

CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1.- INTRODUCCIÓN.-

Un componente fundamental del Programa de Transportes y Vías, es el Mejoramiento de los caminos del departamento de Tarija, que permitan seguridad y confort al usuario del transporte y optimizar los costos de operación del transporte, ya sean éstos públicos o privados, integrando socio-económicamente las comunidades de la ciudad de Bermejo, que son los principales centros de consumo y aprovisionamiento, facilitando el transporte de pasajeros y productos de cada región, de manera rápida, oportuna y segura, con ahorros de tiempo de viaje y evitar el despoblamiento de los pueblos y comunidades debido a la migración campo ciudad.

El presente proyecto consiste en el **“Diseño de Ingeniería tramo Aeropuerto–Arrozales para la Ciudad de Bermejo”**, que es un tramo que une varias localidades y cuyo alcance abarca a toda la población comprendida dentro de dichas localidades que son aledañas a la ciudad de Bermejo, de igual manera con la implementación de este proyecto vial se buscara alcanzar una alternativa de ruta más corta en lo que se refiere a la conexión del Ingenio de caña de azúcar (IAB), con el Aeropuerto de la Ciudad.

Este trabajo que se presenta desarrollará el tema sobre uno de estos métodos, el cual se refiere al trazo y construcción a base de un pavimento flexible o pavimento rígido en función al presupuesto que se pueda contar para su ejecución del mismo, este describirá las definiciones de carretera y todas aquellas más necesarias para su comprensión, sus características y método de construcción, así como también todas aquellas especificaciones necesarias para poder cumplir con lo requerido, también describirán las consideraciones físicas, geométricas y económicas que intervienen en el diseño y construcción, los cuales varían dadas las características del lugar, suelo y condiciones climatológica.

1.2.- JUSTIFICACIÓN.-

El desarrollo de un país por la integración vial, por la dotación de infraestructura de apoyo a la producción, es muy importante que bien las comunidades rurales sean parte de este desarrollo, para que puedan vincularse con el resto de la región y del departamento. El proyecto tendrá un gran impacto sobre la sociedad de las comunidades rurales.

El tema de la existencia y estado del camino es uno de los que está permanentemente presente en el diario vivir de las personas, tanto por la necesidad de traslado de personas por motivo laborales, educacional, de esparcimiento o de acceso a establecimiento de salud a donde llevar los enfermos, como por motivos productivos y un destino de consumo (o intermedio).

Pero asimismo, las carreteras son fuente de accidentes mucho de los cuales se evitarían con buenos trazados, buen estado de las vías, adecuadas demarcaciones y señalamiento.

Este proyecto consta con una longitud de tramo de 6.142 m, donde una de las razones sociales que justifican este proyecto radica básicamente en que los comunarios y familias de la zona requieren un camino vehicular estable todo el año, y en especial en épocas de cosecha que les permita poder comercializar sus productos, tanto agrícolas como pecuarios.

La construcción de este pavimento mejoraría la libre circulación de los transportistas en la época de lluvia ya que en estas épocas este tramo es intransitable por ser un suelo inestable el que actualmente se encuentra de rodadura, también se disminuiría el tiempo de transporte ya que podrían elevarse la velocidad de circulación.

La implementación o construcción de este proyecto permitirá el desarrollo de las comunidades, de esta manera también contribuirá al desarrollo de la ciudad de

Bermejo, entre las comunidades beneficiadas están: (comunidad de Campo Grande, comunidad de Porcelana, comunidad de Naranjitos, etc.)

Con el pavimentado de esta vía se pretende ofrecer una mayor transitabilidad y que se puedan tener un servicio públicos de micros que realicen en servicio de transporte de pasajeros.

1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

1.3.1.- Situación problemática.-

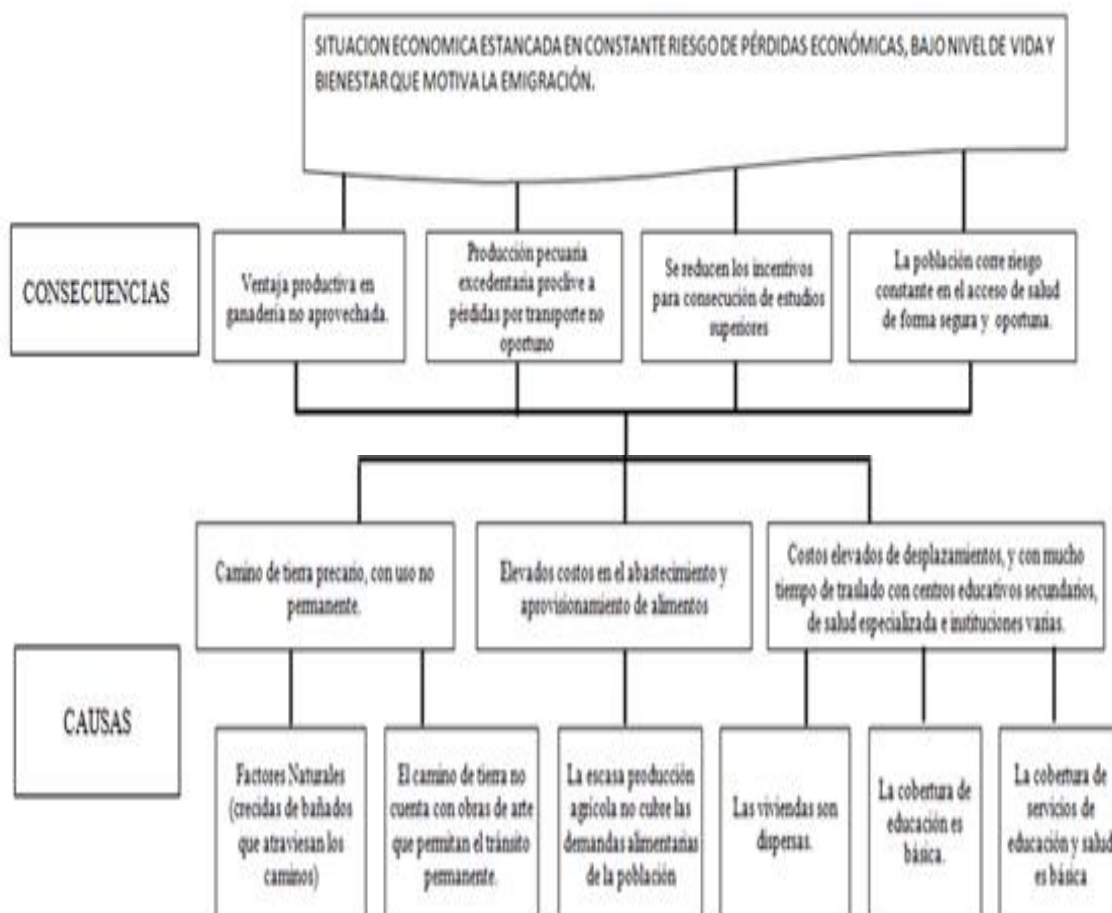
La vinculación caminera en un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico de las regiones, ya que viene a constituirse en el medio más importante para la integración y desarrollo de las mismas, y este impulso social y económico genera un efecto multiplicador que contempla no sólo el entorno local, sino abarca los ámbitos regionales, departamentales, nacionales e internacionales. Y esto, con mayor realce cuando se evidencia que existe un elevado potencial productivo en la zona de intervención.

El camino Aeropuerto-Arozales requiere una solución rápida que garantice la comunicación fluida entre los dos puntos de distribución. Este camino es de tierra y tiene muchas deficiencias funcionales, como radios de curvatura reducidos, el ancho del camino es reducido, tampoco existe un mantenimiento continuo del camino que garantice la buena circulación y seguridad de los usuarios.

Por la mala situación en la que se encuentra el camino, es imposible emprender inversiones en esta zona turística que ayuden a mejorar las condiciones de vida de los comunarios.

El esquema siguiente trata las causas y consecuencias del problema identificado para la población afectada, identificando un árbol de problemas, donde su parte inferior especifica las causas que dan lugar al problema central y posteriormente la parte superior las consecuencias.

IMAGEN Nro. 1 árbol de problemas



Fuente: PDM - Bermejo

Si bien los problemas que atraviesan las familias de la zona de influencia son diversos, siendo además del camino en malas condiciones, la falta de establecimientos secundarios y servicios de salud especializada, la incipiente agricultura que no brinda los alimentos para cubrir una dieta balanceada.

No es propósito del presente proyecto solucionarlos todos, sino contribuir a mejorar la conectividad vial de la zona para favorecer los desplazamientos poblacionales hacia la búsqueda de los servicios requeridos, además de generar la posibilidad de la introducción de una línea de colectivos o micros con tránsito programado hacia la zona, entre otras.

1.3.2.- Problema.-

¿Cómo mejorar el camino Aeropuerto-Arozales de tal manera se pueda tener una mayor accesibilidad en la zona durante toda la época del año?

1.4.- DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.-

La existencia de comunidades cercanas como en el presente estudio el problema existente es la falta de una vía directa entre varias comunidades lo que solucionará muchas necesidades de los comunarios; la geometría actual del tramo no reúne las condiciones de seguridad para el peatón.

Por la ausencia de un buen estudio y por la inversión que presentaría es que no se tomó en cuenta esta zona. Por ello se vio la necesidad de realizar estudios para un desarrollo de camino municipal en este tramo, analizando sus características y observando en el estado se encuentra el tramo afectado.

Por lo cual se verá la necesidad de realizar un diseño geométrico de acuerdo a las especificaciones, parámetros de la norma ABC y el tránsito vehicular que existiera en las comunidades.

Por tratarse de una ruta de características importantes para las zonas aledañas, a la cual concurrirán flujos de gran relevancia para el beneficio del lugar y de las comunidades siendo por esta razón necesario que este tramo se realice el estudio, para luego poder ejecutar el diseño de este camino municipal, elaborando un diseño óptimo, de acuerdo a las normas vigentes por la norma ABC y exigencias del tránsito vehicular actual, basado en un estudio detallado y preciso de operación, de características físicas y de tráfico de manera que cumpla los objetivos para lo cual fueron creados.

1.5.- OBJETIVOS

1.5.1.- Objetivo general.-

“Elaborar el diseño de ingeniería del tramo Aeropuerto - Arrozales, en base a las Normas establecidas en el país para el diseño de Carreteras y que responda la premisa de un tránsito rápido, cómodo y seguro.”

1.5.2.- Objetivos específicos.-

- ✓ Recopilar información del levantamiento topográfico de la zona sobre la cual se diseñará la carretera.
- ✓ Realizar aforo de tráfico en el tramo Aeropuerto-Arrozales.
- ✓ Realizar el diseño geométrico del tramo “Aeropuerto - Arrozales” conociendo el eje preliminar del que será el camino antiguo en uso actualmente para adecuarla a la necesidad y nuevas exigencias.
- ✓ Realizar el estudio hidrológico de las áreas de aporte, en base a la estación más cercana a la zona del proyecto (Estación Bermejo).
- ✓ Diseñar, analizar los sistemas de evacuación de aguas tales como alcantarillas, cunetas, en base a los caudales calculados.
- ✓ Realizar el estudio de suelos a las muestras extraídas de la subrasante, para conocer todas sus características físico-mecánicas que ayudarán al diseño del paquete estructural.
- ✓ Diseñar, analizar técnicamente las alternativas entre pavimento rígido, flexible, eligiendo la mejor alternativa técnica.
- ✓ Diseñar las señalizaciones tanto vertical como horizontalmente la carretera en base a la normativa ABC.
- ✓ Elaborar la ficha ambiental del proyecto, para determinar la magnitud de los impactos ambientales que podría ocasionar a la zona de emplazamiento de la carretera.
- ✓ Realizar los cálculos métricos de los ítems así como del análisis de precios unitarios para la elaboración del presupuesto general del diseño de ingeniería.
- ✓ Realizar las especificaciones técnicas.

1.6.- ALCANCE

El presente alcance de trabajo tomando en cuenta, que se trata del “Diseño de ingeniería tramo Aeropuerto - Arrozales”, comprende el mejoramiento del diseño geométrico y estructural del tramo, que beneficiará a la ciudad de Bermejo y al departamento de Tarija.

Con la realización del proyecto se logrará adelantar las condiciones de vida de los habitantes de la zona por medio del incentivo a la producción y comercialización que provocará el contar con vías estables en todas las épocas del año.

De acuerdo al estudio de suelos realizado, y los datos de tráfico recogidos mediante la realización de aforos en puntos estratégicos de la zona, se procederá a diseñar el paquete estructural para el tramo en estudio, dentro de este diseño se dimensionará la capa de rodadura de pavimento flexible y rígido, así como el dimensionamiento de las otras capas pertenecientes al paquete estructural, se realizará la comparación y se elegirá la mejor alternativa técnica. Cabe recalcar que con los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos, también se considerará el mejoramiento o no de la subrasante si es necesario.

Se procederá a realizar el análisis de las obras de drenaje necesarias para la evacuación de aguas procedentes de las precipitaciones pluviales, determinando áreas de aporte a lo largo del eje adoptado para la carretera, asimismo comparar alternativas y elegir la mejor solución de drenaje.

Tomando en cuenta todos los aspectos ya mencionados se procederá a la elaboración y determinación del presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO II.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.- CONCEPTUALIZACIÓN.-

2.1.1.- Vía o camino.-

Denominamos camino a una franja de la superficie terrestre modificada por el hombre para dotarla de características y condiciones adecuadas para la circulación de los vehículos, principalmente automotores.

Funcionalmente es un medio destinado a satisfacer anhelos y necesidades de la población en cuanto a comunicación, traslado de bienes y personas, comercialización, relación entre la producción y el consumo, desarrollo, defensa, integración, fomento y turismo. Algunas de sus características son invisibles (resistencia, valor soporte, grado de compactación, etc.) y otras visibles (anchos, pendientes, curvaturas, etc.).

2.1.2.- Pavimento.-

Superficie especialmente acondicionada para la circulación de los vehículos, más especiales capas inferiores que le dan apoyo.

2.1.3.- Calzada.-

Franja superficial destinada a la circulación de los vehículos; la calzada pavimentada tiene especiales condiciones de resistencia, durabilidad, impermeabilidad, fricción, lisura, etc.

2.1.4.- Carril.-

Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

2.1.5.- Banquina o berma.-

Franja adyacente a la calzada destinada al estacionamiento de los vehículos accidentalmente detenidos, para usos de emergencia y como soporte lateral de la calzada.

2.1.6.- Cuneta.-

Canal longitudinal de desagüe. Si el producto de su excavación se utiliza en la obra también se llama préstamo.

2.1.7.- Zona de camino.-

Franja total ocupada. Es común materializar sus límites con alambradas o cercos.

2.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS.-

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

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

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.

2.3.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.-

2.3.1.- Topografía.-

2.3.1.1.- 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.

2.3.1.2.- Levantamiento topográfico.-

El estudio topográfico fue realizado por funcionarios de la Sub Gobernación del de la Ciudad de BERMEJO y a solicitud de mi persona, los datos de dicho levantamiento me fueron facilitados en medio magnético.

2.3.1.3.- Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.-

Una vez terminado el análisis de campo, se continúa con la reproducción del terreno levantado de manera digital en una computadora, a través de un software (AutoCAD Civil 3D) y se lograra así la reproducción de las curvas de nivel del terreno y la modelación virtual de la superficie del campo en el ordenador. Para esto se utilizó los datos de la estación total en forma de Coordenadas Cartesianas (X, Y, Z – Este, Norte, Altura); cada uno de estos datos son importantes para que el ordenador pueda modelar la superficie virtual. Con los datos de cada punto, así reproduce un mapa gráfico. Todos los puntos provenientes del trabajo desarrollado con la estación total fueron ordenados, previamente a la aplicación del software, y clasificados en Excel para la correcta modelación.

2.3.1.4.- Equipos utilizados.-

El equipo empleado para la realización de este estudio fue el siguiente:

- Estación total
- Prismas
- (Cintas métricas, herramientas de campo, libretas, equipo personal, estacas, etc.)

2.3.2.- Estudio geotécnico.-

Este capítulo se refiere a la caracterización del suelo que se presenta en el lugar del proyecto por medio de la correspondiente extracción de muestras de suelo de la zona y también incluye la ejecución de ensayos de laboratorio.

2.3.2.1.- Metodología.-

Para llevar a cabo los ensayos que permitan conseguir las características del suelo, fue necesario realizar las extracciones de muestra del terreno natural existente a lo largo de la vía. Las muestras se adquirieron a una profundidad mayor a 60 cm, se logró una muestra cada 400 metros de longitud y de manera alternada respecto a su posición a lo largo de la vía.

Una vez que se recolectó las distintas muestras en las cantidades necesarias, se procedió a efectuar con cada una de ellas los siguientes ensayos de laboratorio: Ensayos de granulometría, límites de Atterberg, ensayos de densidad y compactación y ensayos de capacidad soporte CBR.

El procedimiento que se siguió con cada uno de los ensayos anteriormente mencionados fue el siguiente:

2.3.2.1.1.- Ensayo de granulometría.-

Este análisis del suelo se desarrolló por medio de un juego de mallas, que tiene un tamaño graduado instituido por las normas AASHTO. Primero se estableció la cantidad de material necesario de cada muestra para efectuar el presente ensayo, en función al tipo de material que representaba cada muestra; es decir si el material estaba compuesto por partículas finas o gruesas.

Para aquellas muestras extraídas a lo largo de la vía, que estaban compuestas por material fino fue necesario ejecutar el “método del lavado”; para esto se empleó aproximadamente 300 gramos de muestra seca, que posteriormente se dejó reposar en agua hasta que dichas muestras se saturaran completamente, se dejó saturar el material en un lapso de 24 hrs.

Una vez saturado se colocó el material en el tamiz N°200, y con ayuda de agua se empezó a lavar el suelo, hasta que el agua pasante tomaba aspectos más claros. El material retenido en el tamiz N°200 se introdujo en un recipiente y se procedió a secar el mismo, para posteriormente retamizar por las mallas N°10, N°40 y N°200.

A continuación, se pesó el material retenido en cada tamiz y, de esta manera, se desarrolló el trabajo correspondiente al gabinete.

Para los materiales compuestos por material grueso y fino se aplicó el “método general” para su caracterización, el suelo es sometido previamente a un cuarteado con la finalidad de que la muestra sea representativa, obteniendo aproximadamente 5000 gramos o más de este suelo.

Luego de tener la muestra preparada y pesada, se procedió al tamizado de la parte gruesa del material con los siguientes tamices: 2", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, mientras que el material fino del suelo paso por los siguiente tamices N°10, N°40 y N°200. Se ajito los tamices por un tiempo de 15 minutos y posteriormente se realizó el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa en el tamiz N°200.

2.3.2.1.2.- Límites de Atterberg.-

Se ensayaron las muestras que pasaron por el tamiz N°40, en una cantidad de 100 gramos aproximadamente, desarrollando previamente una desintegración de los granos del suelo debido a la presencia de terrones.

Para la determinación del Límite Líquido, se aplicó el aparato de Casagrande sobre una superficie plana, limpia y segura.

Posteriormente, se colocó el material ya preparado, de manera horizontal en el aparato, y se realizó la ranura de manera firme en una sola pasada, para luego accionar la copa de Casagrande a un ritmo de dos golpes por segundo. Luego con ayuda de la espátula se realizó dos cortes de manera perpendicular a la ranura, para extraer la porción de suelo entre los cortes y proceder a depositarla en una de las capsulas anteriormente pesadas e identificadas.

Se pesó el suelo húmedo más la cápsula y se introdujo en el horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, para luego extraer del horno y pesar la muestra seca más la capsula y registrar dichos datos en las planillas.

Para la determinación del Límite Plástico, se manipuló con las manos el material anteriormente preparado y se procedió a amasarlo, hasta que el mismo se logró manipular de manera plástica.

Este material se empleó en la formación de rollitos, rodándolos sobre una base de vidrio, hasta que los mismos alcancen un diámetro aproximado de tres milímetros y sobre estos se perciba pequeñas rajaduras en ese diámetro. Una vez que los rollitos presentaron a los tres milímetros agrietamientos, se los cortó en pequeños trozos y los mismos fueron introducidos en cápsulas, para registrar su peso húmedo más cápsula,

las cuales después eran introducidas en el horno a una temperatura de 105°C en un lapso de 24 horas para su posterior pesaje del suelo seco más cápsula y por último se registraron estos datos en una planilla.

2.3.2.1.3.- Ensayo de densidad y compactación.-

Para la preparación del material fue, necesario realizar una compensación del mismo entre los tamices de $\frac{3}{4}$ " y N°4, con el objetivo de extraer el material grueso y densificar más el material. Para estas muestras se empleó un molde de metal (Proctor Modificado T-180 como también T-99), estructurado por cinco capas y en cada una de ellas se destinaron 56 golpes, tanteando una división de altura del molde en cinco partes iguales para la respectiva compactación.

Por otro lado, se controlaron los valores de contenido de humedad de cada muestra ensayada y además el peso del molde más muestra húmeda después de realizar el proceso de compactación. Se trituraron los terrones para facilitar el manipuleo del material y así evitar problemas respecto a la homogenización de la humedad del material provocado por la presencia de terrones.

2.3.2.1.4.- Ensayo de capacidad soporte CBR.-

Esta práctica se inició preparando muestras de 6000 gramos, a las cuales se les agregó agua en cantidad suficiente para llegar a obtener el contenido de humedad óptimo. Posteriormente, se pasó al proceso de compactación por medio del Molde Cilíndrico de Base Perforada. Luego de realizar la compactación de las pruebas aplicando en cada molde 12, 25 y 56 golpes, se sumergió cada molde en agua, durante el lapso de tiempo de 4 días, midiendo la expansión que sufrían los mismos.

Al cuarto día de haber sumergido el material, se retiró el mismo y se procedió a drenarla de forma inclinada para luego colocar el molde en la prensa y asentar el pistón de penetración sobre el espécimen. Luego se hizo lectura de las cargas necesarias para que la aguja penetrara a distintas profundidades ya instituidas, y posteriormente soltar la carga y retirar el molde y finalmente a pesar el molde más la muestra húmeda.

2.3.2.2.- Banco de préstamo.-

Los bancos de materiales a utilizarse como frentes de explotación para la obtención de materiales destinados a cubrir las necesidades en la construcción de las capas base y sub-base, como también para los agregados del pavimento, deben encontrarse cercanas al área de influencia del proyecto.

2.3.2.2.1.- Ubicación de los bancos de préstamo.-

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 (Banco de préstamo de la zona de la TALITA). Al tener conocimiento de que este banco de material también fue usado en la construcción de la carretera desde el aeropuerto hasta la Ciudad de Bermejo.

IMAGEN Nro. 2 Ubicación de banco de material



Fuente: Elaboración Propia

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.

2.3.2.2.2.- Material para la capa sub base.-

Los materiales a ser empleados en la sub-base son suelos que presentan un Índice de Soporte de California (CBR) igual o mayor a 30% y una expansión máxima de 1% determinados con la energía de compactación de la AASHTO T-180 D.

Los requisitos de plasticidad son: Límite Líquido < 25 % e índice Plástico > 6 %.

El agregado retenido en el tamiz N° 10 debe estar constituido por partículas duras y durables, la fracción fina que pase el tamiz N° 10 deberá estar constituida por arena natural, o arena obtenida por trituración. La fracción que pase el tamiz 200 será no mayor de los 2/3 de la fracción que pase el tamiz N° 40.

