fórmula reemplazando los datos y despejando el h_1 , espesor de la capa de rodadura, se tiene:

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

$M_R = 1500 * CBR$	[PSI]	Fórmula Empírica Según AASTHO CBR < 10%
$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$	[PSI]	Fórmula Empírica Para todo tipo de suelo
SN = 2,12	[pulg]	Número Estructural
SN = 5,38	[cm]	
SNb = 2,10	[pulg]	Número Estructural de la capa base
SNb = 5,33	[cm]	
SNsb = 1,52	[pulg]	Número Estructural de la capa Sub base
SNsb = 3,86	[cm]	

TABLA 62 DATOS ASUMIDOS

Material	CBR (%)	Mr (Psi)	a i	m i
Concreto Asfáltico		450000	0,27	----
Base Piedra chancada	65,00	36954	0,13	1,00
Sub-base Granular	18,00	16247	0,10	0,80
Subrasante	17,50	15957	----	----

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$D_1 \geq 19,76 \text{ [cm Adoptamos } 2,50 \text{ [cm]} \quad SN_1 = 0,68$$

$$D_2 \geq \frac{SN_{sb} - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$$

$$D_2 \geq 24,51 \text{ [cm Adoptamos } 20,00 \text{ [cm]} \quad SN_2 = 2,60$$

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

$$SN_3 = a_3 * m_3 * D_3$$

$$D_3 \geq 26,37 \text{ [cm Adoptamos } 30,00 \text{ [cm]} \quad SN_3 = 2,40$$

$$SN \leq SN_1 + SN_2 + SN_3 \quad 5,68 \geq 5,38$$

$$M_R = 1500 * CBR \quad [\text{PSI}] \quad \text{Fórmula Empírica Según AASTHO CBR} < 10\%$$

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64} [\text{PSI}] \quad \text{Fórmula Empírica Para todo tipo de suelo}$$

$$SN = 4,82 \quad [\text{pulg}] \quad \text{Número Estructural}$$

$$SN = 12,23 \quad [\text{cm}]$$

$$SN_b = 1,52 \quad [\text{pulg}] \quad \text{Número Estructural de la capa base}$$

$$SN_b = 3,86 \quad [\text{cm}]$$

$$SN_{sb} = 2,10 \quad [\text{pulg}] \quad \text{Número Estructural de la capa Sub base}$$

$$SN_{sb} = 5,33 \quad [\text{cm}]$$

$$SN_{sr} = 2,12 \quad [\text{pulg}] \quad \text{Número Estructural de la Subrasante mejorada}$$

$$SN_{sr} = 5,38 \quad [\text{cm}]$$

TABLA 63 DATOS ASUMIDOS

Material	CBR (%)	Mr (Psi)	a i	m i
Concreto Asfáltico		450000	0,27	----
Base Piedra chancada	65,00	36954	0,13	1,00
Sub-base Granular	18,00	16247	0,10	0,80
Subrasante	1,00	1500	0,10	0,50
Subrasante Mejorada	17,50	15957	0,10	1,00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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

$$D_1 \geq 14,30 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$SN_1 = 0,68$$

$$D_2 \geq \frac{SN_{sb} - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 \geq 35,84 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$$

$$SN_2 = 2,60$$

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

$$D_3 \geq 21,10 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$SN_3 = a_3 * m_3 * D_3$$

$$SN_3 = 3,00$$

$$D_4 \geq \frac{SN - (SN_1 + SN_2 + SN_3)}{a_4 * m_4}$$

$$D_4 \geq 59,55 \text{ [cm] Adoptamos}$$

$$SN_4 = a_4 * m_4 * D_4$$

$$SN_4 = 6,00$$

$$SN \leq SN_1 + SN_2 + SN_3 + SN_4 = 12,28 \geq 12,23$$

TABLA 64. PAQUETE ESTRUCTURAL TSD.

TRAMO	PROG.	CBR DE DISEÑO	PAVIMENTO FLEXIBLE				
			MÉTODO DE DISEÑO AASTHO				
			C. RODAD (cm)	C. BASE (cm)	C. SUB-BASE (cm)	SUBRASANTE MEJORADABA (cm)	TOTAL(cm)
San Telmo (Rio Bermejo) - Playa Ancha	5+000 - 8+000	17.50 %	2.50	20.00	30.00	0	52.50
San Telmo (Rio Bermejo) - Playa Ancha	8+000 - 10+000	1.00 %	2.50	20.00	30.00	60.00	112.50

Fuente: Elaboración Propia.

Se optó por la primera alternativa con cemento asfáltico ya que tenemos espesores de capa base considerablemente menores.

3.4.4. Diseño de Drenaje.

El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia.

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor; su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello, se debe dar especial atención a su diseño.

3.4.4.1. Alcantarilla.

En el presente estudio se proyecta la construcción de alcantarillas de sección circular de Chapa ARMCO de diferentes diámetros según el caudal que se presenta

Alcantarillas de Alivio y Paso. Construcción de 7 alcantarillas de paso y 25 alcantarillas de Alivio para los cursos de agua que se encuentran los siguientes tramos:

TABLA 65. UBICACIÓN ALCANTARILLAS DE PASO.

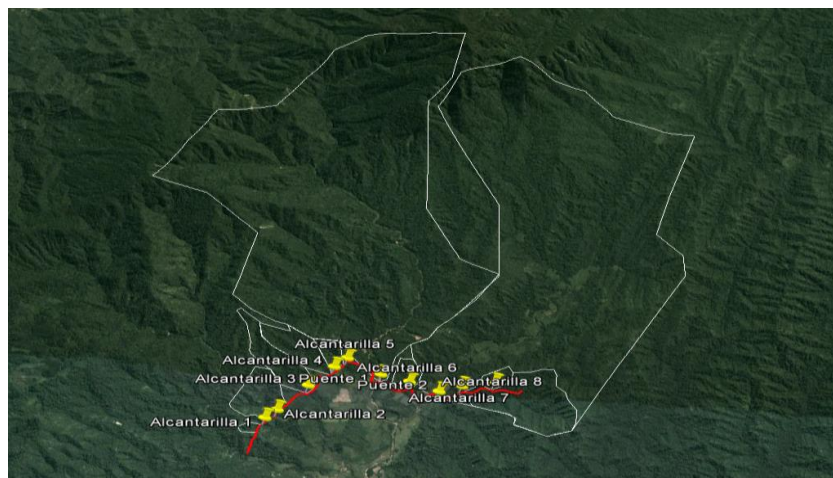
Tramo San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha	
prog. 5+520.00	prog. 7+210.00
prog. 5+750.00	prog. 8+450.00
prog. 6+360.00	prog. 9+400.00
prog. 6+870.00	

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 66. UBICACIÓN ALCANTARILLAS DE ALIVIO.