El diámetro máximo de agregado no será menor de 7.5 cm ni mayor que la mitad del espesor de la capa compactada. La ubicación de fuentes de explotación de estos materiales en su caso, será indicada o aprobada por el Ingeniero, según el informe del estudio de Suelos. La sub-base será efectuada con materiales que cumplan con las siguientes granulometrías:

TABLA Nro. 1 Granulometría capa sub base

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN		
	A	B	C
4"	100	-	-
3"	-	100	-
1 1/2"	-	-	100
1"	-	-	-
3/4"	-	-	-
3/8"	-	-	-
N° 4	15 – 45	20 – 50	25 – 55
N° 10	-	-	-
N° 40	-	-	-
N° 200	0 – 10	0 – 10	0 – 10

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.3.2.2.3.- Material para la capa base.-

Las capas base son ejecutadas con materiales que cumplen los siguientes requisitos:

Deberán poseer una composición granulométrica encuadrada en una de las columnas de la siguiente tabla:

TABLA Nro. 2 Porcentaje por peso del material que pasa por tamices con malla cuadrada según AASHTO T-11 Y T-27

TAMIZ	TIPO DE GRADUACIÓN		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	75 - 95	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85
Nº4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
Nº10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
Nº40	8 - 20	15 - 30	15 - 30
Nº200	2 - 8	5 - 20	5 - 15

Fuente: "Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" de la ABC

De la misma manera deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- La fracción que pasa el tamiz No. 40 deberá tener un límite líquido inferior o igual ($\leq$) a 25% y un índice de plasticidad inferior o igual ($\leq$) a 6%. Pasando de estos límites, el equivalente de arena deberá ser mayor ($>$) que 30%.
- El porcentaje del material que pasa el tamiz No. 200 no debe exceder a 2/3 del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.
- El índice de Soporte de California no deberá ser inferior a 60% y la expansión máxima será de 0.5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180 D.
- El agregado retenido en el tamiz No. 10 debe estar constituido de partículas duras durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y

exentos de materia vegetal, terrones de arcilla u otra sustancia perjudicial, los agregados gruesos deberán tener un desgaste no superior a 50% a 500 revoluciones, según lo determine el ensayo AASHTO T-96.

2.3.2.2.4.- Estudio de la capa de rodadura o carpeta asfáltica.-

Las mezclas bituminosas se componen de una mezcla de materiales granulares y bituminosos en proporciones definidas.

Los porcentajes de agregados que pasen los tamices especificados, estarán en base al peso seco del agregado. Estos porcentajes deberán estar dentro de los límites detallados en la tabla de esta especificación presentada a continuación:

TABLA Nro. 3 Porcentaje en peso, que pasa cribas con mallas cuadradas, AASHTO T-11 Y T-27

Determinación del Tamiz	GRADUACIÓN					
	A	B	C	D	E	F
2	100	-	-	-	-	-
11/2	97-100	100	-	-	-	-
1"	-	97-100	100	-	-	-
3/4	66/80 (5)	-	97-100	100	-	-
1/2	-	-	76-88 (5)	97-100	-	-
3/8	48-60	53-70 (6)	-	-	100	100
Nº 4	33-45 (5)	40-52 (6)	49-59 (7)	57-69 (6)	97-100	33-47 (6)
Nº 8	25-33 (4)	25-39 (4)	36-45 (5)	41-49 (6)	62-81 (5)	7-13 (4)
Nº 40	9-17 (3)	10-19 (3)	14-22 (3)	14-22 (3)	22-37 (3)	-
Nº 200	3-8 (2)	3-8 (2)	3-7 (2)	3-8 (2)	7-16 (2)	2-4 (2)

Fuente: "Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" de la ABC

Cuando se utiliza grava triturada, no menos de un 80% en peso de las partículas de la misma, retenidas por el tamiz N° 4, deberá tener por lo menos una cara fracturada.

El porcentaje de laminaridad deberá ser $\leq 15\%$. Y los agregados deberán tener un porcentaje de desgaste no mayor al 40% a 500 revoluciones al ser ensayadas por el método ASHTO T-96. Los agregados deben ser homogéneos (tipo único de agregados). Y el porcentaje de adherencia deberá ser $\geq 95\%$ (AASHTO T-182).

2.3.3.-Estudio de tráfico.-

En el presente capítulo se examina el tráfico como un componente muy significativo para el diseño de carreteras y caminos, por medio de una proyección del tráfico futuro de la zona del proyecto que nos permita determinar los espesores de cada capa que conforman un paquete estructural.

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.

2.3.3.1.- Metodología.-

Los aforos de vehículos se efectuaron sobre el mismo camino a diseñar, los aforos realizaron de manera manual mediante las consideraciones más críticas las cuales serían los días hábiles como los días no hábiles, donde cada uno de esos días mencionados se realizó el aforamiento considerando las horas picos de circulación o críticas las cuales serían (07:30 a 08:30, 11:30 a 12:30 y 17:30 a 18:30). Al cabo de la misma se analizó el comportamiento vehicular.

2.3.3.2.- Equipo empleado.-

El equipo empleado durante la elaboración del presente estudio es el siguiente:

- Libretas de registro o planillas.
- Otros (Computadora personal, etc.).

2.3.3.3.-Tráfico normal.-

Es el tráfico obtenido mediante los aforos realizados antes del estudio, el mismo que es el promedio volumétrico diario, llamado también TPD. Para el proyecto se estableció el comportamiento del flujo vehicular en función al tráfico promedio horario, para esto se empleó una relación porcentual sobre la estimación del tráfico promedio diario, y así generar de este modo el tráfico normal para el diseño de la vía.

2.3.3.3.1.- Crecimiento normal del tránsito (CNT).-

Se refiere al incremento del volumen debido al aumento normal del uso de vehículos de acuerdo al tiempo de estudio.

$$CNT = TE * (1 + i)^n$$

Donde:

CNT = Tránsito promedio diario futuro debido al crecimiento normal

TE = Transito existente

i = Tasa de crecimiento de tránsito

n = Año (1, 2, 3,...)

El índice de crecimiento del parque automotor fue calculado de los registros del R.U.A.T. (Registro único para la administración tributaria municipal).

2.3.3.4.- Tráfico generado.-

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

Se prevé que el tráfico vehicular generado para el tramo será de 25%, el cual será aplicado a todo el tráfico normal considerándose como un valor aceptable ya que se trata de un camino que va a aumentar el flujo de vehículos a la zona turística.

Tráfico generado = 25 % (Tráfico normal)

2.3.3.5.- Tráfico inducido.-

El tráfico inducido se produce cuando existen rutas paralelas. Por ello, la pavimentación de una carretera puede atraer el tráfico de una ruta paralela, debido a las mayores velocidades que se imprimen en carreteras pavimentadas.

En caso de nuestro proyecto el tráfico inducido no consideramos una ruta paralela al lugar de estudio ya que esta alternativa llegara a ser única, en la misma se desarrolla un movimiento tipo comercial y turístico.

Para la determinación de ese tráfico se asume un valor del 15% del Trafico normal.

Tráfico inducido = 15 % (Tráfico normal)

2.3.3.6.- Tránsito futuro.-

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, referido al TPDA del proyecto, deberá basarse en los incrementos de transito que se espera que utilicen el camino mejorado. Lo cual influye el crecimiento normal del tránsito (CNT), el tráfico inducido (TI) y el generado (TG).

$$Tf = CNT + TI + TG$$

2.3.4.- Estudio hidrológico.-

Este estudio hidrológico del tramo carretero bordo el Aeropuerto - Arrozales. Está basado en los registros históricos climatológicos realizados por el SENAMHI.

La principal fuente de información climatológica en el país, es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Institución encargada del registro de todos los datos climatológicos e hidrológicos del país.

Los registros de precipitaciones corresponden a estaciones pluviométricas cercanas al área de proyecto, debido a que en la zona del proyecto no existen estaciones pluviográficas razón por la cual se recopiló información directamente de las planillas de registro de las estaciones. Analizando la información obtenida del SENAMHI, encontramos que en la zona del proyecto la estación Climatológica existente más cercana es la estación Bermejo-Aeropuerto, cuentan con los suficientes datos para

determinar los principales parámetros que influyen en el diseño de las obras de drenaje. Por lo anteriormente señalado, se ha tomado como base los datos registrados por estas estaciones.

2.3.4.1.- Determinación de parámetros estadísticos.-

Los parámetros estadísticos para el análisis hidrológico son los siguientes:

- **Media.-** La media de cada una de las series de máximos fue calculada con la siguiente expresión:

$$\overline{ht} = \frac{\sum_i^n ht_i}{n}$$

Donde:

$\overline{ht}$ = Precipitación promedio anual en (mm).

ht = Precipitación máxima anual en (mm).

n = Número de años, correspondiente al periodo.

- **Desviación típica.-** Asimismo, para cada serie fue estimada la desviación standard, para $n + 1$ datos:

$$\sigma\{ht\} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (h_i - \overline{ht})^2}{n - 1}}$$

Donde:

Sd = Desviación típica en (mm).

$\overline{ht}$ = Precipitación promedio anual en (mm).

h = Precipitación máxima anual en (mm).

n = Número de años, correspondiente al periodo.

- **Moda.-** También conocido como valor modal:

$$Ed = \overline{ht} - 0.45 * Sd\{ht\}$$

Donde:

Ed = Moda (mm)

ht = Precipitación promedio anual en (mm)

Sd = Desviación típica en (mm)

- **Parámetro característico.-** Este parámetro fue calculado para las diferentes estaciones analizadas para las series de valores máximos en 24 horas.

Este parámetro caracteriza a una zona de igual clima, es decir que debe ser único y constante para el área de influencia hidrológica de la estación. Según la teoría probabilística este parámetro varía generalmente entre 0,5 y 1,5.

$$kt = \frac{Sd\{ht\}}{0.557 * Ed}$$

Donde:

K =Característica.

Sd = Desviación típica en (mm).

Ed = Moda (mm).

- **Moda ponderada.-**

$$E_d = \frac{E_{t1} \cdot N_1 + E_{t2} \cdot N_2}{N_1 + N_2}$$

Donde:

Ed = Moda de cada estación (mm).

N = Número de datos de cada estación.

- **Característica ponderada.-**

$$K_p = \frac{K_{t1} \cdot N_1 + K_{t2} \cdot N_2}{N_1 + N_2}$$

Donde:

K = Característica de cada estación .

N = Número de datos de cada estación.

2.3.4.2.- Cálculo de alturas de precipitación máxima diaria.-

Para el cómputo de las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno se utiliza la Ley de Gumbell.

$$HdT = Ed(1 + Kd * \text{Log}T)$$

Donde:

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

Ed = Moda (mm).

Kd = Característica de la distribución.

T = Periodo de retorno (años).

2.3.4.3.- Cálculo de alturas de precipitación máxima horaria.-

Se emplea la siguiente fórmula para el cálculo de las alturas de precipitación máxima horaria:

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

Donde:

Edp = Moda ponderada, la cual se adquiere de las precipitaciones máximas en 24 hrs. de las estaciones climatológicas estudiadas.

t_c = Tiempo de concentración (hrs).

T = Periodo de retorno (años).

Kdp = Característica ponderada.

β = Entre 0,2 o 0,3

2.3.4.4.- Intensidad máxima.-

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a aquella de duración igual al tiempo

de concentración de la cuenca y de la frecuencia o período de retorno seleccionado para el diseño de la obra en cuestión.

2.4.- DISEÑO GEOMÉTRICO.-

Este camino será ejecutado basándose en las normas vigentes establecidas por las normas de la Administradora Boliviana de Carreteras.

2.4.1.- Categoría de la vía.-

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 del 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 en terreno montañoso.

TABLA N°. 4 Clasificación funcional para el diseño de carreteras y caminos rurales

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 ó + UD	2	120 - 100 - 80	A (n) - xx
AUTORUTA	(I.A)	4 ó + UD	2	100 - 90 - 80	AR (n) - xx
PRIMARIO	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 - 90 - 80	P (n) - xx
		2 BD	1	100 - 90 - 80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 - 70 - 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 - 70 - 60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 - 60 - 50 - 40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50 - 40 - 30*	D - xx

Fuente: Manual de Carreteras (ABC)

2.4.2.- Velocidad de proyecto.-

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y confort, esta velocidad se emplea para efectos de la clasificación funcional para diseño, a fin de indicar el

estándar global asociado a la carretera.

La función de la carretera y la topografía del terreno de emplazamiento de la obra, generalmente, dictaminan la velocidad del proyecto y el costo de la infraestructura.

2.4.3.- Alineamiento horizontal.-

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son: la categoría de la vía, topografía del área y velocidad del proyecto los elementos geométricos del camino de estudio deberán estar convenientemente relacionados para garantizar una operación segura y confortable, a una velocidad de proyecto.

2.4.3.1.- Distancias de visibilidad.-

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

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

2.4.3.1.1.- Distancia de visibilidad de frenado.-

Distancia de visibilidad de parada, es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, antes de que alcance un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor a 0,15 m, estando situados los ojos del conductor a 1,15 m, sobre la rasante del eje de su pista de circulación.

Los valores mínimos de la distancia de visibilidad de frenado son calculados con la siguiente expresión:

$$Df = \frac{v*t}{3,6} + \frac{v^2}{254*(f+i)}$$

Donde:

Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado m.

V = Velocidad de diseño km/h.

f = Coeficiente de fricción longitudinal entre el pavimento mojado y el neumático.

i = Pendiente longitudinal de la rasante en m/m.

TABLA Nro. 5 Distancias de visibilidad de frenado

VELOCIDAD DE PROYECTO V_p (km/h)	DISTANCIA DE FRENADO D_f (m)
30	25
35	31
40	38
45	44
50	52
55	60
60	70
65	80
70	90

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.3.1.2.- Distancia de visibilidad para sobrepaso.-

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

De lo expuesto se deduce que la visibilidad de adelantamiento se requiere sólo en caminos con carriles para tránsito bidireccional.

La tabla Nro. 6 entrega los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

TABLA Nro. 6 Distancia mínima de adelantamiento

Vp (km/h)	DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550

Fuente: Manual ABC

2.4.3.2.-Longitudes máximas en recta.-

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a:

$$L_r (m) = 50 V_p (km/h)$$

Donde:

L_r = Largo en m de la alineación recta

V_p = Velocidad de proyecto de la carretera

2.4.3.3.- Longitudes mínimas en recta.-

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

a. Curvas en S.

Deberán alcanzar o superar los mínimos, 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

$$L_r \text{ mín} = 1,4 * V_p .$$

b. 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 Nro. 7 Lr min entre curvas del mismo sentido

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno Llano y Ondulado	-	110/55	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	98/65	110/90				

Fuente: Manual de la ABC

2.4.3.4.- Peralte.-

Los peraltes son las sobre elevaciones transversales de la calzada en trazados horizontales curvos, donde aparece la fuerza centrífuga originando peligros a la estabilidad de los vehículos en movimiento, el deslizamiento transversal y el vuelco.

Para evitar estos peligros, la norma propone ciertos valores como se ven en el TABLA Nro. 8 en consideración de los factores principales siguientes:

- El flujo de tráfico puede circular a velocidades menores que las velocidades de diseño.
- Categoría del camino, topografía de la región y velocidades directrices.
- Razones económicas, reducción de costos de construcción.
- Condiciones climáticas de la zona.

TABLA Nro. 8 Peralte

CRITERIOS DE APLICACIÓN	e máx. Deseable	e máx. Absoluto
Zonas rurales con probabilidad de formación de hielo o acumulación de nieve sobre la calzada. Carreteras de categoría 0 y I.A	6	6
Zona llanas y ondulaciones, sin probabilidad de hielo o acumulación de nieve sobre la calzada	6	8

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.3.5.- Coeficientes de fricción.-

La seguridad de circulación de los vehículos en las curvas depende, además del, peralte, también del coeficiente de fricción o de rozamiento lateral, que se origina entre los neumáticos y la superficie del pavimento.

El valor del coeficiente de fricción es determinado experimentalmente considerando las condiciones medias del vehículo, tales como la suspensión, neumáticos, características dinámicas, etc.

2.4.3.6.- Curvas circulares.-

Son elementos geométricos que nos permiten unir dos tangentes, las relaciones geométricas entre los elementos de la curva circular utilizadas son las siguientes:

Donde:

Longitud de la tangente:

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

La externa:

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

Cálculo del valor de la ordenada media:

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

Desarrollo:

$$Dc = \frac{\pi * \Delta * R}{180}$$

Longitud:

$$L = 2 * R * \text{sen} \frac{\Delta}{2}$$

➤ **Elementos de la curva circular.-**

En la figura Nro. 1 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g). Los elementos de la curva circular son los siguientes:

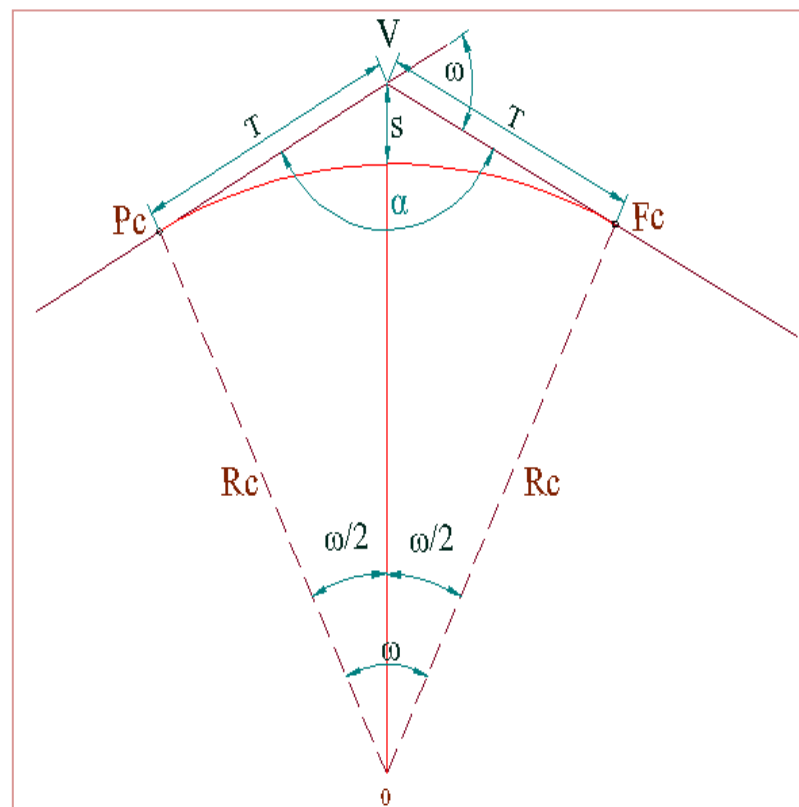
- **Vn** = Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
- **α** = Ángulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
- **ω** = Ángulo de deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
- **R** = Radio de curvatura del arco de círculo (m).
- **T** = Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m).

Determinan el principio de curva **PC** y fin de curva **FC**.

- **S** = Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m).
- **D** = Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia **PC** y **FC** (m).

- **e** = Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%).
- **E** = Ensanche; sobreancho que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.

FIGURA Nro. 1 Elementos de la curva circular



Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.3.7.- Radios mínimos de curvas circulares.-

Los radios mínimos de curvas horizontales calculados para las velocidades directrices, los peraltes y los coeficientes de fricción, condiciones climáticas, tipo de tráfico, etc. Han sido determinadas a partir de la siguiente formula.

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

Donde:

$R_{\min}$ = Radio de curva mínimo (m).

V = Velocidad directriz (Km. /h).

e = Peralte (m/m).

f = Coeficiente de fricción a dimensional.

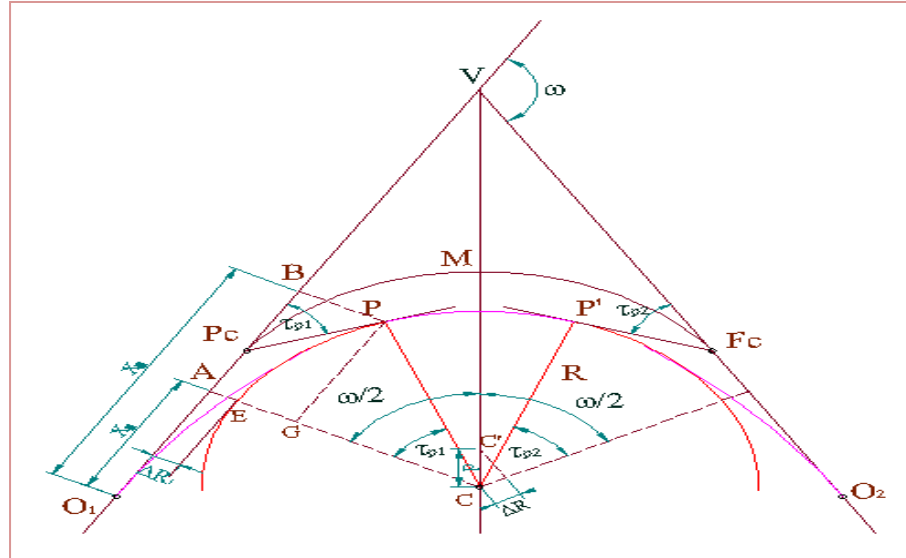
TABLA Nro. 9 Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
Vp	e_{máx}	f	R_{mín}
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.3.8.- Curvas de transición.-

La incorporación de elementos de curvatura variable con el desarrollo, entre recta y curva circular o entre dos curvas circulares, se hace necesaria en carreteras y caminos por razones de seguridad, comodidad y estética. El uso de estos elementos permite que un vehículo circulando a la velocidad específica correspondiente a la curva circular, se mantenga en el centro de su carril. Esto no ocurre, por lo general, al enlazar directamente una recta con una curva circular, ya que en tales casos el conductor adopta instintivamente una trayectoria de curvatura variable que lo aparta del centro de su carril e incluso lo puede hacer invadir la adyacente, con el peligro que ello implica.

FIGURA Nro. 2 Curva de transición

Fuente: Manual ABC

Coordenadas de la espiral:

$$Xp = L - \frac{L^3}{40 \cdot R^2}$$

$$Yp = \frac{L^2}{6 \cdot R}$$

$$Xc = Xp - R \cdot \text{sen}(\tau)$$

$$Yc = Yp + R \cdot \text{cos}(\tau)$$

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

Tangente: $T_s = (R + \Delta R) \tan\left(\frac{\omega}{2}\right) + X_c$

Desarrollo: $D_s = 2L + \frac{\pi \cdot R \cdot \omega_c}{180}$

Donde:

R: Radio de la curva (m)

ω: Ángulo de deflexión (°)

La curvatura variable permite desarrollar el peralte a lo largo de un elemento curvo, evitando calzadas peraltadas en recta, al mismo tiempo, la aceleración transversal no compensada por el peralte crece gradualmente desde cero en la recta o su valor máximo al comienzo de la curva circular, lo que hace más confortable la conducción.

Las ventajas estéticas están relacionadas con el grado de adaptación al medio y la variación uniforme de la curvatura que se logra mediante estos elementos.