Tramo San Telmo (Rio Bermejo) – Playa Ancha	
prog. 5+000.00	prog. 8+030.00
prog. 5+140.00	prog. 8+140.00
prog. 5+260.00	prog. 8+380.00
prog. 5+480.00	prog. 8+695.00
prog. 5+565.00	prog. 8+790.00
prog. 5+860.00	prog. 8+880.00
prog. 6+160.00	prog. 9+040.00
prog. 6+540.00	prog. 9+200.00
prog. 6+680.00	prog. 9+460.00
prog. 6+870.00	prog. 9+610.00
prog. 7+000.00	prog. 9+837.00
prog. 7+120.00	prog. 10+000.00
prog. 7+900.00	

Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN Nª 11 Áreas de Cuencas

Fuente: Google Earth.

A continuación, mostraremos el diseño hidráulico de una alcantarilla de Alivio, teniendo el resto de las alcantarillas calculadas en anexos.

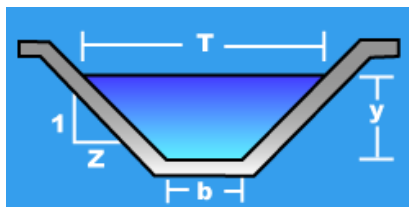
DISEÑO FINAL DE INGENIERIA APERTURA CAMINO SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA			
DISEÑO DE ALCANTARILLA DE TUBO DE CHAPA ARMCO			
Progresiva 6+360,00			
Ecuación Racional:			
$Q_d = \frac{C * i * A}{360}$			
Q = Caudal (m³/seg)			
i = Intensidad de precipitación en los 10 min. de maxima concentración (mm/h)			
C = Coeficiente de escorrentía (C=0.55 Zona con vegetacion media)			
A = Area de aporte (Ha)			
Datos:			
i = 30,81 mm/h			
C = 0,55			
A = 46,40 has			
n = 0,025 Coeficiente de rugosidad (n=0.025 Acueductos semicirculares, metálicos corrugados)			
Remplazando tenemos: Q = 2,184 m3/seg			
Calculando el tirante normal aplicando el programa de "HCANALES" de (Máximo Villón Béjar) se tiene los siguientes resultados:			
Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="2.184"/>	m3/s	
Diámetro (d):	<input type="text" value="1.3"/>	m	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/>	m/m	
			
Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.9379"/>	m	Perímetro mojado (p): <input type="text" value="2.6386"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="1.0253"/>	m²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.3886"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.1655"/>	m	Velocidad (v): <input type="text" value="2.1300"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.7251"/>		Energía específica (E): <input type="text" value="1.1692"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		
Se tiene como resultado un tirante normal de: y = 0,9400 m			
y + borde libre = 1,04 m			
Se asume un diametro minimo comerciable Tubo de Chapa ARMCO de D=1.30m			

3.4.4.2 Cunetas.

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

Debido a la facilidad constructiva y considerando que se tiene de mucha precipitación en la zona se opta por una sección trapezoidal con taludes simétricos 1:2, ya que esta es la más eficiente hidráulicamente.

FIGURA Nª 12. Sección de Diseño Tipo.



Fuente: Elaboración Propia

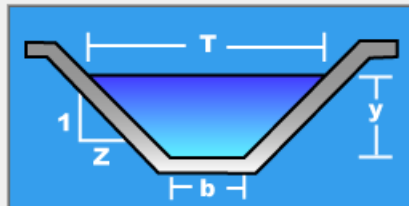
A continuación, mostraremos el diseño de la cuneta más desfavorable logrando así verificar el resto de las cunetas.

DISEÑO FINAL DE INGENIERIA APERTURA CAMINO SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA							
DISEÑO DE CUNETA REVESTIDA DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA							
				Prog.	7+850 - 8+880		
Ecuación Racional:				$Q_d = \frac{C * i * A}{360}$			
Q = Caudal (m³/seg)							
i = Intensidad de precipitación en los 10 min. de máxima concentración (mm/h)							
C = Coeficiente de escorrentía (C=0.55 Zona con vegetación media)							
A = Área de aporte (Ha)							
Datos:							
i = 30,81 mm/h							
C = 0,55							
A = 2,06 ha							
n = 0,025 Coeficiente de rugosidad (n=0.025 canales mampostería de piedra con cemento)							
b = 0,00 m							
S = 10,00 % Pendiente del tramo							
Remplazando:				Q = 0,0970 m3/seg			

Calculando el tirante normal aplicando el programa de "HCANALES" de (Máximo Villón Béjar) se tiene los siguientes resultados:

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.097"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.30"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.1"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0963"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.7308"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0475"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0649"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6853"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="2.0437"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.4795"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3092"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		Cuidado velocidad erosiva		

Se dispone de una cuneta con dimensiones mínimas según norma iguales a :

z=2 h=25cm b=30cm

Por lo cual podemos verificar las dimensiones

IMAGEN N° 12 Plano de áreas de cunetas.



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 67. Ubicación de Cunetas

LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO			
P. INICIAL		P. FINAL	LONGITUD	P. INICIAL		P. FINAL	LONGITUD
5+ 000	-	5+ 020	20	5+ 000		5+ 020	20
5+ 020	-	5+ 050	30		-		0
5+ 050	-	5+ 090	40	5+ 050	-	5+ 090	40
5+ 140	-	5+ 240	100	5+ 140	-	5+ 240	100
5+ 260	-	5+ 430	170	5+ 260	-	5+ 430	170
			0	5+ 430	-	5+ 460	30
5+ 480	-	5+ 500	20	5+ 480	-	5+ 500	20
5+ 500	-	5+ 650	150				0
5+ 860	-	5+ 890	30	5+ 860	-	5+ 890	30
5+ 910	-	6+ 020	110	5+ 910	-	6+ 020	110
6+ 020	-	6+ 040	20				0
6+ 160	-	6+ 200	40	6+ 160	-	6+ 200	40
6+ 540	-	7+ 120	580	6+ 540	-	7+ 120	580
7+ 120	-	7+ 158	38	7+ 120	-	7+ 158	38
7+ 850	-	7+ 900	50	7+ 850	-	7+ 900	50
			0	7+ 900	-	7+ 930	30
			0	7+ 960	-	8+ 030	70
8+ 030	-	8+ 380	350	8+ 030	-	8+ 380	350
8+ 600	-	8+ 790	190	8+ 600	-	8+ 790	190
8+ 790	-	8+ 880	90				0
8+ 920	-	9+ 040	120				0
9+ 040	-	9+ 200	160	9+ 040	-	9+ 200	160
9+ 410	-	9+ 770	360	9+ 410	-	9+ 770	360
9+ 770	-	9+ 837	67	9+ 770	-	9+ 837	67
9+ 980	-	10+ 000	20	9+ 980	-	10+ 000	20
SUB TOTAL			2755	SUB TOTAL			2475
TOTAL (m)						5230	

Fuente: Elaboración propia.

3.5. CÓMPUTOS MÉTRICOS.

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

- 1.- Determinar la cantidad de material necesario para ejecutar la 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 8. (Cálculos Métricos y Presupuesto).

TABLA 68. RESUMEN DE CÁLCULOS MÉTRICOS

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Nº DE VECES	LARGO (m)	AREA (m2)	ALTO (m)	TOTAL PARCIAL	TOTAL
1	OBRAS PRELIMINARES							
1.1	INSTALACION DE FAENAS	glb	1				1.00	1.00
1.2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	km	1	5.00			5.00	5.00
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha Grande 0+000 - 5+000.01							
1.3	LIMPIEZA DE TERRENO Y DESBROCE	ha						3.46
	Tramo San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha						Convertido a Ha	
	Inicio Tramo hasta Inicio Puente (Prog. 0+000 - 0+102)			102.00	7.00		0.07	
	Fin de Puente hasta Inicio Puente 35m (Prog. 0+124 - 3+420)			3296.00	7.00		2.31	
	Final de Puente hasta Final del Tramo (3+455 - 5+000)			1545.00	7.00		1.08	
1.4	PROVISIÓN Y COLOCADO LETRERO DE OBRAS	pza.	2				2.00	2.00
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
2.1	EXCAVACION CLASIFICADA SEMI DURO	m3						231.317.36
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha							
	Total volumen de excavación (ver anexos de resumen de movimiento de							Sale de la tabla de ANEXO 5 Dis Geo volúm 231317.36
2.2	CONFORMADO DE TERRAPLEN CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3						148.341.61
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha							
	Total volumen de relleno (ver anexos de movimiento de tierras)							Sale de la tabla de ANEXO 5 Dis Geo volúm 148341.61
6	SEÑALIZACIÓN							
6.3	Líneas de señalización horizontal (simples, etc.)	m	1	5000.0			5000.00	5.000.0
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha							
	En este apartado se considera tanto líneas simples, dobles, segmentadas y demas consideradas en el diseño y todo el tramo							
7	ENTREGA DE OBRA							
7.1	LIMPIEZA GENERAL DE OBRA	Glb	1				1.00	1.00
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha							
	Limpieza general de obra en todo el tramo de ejecución							
7.2	PLACA DE ENTREGA DE OBRA	Pza	2				2.00	2.00
	Tramo: San Telmo (Río Bermejo) - Playa Ancha							
	Una placa al inicio del tramo y una al final del mismo							

Fuente: Cálculos Métricos y Presupuesto.

3.6. PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO.

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 ANEXO 8. (Cómputos Métricos, Precios Unitarios y Presupuesto). Además, se utilizó el Programa PRESCOM (las planillas fueron exportadas al Excel) para cada ítem del proyecto.

3.6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS PRECIOS UNITARIOS

A continuación, se desglosará todos los componentes que influyen en el análisis de precios unitarios.

➤ **Materiales.**

Es el primer componente que tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

La mano de obra, se halla condicionada a dos factores:

- El precio que pagan por ella o salario.
- El tiempo de ejecución de la unidad de obra o rendimiento y a tres sistemas de trabajo, a jornal, a contrato y destajo.

Los costos indirectos de la mano de obra se calculan basados en varios criterios, englobados en las cargas sociales, que incluyen rubros como: aportes, vacaciones, licencias y enfermedad, días efectivamente trabajados, costos de campamento y alimentación. Todas estas incidencias fueron convertidas en días efectivamente pagados y en porcentajes de incidencia que sirvieron para determinar los factores de mayoración correspondientes.

TABLA 69. CATEGORIZACIÓN DEL MERCADO LOCAL PARA LA MANO DE OBRA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
1	PEON	hr	10,00
2	ALBAÑIL	hr	13,00
3	AYUDANTE	hr	10,00
4	TOPOGRAFO	hr	17,00
5	ALARIFES	hr	8,00
6	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hr	13,00
7	AYUDANTE DE EQUIPO PESADO	hr	10,00
8	CHOFER	hr	13,00
9	ESPECIALISTA	hr	17,00

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

➤ Cargas sociales.

Las cargas sociales relacionadas con la mano de obra se dividen en dos categorías:

- Cargas de aplicación directa (inmediata)
- Cargas de aplicación diferida

Las cargas de aplicación directa comprenden los aportes que efectúa el empleador al sistema del seguro social y a los beneficios que recibe el empleado de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Las cargas de aplicación diferida se refieren a los compromisos que el empleador asume con el empleado, en forma voluntaria o forzosa, de acuerdo a circunstancias especiales como: rescisión del contrato de trabajo, días no trabajados por feriados, licencias, y otros.

Para el cálculo de las cargas sociales se confeccionó primero la Tabla siguiente que muestra el precio de la mano de obra, expresado en bolivianos este precio son los que se presentan en las revistas de la cámara de la construcción y se añadió el costo de la alimentación considerando el precio de almuerzo desayuno y cena. 15bs, 10bs y 5bs respectivamente sumando el costo diario y dividiendo entre 8 horas laborales obtenemos 3.75 bs que serán añadidos a los precios horarios finales.

TABLA 70: PRECIO PROMEDIO DE LA MANO DE OBRA EN EL MERCADO LOCAL

Nº	DESCRIPCIÓN	JORNAL (Bs)	PRECIO HORARIO (Bs)	PRECIO HORARIO+ Alimentacion Real (Bs)
1	PEON	80,00	10,00	13,75
2	ALBAÑIL	104,00	13,00	16,75
3	AYUDANTE	80,00	10,00	13,75
4	TOPOGRAFO	136,00	17,00	20,75
5	ALARIFES	64,00	8,00	11,75
6	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	104,00	13,00	16,75
7	AYUDANTE DE EQUIPO PESADO	80,00	10,00	13,75
8	CHOFER	104,00	13,00	16,75
9	ESPECIALISTA	136,00	17,00	20,75

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

➤ **Cargas de aplicación directa.**

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los aportes a entidades según Ley 1732

TABLA 71. APORTES A ENTIDADES

DESCRIPCIÓN	PATRONAL	LABORAL
Caja nacional de salud	10%	
Fondo de Vivienda	2%	
AFP	2%	12.50%
INFOCAL	1%	
TOTAL	15%	12.50%

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

➤ **Cargas de aplicación diferida.**

La incidencia por inactividad se la calcula de acuerdo al tipo de obra, en el caso de carreteras, las incidencias son mayores, debido a las imposibilidades y factores que impiden un buen desarrollo de la obra. A continuación, se presenta el cálculo de los días al año sin producción y los jornales cancelados al año.

TABLA 72. INCIDENCIA DE INACTIVIDAD

DESCRIPCIÓN	DÍAS SIN PRODUCCIÓN	JORNALES PAGADOS
Domingos	52	52
Feridos	9	9
Vacación	15	15
Enfermedad	3	3
Ausencias justificadas	4	4
Ausencias injustificadas	2	
Lluvias	4	4
Día de Constructor	1	1
TOTAL	90	88
Días efectivamente Pagados	$365-90=$	275 días
Jornales Abonados	$275+88=$	363 días
Incidencia de Inactividad	$363/275=$	1.32
INACTIVIDAD	32.00%	

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

➤ Incidencia por subsidios

A partir del 1 de enero de 1993 en cumplimiento a las previsiones contenidas en el artículo 2do. Del D. S. No. 23410 del 16 de febrero de 1993, que modifica la cuantía del salario mínimo nacional, los subsidios, prenatal, natalidad, lactancia y sepelio, cuya obligación está a cargo de la empresa o los empleadores, según lo dispuesto por el D. S. 21637 en su art. 25 de junio de 1987 deben considerarse dentro de la estructura de costos.