Se emplearán arcos de enlace o transición en todo proyecto cuya V_p sea mayor o igual que 40 km/h. En caminos con $V_p \leq 80$ km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 1500 m. En carreteras con $V_p \geq 80$ km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 3000 m.

$$R \times L = A^2$$

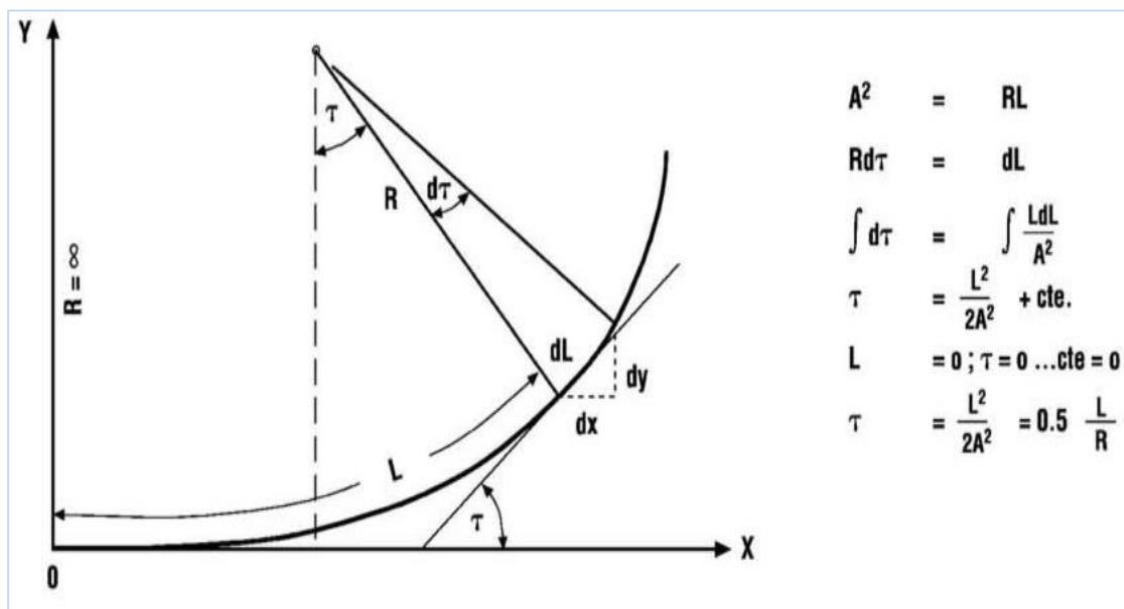
Donde:

R = Radio de la curva en un punto determinado (m)

L = Desarrollo de la curva desde el origen hasta el punto de radio R (m).

A = Parámetro de la clotoide (m).

FIGURA Nro. 3 Características de la clotoide



Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

➤ **Elección del parámetro A de la clotoide.-**

Criterio a) Por condición de guiado óptico, es decir para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular, el parámetro debe estar comprendido entre: $R/3 \leq A \leq R$.

La condición $A \geq R/3$ asegura que el ángulo τ será mayor o igual que $3,54^\circ$ y $A \leq R$ asegura que τ sea menor o igual que $31,83^\circ$. Para radios de más de 1000 m se aceptarán ángulos τ de hasta $3,1^\circ$ que está dada por $A = R/3,2$.

Criterio b) Como condición adicional de guiado óptico es conveniente que si el radio enlazado posee un $R \geq 1,2 R_{\min}$ el retranqueo de la curva circular enlazada (ΔR) sea $\geq 0,5$ m, condición que está dada por: $A \geq (12 \cdot R/3)^{0,25}$.

Señalamos los dos más importantes, ya que son los más representativos, en lo que respecta a este estudio en particular ya que se adoptó el criterio a.

➤ **Elementos del conjunto arco de enlace curva circular.-**

La introducción de un arco de enlace implica el desplazamiento del centro de la curva original en una magnitud que es función del retranqueo ΔR y del ángulo de deflexión de las alineaciones.

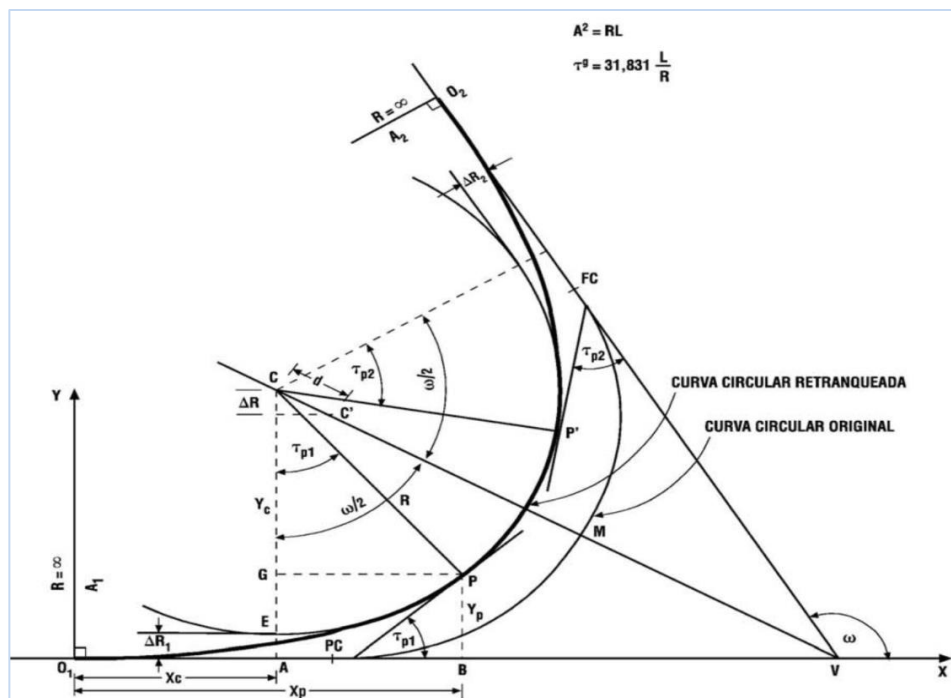
El radio de la curva circular permanece constante y el desarrollo de ésta es parcialmente reemplazado por secciones de las clotoides de enlace.

La figura Nro. 4, ilustra los conceptos antes mencionados y permite establecer las relaciones necesarias para el replanteo. Los elementos del arco de enlace curva circular son:

- $R(m)$: Radio de la curva circular que se desea enlazar.
- $d(m)$: Desplazamiento del centro de la curva circular original (C'), a lo largo de la bisectriz del ángulo interior formado por las alineaciones, hasta (C), nueva posición del centro de la curva circular retranqueada de radio R ; válido para clotoides simétricas.

- $\Delta R(m)$: Retranqueo o desplazamiento de la curva circular enlazada, medido sobre la normal a la alineación considerada, que pasa por el centro de la circunferencia retranqueada de radio R .
- X_p ; $Y_p(m)$: Coordenadas de “P”, punto de tangencia de la clotoide con la curva circular enlazada, en que ambas poseen un radio común R .
- X_c ; $Y_c(m)$: Coordenadas del centro de la curva circular retranqueada, referidas al sistema anteriormente descrito.
- $\tau_p(g)$: Ángulo comprendido entre la alineación considerada y la tangente en el punto P común a ambas curvas.
- $\omega(g)$: Deflexión angular entre las alineaciones consideradas.
- $OV(m)$: Distancia desde el vértice al origen de la clotoide.
- $Dc(m)$: Desarrollo de la curva circular retranqueada entre los puntos PP’.

FIGURA Nro 4 Elementos del conjunto arco de enlace curva circular



Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.4.- Alineamiento vertical.-

En el diseño del alineamiento vertical, se usan curvas verticales para proporcionar un cambio gradual de la inflexión entre dos rasantes rectilíneas continuas de distintas pendientes, para que los vehículos puedan correr fácilmente cuando ellos cruzan las carreteras. Estas curvas tienen generalmente una forma parabólica de segundo grado.

2.4.4.1.- Ecuación paramétrica de la curva vertical.-

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

Donde:

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

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

X = Distancia parcial desde PCV o FCV (m)

Curva Cóncava:

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

Donde:

Kc = Parámetro de la curva vertical cóncava (m)

Df = Distancia de frenado (m)

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

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

Curva Convexa:

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

Donde:

Kv = Parámetro de la curva vertical convexa (m)

Df = Distancia de frenado (m)

h1 = 1,10 m Altura de ojos del conductor

h2 = 0,20 m Altura del obstáculo

2.4.4.2.- Longitud mínima de curvas verticales.-

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

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

$$2 * T(m) \geq 50$$

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

2.4.4.3.- Pendientes mínimas.-

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales

2.4.4.4.- Pendientes máximas del perfil longitudinal.-

Las pendientes máximas tolerables son definidas en las normas teniendo en cuenta la topografía, el volumen y características de tráfico en coherencia con la velocidad directriz, por lo tanto la categoría de la carretera.

TABLA Nro. 10 Pendientes máximas admisibles

CATEGORIA	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	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual ABC

2.4.4.5.-Curvas verticales convexas.-

Los valores de K para las longitudes mínimas de las curvas verticales convexas se han calculado con las siguientes expresiones:

$$K = \frac{Df^2}{4.12} \text{ (Condiciones diurnas); } K = \frac{Df^2}{2.7} \text{ (Condiciones nocturnas)}$$

Donde:

K = Parámetro de la parábola en m.

Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado m.

2.4.4.6.-Curvas verticales cóncavas.-

Los valores de K para las longitudes mínimas de las curvas verticales cóncavas se calculan con las siguientes expresiones:

$$K = \frac{2 * Df}{J} - \frac{1.2 + 0.035 * Df}{J^2} \text{ (L < Df) ; } K = \frac{Df^2}{1.2 + 0.035 * Df} \text{ (L > Df)}$$

Donde:

K = Parámetro de la parábola en m.

Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado m.

L = Longitud en proyección horizontal de la curva vertical m.

J = [i1 – i2] = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en m/m.

Las anteriores ecuaciones muestran los valores del parámetro K, para condiciones nocturnas siendo estas las más desfavorables.

El cálculo del parámetro K para cada curva se muestra en el anexo respectivo al alineamiento vertical.

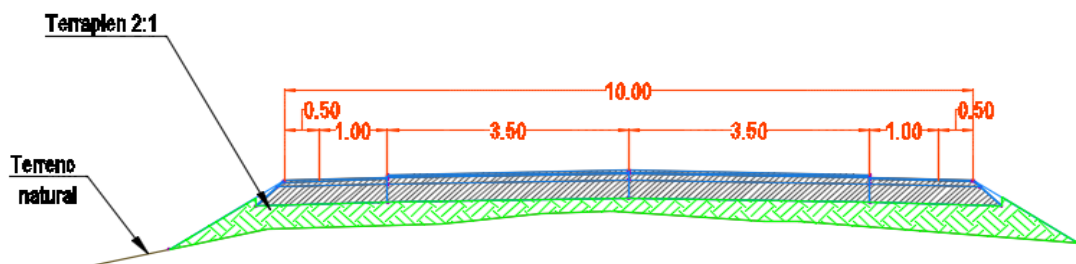
2.4.5.- Sección transversal.-

2.4.5.1.- Calzada.-

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

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

IMAGEN Nro. 3 Sección transversal tipo



Fuente: Diseño Geométrico en el Programa Civil 3d

2.4.5.2.-Berma.-

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.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía, y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

2.4.5.3.-Sobreancho de plataforma (SAP).-

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.

Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación autopropulsado.

Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor que 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la berma deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las bermas se muestra el valor de calzada, berma y SAP, adecuados a los parámetros anteriormente citados.

TABLA Nro. 11 Descripción técnica de calzada, berma y SAP

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORÍA	VELOCIDAD PROYECTO (Km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS (2)		SOBREANCHO SAP (3)		ANCHO 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 BIDIRECCIONALES	COLECTOR	LOCAL	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	-	0,5 - 0,8	-	-	-	10,0 - 11,0
			60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	8,0 - 10,0
			50	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0	-	0,5	-	-	-	8,0 - 10,0
			40	3,0	-	0,0 - 0,5	-	0,5	-	-	-	7,0 - 8,0
			30	2,0 - 3,0	-	0,0 - 0,5	-	0,5	-	-	-	5,0 - 6,0

Fuente: "Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" de la ABC

2.4.5.4.-Pendiente transversal de la calzada.-

La pendiente transversal de la calzada debe ser lo suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir las posibilidades de formación de láminas de agua, peligrosas durante la circulación de los vehículos.

En el siguiente cuadro extraído de las normas de la ABC, se muestran las pendientes transversales de las calzadas en función del tipo de pavimento y el clima de la zona, ya que estos son los factores más importantes en la elección de este parámetro de diseño, sin dejar de lado la comodidad y funcionalidad de la vía.

TABLA Nro. 12 Pendiente transversal de la calzada

TIPO DE PAVIMENTO	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	ZONA HÚMEDA	ZONA SECA
Pavimento de hormigón	2.0 – 1.5	2.0 – 1.5
Pavimento flexible	2.5 – 2.0	2.0
Pavimentos porosos o tratamientos superficiales	3.0 – 2.5	2.5 – 2.0
Calzadas no pavimentadas	4.0 – 3.0	3.5 – 3.0

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.4.6.- Taludes de corte y terraplén.-

2.4.6.1.- Talud en corte.-

Se refiere a la excavación en el terreno existente, destinada a abrir una vía de paso a la carretera. Esta excavación puede realizarse por medios mecánicos o con explosivos, según el tipo de terreno.

La inclinación de los taludes de corte varía según sea la calidad y estratigrafía de los suelos encontrados.

2.4.6.2.- Talud en terraplén.-

Es el aporte o relleno de tierras en zonas de cota inferior a la prevista en el proyecto, puede aprovecharse las tierras que son extraída de la zona de desmonte.

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

Los taludes de terraplén con altura inferior a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1: 1.5 (H: V) como se especifica en el manual de la ABC.

2.4.7.- Volúmenes de movimiento de tierras.-

2.4.7.1.- Aspectos generales.-

Un factor que influye significativamente a la selección del trazado de una vía es el terreno, que a su vez afecta al trazado de la rasante. El factor primordial que el diseñador considera para el trazado de la rasante, es el volumen de movimiento de tierras que será necesario para la rasante seleccionada.

Un método para reducir el volumen de movimiento de tierras, es trazar la rasante tan cerca como sea posible al nivel natural del terreno. Esto no siempre es posible, especialmente para terreno ondulado o montañoso. También puede obtener un costo general menor si la rasante se traza de modo que haya un balance entre el volumen escavado y el volumen de terraplén.

2.4.7.2.- Cálculo de los volúmenes de movimiento de tierras.-

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada, se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de rasante. En general las secciones transversales están separadas cada 10 metros, aunque a veces se aumenta esta distancia.

Estas secciones transversales se obtienen al graficar el nivel del terreno y la rasante propuesta para la vía, a lo largo de una línea perpendicular a la rasante para indicar las áreas de excavación y las áreas de terraplén.

Un método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas. Este procedimiento se basa en la suposición de que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, es el promedio de sus áreas multiplicado por la distancia entre aquéllas, tal como se da en la siguiente ecuación.

$$V = \frac{L}{2} * (A_1 + A_2)$$

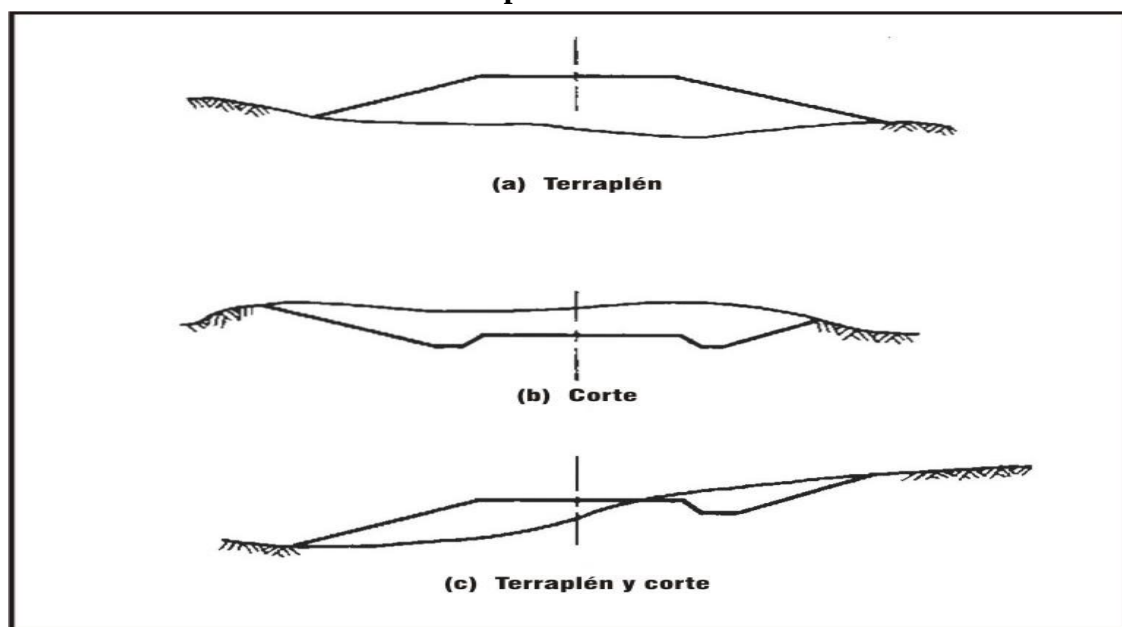
Donde:

V = Volumen (m_3)

A_1 y A_2 = Áreas extremas (m_2)

L = Distancia entre las secciones transversales (m)

FIGURA Nro. 5 Tipos de sección transversal



Fuente: "Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" de la ABC

2.5.- OBRAS DE DRENAJE.-

El estudio del drenaje de un proyecto vial, abarca obras transversales como longitudinales. Las primeras son las que permiten el paso de las corrientes hídricas por medio de puentes y de alcantarillas, transversales o sesgadas. Las obras hidráulicas longitudinales comprenden las cunetas y todo tipo de obras de control

que se ubican en ambos lados de la plataforma. Estas concentran el agua que se escurre desde la plataforma hacia ambos lados y que también provienen de los terrenos laterales para luego, conducir las hacia las alcantarillas transversales y descargarlas en los cursos de agua o cauces existentes en la zona.

2.5.1.- Tiempo de retorno.-

Se usan los siguientes tiempos de retorno para las estructuras hidráulicas de la ruta: Para cunetas, Alcantarillas de alivio y de cruce se utilizara un tiempo de retorno de 25 años ya que con ese tiempo las secciones de la cunetas son aceptables.

Tabla Nro. 13 Tiempo de retorno

OBRAS DE ARTES	PERIODO DE RETORNO
Drenaje de la plataforma:	5 años
Alcantarilla menor:	10 años
Alcantarilla mayor:	25 años
Puentes:	50 años

Fuente: Manual de la ABC

2.5.2.- Diseño de cunetas.-

Las cunetas contribuyen a las obras complementarias de drenaje de uso más extendidos y universal. Las cunetas son canales que se adosan a los lados de la carretera en el lado del corte. Permiten recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida por la vía y el coronamiento del corte.

2.5.2.1.-Secciones tipo.-

Esta sección fue diseñada observando las condiciones constructivas bajo las cuales la misma será materializada; en este caso se asume que las cunetas de corte serán construidas al mismo tiempo que el paquete estructural de pavimento, utilizando para este fin una motoniveladora. Por esta razón, la sección tipo adoptada para el diseño es de geometría triangular con taludes asimétricos 1:1 y 1:1

IMAGEN Nro. 4 Sección tipo de las cunetas

- Caudal de diseño (m^3/s)

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

- Ancho superficial

$$T = 2zy$$

Donde:

A = Área de aporte (km^2).

T = ancho superficial (m).

Q = Caudal (m^3/s).

Y = tirante de nivel de agua (m).

2.5.3.- Alcantarillas de alivio.-

2.5.3.1.- Cálculo del tiempo de concentración.-

Para la determinación del tiempo de concentración, se debe definir previamente las características morfológicas de la cuenca las cuales son área de la cuenca, longitud del cauce principal, pendiente del lecho del río. Desnivel entre el punto más alto y más bajo de la cuenca dividido entre su longitud medida en planta.

Además se manejaron diferentes fórmulas para luego obtener una media entre aquellos valores de tiempos de concentración más relevantes.

Chereke

$$tc = \left(0,871 * \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

California	$tc = 0,3 * \left(\frac{L}{\sqrt[4]{J}} \right)^{0,76}$
Ventura y Heras	$tc = 0,05 * \frac{\sqrt{A}}{J}$
Giandotti	$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3J * L}$

Unidades de los parámetros a utilizar.

A = Área de la cuenca (Km²).

L = Longitud del río principal (Km).

ΔH = Diferencia de cotas (m).

J = Pendiente media del río principal (m/m) .

2.5.3.2.-Estimación de caudales máximos.-

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

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

2.5.3.3.- Método racional.-

La ecuación del método racional responde a la siguiente expresión:

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

Donde:

Q = Caudal (m³/s).

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

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

A = Área de la cuenca o superficie drenada (km²).

➤ **Coeficientes de escurrimiento "C"**

Con relación al coeficiente de escurrimiento C, éste depende, entre otros factores, de la pendiente de la cuenca y del río, del tipo de suelo, de la geología de la vegetación.

La norma A.B.C. nos proporciona ciertos valores de acuerdo al tipo del terreno.

TABLA Nro. 14 Coeficientes de escurrimiento "C"

TPO DE TERRENO	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA
Pavimento de adoquin	0,50 - 0,70
Pavimento asfálticos	0,70 - 0,95
Pavimento en concreto	0,80 - 0,95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2% - 7%	0,15 - 0,20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2% - 7%	0,25 - 0,65
Zona de cultivo	0,20 - 0,40

Fuente: Manual de la A.B.C.

➤ **Coeficiente de rugosidad**

De acuerdo al material de las alcantarillas se obtendrán los coeficientes de rugosidad de la tabla siguiente:

TABLA Nro 15 Coeficientes de rugosidad

MATERIALES	n
a) Hormigón	0,012
b) Metal Corrugado	
Ondulaciones estándar (68 mm x 13 mm)	0,024
25% revestido	0,021
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones medianas (76 mm x 25 mm)	0,027
25% revestido	0,023
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones grandes (152 mm x 51 mm)	
25% revestido	0,026
Totalmente revestido	0,012

Fuente: Manual de la ABC.

El cálculo hidráulico considerado para establecer las dimensiones mínimas de la sección para las alcantarillas a proyectarse, es el establecido por la fórmula de Robert Manning para canales abiertos.

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Rh = Radio Hidráulico (m).

S = Pendiente de la Cuenca (m/m).

A = Área de la Cuenca (m²).

n = Coeficiente de Manning

Debido a que el tubo trabaja al 0.50 del diámetro (y = 0.50 d).

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

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

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

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

2.5.4.- Alcantarillas de cruce.-

El diseño hidráulico de las alcantarillas de cruce tiene como objetivo fundamental determinar las dimensiones del área hidráulica necesaria que pueda permitir el paso de las aguas transversalmente al camino. En la práctica existen varios métodos para el dimensionamiento en carreteras:

- a) Método por comparación.
- b) Método de Talbot.
- c) Método racional.
- d) Método de sección y pendiente.
- e) Método de precipitación pluvial.

a) Método por comparación.-

Dentro del diseño de carreteras es frecuente encontrar zonas de condiciones climatológicas similares donde deben emplazarse alcantarillas o en su caso ríos o quebradas que cortan transversalmente al camino varias veces en un mismo tramo, esta situación permite que puedan dimensionarse por comparación con otras ya existentes cuyo funcionamiento haya sido comprobado y con buenos resultados. El método no hace más que adoptar las mismas dimensiones de la alcantarilla ya conocida y proceder a su ejecución.

b) Método de Talbot.-

Por el método que es empírico cuya ecuación fundamental es la siguiente:

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

a = Área hidráulica (m²).

C = Coeficiente de escorrentía.

A = Área de la cuenca en (Has).