TABLA 73. INCIDENCIA POR SUBSIDIOS

SUBSIDIO	MONTO BS.	PERIODO (mes)	TOTAL A CANCELAR
Prenatal	1440	5	7200
Natalidad	1440	1	1440
Lactancia	1440	12	17280
Sepelio	1440	1	1440
Totales		19	27360

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

Para el análisis de la incidencia de los subsidios, es necesario determinar el costo mensual promedio de la mano de obra, para dicho efecto determinaremos el jornal o salario promedio ponderado mensual, en base a los precios vigentes en el mercado y pesos ponderados para carreteras.

TABLA 74. SALARIO PONDERADO MENSUAL

OCUPACIÓN	SALARIO DIARIO	SALARIO MENSUAL	PROMEDIO PONDERADO	SALARIO PONDERADO
Peón	80	2400	15,87	340
Ayudante	80	2400	15,87	460
Albañil	104	3120	20,63	1035
Especialista	136	4080	26,98	1120
Maquinista	104	3120	20,63	1178
TOTAL		15120	100	4133

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

Es necesario determinar el número de trabajadores de planta para un proyecto, considerando 80 obreros de los cuales el 8% tienen derecho a los subsidios excepto sepelio donde se asume un 4%, con estos datos determinamos el porcentaje de incidencia de los subsidios.

TABLA 75. PORCENTAJE DE INVERSIÓN ANUAL EN SUBSIDIOS

SUBSIDIO	PORCENTAJE	FORMULA DE	MONTO
		CÁLCULO	ANUAL Bs.
Prenatal	8%	$0.08 * 60 * 1440 * 5$	34560
Natalidad	8%	$0.08 * 60 * 1440 * 1$	6912
Lactancia	8%	$0.08 * 60 * 1440 * 12$	82944
Sepelio	4%	$0.04 * 60 * 1440 * 1$	3456
TOTAL			127872
Datos:			
Salario Promedio Mensual	4133	Bs.	
Número de obreros	60	Obreros	
Tiempo	12	meses	
$4133 * 60 * 12$	2975760	Bs/año	
$127872 / 2975760$	4.29%	Subsidio	

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

➤ Incidencia por seguridad industrial e higiene.

En la Ley General del Trabajo, existe la LEY GENERAL DE HIGIENE, SEGURIDAD OCUPACIONAL Y BIENESTAR (Decreto Ley N° 16998 del 2 de agosto de 1979), la cual recomienda la utilización de implementos de seguridad.

Las Cámaras Departamentales de la Construcción así como la Cámara Boliviana, han realizado estudios al respecto recomendando por lo general se aplique al precio de la mano de obra:

TABLA 76. INCIDENCIA POR SEGURIDAD INDUSTRIAL

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	FORMULA DE CÁLCULO	TOTALES
Botas de Agua	15	80	$18 * 80 / 60$	20
Guante de Cuero	120	7	$180 * 7 / 60$	14
Guantes de Plástico	60	4	$60 * 4 / 60$	4
Ropa de Trabajo	60	80	$60 * 80 / 60$	80
Cascos	60	25	$30 * 25 / 60$	25
Cinturones de Seguridad	12	30	$12 * 30 / 60$	6
Botiquín	2	500	$2 * 500 / 60$	16.67
Anteojos	18	40	$18 * 40 / 60$	12
TOTAL				177.67

Incidenia Promedio mensual	$177.67/12=$	14.81	Bs/Obrero-mes	
Equivalente a :	$14.81/4133$	0.36%	Seguridad Industrial	

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

Finalmente, se presenta en el siguiente cuadro, el resumen de la incidencia total de los beneficios sociales sobre el salario básico:

TABLA 77. PORCENTAJES TOTALES

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE A APLICAR
Aportes a Entidades	27.50%
Incidenia de Inactividad	32.00%
Incidenia por Subsidios	4.29%
Seguridad Industrial e Higiene	0.36%
Porcentaje de Beneficios Sociales	64.15%

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2015)

Por lo tanto, se adopta el 65 % de incidencia, por beneficios sociales sobre el salario básico.

➤ Maquinaria y equipo

Para seleccionar el equipo y la maquinaria a utilizar en la construcción del proyecto, se toman en cuenta la potencia, capacidad de trabajo y condiciones de operatividad del equipo.

- Rendimiento de equipos.

El rendimiento de los equipos, se entiende como la cantidad de unidades a producirse en una cierta tarea y en un tiempo determinado, por el general en una hora de trabajo.

- Incidencias en la estructura del precio unitario.

Al margen de los Beneficios Sociales que fueron analizados precedentemente, la estructura del precio unitario contiene otros porcentajes de incidencia que hacen la totalidad real del precio de la actividad.

- Herramientas y equipos menores.

Por lo general para este rubro, se adoptan un porcentaje de la mano de obra teniéndose como racional el 5% dependiendo de la actividad.

- Gastos generales y administrativos.

Otro de los porcentajes con el que se mayor el Precio Unitario es el de los Gastos Generales, este considera todos los gastos operacionales indirectos como ser los administrativos, seguros, garantías, etc. Los Consultores afectaron a los Precios unitarios con un factor de gastos generales y administrativos de 17 % del costo parcial del ítem, y que se desglosa a continuación:

TABLA 78. ESTIMACIÓN DE GASTOS GENERALES

1. Gastos Administrativos	%
Material de escritorio	0.2
Material de mantenimiento de Oficina	0.1
Vehículos	1.0
Agua, Luz teléfonos, fax, radio	0.8
Seguros	0.3
Alquiler de oficina, depósitos	1.2
Sueldos personales Jerárquico y en General	4
Subtotal	6.1
2. Gastos en Obra	%
Movilización	2
Campamento	2
Laboratorio de suelos y ensayo de materiales	0.3
Replanteos de Obras	0.2
Gastos de representación	0.1
Ejecución de planos AsBuilt	0.3
Viajes de Inspección	0.1
Bibliografía	0.1

Subtotal	5.1
3. Riesgos e Imprevistos	%
Trabajos deteriorados Causas ajenas	0.4
Reposición material defectuosos	0.4
Perdidas y Robos	0.2
Accidentes	0.5
Atención médica de urgencia	0.5
Subtotal	2
RESUMEN DE GASTOS GENERALES	%
1. Gastos Administrativos	8.4%
2. Gastos en Obra	5.10%
3. Riesgos e Imprevistos	2.00%
TOTAL	17.00%

Fuente: Elaboración Propia (en función a Análisis de Costos Cámara Departamental de la Construcción – Tarija 2016)

- **Utilidades.**

Es el beneficio que busca la empresa en la realización de las obras, y por consiguiente su fijación en porcentaje es difícil de determinar. Normalmente se suele utilizar el valor del 10% del Costo parcial del Ítem (Costo Parcial más Gastos Generales) y ese es el referente que se utiliza en el presente Proyecto

- **Impuestos.**

El impuesto aplicable es el **Impuesto al Valor Agregado IVA**, el que incide en un 13% del costo de la Mano de Obra que, determinado del subtotal de la Mano de Obra más las Cargas Sociales, corresponde al **14.94%** (resultante de la división $100\%/0.87-100\%=14.94\%$), el **Impuesto a las Transacciones**, por su carácter global, se aplica al total del precio unitario correspondiente al 3% del mismo correspondiendo al **3.09%** (resultante de la división $100\%/0.97-100\%=3.09$) de los subtotales de los costos directos e indirectos, y el **Impuesto a la Utilidad de las Empresas**, que es parte de los gastos generales y administrativos, por lo que no es tomado en cuenta como porcentaje directo de ningún rubro.

A continuación, se mostrará la tabla de un ítem del proyecto.

TABLA 79. PRECIO UNITARIO EXCAVACIÓN SEMIDURA

Item: EXCAVACION CLASIFICADA SEMIDURA		231.317,36 m ³			
Proyecto: APERTURA CAMINO SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA		Fecha: 29/ago/2011			
Cliente: UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO		Tipo de cambio: 6,96			
Nº P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
A	MATERIALES				
> D TOTAL MATERIALES				(A) =	0,00
B	MANO DE OBRA				
1	- OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hr	0,02	13,00	0,26
2	- AYUDANTE DE EQUIPO PESADO	hr	0,04	10,00	0,40
3	- CHOFER	hr	0,03	13,00	0,39
> E SUBTOTAL MANO DE OBRA				(B) =	1,05
F	Cargas Sociales		55,00% de	(E) =	0,58
O	Impuesto al Valor Agregado		14,94% de	(E+F) =	0,24
> G TOTAL MANO DE OBRA				(E+F+O) =	1,87
C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1	- TRACTOR D7	hr	0,01	460,00	4,60
2	- VOLQUETA	hr	0,03	160,00	4,80
3	- EXCAVADORA 320 CAT	hr	0,00	560,00	1,68
H	Herramientas menores		5,00% de	(G) =	0,09
> I TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO				(C+H) =	11,17
> J SUB TOTAL				(D+G+I) =	13,04
L	Gastos generales y administrativos		10,00% de	(J) =	1,30
M	Utilidad		10,00% de	(J+L) =	1,43
> N PARCIAL				(J+L+M) =	15,78
P	Impuesto a las Transacciones		3,09% de	(N) =	0,49
> Q TOTAL PRECIO UNITARIO				(N+P) =	16,27
> PRECIO ADOPTADO:					16,27

FUENTE: PRECIOS UNITARIOS

3.6.2. Presupuesto General.

➤ Pavimento Flexible.

El presupuesto general del pavimento flexible del tramo en estudio se mostrará en la siguiente tabla (Se la realizó con ayuda del PRESCOM):

TABLA 80. PRESUPUESTO GENERAL PAVIMENTO FLEXIBLE

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
>	M01 - OBRAS PRELIMINARES					749.877,21
1	INSTALACION DE FAENAS	glb	1,00	621.607,11	Seiscientos Veintiuno Mil Seiscientos Siete 11/100	621.607,11
2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	km.	5,00	19.366,55	Diecinueve Mil Trescientos Sesenta y Seis 55/100	96.832,75
3	LIMPIEZA TERRENO Y DESBROCE	ha	3,46	5.579,76	Cinco Mil Quinientos Setenta y Nueve 76/100	19.305,97
4	PROVISIÓN Y COLOCADO LETRERO DE OBRAS	pza	2,00	6.065,69	Seis Mil Sesenta y Cinco 69/100	12.131,38
>	M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					6.631.501,50
5	EXCAVACION CLASIFICADA SEMIDURA	m³	198.614,90	16,27	Dieciseis 27/100	3.231.464,42
6	CONFORMADO TERRAPLEN CON MATERIAL DE PRESTAMO	m³	108.950,27	17,64	Diecisiete 64/100	2.616.746,00
7	SOBREACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m³	89.664,62	9,44	Nueve 44/100	783.291,08
>	M03 - CONFORMADO PAQUETE ESTRUCTURAL					8.204.152,76
8	CONFORMACION DE CAPA SUBRASANTE MEJORADA	m³	10.227,09	105,34	Ciento Cinco 34/100	1.077.321,66
9	CONFORMACION CAPA SUBBASE (Incluye transporte)	m³	8.057,34	105,34	Ciento Cinco 34/100	848.760,20
10	CONFORMACION CAPA BASE (Incluye transporte)	m³	3.726,31	144,10	Ciento Cuarenta y Cuatro 10/100	536.961,27
11	IMPRIMACION ASFALTICA	m²	34.601,00	20,84	Veinte 84/100	721.084,84
12	CAPA DE RODADURA (PAVIMENTO FLEXIBLE)	m³	2.125,49	2.361,82	Dos Mil Trescientos Sesenta y Uno 82/100	5.020.024,79
>	M04 - OBRAS DE ARTE MENOR					2.443.017,75
13	REPLANTEO/CONTROL OBRAS DE ARTE MENOR	pza	13,00	401,75	Cuatrocientos Uno 75/100	5.222,75
14	EXCAVACION NO CLASIFICADA C/MAQ P/OBRAS DE ARTE	m³	293,05	57,59	Cincuenta y Siete 59/100	16.876,75
15	H° C° P/ALCANTARILLAS DOS. 1:2:3 50% PD	m³	318,61	1.064,37	Un Mil Sesenta y Cuatro 37/100	339.118,93
16	PISO DE CEMENTO + EMPEDRADO P/ALCANTARILLAS	m²	74,46	230,64	Doscientos Treinta 64/100	17.173,45
17	COLOC CAPA BASE ARENA SELECCIONADA	m³	68,40	240,38	Doscientos Cuarenta 38/100	16.441,99
18	PROV Y COLOC. TUBOS DE ARMCO D=1000MM	m	228,00	2.286,76	Dos Mil Doscientos Ochenta y Seis 76/100	521.381,28
19	RELLENO COMPACTADO MANUAL-S/MATERI RELLE	m³	410,40	57,75	Cincuenta y Siete 75/100	23.700,60
20	CUNETA REVESTIDA DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m	5.230,00	287,40	Doscientos Ochenta y Siete 40/100	1.503.102,00
>	M05 - SEÑALIZACIÓN					89.819,05
21	SEÑAL PREVENTIVA CUADRANGULAR 0.60x0.60 m	pza	15,00	1.418,74	Un Mil Cuatrocientos Dieciocho 74/100	21.281,10
22	SEÑALIZACION RESTRICTIVA CUADRANGULAR 0.60x0.90 m	pza	5,00	1.967,59	Un Mil Novecientos Sesenta y Siete 59/100	9.837,95
23	LINEAS DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (SIMPLES, ETC.)	m	5.000,00	11,74	Once 74/100	58.700,00
>	M06 - ENTREGA DE OBRA					33.164,51
24	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	glb	1,00	30.110,11	Treinta Mil Ciento Diez 11/100	30.110,11
25	PLACA ENTREGA DE OBRAS	pza	2,00	1.527,20	Un Mil Quinientos Veintisiete 20/100	3.054,40
	Total presupuesto:					18.151.532,78

Fuente: Elaboración Propia

➤ . Tratamiento Superficial Doble.