Valores de “C”

Terrenos montañosos	1.0
Terrenos con lomerío	0.8
Terrenos ondulados	0.5
Terrenos planos	0.2

En este método la variable fundamental es el área de la cuenca por lo que su uso se recomienda cuando se dispone de buena información sobre la superficie de la cuenca.

c) Método racional.-

Es el método más utilizado ya que toma más variables y se las puede obtener si existen estaciones meteorológicas cercanas a la zona del proyecto, la ecuación es:

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

Donde:

Q = Caudal (lt/seg).

i = intensidad de precipitación (mm/hr) (en los 10 min. de máxima concentración).

A = Área de la cuenca (Has).

$$Q = 27.52 * C * i * A$$

i = intensidad de precipitación (cm/hr).

C = Coeficiente de escorrentía.

Tabla N° 16 Coeficientes de escorrentía "C"

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA "C"	
Pavimentos Asfálticos	0,75 – 0,95
Pavimentos de Concreto	0,70 – 0,90
Suelos Impermeables	0,40 – 0,65
Suelos Ligeramente Permeables	0,15 – 0,40
Suelos Moderadamente Permeables	0,05 – 0,20

Fuente: Vías de comunicación

En base a la ecuación racional siempre y cuando se tengan los valores confiables sobre la intensidad de precipitación el cual estará determinado a partir de las precipitaciones máximas diarias utilizando distribución de ajustes probabilísticas como: distribución normal, logarítmica-normal, Pearson y otros que nos permiten encontrar una correlación entre la intensidad de precipitación el tiempo de retorno y el de concentración, se recomienda tomar el valor de intensidad de precipitación en los 10 min de tiempo de concentración y un periodo de retorno de 50 a 100 años.

Determinado el caudal que va a pasar por el punto donde se va a ubicar la alcantarilla utilizando la ecuación de Manning donde Q ya es un dato, además tenemos la pendiente longitudinal de la alcantarilla en base al lecho del río, el coeficiente "n" dependiendo de la rugosidad del material de la alcantarilla dejando como incógnita el

valor del área hidráulica necesaria que por iteración se la puede obtener ya sea esta en sección circular (diámetro) o rectangular (base por altura).

d) Método de sección y pendiente.-

Utiliza como parámetros la sección transversal de la quebrada o río donde se quiere diseñar la alcantarilla y la pendiente longitudinal del hecho del río aprovechando la ecuación de Manning:

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

Donde las variables conocidas son el área, perímetro mojado, pendiente longitudinal y coeficiente “n”, con lo que se determina fácilmente el caudal.

Determinado ese caudal se vuelve a la misma ecuación en la que el caudal aparece como dato, la pendiente, el coeficiente “n”, y la variable a determinar es la sección hidráulica.

e) Método de precipitación pluvial.-

Este método también empírico que hizo una modificación a la ecuación racional considerando que es importante tomar en cuenta la pendiente longitudinal del lecho del río, la relación que nos permite calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = 0.022 * C * i * A * \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/seg).

c = Coeficiente de escorrentía.

i = Intensidad de precipitación (cm/hr) (10 min. max. concentración).

S = Pendiente longitudinal del lecho (m/Km).

A = Área de la cuenca (Has).

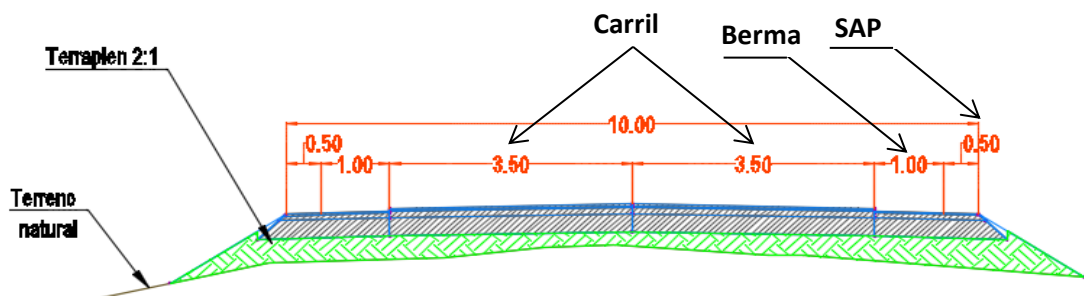
Esta ecuación también puede ser usada siempre y cuando se conozcan datos confiables de intensidad de precipitación, área de aporte de la cuenca, pendiente longitudinal del lecho del río.

En el tramo en estudio sólo se ubicarán alcantarillas de este tipo, que también funcionarán como alcantarillas de alivio debido a que no se encontraron quebradas que cruzan la carretera y colocándolas a distancias prudentes una de la otra.

2.5.5.- Longitud de las alcantarillas.-

La longitud de las alcantarillas depende del ancho de la calzada del camino, de la altura del terraplén, del talud del mismo, y del ángulo de esviajamiento.

FIGURA Nro. 6 Elementos de la sección transversal



Fuente: Elaboración Propia.

2.6.- DISEÑO ESTRUCTURAL.-

2.6.1.- 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.

2.6.2.- 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.

TABLA Nro. 17 Periodos de diseño en función del tipo de carretera

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 30
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

2.6.3.- Factor distribución direccional.-

A menos que existan consideraciones especiales, se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección.

2.6.4.- Factor de crecimiento.-

Los valores del factor de crecimiento para diferentes tasas anuales y periodos de diseño se muestran en la tabla siguiente, de acuerdo al criterio de la AASHTO:

TABLA Nro. 18 Factor de crecimiento

Período de diseño, años (n)	Tasa de crecimiento anual, <i>g</i> en porcentaje							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.1
3	3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5	5.2	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6	6.31	6.63	6.8	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7	7.43	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8	8.58	9.21	9.55	9.9	10.26	10.64	11.44
9	9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	14	15.97	18.29	19.18	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17	20.01	23.7	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18	21.41	25.65	28.13	30.91	34	37.45	45.6
19	19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20	24.3	29.78	33.06	36.79	41	45.76	57.28

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

2.6.5.- 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%.

Tabla. Nro. 19 Factor de distribución por carril.

No. CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 18 KIPS EN EL CARRIL DE DISEÑO (FC)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 ó más	50 – 75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

➤ **Tránsito.-**

Los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. Existen varios tipos de vehículos con diferentes pesos, y número de ejes. Para el cálculo se transforman los vehículos a una carga equivalente de un eje de 18kip, (80kN) Al número de cargas equivalentes del tráfico se le llama ESAL (Equivalent Axle Load)

El programa DIPAV 2.0 calcula el número de ESALs de diseño, para ello se deben conocer los siguientes parámetros:

Periodo de diseño: 30 años (2016-2045).

Tráfico promedio diario en dos direcciones (ADT).

Número de carriles en cada dirección.

Porcentaje de todos los camiones en el carril de diseño.

Porcentaje de camiones en la dirección de diseño.

Es importante aclarar que el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) corresponde al valor total del tráfico que circula en ambas direcciones de una carretera en un día promedio, de modo que si se tiene una carretera de únicamente dos carriles (uno por

sentido de tráfico), podría introducirse el valor de 50%, es decir que la mitad de tráfico circula en cada sentido, sin embargo, en carreteras que típicamente van más cargadas en un sentido (por ejemplo en zonas agrícolas o mineras) se prefiere utilizar el valor de 60%.

2.6.6.- Composición del tráfico y número de ejes equivalentes ESALs.-

En el método AASHTO, los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. El efecto de estos ejes es acumulativo durante la vida del pavimento, ya que este fallará por fatiga a causa de un cierto número de repeticiones de cargas.

De una manera simple, podríamos definir el número acumulado de ESALs como un valor que representa a la totalidad del tráfico considerando los diferentes tipos de vehículos, configuración de ejes y llantas, convertidos a un número equivalente de ejes simples cuyo peso es de 18,000 lb. (80 KN). En el ensayo de carreteras de AASHTO.

El programa de diseño DIPAV 2.0, analiza cada tipo de vehículo por separado, para ello se necesitan los siguientes datos para cada tipo de vehículo:

- Porcentaje del ADT
- Tasa de crecimiento
- Factor camión promedio inicial (TF)
- Tasa de crecimiento del TF

2.6.7.- Diseño del pavimento flexible (Alternativa 1).-

2.6.7.1.- Función del pavimento.-

El propósito estructural de un pavimento es distribuir las cargas de las llantas, aplicadas en áreas pequeñas, en áreas más grandes sobre el suelo de fundación, para prevenir esfuerzos excesivos.

La funcionalidad está dirigida a los requerimientos de los usuarios de tener buenas condiciones de viaje.

La seguridad en un pavimento está relacionada a la interacción entre la llanta y el pavimento. En otras palabras que tan resbalosa es la superficie.

2.6.7.2.- Factores de diseño.-

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

- Tráfico.
- Propiedades de la subrasante.
- Materiales de construcción.
- Condiciones climáticas, ambientales y drenaje.

Para el propósito de este estudio se realizaron estudios previos de suelos y materiales, tráfico e hidrología. Obteniendo los datos necesarios para el diseño del pavimento.

Para el cálculo de espesores de las capas del paquete estructural, es necesario determinar previamente el número estructural SN, para este propósito se utilizó el Software DIPAV, que está fundamentada en el método AASHTO versión 1993. La ecuación que se presenta a continuación se utiliza para la determinación del Número Estructural SN, referida a la cantidad acumulada de un eje estándar de 8,2 Tn. para un periodo de vida útil, es la siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{\frac{0.4 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \text{Log}M_r - 8.07$$

En la cual las variables tienen los siguientes significados:

W18= Número de eje equivalentes a 18000 libras que solicitaran durante el periodo de vida útil.

Z_r = Desviación normal standard para el grado de confiabilidad "R" elegido.

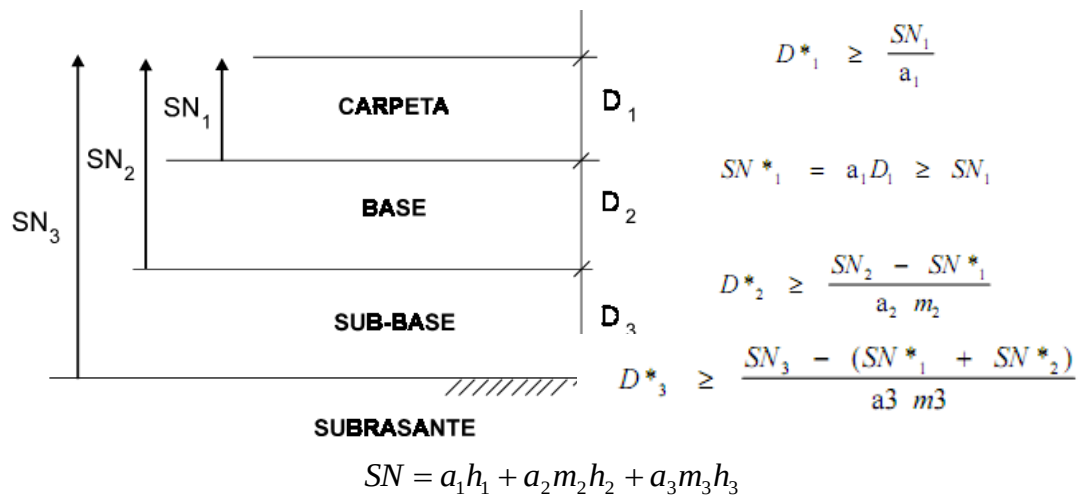
S_o = Error standard combinado de las predicciones de tránsito y de comportamiento

ΔPSI = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.

M_r = Modulo resiliente de la subrasante.

SN = Número estructural del pavimento.

En el procedimiento de diseño AASHTO, el cálculo del diseño del pavimento produce un número estructural. Este número estructural expresa la resistencia estructural de un pavimento flexible. Este valor, que es resultado de la ecuación de diseño AASHTO, se convierte a espesores individuales de capas en el pavimento a través de la siguiente relación:



Dónde:

a_i = coeficientes estructurales de la capa i .

m_i = coeficientes de drenaje de la capa i .

h_i = espesor de la capa i .

Cada una de las variables que conforman esta ecuación tiene varios posibles valores, pero de acuerdo a la guía de diseño existen ciertas condiciones mínimas

recomendadas que se deben cumplir para que una vez construidas unas protejan a las otras y viceversa. Para la determinación de los espesores de las distintas capas utilizando el método de Análisis por Capas se deben seguir las ecuaciones que se mencionan a continuación:

1).- a , D , m , y SN corresponden a valores mínimos requeridos.

2).- D^* y SN^* representan los valores finales de diseño.

Debe ser considerado que, en caso de que los espesores obtenidos a través de las expresiones matemáticas arriba indicadas resulten inferiores a los espesores mínimos indicados en el método, dichos mínimos deberán ser adoptados, lo que obliga a la definición de nuevos valores de SN_1 y SN_2 , con base en los espesores adoptados y en los valores de los coeficientes estructurales.

2.6.7.3.- Coeficientes estructurales de las capas (a_i).

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

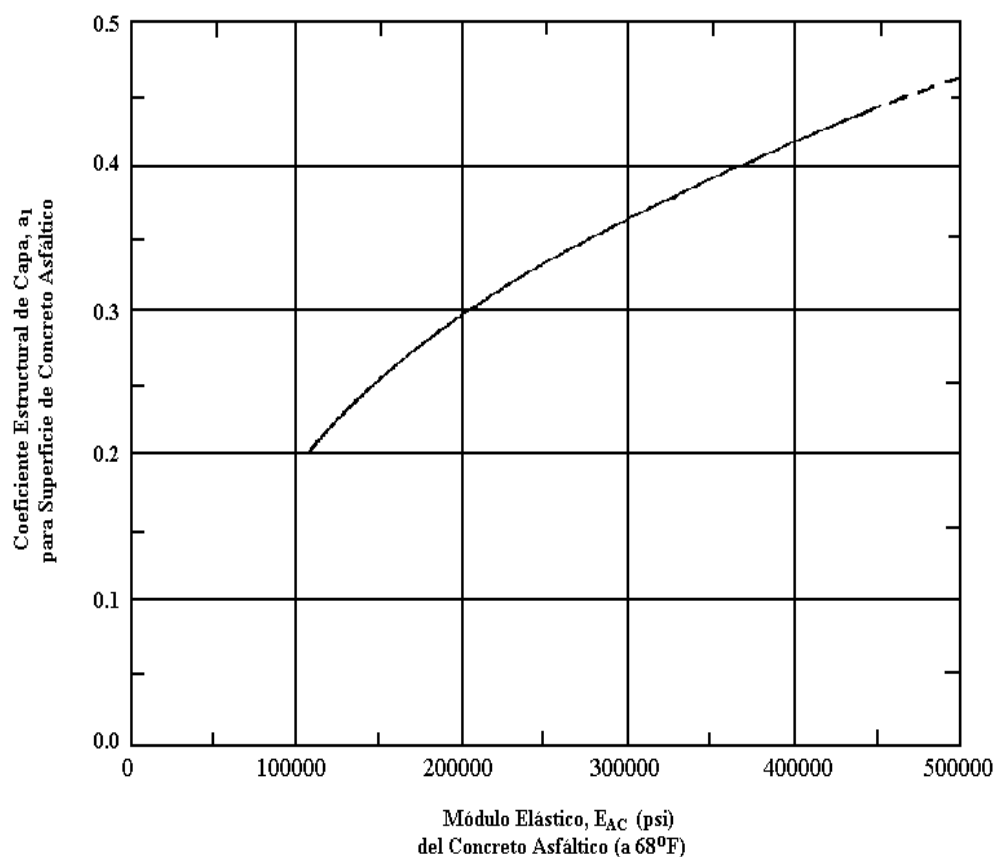
El método AASHTO presenta diversas formas de obtener el valor del coeficiente estructural, en general a través de correlaciones con otras propiedades mecánicas de los materiales (CBR, módulo, resiliente, etc.). Estos coeficientes es posible determinar a través de ábacos o expresiones matemáticas. A continuación se presentan los valores adoptados para cada caso.

2.6.7.3.1.- Coeficiente estructural para concreto asfáltico en caliente.-

El coeficiente de capa para una pista de concreto asfáltico (a_1) es una función del valor del módulo elástico del material. La figura 7 en la sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un cuadro que puede ser usado para estimar el coeficiente estructural de la capa de una superficie densamente graduada de concreto asfáltico basado en su módulo elástico a 20° C (68°F). El coeficiente promedio de la superficie de concreto asfáltico en el ensayo de carreteras AASHO fue de 0.44. También existen correlaciones en función de la estabilidad Marshall o el módulo resiliente del asfalto.

Estos valores se aplican para asfalto tratado en caliente, no así para tratamientos superficiales, en los cuales normalmente se ignora el aporte de la capa de tratamiento, o en el mejor de los casos se asume de manera igual al valor de la capa base utilizada.

FIGURA Nro. 7 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “A₁”.



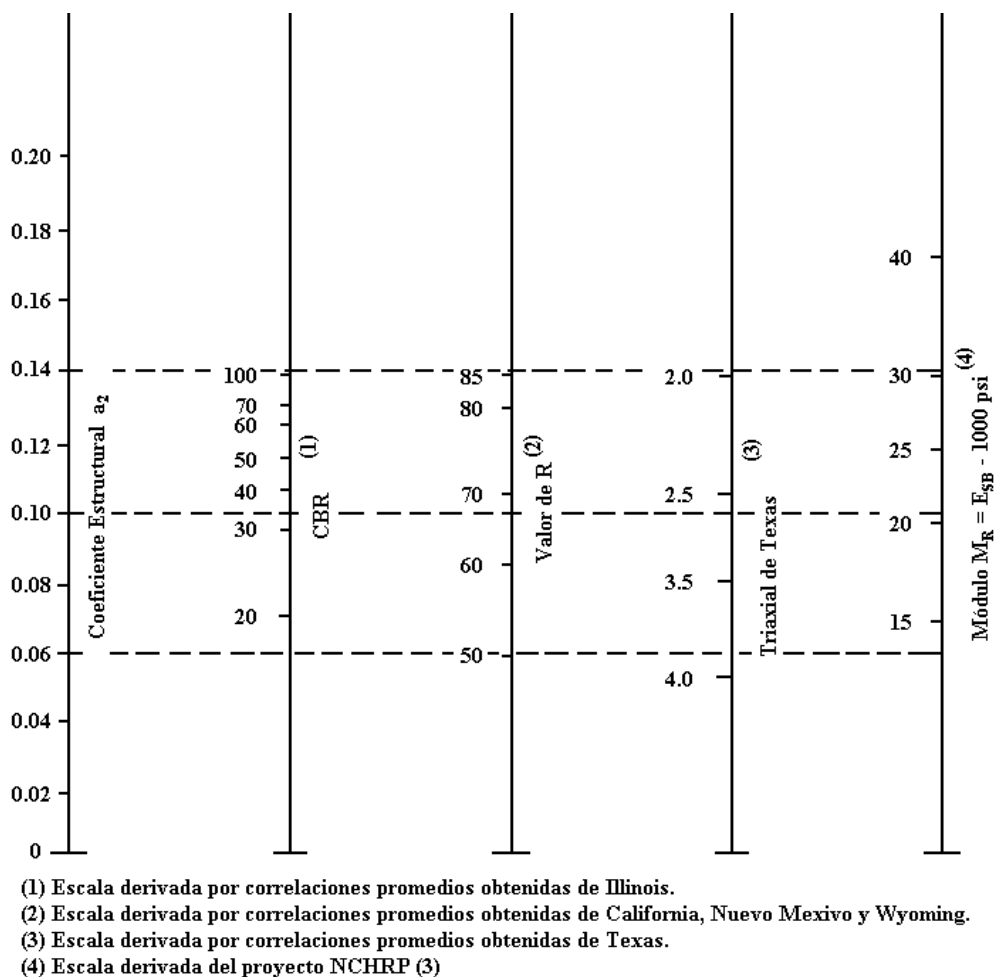
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

➤ Carpeta Asfáltica – $a_1 = 0.44$

2.6.7.3.2.-Coeficiente estructural para capa base granular.-

En la sección II de la guía de diseño AASHTO provee un gráfico que puede ser usado para estimar el coeficiente estructural para una base granular (a_2) de uno de cuatro resultados de ensayos de laboratorio. Estos resultados se basan en los promedios del ensayo de carreteras AASHO para materiales granulares en el que se obtuvo: $a_2 = 0.12$, para un módulo de la base EBS = 180,000 kPa con un CBR = 56.1 % y un valor de R de 80.

FIGURA Nro. 8 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “A₂”.



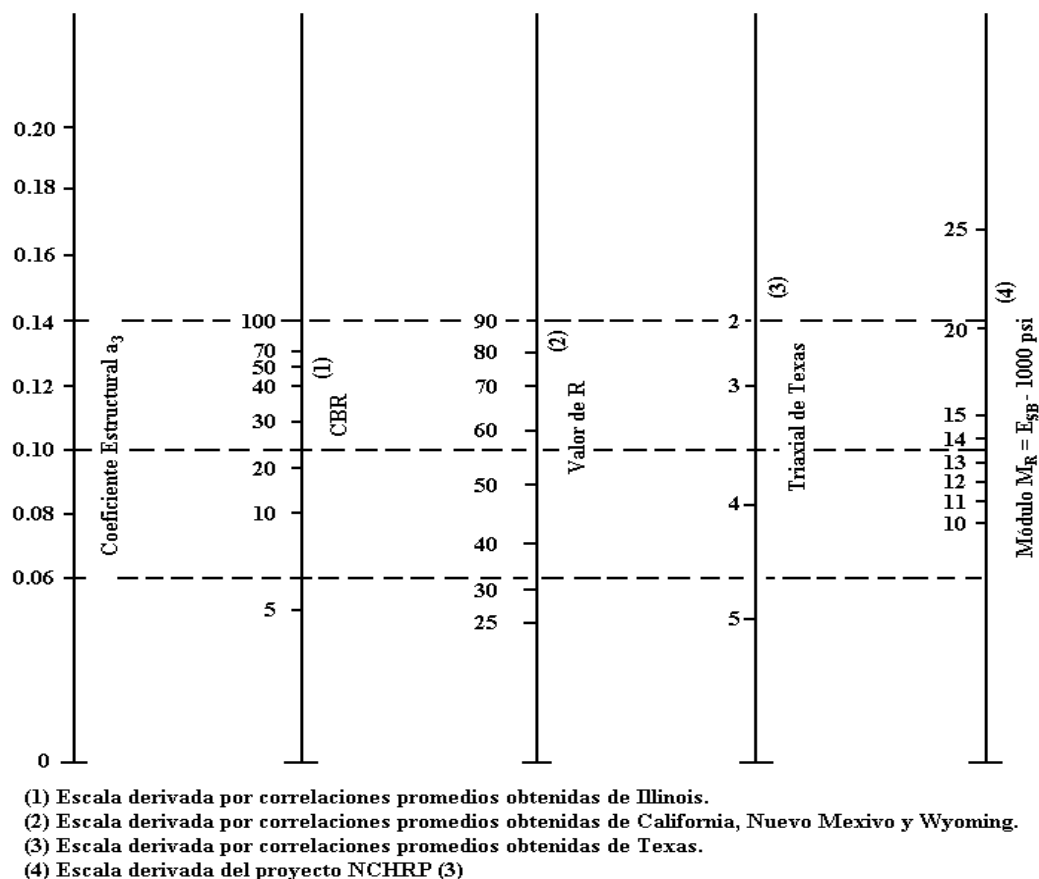
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

➤ Bases Granulares –a2= 0.12

2.6.7.3.3.- Coeficiente estructural para capa subbase granular.-

En la Sección II de la guía de diseño AASHTO provee un gráfico que se puede usar para estimar el coeficiente estructural para materiales de sub-base granular (a3). La capa subbase del AASHO Road Test tenía las siguientes características: (a3) = 0.122; EBS = 120,000 kPa ; CBR = 46.2 %; valor de R de 80.