El presupuesto general del tratamiento superficial doble del tramo en estudio se mostrará en la siguiente tabla (Se la realizó con ayuda del PRESCOM):

TABLA 81. PRESUPUESTO GENERAL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
>	M01 - OBRAS PRELIMINARES					749.877,21
1	INSTALACION DE FAENAS	glb	1,00	621.607,11	Seiscientos Veintiuno Mil Seiscientos Siete 11/100	621.607,11
2	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	km.	5,00	19.366,55	Diecinueve Mil Trescientos Sesenta y Seis 55/100	96.832,75
3	LIMPIEZA TERRENO Y DESBROCE	ha	3,46	5.579,76	Cinco Mil Quinientos Setenta y Nueve 76/100	19.305,97
4	PROVISIÓN Y COLOCADO LETRERO DE OBRAS	pza	2,00	6.065,69	Seis Mil Sesenta y Cinco 69/100	12.131,38
>	M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					6.631.501,50
5	EXCAVACION CLASIFICADA SEMIDURA	m³	198.614,90	16,27	Dieciseis 27/100	3.231.464,42
6	CONFORMADO TERRAPLEN CON MATERIAL DE PRESTAMO	m³	108.950,27	17,64	Diecisiete 64/100	2.616.746,00
7	SOBREACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m³	89.664,62	9,44	Nueve 44/100	783.291,08
>	M03 - CONFORMADO PAQUETE ESTRUCTURAL					6.399.305,08
8	CONFORMACION DE CAPA SUBRASANTE MEJORADA	m³	11.060,41	105,34	Ciento Cinco 34/100	1.165.103,59
9	CONFORMACION CAPA SUBBASE (Incluye transporte)	m³	12.781,12	105,34	Ciento Cinco 34/100	1.346.363,18
10	CONFORMACION CAPA BASE (Incluye transporte)	m³	7.513,09	144,10	Ciento Cuarenta y Cuatro 10/100	1.082.636,27
11	IMPRIMACION ASFALTICA	m²	34.601,00	20,84	Veinte 84/100	721.084,84
12	CAPA DE RODADURA (PAVIMENTO FLEXIBLE)	m³	882,42	2.361,82	Dos Mil Trescientos Sesenta y Uno 82/100	2.084.117,20
>	M04 - OBRAS DE ARTE MENOR					2.443.017,75
13	REPLANTEO/CONTROL OBRAS DE ARTE MENOR	pza	13,00	401,75	Cuatrocientos Uno 75/100	5.222,75
14	EXCAVACION NO CLASIFICADA C/MAQ P/OBRAS DE ARTE	m³	293,05	57,59	Cincuenta y Siete 59/100	16.876,75
15	H° C° P/ALCANTARILLAS DOS. 1:2:3 50% PD	m³	318,61	1.064,37	Un Mil Sesenta y Cuatro 37/100	339.118,93
16	PISO DE CEMENTO + EMPEDRADO P/ALCANTARILLAS	m²	74,46	230,64	Doscientos Treinta 64/100	17.173,45
17	COLOC CAPA BASE ARENA SELECCIONADA	m³	68,40	240,38	Doscientos Cuarenta 38/100	16.441,99
18	PROV Y COLOC. TUBOS DE ARMCO D=1000MM	m	228,00	2.286,76	Dos Mil Doscientos Ochenta y Seis 76/100	521.381,28
19	RELLENO COMPACTADO MANUAL-S/MATERI RELLE	m³	410,40	57,75	Cincuenta y Siete 75/100	23.700,60
20	CUNETA REVESTIDA DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m	5.230,00	287,40	Doscientos Ochenta y Siete 40/100	1.503.102,00
>	M05 - SEÑALIZACIÓN					89.819,05
21	SEÑAL PREVENTIVA CUADRANGULAR 0.60x0.60 m	pza	15,00	1.418,74	Un Mil Cuatrocientos Dieciocho 74/100	21.281,10
22	SEÑALIZACION RESTRICIVA CUADRANGULAR 0.60x0.90 m	pza	5,00	1.967,59	Un Mil Novecientos Sesenta y Siete 59/100	9.837,95
23	LINEAS DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (SIMPLES, ETC.)	m	5.000,00	11,74	Once 74/100	58.700,00
>	M06 - ENTREGA DE OBRA					33.164,51
24	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	glb	1,00	30.110,11	Treinta Mil Ciento Diez 11/100	30.110,11
25	PLACA ENTREGA DE OBRAS	pza	2,00	1.527,20	Un Mil Quinientos Veintisiete 20/100	3.054,40
	Total presupuesto:					16.346.685,11

Fuente: Elaboración Propia.

N°	RODADURA	PRESUPUESTO GENERAL (Bs.)	PRESUPUESTO GENERAL (\$us)	PRESUPUESTO GENERAL (\$us/km)
ALTERNATIVA 1	PAVIMENTO FLEXIBLE	18.151.532,78	2.607.978,85	521.595,77
ALTERNATIVA 2	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	16.346.685,11	2.348.661,65	469.732,33
	Diferencia	3.770.978,76	259.317,19	51.863,44

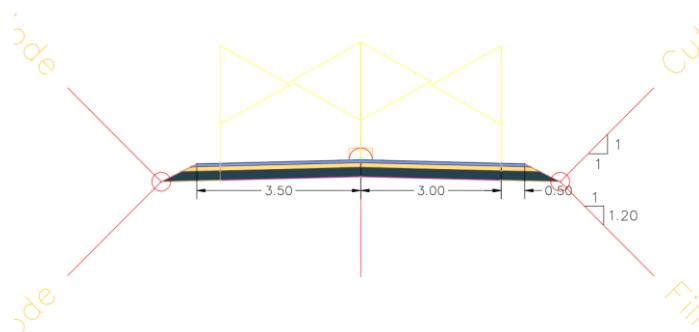
La elección de la alternativa a diseñarse no está solo en función a aspectos económicos, también se debe tomar muy en cuenta los aspectos técnicos.

Entonces se elige el Pavimento (ALTERNATIVA 1), como la mejor alternativa a diseñarse, Ya que la diferencia de precio no es demasiada comparando con los beneficios que esta presenta, sin embargo, al momento de construir se debe tomar la decisión.