FIGURA Nro. 9 Ábaco para estimar el número estructural de la sub-Base granular “A₃”.



Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

➤ Sub Bases Granulares – $a_3 = 0.122$

2.6.7.4.- Serviciabilidad.-

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Esta se mide dentro de la escala de 0 a 5, siendo que el valor 5 representa una condición muy buena y 0 pésimas condiciones.

Se ha tomado una serviciabilidad inicial p_i de **4.2** y serviciabilidad final de proyecto p_f de **2.5**; con una diferencia entre ambos de 1.7, conforme recomienda la guía de la AASHTO.

2.6.7.5.-Modulo resiliencia de la subrasante.-

El módulo de resiliencia de la subrasante es la propiedad del material usado para representar las características de soporte del suelo natural en el diseño de pavimentos flexibles. En términos generales, es una medida de la deformación del suelo en respuesta a aplicaciones (cíclicas) de cargas mucho menores que la carga de falla.

El proceso de diseño de AASHTO, requiere la introducción del módulo resiliente efectivo del suelo de la carretera. En el presente estudio, fueron directamente adoptados los valores de módulo resiliente obtenidos a través de la ecuación de correlación con el CBR.

En la guía AASHTO se menciona que ante la imposibilidad de contar con los equipos para realizar ensayos con el módulo de resiliente, se puede utilizar la correlación establecida por el Corps of Engineers con el CBR:

$$M_R = 1500 \times CBR \text{ [psi]}$$

De acuerdo a la experiencia en Latinoamérica, las ecuaciones que se presentan a continuación son las más utilizadas y las que han sido aplicadas en el presente diseño:

$$M_R = 17,6 \times CBR^{0,64} \text{ [MPa]} \text{ Para CBR entre 2 y 12\%}$$

$$M_R = 22,1 \times CBR^{0,55} \text{ [MPa]} \text{ Para CBR entre 12 y 80\%}$$

Con CBR de 5.26% $M_r=50.80 \text{ Mpa} = 50802 \text{ Kpa}$.

Con el coeficiente estructural $a_2=0.12$ $M_r=180000 \text{ Kpa}$.

Con el coeficiente estructural $a_3=0.122$ $M_r=120000 \text{ Kpa}$.

2.6.7.6.-Nivel de confianza.-

El nivel de confianza es uno de los parámetros más importante introducido por la AASHTO para el 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. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las capas y el tránsito de diseño pronosticado.

TABLA Nro. 20 Valores del nivel de confianza "R" de acuerdo al tipo de camino.

TIPO DE CAMINO	ZONAS URBANAS	ZONAS RURALES
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Se consideró camino vecinal zona rural 80% en dos etapas.

2.6.7.7.- Desviación estándar global (So).-

Este concepto se encuentra explicado detalladamente en el capítulo correspondiente a pavimento rígido, Desviación estándar global, sin embargo, se destaca que los valores comúnmente utilizados para pavimento flexible están entre 0.45 a 0.49, en este caso asumiremos **0.49** ya que dispone de aforos de tráfico lo cual reduce la incertidumbre.

2.6.7.8.- Coeficiente global de drenaje (Cd).-

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento; y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje; la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

TABLA Nro. 21 Capacidad del drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección m_1 (bases) y m_2 (sub-bases granulares sin estabilizar), en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

TABLA Nro. 22 Valores m_i para modificar los coeficientes estructurales o de capa de bases y sub-bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles

CAPACIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN.			
	Menos del 1 %	1 a 5 %	5 a 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Malo	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

La carretera tendrá una calidad de drenaje regular con tiempo de saturación anual de una semana (esto se debe a que es una zona llana de poca pendiente), y el porcentaje del tiempo de saturación es: 1-5 %, donde se consideró una media m_1 y $m_2 = 1$

2.6.7.9.- Asfalto diluido y cemento asfáltico.-

➤ Asfalto diluido.-

El asfalto diluido para la imprimación bituminosa a utilizarse será asfalto diluido de curado mediano MC-70 especificado en la norma AASHTO M-82

MC -70 tiene límites de temperatura entre 21.11 y 62.78 °C por lo tanto es utilizable para esta zona del departamento donde se conoce que la temperatura anual promedio es de 28 grados aproximadamente siendo de esta manera posible conservar la temperatura según las especificaciones técnicas que corresponden a este ítem (**Ver anexo de especificaciones técnicas**) donde también se indica un aspecto fundamental que dice que el material bituminoso no deberá aplicarse cuando la temperatura ambiental estuviera por debajo de 10° C.

➤ **Cemento asfáltico.-**

El cemento asfáltico a utilizarse en la construcción de la carpeta asfáltica nueva, será de penetración 85-100 de la misma manera que el asfalto diluido para imprimación no se requiere la utilización de otro tipo especial de cemento asfáltico para climas fríos ya que la temperatura de la zona de proyecto viene a ser indicada para este cemento asfáltico de penetración, la entrega, manipuleo y control de todo el material bituminoso será conforme a las determinaciones del FP-74 en su Sección 106

El cemento asfáltico deberá cumplir con las siguientes especificaciones de calidad:

TABLA Nro. 23 Espesor de pavimento

Nº	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	ENSAYO	LÍMITES
		AASHTO 1974	CA (85-100) Min.-Máx.
1	Penetración a 25° C 100gr	T-49	85 – 100 (0,1 mm)
2	Punto de inflamación C.O.C	T-48	450 (0,1")
3	Ductilidad a 25° C 5 cm	T-51	100 (cm)
4	Solubilidad en tetracloruro	T-44	99(%)

5	Película delgada al horno	T-179	
	a. Pérdida por calentamiento (%)		1
	b. Penetración de residuo (%)		50
	c. Ductilidad del residuo (cm)		75
6	Viscosidad Saybolt a 135° C (SSF)		75 – 150
7	Ensayo en la mancha, equivalente xileno, menor que 25% de heptanoxileno	T-102	Negativo
8	El asfalto se preparará por destilación del petróleo. Será uniforme en su naturaleza y no formará espuma al calentarlo a 175° C		
9	Índice de susceptibilidad térmica (%)		-2 + 0,5

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

En Cuanto a las tolerancias de porcentaje de asfalto, densidad de la carpeta y al diseño de mezcla se encuentran en el **(Anexo especificaciones técnicas)**, además de los requerimientos que debe cumplir la planta estática preparadora de la mezcla bituminosa.

2.6.8.- Diseño del pavimento rígido (Alternativa 2).-

2.6.8.1.- Diseño de pavimento rígido método ASSTHO-97.-

La fórmula que permite el diseño de pavimentos rígidos, desarrollada por la AASHTO es la siguiente:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Abscisa correspondiente a un área igual a la Confiabilidad “R” en la curva de distribución normalizada.

S_0 = Desviación Estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento, en pulgadas.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

p_t = Serviciabilidad final.

S'_C = Módulo de rotura del hormigón, en psi.

C_d = Coeficiente general de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón, psi.

k = Módulo de reacción de la subrasante, en psi/pulg.

La expresión arriba descrita está en el sistema de unidades inglés.

Dado el carácter empírico de esta fórmula, muchos de los datos a asumir son fruto de la experiencia y de la práctica general en el diseño de pavimentos. En los acápites precedentes se han explicado algunas de las variables que intervienen en la fórmula anterior. La adopción de los distintos valores para las variables involucradas en el diseño será explicada a continuación.

2.6.8.2.- Numero equivalentes de ejes de 80KN (ESAL'S).-

El tránsito que circula por una carretera está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. A efectos de diseño, este tráfico es transformado en un Número Equivalente de Ejes Tipo de 80 kN, el cual se los denomina ESAL'S, “Equivalent Single Axle Load” o carga axial simple equivalente.

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo, además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de distinta manera a una misma carga, estas cargas que producen diferentes tensiones y deformaciones también originarán distintos tipos de falla en el pavimento. Para tener en cuenta estas diferencias, el tránsito es reducido a

un número equivalente de ejes de un determinado valor de carga, que producirán el mismo daño que toda la composición de tráfico. Esta carga tipo según AASHTO-97 es de 80 kN o 18,000 libras. Esta conversión se hace mediante el factor equivalente de carga “LEF”, por sus siglas en inglés. Existe otro factor que afecta la determinación del número de ejes equivalentes, y es el factor camión “FC”; a diferencia del LEF, este factor expresa el nivel de deterioro producido al pavimento por un tipo de vehículo en particular y no es más que la relación del número de ejes equivalentes y el número de camiones para ese tipo de vehículos en particular, la determinación del ESAL’S de diseño parte de los resultados del estudio de tráfico.

2.6.8.3.- Serviciabilidad.-

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Dicha medida varia dentro de la escala de 0 a 5, siendo que el valor 5 representa una condición muy buena y 0 pésimas condiciones. Fueron considerados índices de serviciabilidad inicial $P_i = 4,5$ y índice de serviciabilidad al final del periodo de proyecto $P_f = 2,5$; conforme recomienda la Guía de la AASHTO (tabla n°25), para pavimentos rígidos nuevos.

TABLA Nro. 24 Serviciabilidad

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos	$P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes
$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles	$P_t = 2.0$ para caminos de transito menor

Fuente: Guía de Diseño AASHTO 97

2.6.8.4.- Módulo promedio de ruptura de hormigón a los 28 días ($S'c$).-

Es el esfuerzo de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. El módulo de ruptura requerido como dato para el procedimiento de diseño es el valor promedio

determinado después de 28 días usando el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78).

El valor promedio usualmente adoptado para pavimentos carreteros nuevos corresponde a $S'_c = 4.83 \text{ MPa}$, el mismo que se recomienda verificar durante la construcción mediante ensayos de vigas a la flexión.

2.6.8.5.- Modulo de elasticidad (E_c).-

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que soporta la losa del pavimento. Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones, están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en el ensayo ASTM C 469.

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión o a la flexión del hormigón. En nuestro caso, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$E_c = 1,000,00[S'_c(\text{kPa}) - 3,370]/43.5$$

De esta fórmula se obtiene el valor aproximado de $E_c = 34,000 \text{ MPa}$. El diseño es poco sensible a esta variable.

2.6.8.6.- Modulo efectivo de reacción de la sub rasante (K).-

El módulo efectivo de reacción de la subrasante (k) se calcula en base a los valores modulares zonales asociados a los respectivos daños unitarios sufridos por la estructura en función de dichos valores.

En el presente estudio, se adoptó directamente valores de módulo de reacción obtenidos a través de la correlación con el CBR según recomienda la Portland Cement Association. Tomando en cuenta que el CBR se obtiene por medio de un proceso de saturación de la probeta durante 4 días, se consideró despreciable el efecto de zonalidad de la humedad en sitio, lo que justifica la adopción directa de los valores presentados.

Si $CBR \leq 10$

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG } (CBR)$$

Si $CBR > 10$

$$K = 46 + 9.08 (\text{LOG } (CBR))^{4.34}$$

También puede ser obtenido mediante la tabla de la AASTHO-93 DIPAV -2.0

$$\text{Para } CBR = 5.24 \% \Rightarrow K = 34.96 \text{ KPa/mm}$$

2.6.8.7.- Nivel de confianza (R).-

La selección del nivel apropiado de confianza para el diseño de un pavimento está determinada por el uso esperado de ese pavimento. Un nivel de confianza elevado significa un pavimento más costoso y por lo tanto mayor costo inicial, pero pasará mayor tiempo antes de que necesite reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores, un nivel de confianza bajo da pavimentos más económicos, pero con mayor costo de mantenimiento, lógicamente, existirá un nivel de confianza óptimo en el cual la suma de los costos iniciales y de mantenimiento dan un mínimo.

Bajo ese criterio la AASTHO elaboró la tabla que se presenta a continuación, donde se presentan niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

TABLA Nro. 25 Valores de confianza (En función de la funcionalidad)

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	URBANA	RURAL
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 – 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: guía de diseño AASHTO

Dadas las características de la vía en estudio adoptaremos un nivel de confianza

R = 80%, que correspondería a un camino desarrollo (clasificación ABC).

2.6.8.8.- Desviación estándar global (S_0).

Toma en cuenta la variabilidad de los datos de diseño, la variabilidad del tráfico durante la vida útil del pavimento, la variabilidad de los fenómenos naturales, variabilidad durante los procesos constructivos, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, etc. En ausencia de valores nacionales, la guía de diseño AASHTO recomienda valores recomendados para pavimentos rígidos. Para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no se considera, la guía de diseño AASHTO recomienda un valor de 0.35, en el caso de que no lo hubiera el valor es 0.39. Por lo tanto el valor adoptado será de $S_0 = 0.39$.

2.6.8.9.- Coeficiente de transferencia de carga (J).

Es un factor usado sólo en pavimentos rígidos y sirve para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. Este factor considera además, el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa, la siguiente tabla provee recomendaciones para la selección del coeficiente de transferencia de carga de la cual se adoptó $J = 3.2$.

TABLA Nro. 26 Coeficientes de transferencia de carga

TIPO DE PAVIMENTO	BERMA DE ASFALTO		BERMA VINCULADA	
	Dispositivo de Transferencia		Dispositivo de Transferencia	
	Sí	No	Sí	No
Junta sencilla y Junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

Fuente: AASHTO guía de diseño

2.6.8.10.- Coeficiente de drenaje (C_d).

La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de la sub base y los materiales de fundación, el diseño de las secciones transversales estructurales y de la presencia de drenes longitudinales de borde. Este valor no es fácil de determinar y en el

presente caso se adoptará simplemente por las características de clasificación de suelos determinadas y los datos de pluviometría, la norma AASTHO sugiere una calificación para la calidad del drenaje de acuerdo al tiempo en que las aguas son drenadas, tanto de la losa como de la capa sub base y subrasante. Esta calificación es:

TABLA Nro. 27 Niveles de calidad de drenaje

CALIDAD DE DRENAJE	AGUA REMOVIDA DENTRO DE:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	Agua no drena

Fuente: Guía de Diseño AASHTO

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la siguiente tabla que relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad.

TABLA Nro. 28 Coeficientes de drenaje

Calidad de Drenaje	Menos de 1 %	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25 %
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente Guía de Diseño AASHTO

las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 % del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación (1.10 – 1.0), por lo tanto el coeficiente global de drenaje adoptado es $C_d = 1.0$

2.6.8.11.- Factor de fricción (F).-

El factor de fricción indica la fuerza requerida para hacer deslizar la losa sobre la sub base en términos del peso de la losa, de acuerdo a la AASTHO para sub bases

granulares se tiene un factor de fricción, como es el caso del presente estudio $F = 1.50$.

2.6.8.12.- Diámetros de las barras.-

Los diámetros preferidos para pavimentos rígidos son 16 y 12 mm, el primero para losas gruesas y donde se espera un mayor número de vehículos pesados que se cambien de carril constantemente (por ej. en vías de cuatro carriles). En el país se ha utilizado normalmente el diámetro de 12 mm. En pavimentos urbanos de bajo tráfico podría utilizarse inclusive 10 mm de manera excepcional. El método de diseño sugerido por DIPAV requiere que el diseñador defina el diámetro de **16mm**.

2.6.8.13.- Coeficiente de expansión térmica.-

El coeficiente de expansión térmica del hormigón es una medida del cambio de dimensiones del material cuando está sujeto a variaciones de temperatura. El coeficiente de expansión térmica depende de factores como la relación agua cemento, la edad del hormigón, el contenido de cemento y la humedad relativa del ambiente, sin embargo, el tipo de agregado grueso en la mezcla tiene el mayor impacto en este coeficiente. Algunas guías para estimar este valor, en base a diferentes tipos de agregado grueso se presentan a continuación:

TABLA Nro. 29 Coeficiente de expansión térmica

TIPO DE AGREGADO GRUESO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN $\times 10^{-6} \text{mm/mm/}^{\circ}\text{C}$ ($\times 10^{-6} \text{pulg/pulg/}^{\circ}\text{F}$)
Cuarzo	11.9 (6.6)
Arenisca	11.7 (6.5)
Grava	10.8 (6.0)
Granito	9.5 (5.3)
Basalto	8.6 (4.8)
Caliza	6.8 (3.8)

Fuente: AASHTO Guía de Diseño.

2.6.8.14.- Otras variables.-

Además de los factores que anteriormente se han explicado, para el diseño de pavimentos intervienen otros variables, que por su dominio público sólo se las mencionará:

La calidad o resistencia a la fluencia del acero para barras de amarre: $f_y = 400 \text{ Mpa}$ y acero para barras pasajuntas de 2,400 MPa.

Distancia al borde libre (Ancho de carril) será **3.5 m**

Es el coeficiente de seguridad que reduce la tensión del acero para evitar la aparición de fluencia en el mismo y por tanto la apertura de la junta longitudinal, este valor típicamente es de **75%**, sin embargo podría variarse en función a la mayor o menor seguridad que se desee.

Gradiente térmico (anteriormente se explicó el criterio para su adopción):

$$\Delta_t = 30^\circ \text{ C}$$

$$\Delta = 10.8 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$$

Factor de ajuste para la fricción entre la losa y la subbase: Un factor de ajuste se usa en el cálculo del movimiento en la junta transversal para tomar en cuenta la resistencia a la fricción de este movimiento entre la losa de hormigón y diferentes tipos de bases. Un valor de 0.65 debe usarse para una base estabilizada (como ser una base tratada con cemento o concreto pobre), y un valor de **0.80** para una base granular. (Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte II.).

Deformación admisible del sellador: La deformación admisible del sellador es un valor especificado por el fabricante que toma en cuenta las características específicas del sellador. Un valor típico para selladores sobre la base de petróleo es de **0.25** y para selladores de silicona es 0.50. Este no es aplicable a selladores preformados. En nuestro caso, se ha definido silicona con una deformación admisible de **75%**.

Factor de forma del sellador, Es la relación recomendable entre la profundidad y el ancho y (P/A) del sellador. Para selladores en base a petróleo esta relación varía entre

1:1 hasta 2:1, es decir que la profundidad dentro de la caja del sellador puede variar entre una a dos veces el ancho. Para selladores de silicona o poliuretano, estos valores varían en función del fabricante siendo la más común de 1:2. Este factor debe ser introducido en el programa como un decimal (0.5 para un factor de forma de 1:2). Otros productos también cuentan con factores de forma recomendados por el fabricante, en este caso será de 1.

2.6.8.15.- Coeficiente de retracción por secado de la losa de hormigón.-

La retracción por secado del hormigón necesita ser considerada en el diseño de reservorio para las juntas. La retracción es afectada por el contenido de cemento, los tipos de mezclas usadas en el cemento portland, el método de curado, los agregados y las condiciones de curado. Un estimado del valor de la retracción basado en el esfuerzo de tensión indirecto puede obtenerse de la tabla siguiente:

TABLA Nro. 30 Coeficientes de retracción por secado

TENSIÓN INDIRECTA 28 DÍAS		RETRACCIÓN
KPa	Psi	mm/mm ó pulg/pulg
Menor a 2,100	< 300	0.0008
2,800	400	0.0006
3,400	500	0.00045
4,100	600	0.0003
Mayor a 4,800	> 700	0.0002

Fuente:AASHTO Guía de Diseño Parte I.

En nuestro caso, el valor de retracción adoptado es de: 10.8×10^{-6} , y el coeficiente de retracción por secado de 0.00040 mm/mm.

2.7.- SEÑALIZACIÓN.-

2.7.1.- Señalización vertical.-

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la

función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas. De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:

Señales preventivas: Las señales de advertencia de peligro (preventivas) tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal.

Señales reglamentarias: Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito.

Señales informativas: Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios del sistema vial, entregándoles información necesaria para que puedan llegar a sus destinos de la forma más segura, simple y directa posible.

➤ **Color y retroreflectancia.-**

Las señales que se instalen deberán ser legibles para los usuarios y su ubicación debe ser acorde con lo establecido en el manual de la ABC, para permitir una pronta y adecuada reacción del conductor aun cuando éste se acerque a la señal a alta velocidad.

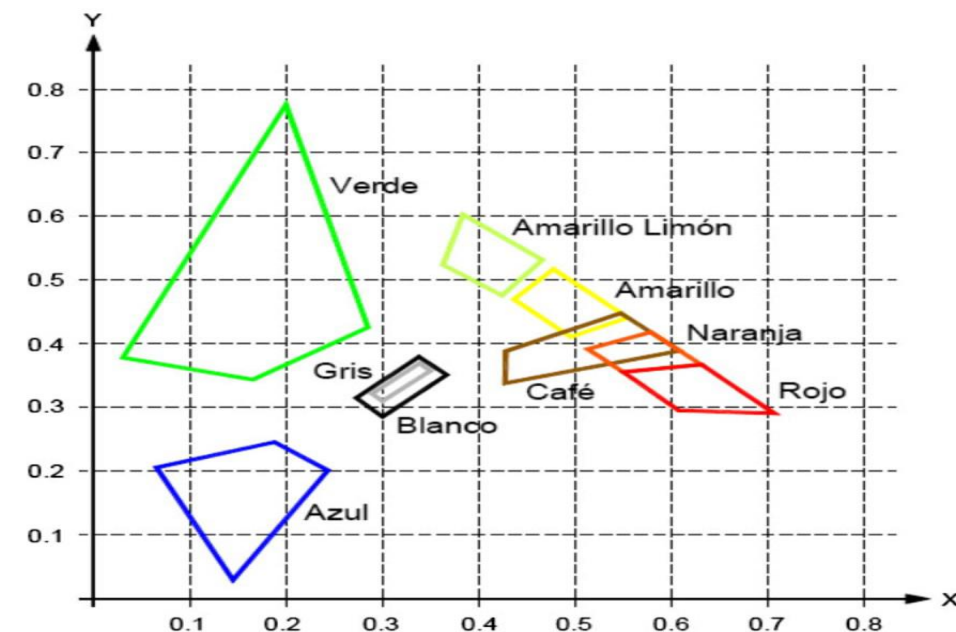
Esto implica que los dispositivos cuenten con buena visibilidad, tamaño de letras adecuado, leyenda corta, símbolos y formas acordes con lo especificado en el manual de la ABC.

Colores: Las señales de tránsito especificadas en este volumen, se deben construir con los colores especificados para cada una de ellas.

Estos colores, se definirán en base a las coordenadas cromáticas y deberán estar dentro de los respectivos polígonos de color formados por los cuatro vértices

definidos por la CIE (Commission International de l'Eclairage), especificados en el diagrama cromático CIE 1931.

FIGURA Nro. 10 Diagrama cromático cie 1931, para señales verticales



Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

➤ **Tableros.-**

Los tableros de las señales verticales serán elaborados en lámina de acero galvanizado, aluminio o poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo con las especificaciones fijadas en el presente Manual.

➤ **Estructuras de soporte.-**

Tan importante como la ubicación de una señal vertical, es la sustentación de la placa, la que debe mantenerse estable para diferentes condiciones climáticas, además de acciones vandálicas que pudieren modificar su correcta posición

➤ **Señales preventivas.-**

a).- Objetivo.-

Las señales de advertencia de peligro, llamadas también preventivas, tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones

especiales presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Se identifican como base con el código SP.

b).- Forma.-

En general, las señales de advertencia de peligro, tienen la forma de un cuadrado con una de sus diagonales colocada verticalmente.

c).- Color.-

Su color de fondo es amarillo. Los símbolos, leyendas y orlas, son de color negro. Para el caso de este tipo de señales, todos los elementos, tales como; fondo, caracteres, orlas, símbolos, leyendas, pictogramas, excepto aquellos de color negro, deberán cumplir con un nivel de retrorreflexión mínimo.

d).- Ubicación.-

Las señales de advertencia deben ubicarse con la debida anticipación, de tal manera que los conductores tengan el tiempo adecuado para percibir, identificar, tomar la decisión y ejecutar con seguridad la maniobra que la situación requiere.

Este tiempo puede variar de 3 segundos, como en el caso de las señales de advertencia más sencillas, CURVA PRONUNCIADA DERECHA (SP 4) o PENDIENTE FUERTE DE BAJADA (SP 16), hasta 10 segundos en el caso de señales de advertencia de situaciones complejas como CRUCES o BIFURCACIONES (SP 18 a SP 30).

Por lo tanto, la distancia requerida entre la señal y la situación que advierte queda determinada por la velocidad máxima de la vía y el tiempo a que se refiere el párrafo anterior ($\text{distancia} = \text{tiempo} \times \text{velocidad máxima}$), no pudiendo ser dicha distancia menor a 50 m.

Estas pueden ser ajustadas, hasta en un 20%, dependiendo de factores tales como: geometría de la vía, accesos, visibilidad, tránsito y otros.

FIGURA Nro. 11 Señales preventivas

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

➤ **Señales reglamentarias.-**

a).- Objetivo.-

Las señales reglamentarias tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías, las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito y acarrea las sanciones previstas en la Ley.

Se deberá evitar, de no ser estrictamente necesario, la inscripción de leyendas o mensajes adicionales en las señales verticales reglamentarias. Estas señales se identifican con el código SR.

b).- Forma.-

En general, su forma es circular y sólo se aceptará inscribir la señal en un rectángulo cuando lleve una leyenda adicional. Se exceptúan de esta condición geométrica las señales:

- SR - 01 PARE, cuya forma es octagonal
- SR - 02 CEDA EL PASO, cuya forma es un triángulo equilátero con un vértice hacia abajo
- SR-38 y SR-39: Sentido único de circulación y sentido de circulación doble, serán de forma rectangular.

c)- Color.-

Los colores utilizados en estas señales son los siguientes: Fondo blanco; orlas y franjas diagonales de color rojo; símbolos, letras y números en negro.

Las excepciones a esta regla son:

- SR-01: PARE, cuyo fondo es rojo, orlas y letras en blanco
- SR-38 y SR-39: TRÁNSITO EN UN SENTIDO y TRÁNSITO EN AMBOS SENTIDOS, serán de fondo negro y flechas y orlas blancas.
- SR 40 a la 43: SEÑALES DE PASO OBLIGADO Y CICLOVÍA, serán de fondo azul y símbolo blanco.

FIGURA Nro. 12 Señales reglamentarias



**SR-12
PROHIBIDO
EL CAMBIO DE CARRIL**



**SR-13
CONSERVE
SU DERECHA**

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.7.2.- Señalización horizontal.-

Las señales horizontales o demarcaciones, son marcas o elementos instalados sobre el pavimento, que mediante el uso de símbolos y leyendas determinadas cumplen la función de ordenar y regular el uso de la calzada.

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para

tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

De acuerdo con la función que cumplen, las demarcaciones se clasifican en:

- Líneas longitudinales: Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo, pistas exclusivas de bicicletas o buses.
- Líneas transversales: Las líneas transversales tienen la función de definir puntos de detención y/o sendas de cruce de peatones y ciclistas, pueden ser de dos tipos; líneas de detención y líneas de cruce.
- Símbolos y leyendas: Los símbolos y leyendas se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros. Se incluyen en este tipo de demarcación flechas, señales como CEDA EL PASO y PARE y leyendas como LENTO, entre otras.
- Otras demarcaciones: Corresponden a demarcaciones como achurados, demarcaciones de tránsito divergente y convergente, distancia, etc. En este caso no es posible agruparlas por sus características geométricas, dado a que ninguna de sus formas o líneas predomina sobre las otras.

Para el proyecto, al ser de tipo académico nos referiremos a las líneas longitudinales de la carretera, y solo las más importantes.

2.7.2.1.- Líneas longitudinales.-

Una línea continua sobre la calzada, independiente de su color, significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella. Una línea discontinua sobre la calzada, independiente de su color, significa que traspasable por cualquier conductor.

2.7.2.2.- Líneas de eje.-

Las líneas de eje central se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar dónde se separan los flujos de circulación opuestos. Se ubican generalmente en el centro de dichas calzadas; sin embargo, cuando la asignación de pistas para cada sentido de circulación es desigual, dicha ubicación no coincide con el centro. De forma similar, cuando existen juntas de construcción en la calzada, es conveniente desplazar levemente estas líneas para asegurar una mayor duración de las mismas.

El ancho de las demarcaciones centrales varía según el tipo de línea y la velocidad máxima permitida en la vía, como se detalla más adelante para cada tipo de línea.

Dada la importancia de esta línea en la seguridad del tránsito, ella debería encontrarse siempre presente en toda vía bidireccional cuya calzada exceda los 5 m de ancho. En calzadas con anchos inferiores no es recomendable demarcar el eje central.

Para aumentar su eficacia en vías interurbanas, se deberá reforzar las líneas de eje central con demarcación elevada (tachas).

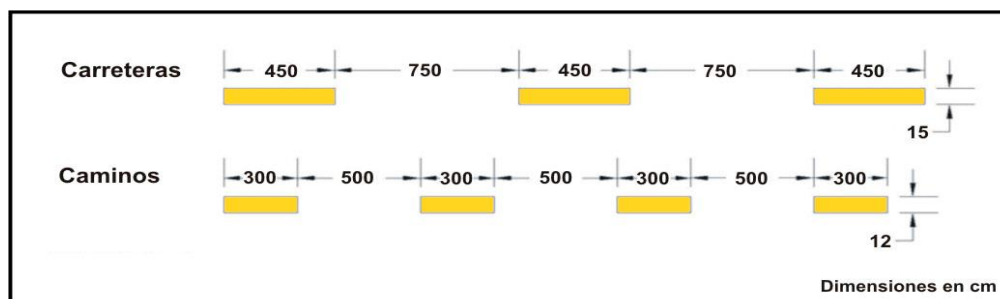
Las líneas de eje central pueden ser: segmentadas, continuas dobles o mixtas.

a).- Línea amarilla discontinua.-

Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde se permite la maniobra de adelantamiento.

Para velocidades menores a 60 km/hr. El ancho de la línea continua será de 12 cm. Para rutas con velocidades mayores, su ancho será de 15 cm.

FIGURA Nro. 13 Diseño línea discontinua



Fuente: "Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras" de la ABC

b).- Línea amarilla continua.-

Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde no es permitida la maniobra de adelantamiento.

Se prohíbe reglamentariamente el cambio de pistas en cruces, disponiéndose líneas de pistas continuas, en cruces controlados por las señales estáticas “CEDA EL PASO” o “PARE” y en cruces controlados por señales dinámicas “SEMAFORO”, en una longitud de 20 metros medidos desde la línea de detención.

Las líneas de eje central continuas dobles consisten en dos líneas blancas paralelas, de un ancho mínimo de 15 cm cada una, separadas mínimo por 20 cm, de modo tal que entre la tacha y los bordes de cada línea queden siempre 3 cm.

Tratándose de curvas verticales la distancia de visibilidad de adelantamiento es la máxima distancia a lo largo de la cual un objeto que se encuentra 1 m por encima de la superficie del pavimento puede ser visto desde un punto, también a 1 m por encima del pavimento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento en una curva horizontal es aquella que se mide a lo largo del centro de la pista más a la derecha en el sentido de circulación, entre dos puntos que se encuentran 1,1 m sobre la superficie del pavimento, en la línea tangencial al radio interno u otra obstrucción que recorte la visibilidad dentro de la curva.

TABLA Nro. 31 Distancias de adelantamiento

VEL. MAX. (Km/hrs)	DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO MÍNIMO (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

c).- Línea blanca continua.-

Como ya se ha indicado, la línea continua sobre la calzada significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella. Acorde a lo anterior, la línea continua se utiliza para:

➤ Demarcar la separación de carriles.

De un mismo sentido de flujo en donde no es permitida la maniobra de adelantamiento.

Se prohíbe reglamentariamente el cambio de pistas en cruces, disponiéndose líneas de pistas continuas, en cruces controlados por las señales estáticas “CEDA EL PASO” o “PARE” y en cruces controlados por señales dinámicas “SEMAFORO”, en una longitud de 20 metros medidos desde la línea de detención.

➤ Demarcar el borde derecho de la calzada.

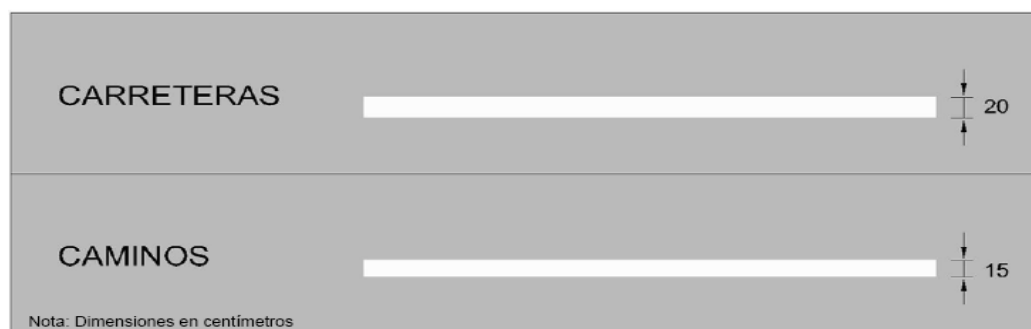
Indicando el término de la calzada estas líneas indican a los conductores, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, donde se encuentra el borde de la calzada, lo que les permite posicionarse correctamente sobre ésta.

Estas demarcaciones, son la única orientación para un conductor cuando es encandilado por un vehículo que transita en el sentido contrario, de allí la importancia que presenta en caminos y carreteras bidireccionales.

En áreas urbanas, cuando las características geométricas de la vía generan condiciones de riesgo, como por ejemplo: curvas cerradas, variaciones de ancho de calzada o cuando no existe iluminación apropiada, estas líneas presentan una gran utilidad para el conductor, por lo tanto deben ser consideradas en el diseño.

Estas líneas deberán disponerse de los anchos indicados en el esquema siguiente, en función del tipo de vía.

Para velocidades menores a 60 km/hr. El ancho de la línea continua será de 12 cm. Para rutas con velocidades mayores, su ancho será de 15 cm.

FIGURA Nro. 14 Dimensiones de marcación continua

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.8.- ESTUDIO DEL ANÁLISIS DE COSTOS.-

2.8.1.- Generalidades.-

La estimación de costos y la elaboración de presupuestos, representa uno de los pasos más importantes en lo que se refiere la planificación de una obra. En cada etapa de la construcción, el presupuesto representa la base para la toma de decisiones y, en los que se refiere en obras de carácter público (Licitaciones), es el factor más importante en la adjudicación de contratos. Actualmente, la gran competitividad en el sector de la construcción, hace que la estimación de costos sea una de las causas del éxito o fracaso de empresas.

La estimación del costo de construcción es necesariamente el resultado de un proceso de cálculo de cantidades (Volúmenes de obra) y valores (Precios unitarios) de todos los ítems y/o actividades que forman parte de una construcción, en ningún caso deben considerarse probabilidades porque estas no siempre podrán dar un resultado positivo. Indiscutiblemente no es posible hablar de valores perfectos, ya que estos dependen de una serie de factores entre los que podríamos citar: Variaciones de precios en el mercado, ausencia o carencia de materiales, bajos rendimientos de mano de obra, errores en los cálculos métricos, etc. Autores de una misma nacionalidad consideran rendimientos diferentes en el cálculo de costos, igualmente existen discrepancias de opinión relativas a la aplicación de gastos generales, imprevistos, utilidad, etc. Es por esta razón que el cálculo de costos obliga al profesional a adquirir

una serie de conocimientos, cualidades y factores que le permitan analizar detalles y generalidades del trabajo, experiencia en la construcción, información permanente sobre el valor de los materiales, rendimientos sobre la mano de obra, maquinaria y equipo apropiado, problemas de administración, financiamiento, medios de transporte, clasificación y calificación de prioridades en las compras, acumulación racional de materiales, además de las cualidades personales de capacidad, método y seguridad en el cálculo.

2.8.2.- Presupuesto.-

Algunas definiciones de presupuestar:

- Es la predicción monetaria que representa realizar una actividad o tarea determinada.
- Cálculo aproximado del costo de una obra.
- Es la expresión en cifras monetarias del programa de trabajo previsto en un proyecto.
- Es el monto que se autoriza como apropiación para invertir en la materialización de un proyecto específico.
- El presupuesto es el cálculo anticipado del costo de una obra, o de una de sus partes. Es, como su nombre lo indica la predicción de un hecho futuro cuya magnitud debe representar con toda la exactitud con que ella pueda determinarse.

2.8.3.- Ítems.-

Un Ítem es una unidad de obra, parte de un proyecto con carácter propio, tanto de materiales como mano de obra, siendo su cantidad proporcional a la magnitud de la obra. Forma un conjunto de actividades valoradas en unidades determinadas a través de la unidad que puede apreciarse al efectuar el presupuesto, las mismas pueden ser de longitud (ml), superficie (m²), volumen (m³), peso (Kg), pieza (N^a) punto (Pto),

existiendo algunas de ellas que por su naturaleza o complejidad solamente pueden medirse en forma global.

2.8.4.- Precios unitarios.-

El precio Unitario puede definirse como el importe de la remuneración o pago total, que debe cubrirse al contratista por unidad de obra de cada uno de los conceptos de trabajo que realice. Así mismo, unidad de obra puede definirse como la unidad de medición que se señala en las especificaciones técnicas, como base para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago.

2.8.5.- Presupuesto por análisis de precios unitarios.-

Por medio del cómputo métrico, se miden las estructuras que forman parte de una obra de ingeniería, con el objeto de:

- a.- Establecer el costo de la misma, o de una de sus partes.
- b.- Determinar la cantidad de materiales necesarios para ejecutarla.

El computo métrico es un problema de medición de longitudes, áreas y volúmenes, que requiere el manejo de fórmulas geométricas, computar es entonces medir, computo, medición y cubicación son palabras equivalentes.

El cómputo métrico supone el conocimiento de los procedimientos constructivos de la práctica y su éxito depende en gran medida de una experiencia sólida. El trabajo de medición puede ser ejecutado de dos maneras que son: sobre la obra misma, o sobre los planos.

Unidad de obra: puede definirse como la unidad de medición que se señala en las especificaciones técnicas, como base para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago

Para la confección de las planillas de análisis, costos y precios unitarios se ha establecido la participación de los siguientes conceptos básicos.

- **Materiales e insumos**
- **Mano de obra**
- **Maquinaria y equipo de construcción**

La moneda de referencia utilizada es el boliviano.

En el análisis de precios unitarios, se deberá de considerar el porcentaje regulado de acuerdo al decreto supremo N° 27328 para licitación en el sector público los, mismos que se encuentran en la tabla siguiente:

TABLA Nro. 32 Porcentajes regulados por el Decreto Supremo 27328

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
CARGAS SOCIALES	55 – 71.18% del sub total de mano de obra
IVA	14.94% del subtotal de mano de obra + cargas sociales
UTILIDAD	10-20% de (materiales, mano de obra, equipo, maquinaria, gastos generales y administrativos)
IMPUESTOS IT	3.09% (materiales, mano de obra, equipo, maquinaria, herramientas, gastos generales, administrativo, utilidad)

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

2.9.- ESTUDIO AMBIENTAL.-

2.9.1.- Generalidades del impacto ambiental en el tramo en estudio.-

Los efectos ambientales que pueden ocasionar la ejecución del proyecto, son muy reducidos, que no requieren un Estudio de evaluación de impacto ambiental (EEIA), puesto que debido a la condiciones de la zona la tala de árboles será muy baja. En terrenos cultivables el impacto ambiental es mínimo o casi nulo, no se afectará a las fuentes de agua, puesto que las obras a ejecutarse no se encuentran cercanas a fuentes de agua, como así también los materiales, locales a emplear en la construcción de las obras civiles no son de volúmenes considerables que alteren el hábitat de la zona.

Se consideró todos estos impactos de tal manera se presenta un plan de aplicación y seguimiento ambiental para que se pueda mitigar estos impactos y reducirlos al mínimo.

En general los impactos negativos del proyecto serán de poca magnitud y reversibles, no se identifica impactos negativos de relevancia que pudiera generar el proyecto sobre los diversos componentes ambientales en las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto.

El proyecto considera la generación de empleo directo, incluyendo beneficios socioeconómicos y otros otorgados durante la etapa de construcción del camino. Asimismo la generación de servicios, que representa los beneficios indirectos de oportunidad comercial de la producción y laboral en las áreas de influencia del proyecto.

Los estudios de ingeniería efectuados para el diseño, construcción, operación y mantenimiento, sumado a las medidas preventivas y de control en la ejecución del Proyecto, sirven de sustento para garantizar la viabilidad técnica, económica y principalmente ambiental del proyecto.

La Ficha Ambiental que pertenece al proyecto se la presenta en el anexo correspondiente a este punto.

CAPÍTULO III.- RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO.-

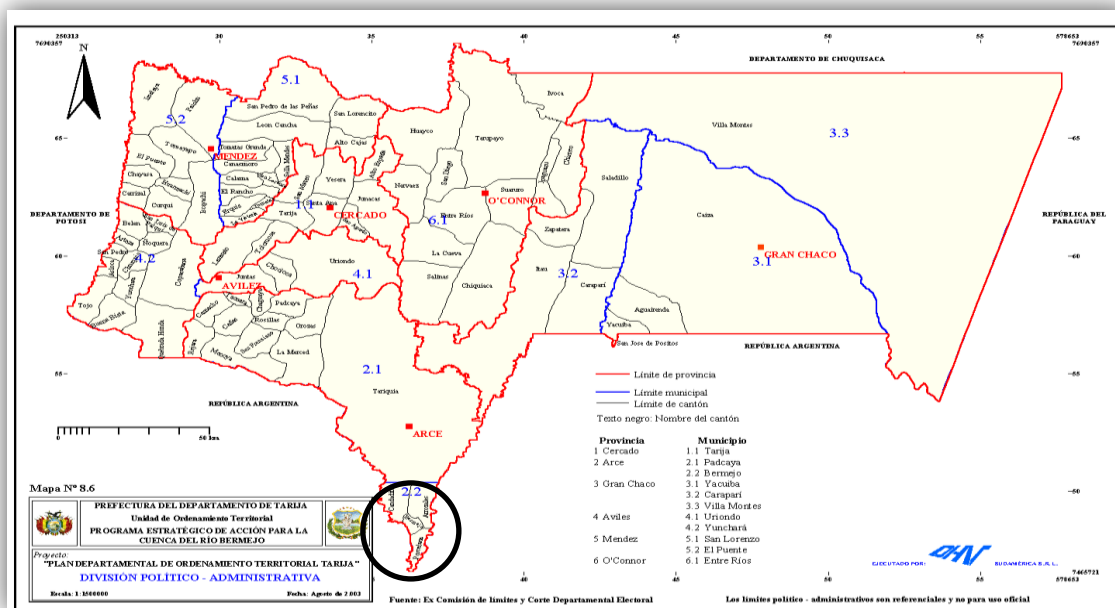
3.1.1.- Localización del proyecto.-

3.1.1.1.- Ubicación de Bermejo a nivel nacional.-

El Municipio de Bermejo se constituye en la capital de la segunda sección de la Provincia Arce, está ubicado al extremo sur del departamento de Tarija, rodeado en su parte sur-este y sur-oeste por el río Bermejo y Grande de Tarija respectivamente. Bermejo, se encuentra a 206 km. de la ciudad de Tarija Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos $22^{\circ}35'24''$ – $22^{\circ}52'09''$ de latitud sur y $64^{\circ}26'30'$ – $64^{\circ}14'16''$ de longitud oeste y una altitud media de 419 msnm.

La imagen siguiente, muestra un mapa referencial donde se ubica la zona de influencia directa del proyecto ZID en el contexto departamental. La zona de Influencia Indirecta se define por la zona sureste del municipio de Bermejo.

IMAGEN Nro. 5 Ubicación del proyecto (Mapa referencial)



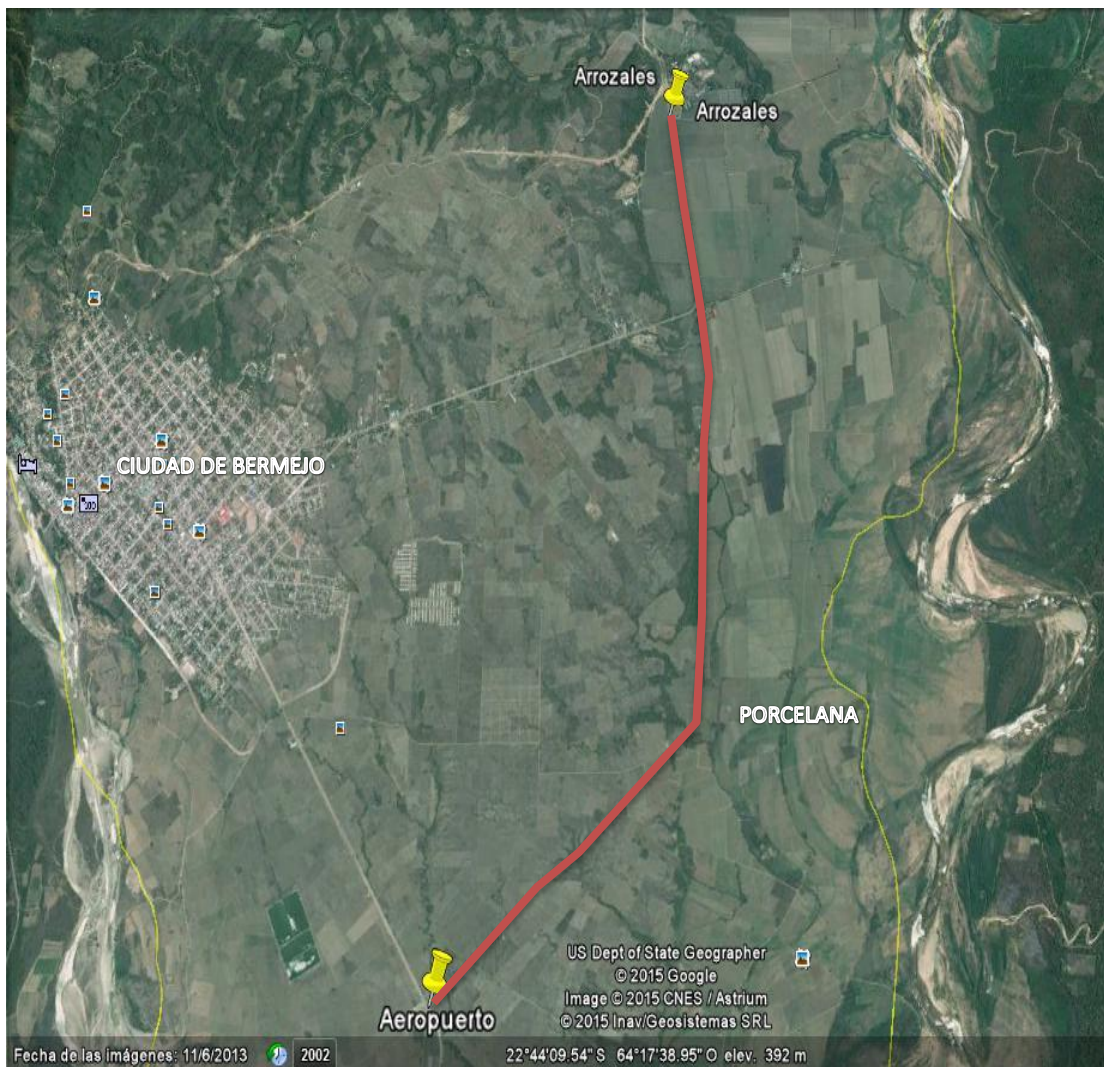
Fuente: PDM - Bermejo

3.1.2.- Acceso a la zona de proyecto.-

La localización del punto de inicio del camino se encuentra al sur del municipio de Bermejo, cerca de la ruta que va a la entrada del Aeropuerto a unos 4,63km de la ciudad, con las siguientes coordenadas en las siguientes coordenadas.