TABLA 82. PRESUPUESTO GENERAL ALTERNATIVAS

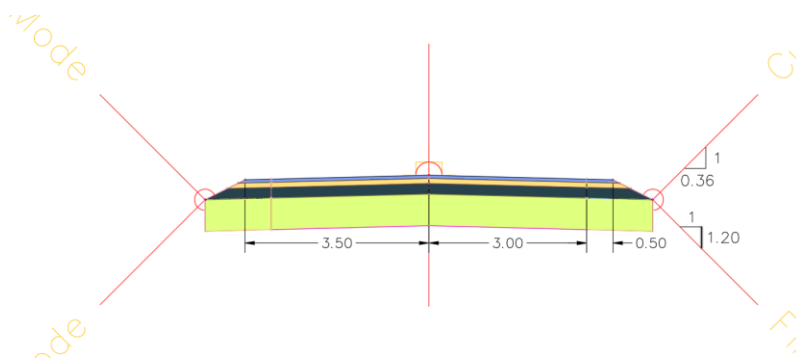
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 13. Sección Tipo 5+000 – 8+000



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA N° 14. Sección Tipo 8+000 – 10+000



Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.

Realizado el análisis de todos los componentes de estudio del “**DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA APERTURA CAMINO SAN TELMO (RIO BERMEJO)-PLAYA ANCHA 5+000 – 10+000**”, presentamos las siguientes conclusiones:

- No se realizaron alternativas ya que para este camino existía un trazo único tanto por las características topográficas de la zona en su última parte como una apertura existente en el comienzo.
- Para la elaboración del proyecto se realizó una investigación geotécnica en el área de estudio, para poder obtener las características mecánicas de los distintos suelos y materiales que componen la subrasante, se identificó, analizó y clasificó cada una de estas muestras (Ver ANEXO 3.)
- Se identificaron tres tipos de suelo en el desarrollo de la carretera (granular (64%) del tipo A-1-b, y la parte final (36%) con dos arcillas diferentes una A-6 y la otra una A-7-6), se optó por el CBR de diseño más bajo del suelo granular ya que el CBR que disponían las arcillas era extremadamente bajo, generando una subbase mayor a 30cm, por lo cual se optó por utilizar el suelo sobrante del primer tramo junto a una cantera para una subrasante mejorada de 60cm de espesor ya que a esta profundidad se encontraba un mejor suelo.
- Se diseñó el paquete estructural de pavimento flexible, concluyendo así con una una capa de rodadura de 6 cm, una base granular de 20 cm y eliminando la subbase debido a disponer de una subrasante con buen CBR y una base con CBR elevado igualmente.
- Se diseñó el paquete estructural para el tratamiento superficial doble, concluyendo así con una capa de rodadura de 2.5 cm, una base granular de 30cm e igualmente prescindiendo de la capa subbase por las razones ya mencionadas.
- Se realizó el presupuesto general para cada una de las alternativas de paquete estructural y de la comparación de precios optamos por la alternativa 2 Tratamiento Superficial Doble.
- Del presupuesto general se observa la diferencia de precios entre el pavimento flexible y el tratamiento superficial doble de 3,770,978.76 bolivianos.

- Al tener ambos presupuestos se deja abierta la elección de alternativa por la institución, si ésta lo viera conveniente, de acuerdo a su presupuesto disponible.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Recomendamos que, para todo diseño de ingeniería, los datos deben de tomarse con claridad y calidad, debido a disponer de poco terreno (Topografía) para trabajar se tuvo que extrapolar algunas curvas de nivel para poder simular el terreno por lo cual se recomienda realizar un mejor estudio topográfico si se desea construir el camino.
- En cuanto al diseño geométrico y estructural, se recomienda el correcto uso tabla, índices, ábacos y otros que nos presenta la Normativa vigente en el país para el diseño de carreteras (Normas de la Administradora Boliviana de Carreteras), sin embargo, se recomienda leer otras normativas e bibliografía para complementar el conocimiento pudiendo así reducir costos innecesarios, como en este caso una subbase que no se requería.
- Se recomienda el uso de pavimento flexible ya que a pesar de ser más caro los beneficios que este presenta son mucho mayores haciendo esta una opción viable, ya que el camino se encuentra en un lugar muy húmedo.

SECCIÓN DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA.

- 1 Administradora Boliviana de Carreteras (2005). *Manual de Carreteras Volumen I: Manual de Diseño Geométrico*. Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.
- 2 American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation
- 3 American Association of State Highway and Transportation Officials (2003). *Highway Drainage Manual*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation
- 4 Cossi Patricia. *Diseño de pavimentos Método AASHTO 93*. Tacna, Perú: s.n.
- 5 Crespo, C. (2004). *Vías de comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. (4 ed.) México: Limusa S.A.
- 6 Orgaz, J (2015). *Apuntes de Carreteras I, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*. Tarija, Bolivia.
- 7 The Arcom International Corporation. Middletown, (1999) "Manual de Drenaje y productos de construcción.". Ohio. Estados Unidos: R.R. Donnelley & Sons Company.
- 8 Rico. Del Castillo.(2005) *La Ingeniería de los suelos en las vías terrestres. Vol. 2*. México: Limusa S.A.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES	10
TABLA 2. CUADRO RESUMEN DE ANCHOS DE PLATAFORMA EN TERRAPLEN Y DE SUS ELEMENTOS A NIVEL RASANTE	13
TABLA 3. LR MIN ENTRE CURVAS DE DISTINTO SENTIDO	19
TABLA 4. LR MIN ENTRE CURVAS DEL MISMO SENTIDO	20
TABLA 5. RADIO MINIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES	21
TABLA 6. RESUMEN DE BMs.....	36
TABLA 7. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	37
TABLA 8. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL.....	42
TABLA 9. ALTURA DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA	43
TABLA 10. INTENSIDADES MÁXIMAS PARA PERÍODOS DE DURACIÓN MENORES A 24 HORAS.....	43
TABLA 11. INTENSIDAD DE LLUVIA TC DE 10 MIN.....	46
TABLA 12. MUESTREO.....	47
TABLA 13. NÚMERO DE TAMICES CON SU RESPECTIVO DIÁMETRO.....	48
TABLA 14. GRANULOMETRIA MUESTRA N°6 PROG. 9+500.....	49
TABLA 15. ENSAYO LIMITE LIQUIDO MUESTRA N°6.....	51
TABLA 16. LIMITE PLASTICO M6.....	52
TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	53
TABLA 18. RESUMEN DE SUELOS SOBRE EL TRAZO DEL CAMINO	54
TABLA 19. COMPACTACION M6	55
TABLA 20. RESULTADOS DENSIDAD MAX Y CHO	56
TABLA 21. DENSIDAD MÁXIMA Y CHO PARA CADA SUELO PRESENTE EN EL DESARROLLO DEL CAMINO.....	57
TABLA 22. ESTUDIO CBR M6	58
TABLA 23. RESUMEN DE COMPACTACIÓN Y CBR EN CADA PROGRESIVA	60
TABLA 24. RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO DE MATERIALES - SUB RASANTE.....	61
TABLA 25. RANGOS DE CBR DE MATERIALES SEGÚN CLASIFICACIÓN Y USO	63
TABLA 26. CARACTERISTICAS AGRADO PARA C°A°	64
TABLA 27. TIPO DE VEHÍCULOS	65
TABLA 28. AFOROS DE 7 DÍAS	66
TABLA 29. TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL.....	66
TABLA 30. TRÁFICO TOTAL.....	68
TABLA 31. TPDA PROYECTADO PARA 20 AÑOS.....	68
TABLA 32. PARAMETROS DE ESTUDIOS PREVIOS	69
TABLA 33. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	73
TABLA 34. CLASIFICACIÓN PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES	75
TABLA 35. DISTANCIA DE FRENADO	76
TABLA 36. DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO	77
TABLA 37. ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES	79
TABLA 38. RADIOS MÍNIMOS EN CURVAS HORIZONTALES	80