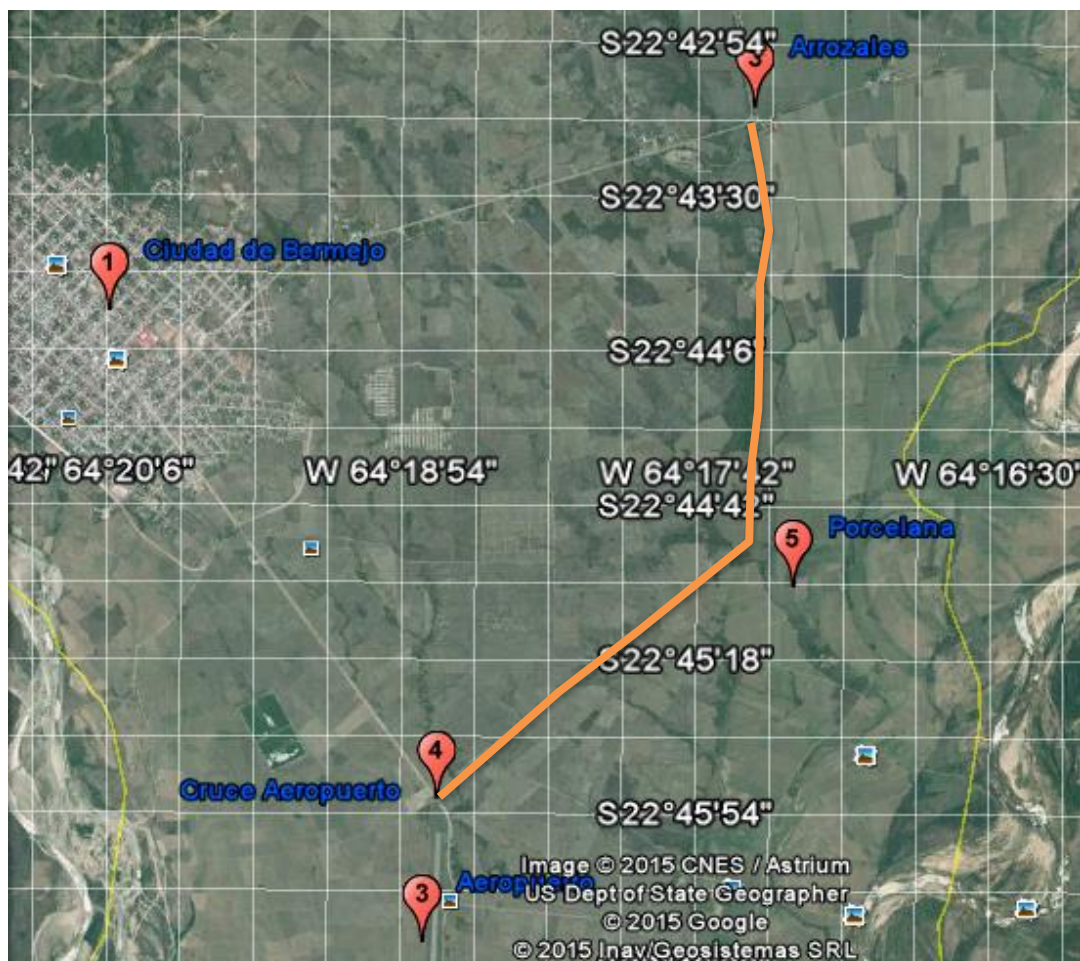
Latitud Sur	22°45'49,29"
Longitud Oeste	64°18'92"
Altitud	419 m.s.n.m

IMAGEN Nro. 6 Vista de perfil del lugar de emplazamiento a 17 Km de altura



Fuente: Google Earth

IMAGEN Nro. 7 Vista de lugar de emplazamiento del tramo de estudio



Fuente: Google Earth

3.1.3.- Aspectos climáticos y temperatura.-

3.1.3.1.- Clima.-

La micro región de Bermejo presenta un clima cálido, con poco o ningún exceso de agua; teniéndose entre las más representativas de esta unidad a la Comunidad de Talita, Porcelana, Arrozales, siendo las comunidades las representativas.

3.1.3.2.- Temperatura.-

Bermejo se encuentra situado a una altura de 419 msnm, con una temperatura media anual de 22,53 °C; sin embargo, el clima de Bermejo se caracteriza por tener

temperaturas extremas: muy altas entre septiembre a mayo, llegando a alcanzar los 45 °C, mientras que entre junio a agosto las temperaturas descienden hasta los 10°.

3.1.3.3.- Precipitación.-

Los meses de lluvias se concentran entre marzo y mayo, por lo que existe un alto grado de humedad. El período de lluvias empieza en octubre y se extiende hasta abril, con una precipitación anual de 1.323,1 mm. Por otra parte, es una zona con bastante vegetación, fauna y flora.

3.1.4.-Población.-

Por su ubicación geográfica, Bermejo se cataloga como ciudad de frontera, caracterizada por un dinámico crecimiento, pero también por una fuerte inestabilidad del mismo. Cuenta con un alto porcentaje de población flotante. Según el "Censo 2001", tiene 34.937 hab., de los que 16.956 son mujeres y 17.981 son varones. Se tiene proyectado en la gestión 2005, un total de 37.300 habitantes, de los que 17.993 serían mujeres y 19.307 varones (Fuente INE). No se dispone de datos de población con discapacidad.

La densidad demográfica calculada por el I.N.E. (Instituto Nacional de Estadísticas - boliviano-) es de 87,45 hab./km El 43,2% de su población es clasificada como pobre, el 31% se encuentra en el rango de pobreza moderada, el 6% en la indigencia y no existiría población en estado de marginalidad.

La mayor parte de la población ocupada se encuentra en el sector agropecuario (23%), seguido de los trabajadores de los servicios y vendedores del comercio (22%). Los trabajadores no calificados son el 17% y los de la industria extractiva, construcción y manufactura el 16%.

3.1.5.- Servicios básicos.-

Respecto a servicios básicos, la ciudad de Bermejo cuenta con agua potable corriente, alcantarillado y, en algunos barrios, luz eléctrica y gas.

Existe un hospital (primer nivel) del pueblo que no está totalmente equipado y tampoco cuenta con los especialistas necesarios (neurólogo, cardiólogo, otorrinolaringólogo, oculista, etc.) y un hospital privado que tampoco dispone ni de especialistas ni de los medios anteriormente mencionados.

En cuanto a educación, existen varias escuelas y colegios que atienden el nivel inicial, primario y secundario, establecimientos que pertenecen al Estado, como asimismo, los hay también de tipo privado. También hay una escuela secundaria para adultos.

Existe también la educación universitaria, con carreras de Auditoría, Comercio Internacional, Informática, Agronomía, que dependen de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Tarija y una Universidad a Distancia para la formación de maestros. Además existen diversos Institutos de capacitación técnica.

3.1.6.- Turismo.-

Bermejo, frontera con la República Argentina, se encuentra a 208 km de la ciudad de Tarija. Esta región se caracteriza por su vegetación, lugar ideal para la caza y la pesca. Entre sus atractivos turísticos están: "el Chorro" o "Quebrada del Nueve", "El Cajón", atractivo lugar de pesca, con variedades de peces como el róbalo, surubí, dorado (aproximadamente de 12 kilos) y otros característicos de la zona,.

A quienes les gusta el turismo de aventura tienen en "El Cajón" el mejor lugar para la pesca deportiva. El Cajón, a 70 km de Bermejo, es uno de los lugares de mayor atracción del Triángulo del Sur, donde anualmente se efectúa un concurso internacional de pesca, tan solo se necesita un motorizado 4x4, ya que el camino hasta "El Cajón" no es transitado diariamente, no obstante los organizadores

comparten un camión para todos los pescadores, que sale de la plaza principal, en la madrugada del día de la competencia. Es un lugar muy visitado por gente del interior y del vecino país Argentina.

Todos los años se realiza la "Regata Internacional del Bermejo", el "Festival Internacional del Lapacho" y la gran entrada Folklórica en devoción al patrono Santiago.

3.2.- TOPOGRAFÍA.-

3.2.1.- Criterio del levantamiento.-

Según lo expuesto en el Capítulo II del presente trabajo, se realizó un levantamiento longitudinal, ya que este tipo de levantamiento sirve para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como las carreteras y otros.

Como este trabajo en particular trata sobre el diseño de una carretera, se optó por este tipo de levantamiento.

TABLA Nro. 34 "BM,s" de proyecto

PUNTOS	NORTE	ESTE	COTAS (msnm)	DESCRIP
2	7.482.038,021	365.245,073	399,917	BM_1
152	7.482.684,658	365.986,193	406,244	BM_2
220	7.482.977,761	366.388,345	403,597	BM_3
277	7.483.305.846	366.765,241	408,259	BM_4
346	7.483.632,537	367.142,861	399,954	BM_5
426	7.484.024,870	367.411,465	389,403	BM_6
500	7.484.524,323	367.431,525	390,745	BM_7
560	7.485.048,708	367.449,242	391,623	BM_8
609	7.485.546,603	367.467,449	392,525	BM_9
679	7.486.044,973	367.486,361	393,589	BM_10
739	7.486.541,425	367.460,235	394,667	BM_11
785	7.486.864,903	367.403,856	395,679	BM_12
832	7.486.877,193	367.414,130	395,415	BM_13

Fuente: Elaboración Propia

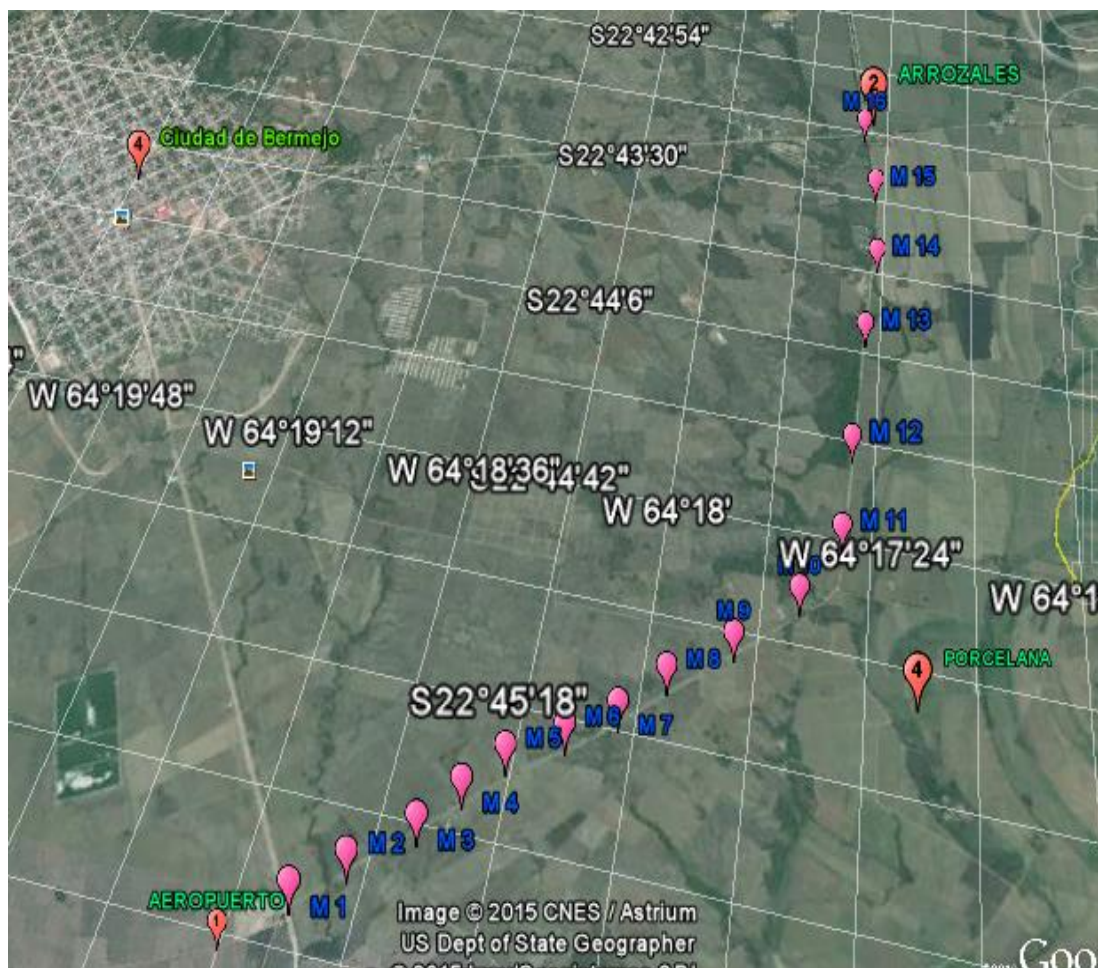
3.2.2.- Observaciones del trabajo.-

Debido a que generalmente en la zona donde se emplazó el levantamiento los terrenos son en su conjunto llanuras, no se tuvieron mayores problemas para realizar el levantamiento de la zona, y se pudo avanzar rápidamente durante toda la elaboración de dicho levantamiento.

3.3.- ESTUDIO GEOTÉCNICO.-

El estudio geotécnico se realizó en el tramo Aeropuerto -Arrozales abarcando desde la progresiva 0+000 hasta una progresiva 6+142,01 aproximadamente.

IMAGEN Nro. 8 Ubicación de los pozos



Fuente: Google Earth

3.3.1.- Criterios de estudio de muestreo.-

El muestro realizado fue el que se hace regularmente para la elaboración de los ensayos necesarios para identificar todas las propiedades de la subrasante con la cual se va a trabajar, a continuación se muestra la cantidad de veces que se realizaron dichos ensayos en general.

TABLA Nro. 34 Ensayos realizados

Ensayos	N* de Veces
Cont. De Humedad	16
Limites	10
Granulometria	16
Trotor	16
CBR	3

Se tomaron muestras de la subrasante cada 400 metros, y se extrajeron a 60 centímetros de profundidad.

IMAGEN Nro. 9 Vista del lugar progresiva 0+200



Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente cuadro mostramos un resumen de los estudios realizados en laboratorio.

TABLA Nro. 35 Resumen de resultados obtenidos del estudio de suelo

Origen			Granulometria				Limites de Atterberg			Clasificacio	Protor		CBR
N* Muestra	Prog	Prof.(m)	Nro 10	Nro 40	Nro 200	LL	LP	IP	ASHTO	D.max	H.opt.	95%	
Muestra N 1	0+000	0,60	23,28	18,83	13,36	21,9	12,3	9,63	A-2-4	2,23	6,43	24,00	
Muestra N 2	0+400	0,60	37,89	32,80	28,74	20,4	15,4	5	A-2-4	2,04	7	24,00	
Muestra N 3	0+800	0,60	36,48	30,51	26,34	19,4	16,8	2,6	A-2-4	2,13	5,37	24,00	
Muestra N 4	1+200	0,60	96,15	88,38	61,60	21,6	17,9	3,7	A4	1,97	12,43	5,26	
Muestra N 5	1+600	0,60	25,07	20,66	15,15	22,8	13,6	9,21	A-2-4	2,1	7,62	24,00	
Muestra N 6	2+000	0,60	50,01	40,12	10,09	NP	NP	0	A1(b)	2,23	7,48	49,00	
Muestra N 7	2+400	0,60	49,12	38,58	8,65	NP	NP	0	A1(b)	2,17	9,58	49,00	
Muestra N 8	2+800	0,60	42,62	32,60	12,61	NP	NP	0	A1(b)	2,25	7,36	49,00	
Muestra N 9	3+200	0,60	100,00	72,60	36,27	28,73	22,4	6,3	A4	1,91	13,06	5,26	
Muestra N 10	3+600	0,60	46,31	37,68	19,43	NP	NP	0	A1(b)	2,64	7,9	49,00	
Muestra N 11	4+000	0,60	46,48	36,13	12,87	NP	NP	0	A1(b)	2,19	9,42	49,00	
Muestra N 12	4+400	0,60	100,00	80,07	36,03	29,84	21,1	8,7	A4	1,87	14,26	5,26	
Muestra N 13	4+800	0,60	100,00	78,23	41,50	27,79	20,7	7,1	A4	1,97	13,06	5,26	
Muestra N 14	5+200	0,60	100,00	79,97	36,10	29,03	20,3	8,7	A4	1,87	14,1	5,26	
Muestra N 15	5+600	0,60	100,00	76,40	36,00	36,41	26,5	9,9	A4	1,9	13,04	5,26	
Muestra N 16	6+168	0,60	49,20	42,64	19,61	NP	NP	0	A1(b)	2,54	8,82	49,00	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.- Estudio de tráfico.-

Los aforos de vehículos se efectuaron sobre el mismo camino a diseñar, los aforos realizaron de manera manual mediante las consideraciones más críticas las cuales serían los días hábiles como los días no hábiles, donde cada uno de esos días mencionados se realizó el aforamiento considerando las horas picos de circulación o críticas las cuales serían (07:30 a 08:30, 11:30 a 12:30 y 17:30 a 18:30). Al cabo de la misma se analizó el comportamiento vehicular.

3.4.1.- Aforo de día hábil y no hábil.-

Tabla Nro. 36 Planilla de resumen de volúmenes de tráfico (Año 2016)

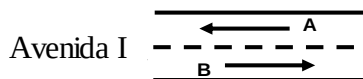
RESUMEN DE VOLÚMENES (Día hábil)

Fecha: Lunes 09 de marzo (Día hábil)

Horario: 7:30 - 8:30 a.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	9	veh/h
Medianos :	7	veh/h
Pesados :	3	veh/h



Sentido : Avenida I (Tipo B)

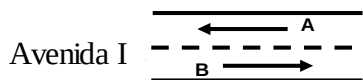
Livianos :	10	veh/h
Medianos :	3	veh/h
Pesados :	2	veh/h

Fecha: Lunes 09 de marzo (Día hábil)

Horario: 11:30 - 12:30 p.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	4	veh/h
Medianos :	3	veh/h
Pesados :	2	veh/h



Sentido : Avenida I (Tipo B)

Livianos :	4	veh/h
Medianos :	3	veh/h
Pesados :	2	veh/h

Fecha: Lunes 09 de marzo (Día hábil)

Horario: 17:30 - 18:30 p.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	3	veh/h
Medianos :	3	veh/h
Pesados :	2	veh/h



Sentido : Avenida I (Tipo B)

Livianos :	4	veh/h
Medianos :	3	veh/h
Pesados :	2	veh/h

RESUMEN DE VOLÚMENES (Día No hábil)

Fecha: Sábado 14 de marzo (Día no hábil)

Horario: 7:30 - 8:30 a.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	6	veh/h
Medianos :	4	veh/h
Pesados :	1	veh/h



Sentido : Avenida I (Tipo B)

Livianos :	4	veh/h
Medianos :	2	veh/h
Pesados :	1	veh/h

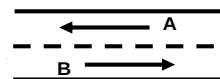
Fecha: Sábado 14 de marzo (Día no hábil)

Horario: 11:30 - 12:30 p.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	3	veh/h
Medianos :	1	veh/h
Pesados :	0	veh/h

Avenida I



Sentido : Avenida I (Tipo B)

Livianos :	1	veh/h
Medianos :	2	veh/h
Pesados :	1	veh/h

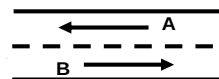
Fecha: Sábado 14 de marzo (Día no hábil)

Horario: 17:30 - 18:30 p.m.

Sentido : Avenida I (Tipo A)

Livianos :	3	veh/h
Medianos :	1	veh/h
Pesados :	0	veh/h

Avenida I



Sentido : Avenida I (Tipo B)

Livianos :	1	veh/h
Medianos :	1	veh/h
Pesados :	0	veh/h

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar al ser una carretera que se encuentra dentro de la red de desarrollo, cuenta con el paso constante de vehículos tanto livianos (Autos, jeep), medio (Camionetas, bus) y pesados como camiones , que son los comunes en el tema de viajes y transporte de mercadería.

3.5.- HIDROLOGÍA.-

El análisis hidrológico nos ayuda a estimar los caudales que se utilizarán para el dimensionamiento de las distintas obras de evacuación, que para el presente proyecto serán cunetas y alcantarillas de cruce.

Estos caudales se calcularon mediante procedimientos que se aplican en el análisis de cuencas como tales como cálculo de precipitaciones diarias, y curvas IDF (Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia), y el resto de parámetros que nos ayudan a definir estos caudales.

3.5.1.- Análisis de datos.-

Se procedió a determinar la Función de Distribución de Probabilidades, que describe el comportamiento estadístico de la Precipitación Máxima en 24 Hrs. El modelo matemático probabilístico usado para este tipo de evento ha sido el de Gumbel, el cual ha tenido un buen ajuste según el test de Kolmogorov – Smirnov.

3.5.1.1.- TEST de consistencia del SMIRNOV KOLMOGOROV.-

El estadístico Smirnov Kolmogorov D considera la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidades teórica, escogida $P_o(x)$ tal que:

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

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

La prueba requiere que el valor Δ_{max} calculado con la expresión anterior sea menor que el valor tabulado Δ_o para un nivel de probabilidad requerido, donde el valor estadístico Δ_{max} es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida, el nivel de probabilidad entre valores de 0.05 y 0.01 que son los más usuales y el valor crítico Δ_o

de la prueba debe ser obtenido de tablas en función de α y n. (α nivel de significación en %, n número de datos).

Si el valor calculado Δ_{max} es mayor que el Δ_o , El Modelo Matemático de Distribución Probabilística de Gumbel escogido se debe rechazar, lo cual fue comprobado.

3.5.1.2.- Modelo de distribución probabilística de Gumbel.-

Es empleado y ampliamente en hidrología, especialmente para eventos extremos; su Función para la Densidad Acumulada FDA es:

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

Dónde:

Para: $-\infty < X < \infty$

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

$$0 < \alpha < \infty$$

$$0 < \mu < \infty$$

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

Siendo: α : Parámetro de escala.

μ = Parámetro de posición o moda.

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

σ = Desviación estándar

X_m = media

$$\mu = X_m - 0.5772\alpha$$

X_i = datos

El parámetro α es un parámetro de escala, constituyendo una medida de dispersión de los datos en torno a un valor central. El parámetro μ es un parámetro de posición, constituyéndose en una medida de tendencia central, es decir la moda de la distribución.

3.5.1.2.1.- Distribución de frecuencia acumulada.-

El análisis de frecuencias acumuladas, con la Ley de Gumbel (Ley de máximos y mínimos) fue realizado para verificar la hipótesis de que la mencionada distribución, es la que mejor se ajusta a las series analizadas. Para este fin se siguió el procedimiento descrito a continuación:

3.5.1.2.2.- Cálculo de la frecuencia de ocurrencia del evento (Según weibull).-

Conocido también como probabilidad empírica. Fueron calculadas las probabilidades de no excedencia P_{ne} (Probabilidad de no excedencia) y de excedencia P_e (Probabilidad de excedencia).

$$P_{ne} = \frac{m}{n+1}$$

$$P_e = 1 - P_{ne}$$

Donde:

m = Orden del registro procesado.

n = Número de datos de la serie.