TABLA 39. PERALTE SEGÚN LA VELOCIDAD DE PROYECTO	81
TABLA 40. PENDIENTES MÁXIMAS DE LA RASANTE	82
TABLA 41. PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR CRITERIOS DE VISIBILIDAD DE FRENADO.....	83
TABLA 42. CURVAS VERTICALES.	84
TABLA 43. RESUMEN DE SECCIONES TRANSVERSALES TIPO	85
TABLA 44. BOMBEO DE LA CALZADA.	87
TABLA 45. TABLA DE REPLANTEO	87
TABLA 46. ÁNGULOS DE FRICCIÓN INTERNA Y PESO ESPECÍFICO DE SUELOS	89
TABLA 47. FACTORES DE SEGURIDAD EN LOS SUELOS	90
TABLA 48. RESUMEN DE PARÁMETROS.....	92
TABLA 49. MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	93
TABLA 50. PERÍODO DE DISEÑO.....	96
TABLA 51. NIVELES DE CONFIABILIDAD.....	96
TABLA 52. TIEMPO DE DRENAJE.....	98
TABLA 53. COEFICIENTES DE DRENAJE	98
TABLA 54. CONFIGURACION DE EJES.....	100
TABLA 55. TIPOS DE VEHÍCULO.....	101
TABLA 56. LÍMITES DE CARGAS POR EJE DECRETO LEY N°11771	101
TABLA 57. FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE	101
TABLA 58. RESULTADOS W18.....	102
TABLA 59. DATOS ASUMIDOS.....	103
TABLA 60 DATOS ASUMIDOS.....	104
TABLA 61. PAQUETE ESTRUCTURAL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	105
TABLA 62 DATOS ASUMIDOS.....	106
TABLA 63 DATOS ASUMIDOS.....	107
TABLA 64. PAQUETE ESTRUCTURAL TSD.....	108
TABLA 65. UBICACIÓN ALCATARILLAS DE PASO.	109
TABLA 66. UBICACIÓN ALCATARILLAS DE ALIVIO.	109
TABLA 67. Ubicación de Cunetas.....	113
TABLA 68. RESUMEN DE COMPUTOS MÉTRICOS	114
TABLA 69. CATEGORIZACIÓN DEL MERCADO LOCAL PARA LA MANO DE OBRA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN	116
TABLA 70: PRECIO PROMEDIO DE LA MANO DE OBRA EN EL MERCADO LOCAL	117
TABLA 71. APORTES A ENTIDADES	117
TABLA 72. INCIDENCIA DE INACTIVIDAD	118
TABLA 73. INCIDENCIA POR SUBSIDIOS	118
TABLA 74. SALARIO PONDERADO MENSUAL	119
TABLA 75. PORCENTAJE DE INVERSIÓN ANUAL EN SUBSIDIOS	120
TABLA 76. INCIDENCIA POR SEGURIDAD INDUSTRIAL	120
TABLA 77. PORCENTAJES TOTALES	121
TABLA 78. ESTIMACIÓN DE GASTOS GENERALES.....	122
TABLA 79. PRECIO UNITARIO EXCAVACION SEMIDURA	124
TABLA 80. PRESUPUESTO GENERAL PAVIMENTO FLEXIBLE	125
TABLA 81. PRESUPUESTO GENERAL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE.....	126

TABLA 82. PRESUPUESTO GENERAL ALTERNATIVAS	127
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N ^o 1. PERFIL TRASNVERSAL DESCRIPTIVO, CALZADAS UNICA EN CURVA.	11
FIGURA N ^o 2 PERFIL TRASNVERSAL DESCRIPTIVO, CALZADAS UNICA EN RECTA	12
FIGURA N ^o 3. UBICACIÓN DE UNA CONTRACUNETA EN UN CAMINO	31
FIGURA N ^o 4. BOMBEO EN TANGENTE	31
FIGURA N ^o 5. BOMBEO EN CURVA.....	31
FIGURA N ^o 6. PROYECCION DE VADO EN UN CAMINO	32
FIGURA N ^o 7. PROYECCION DE TUBO EN TERRAPLEN	33
FIGURA N ^o 8. PUENTE LIBRANDO UN ARROLLO	33
FIGURA N ^o 9. ALCANTARILLA TIPO	33
FIGURA N ^o 10. ACOTAMIENTO, BORDILLO Y TERRAPLÉN BIEN VEGETADOS	27
FIGURA N ^o 11 Elementos de curvas circulares.....	78
FIGURA N ^o 12. Sección de Diseño Tipo.....	111
FIGURA N ^o 13. Sección Tipo 5+000 – 8+000	127
FIGURA N ^o 14. Sección Tipo 8+000 – 10+000	127

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N ^o 1 LLUVIAS MENORES A 2 HRS PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS	44
GRAFICO N ^o 2 CURVAS IDF	44
GRAFICO N ^o 3 CURVA GRANULOMETRICA MUESTRA N ^o 6.....	50
GRAFICO N ^o 4 HUMEDAD NAT VS N ^o DE GOLPES M6.....	51
GRAFICO N ^o 5 DENSIDAD SECA VS H.O. M6	56
GRAFICO N ^o 6 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO	64

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN N ^o 1 UBICACIÓN IMAGEN SATELITAL	31
IMAGEN N ^o 2 UBICACIÓN DEL PROYECTO (MAPA REFERENCIAL).....	32
IMAGEN N ^a 3 PLANO DE UBICACIÓN DE BANCO DE PRESTAMO	33
IMAGEN N ^o 4 IMAGEN SATELITAL, CROQUIS PARA EL LEVANTAMIENTO TRAMO.....	35
IMAGEN N ^a 5 Ubicación de BMs.	36
IMAGEN N ^o 6 Plano Geotecnico.....	62
IMAGEN N ^o 7 Trazo Alternativa 1.....	70
IMAGEN N ^a 8. Trazo Alternativa 2.....	71
IMAGEN N ^o 9 Emplazamiento del túnel	72
IMAGEN N ^o 10 Plano de alternativas superpuestas.	73
IMAGEN N ^a 11 Áreas de Cuencas.....	109
IMAGEN N ^o 12 Plano de áreas de cunetas.	112