TABLA Nro. 37 Prueba de bondad de ajuste

Estaciona	m	$Q = X$ (mm)	$P(X)$ $m/n+1$	$Z = \frac{X - \bar{X}}{S}$	$F(z)$	$ F(Z) - P(x) $	Δ	$\Delta \max$
Bermejo	25	101,300	0,781	0,512	0,695	0,086	0,240	0,086

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.- Determinación de lluvias máximas mediante Gumbell modificado.-

La siguiente tabla nos detalla la obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de aturas de precipitación máxima diarias y horarias.

TABLA Nro. 38 Probabilidades

	BERMEJO
Nro. DE DATOS	34
MEDIA	88,185
DESV EST	42,463
E	69,077
K	1,104

Fuente: Elaboración Propia

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

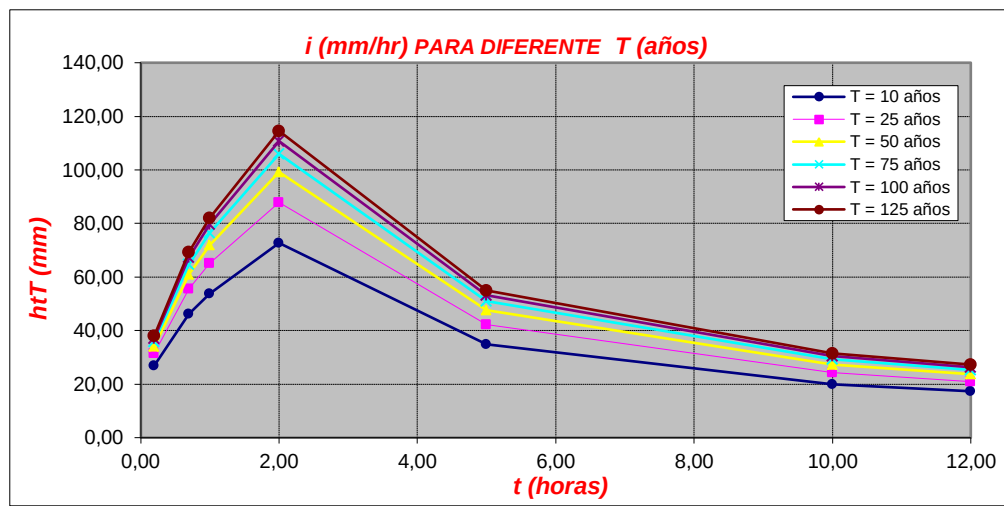
$$htT = Edp * \left(\frac{tc}{\alpha} \right)^{\beta} * (1 + Kdp * LogT)$$

TABLA Nro. 39 Cálculos de intensidades

T	HORAS						
Años	t = 0,20	t = 0,70	t = 1,00	t = 2,00	t = 5,00	t = 10,00	t = 12,00
10	5,37	32,30	53,83	145,31	174,54	200,49	207,94
25	6,30	38,85	65,21	175,65	210,98	242,35	251,35
50	6,82	42,70	71,98	198,60	238,54	274,01	284,19
75	7,18	45,28	76,49	212,02	254,67	292,54	303,40
100	7,42	47,08	79,68	221,55	266,11	305,68	317,03
125	7,60	48,47	82,15	228,94	274,98	315,87	327,60

T	i (mm/hr)						
Años	t = 0,20	t = 0,70	t = 1,00	t = 2,00	t = 5,00	t = 10,00	t = 12,00
10	26,86	46,14	53,83	72,66	34,91	20,05	17,33
25	31,50	55,50	65,21	87,82	42,20	24,23	20,95
50	34,11	61,00	71,98	99,30	47,71	27,40	23,68
75	35,90	64,68	76,49	106,01	50,93	29,25	25,28
100	37,10	67,26	79,68	110,77	53,22	30,57	26,42
125	38,00	69,25	82,15	114,47	55,00	31,59	27,30

De la gráfica se obtiene la ecuación de la intensidad para distintos periodo de diseño



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV.- DISEÑO DE INGENIERÍA

4.1.- DISEÑO GEOMÉTRICO.-

4.1.1.- Análisis de alternativas.-

4.1.1.1.- Alternativa única.-

Esta alternativa va directamente a alinear el camino evitando que existan muchos puntos de inflexión tratando de mantener el trazo existente evitando muchos quiebres y construyendo curvas con un radio según la categoría de camino elegida. En este proyecto se consideró una sola alternativa la cual dicho camino cuenta con un trazado definido, vale mencionar que no se pudo contar con otras alternativas ya que en ese sector los terrenos son producciones de caña de azúcar siendo propiedad privada. Este proyecto también se deberá contar con las obras hidráulicas como: alcantarillas de cruce y alcantarillas de alivio, cunetas y una capa de rodadura pavimentada de calzada, con una longitud total de 6,142km.

Las alternativa propuesta se las realizaron siguiendo todas las normas estipuladas y tomando criterios técnicos, para que el camino sea una ruta cómoda segura y que beneficie a la mayor cantidad de comunarios para que puedan llevar sus productos a comercializar a las localidades más cercanas como también el transporte para los comunarios de la zona para que puedan realizar sus quehaceres cotidianos, es muy importante su implementación para que el flujo vehicular no tenga problemas en todo el año especialmente en época de lluvias.

4.1.2.- Categoría de la carretera.-

La categoría del tramo de carretera en estudio fue asumida de las “Normas de Diseño Geométrico para la Construcción de Carreteras” del “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” del Servicio Nacional de Caminos, de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- El tránsito vehicular será permanente durante todo el año.

- Desplazamiento desde la red vecinal hacia la red provincial se efectuará de manera fluida en movilidad.
- El ancho de la calzada será de 7 m., sin considerar las dimensiones de la bermas y dos carriles que permite el paso de un camión semitrailer L=16.8 metros sin problemas.
- El camino se la realizará con dos alternativas (pavimento rígido y flexible), como también con las obras de arte que lo constituyen con un eje consolidado en los 6,142 Kms. de principio a fin.

TABLA Nro. 40 Categoría de carretera

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

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

Del cuadro adoptamos que será una carretera de desarrollo 2 BD.

4.1.3.- Determinación de la velocidad de diseño.-

La velocidad directriz o velocidad de diseño, es aquélla que se asume para determinar y relacionar entre si las características del diseño geométrico, tales como los radios de curvatura, la visibilidad, peraltes y todo lo que corresponde al alineamiento horizontal y vertical.

La velocidad directriz, es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con absoluta seguridad, inclusive cuando la plataforma ésta mojada y considerando un conductor de habilidad media.

La velocidad de diseño del proyecto es importante, ya que es uno de los principales factores que determina el costo del proyecto.

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

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

Sobre la base de estos valores se calculan o se asumen el resto de los parámetros de diseño.

TABLA Nro. 41 Velocidades de proyecto

CATEGORIA		VELOCIDAD DE PROYECTO			CODIGO TIPO
		Llano a Ondulado Medio	Ondulado Fuerte	Montañoso	
AUTOPISTA	(O)	120 Km/h	100 Km/h	80 Km/h	A (n) - xx
AUTORUTA	(L.A)	100 Km/h	90 Km/h	80 Km/h	AR (n) - xx
COLECTOR	(II) Unidirec.	80 Km/h	70 Km/h	60 Km/h	C (n) - xx
	(II) Bidirec.	80 Km/h	70 Km/h	60 Km/h	C (2) - xx
LOCAL	(III)	70 Km/h	60 Km/h	50 - 40 Km/h	L (2) - xx
DESARROLLO		50 Km/h	40 Km/h	30 Km/h	D - xx

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

De acuerdo a la categoría adoptada para la carretera, se adoptara para el presente proyecto una velocidad de diseño de 50 km/hr., sobre la base de este valor se calculan o se asumen el resto de los parámetros de diseño.

4.1.4.- Parámetros adoptados.-

Los parámetros de diseño fueron adoptados del “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC, estos parámetros nos servirán para el diseño tanto del alineamiento horizontal como del alineamiento Vertical, utilizando el paquete AutoCIVIL 3D 2011.

TABLA Nro. 42 Resumen de parámetros adoptado

CATEGORIA DEL CAMINO SEGUN ABC	DESARROLLO (2BD)	UNIDADES
Topografía	llano	
Velocidad de diseño	50	km/h
Peralte máximo	7	%
Coef. de fricción transversal	0,182	
Radio mínimo	80	m
Distancia mínima de frenado	52	m
Distancia mínima de sobre paso	300	m
Berma a cada lado	1	m
Ancho total de plataforma	10	m
Ancho de carril	3,5	m
Pendiente longitudinal max.	9	%
SAP sobre ancho de protección	0,5	m
Derecho de vía	50	m
Coef. Kc mínimo cóncavo	1000	
Coef. Kv mínimo convexo	700	

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.- Alineamiento horizontal.-

4.1.5.1.- Distancia de frenado.-

TABLA Nro. 43 Distancia de frenado

VELOCIDAD DE PROYECTO (Vp) km/h	DISTANCIA DE FRENADO (Df) m.
30	25
35	31
40	38
45	44
50	52
55	60
60	70
65	80
70	90

Fuente: Manual ABC

De acuerdo a la velocidad de proyecto de 50 km/h, podemos calcular la distancia mínima de frenado en horizontal que es de 52 metros.

4.1.5.2.- Distancia de adelantamiento.-

TABLA Nro. 44 distancia de adelantamiento

Vp (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 ABC

La distancia mínima de acuerdo a la velocidad de proyecto será de 300 metros

4.1.5.3.- Radios mínimos.-

TABLA Nro. 45 Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

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

Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

De acuerdo a la velocidad de proyecto de 50 Km/h, el radio de curvatura mínimo para el proyecto será de 80 m como mínimo.

4.1.5.4.- Peraltes.-

Para el cálculo de peraltes se utilizó la relación radio-peralte para carreteras y caminos.

TABLA Nro. 46 Cálculo de peraltes

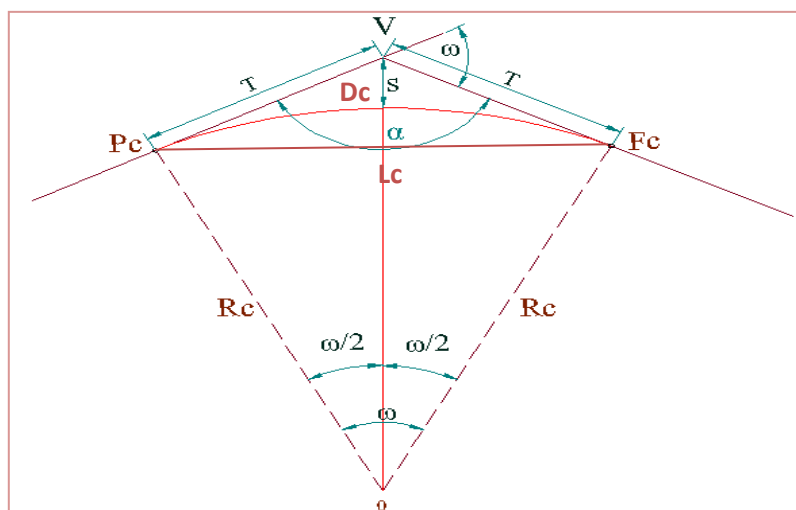
RADIO (m)	PERALTE (%)
$25 \leq R \leq 350$	7,0
$350 < R \leq 2.500$	$7 - 6,08 \cdot \left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1,3}$
$2.500 < R \leq 3.500$	2,0
$3.500 < R$	Igual al bombeo

Fuente: Manual de la A.B.C

El peralte máximo fue asumido con el 7% y un radio de curvatura mínimo de 80 metros cuando el radio de curvatura supere los 350 m, el peralte se calculará con la fórmula.

4.1.5.5.- Diseño planimétrico.-

Este punto se refiere al diseño en planta de la carretera, que se encuentra compuesto por la línea del eje principal de la carretera así como de las diferentes tipos de curvas utilizadas, peraltes, anchos de calzada, bermas, sobre ancho, etc. Todos los valores de estos parámetros se muestran resumidos en el siguiente cuadro:



Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC

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

CURVAS HORIZONTALES

CURVA 1

DATOS INICIALES.-

VELOCIDAD DE PROY.: 50 km/hr
 NUMERO DE CÁRRILES: 2
 PROG INICIAL 0+118,469
 PROG FINAL 0+248,086

Curva Circular Simple

Calculo de los elementos:

Δ = ángulo de deflexión = 3° 13' 44,17" = 3,23°

R = radio de curvatura = 2.300,00 m

Tangente: $T = R * \operatorname{Tg}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \longrightarrow T = 64,83 \text{ m}$

Externa: $E = R * \left[\operatorname{Sec}\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right] \longrightarrow E = 0,91 \text{ m}$

Flecha: $f = R * \left[1 - \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] \longrightarrow f = 0,91 \text{ m}$

Long de la cuerda $Lc = 2 * R * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \longrightarrow Lc = 129,60 \text{ m}$

Desarrollo de curva $Dc = \frac{2 * \pi * R * \Delta}{360} \longrightarrow Dc = 129,62 \text{ m}$

En la tabla Nro. 47 se mostrarán los elementos de las curvas horizontales correspondientes al tramo Aeropuerto - Arrozales.

TABLA Nro. 47 Resumen del diseño planímetro

Nº	PROG. INICIO	RADIO (m)	DESARROLLO (m)	TIPO CURVA
1	0+118,469	2300	129,618	simple
2	0+298,023	2300	128,605	simple
3	1+071,911	900	110,615	simple

4	1+384,674	800	103,522	simple
5	2+478,573	1200	106,352	simple
6	2+589,397	800	107,607	simple
7	2+712,762	300	103,114	simple
8	2+822,470	200	111,173	simple
9	5+259,821	500	103,837	simple
10	5+805,607	140	63,316	simple
11	5+871,591	140	75,272	simple
12	5+964,905	1100	103,014	simple

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6.- Alineamiento vertical.-

4.1.6.1.- Longitud mínima de curvas verticales.-

La longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

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

$$2 * T(m) \geq 50$$

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

El criterio que se tomara para este proyecto se tomará como punto crítico: $2 * T(m) = 50$.

4.1.6.2.- Pendientes mínimas.-

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales.

4.1.6.3.- Pendientes máximas.-

Las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino son:

TABLA Nro. 48 Pendientes máximas admisibles

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-1	-

Fuente: Manual de la A.B.C

La pendiente máxima para el proyecto es de **9 %**

4.1.6.4.- Curvas verticales convexas y cóncavas.-

TABLA Nro. 49 Parámetros mínimos en curvas verticales por criterios de visibilidad de frenado

VELOCIDAD DE PROYECTO Vp=(km/h)	CURVAS CONVEXAS Kv	CURVAS CÓNCAVAS Kc
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 ABC

Para las cuervas convexas el utiliza el parámetro de curva vertical Kv igual a 700, para curvas cóncavas Kc igual a1000.

4.1.6.5.- Diseño altimétrico.-

CURVA VERTICAL

CURVA 1 CONCAVA

Criterio Nro. 1

Diferencia de pendietes (**P**) :

$$g_1 = -0,24$$

$$g_2 = 1,39$$

$$P = 1,63$$

Se diseña la curva

Calculo de la distancia de visibilidad para parar:

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

$$\begin{array}{lll} V = & 50 & \text{Km/hr} \\ t = & 2 & \text{seg} \\ f = & 0,46 & - \\ i = & -0,0024 & \text{m/m} \end{array}$$

V = Velocidad de diseño (km/hrs).

do = Distancia de visibilidad para parar (m).

t = Tiempo de percepcion + reaccion (seg).

f = Coeficiente de roce rodante, pavimento humedo

i = Pendiente longitudinal (m/m)

$$do = 49,29 \text{ m.}$$

Calculo de la longitud minima:

$$\text{Altura de los faros del vehiculo (H1)} = 0,60 \text{ m}$$

$$\text{Angulo que forma el cono luminoso (}\alpha\text{)} = 1,00 \text{ m}$$

$$do < L_{min}$$

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

$$L_{min} = 13,557$$

No Cumple

Criterio Nro. 2

La longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

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

$$2 * T(m) \geq 50$$

Es decir que el desarrollo de la curva vertical sera el correspondiente al numero de metros que representa la velocidad de proyecto de la carretera en km/hrs.

$$2 * T(m) = 50 \text{ m}$$

Se adopta como longitud de curva simetrica L = 50 m

TABLA Nro. 50 Resumen del diseño altimétrico

CURVA VERTICAL	P.K.	COTA (m)	PENDIENTE SALIDA (%)	LONGITUD DE LA CURVA (m)	TIPO DE CURVA
1	0+108.34	400,88	1	50	Cóncava
2	0+290.92	402,62	-0,35	245	Convexa
3	0+492.14	401,93	2,07	100	Cóncava
4	0+720.00	406,63	-0,33	320	Convexa

5	1+595.25	403,75	0,81	100	Cóncava
6	2+243.76	408,97	-3,87	300	Convexa
7	2+785.15	388,04	0,32	100	Cóncava
8	4+335.27	393,03	-0,4	100	Convexa
9	4+607.37	391,93	0,31	100	Cóncava
10	5+776.71	395,51	-0,19	100	Convexa
11	5+918.31	395,25	0,62	100	Cóncava

Fuente: Elaboración Propia

4.2.-SECCIÓN TRANSVERSAL.-

TABLA Nro. 51 Parámetros de diseño de secciones transversales

SECCIONES TRANSVERSALES	
Ancho de Calzada	3,5 m
Bombeos	2.50%
Bermas	1 m
Sobre ancho	0.5 m
Talud en Corte	1 : 2
Talud en Terraplén	2 : 1

Fuente: Elaboración Propia

4.3.-DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE.-

4.3.1.-Diseño de cunetas.-

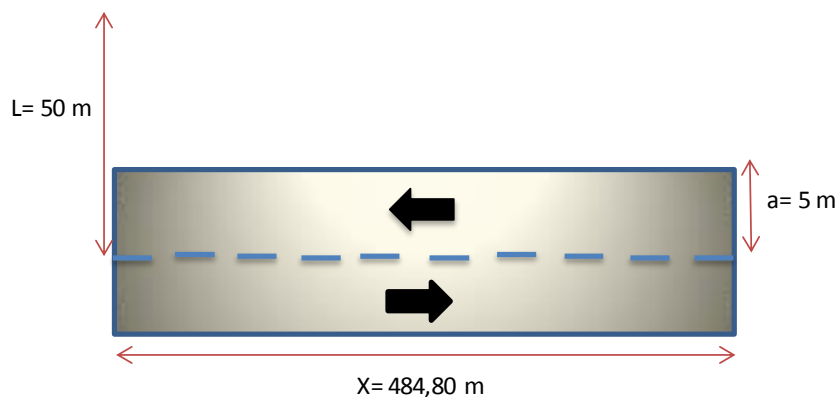
Secciones tipo

Esta sección fue diseñada observando las condiciones constructivas bajo las cuales será materializada la misma; en este caso se asume que las cunetas de corte serán construidas al mismo tiempo que el paquete estructural de pavimento, utilizando para este fin una motoniveladora. Por esta razón, la sección tipo adoptada para el diseño es de geometría triangular con taludes asimétricos 1:1 y 1:1

TABLA Nro. 52 Cálculo hidráulico de cuneta**DISEÑOS DE CUNETAS**

PROGRESIVA	LADOS	
0+285,20 - 0+770	Izquierda	Derecha

DATOS		
a :	5,00	(Ancho de carril m.)
C1 :	0,95	(Coeficiente de escorrentía de la calzada)
C2 :	0,40	(Coeficiente de escorrentía del terreno)
I :	29,01	(Intensidad de la lluvia mm/hrs para un $t_c = 10$ min) para $T = 25$ años
n :	0,015	Coeficiente de Manning cunetas revestidas de $H^\circ 0.013-0.017$
S :	0,0035	(Pendiente de la cuneta (m/m))
L :	50	(Ancho de vía (m.))



a).- Cálculo de la área de la calzada

$$A_1 = 5 \text{ m} \times 484,80 \text{ m} = \Rightarrow A_1 = 2424 \text{ m}^2$$

b).- Cálculo de la área del terreno natural

$$A_2 = 45 \text{ m} \times 484,80 \text{ m} = \Rightarrow A_2 = 21816 \text{ m}^2$$

c).- Cálculo del coeficiente de escorrentía ponderada

$$C_{\text{PONDERADO}} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + \dots + C_n A_n}{A_{\text{total}}} \Rightarrow C_{\text{ponderado}} = 0,455$$

d).- Cálculo del caudal máximo

$$Q = \frac{C * I * A (\text{km}^2)}{3,6}$$

Q = caudal máximo (m³/seg)
 I = intensidad máxima (mm/hrs)
 A = área de calzada mas terreno (Km²)
 C = coeficiente de escorrentía (adimensional)

$$Q = 0,0889 \text{ m}^3/\text{seg}$$

GEOMETRIA						
PROGRESIVA	L1	A1	L2	A2	Cp	Q
	(m)	(m^2)	(m)	(m^2)		(m/s)
0+285,20 - 0+770	484,8	2424,00	45,00	21816,00	0,455	0,089

e).- Calculo de la sección de la cuneta

$$Qd = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} A S^{0,5}$$

Q= caudal de diseño (m3/seg)

A= Area de la sección (m2)

P= Perimetro de la sección (m)

S= Pendiente del canal (m/m)

$$0.089 = \frac{1}{0.015} \left(\frac{1 * Yn^2}{2 * Yn * \sqrt{1 + 1^2}} \right)^{\frac{2}{3}} * (1 * Yn^2) * 0.0035^{0,5}$$

$$Yn = 0,31 \quad m$$

$$T = 0,62 \quad m$$

$$T = 2 * Z * Yn$$

Asumiendo un borde libre de 10 cm

$$Yn = 0,42 \quad m$$

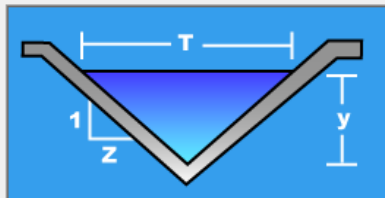
$$T = 0,72 \quad m$$

La seccion adoptada para la cuneta es de forma triangular y se la calculara con el programa H-Canales

Lugar:	BERMEJO	Proyecto:	PROYECTO DE INGENIERIA
Tramo:	AEROPUERTO-ARROZALES	Revestimiento:	HORMIGON

Datos:

Caudal (Q):	0.0889	m3/s
Ancho de solera (b):	0	m
Talud (Z):	1	
Rugosidad (n):	0.015	
Pendiente (S):	0.0035	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.3128	m	Perímetro (p):	0.8847	m
Area hidráulica (A):	0.0978	m2	Radio hidráulico (R):	0.1106	m
Espejo de agua (T):	0.6256	m	Velocidad (v):	0.9087	m/s
Número de Froude (F):	0.7336		Energía específica (E):	0.3549	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

La seccion adoptada tendra las siguientes dimensiones para todo el tramo:

$$H = y + 10\text{cm} \Rightarrow H = 0,42 \quad m$$

$$T'' = T + 10\text{cm} \Rightarrow T'' = 0,72 \quad m$$

TABLA Nro. 53 Ubicación y longitud de las cunetas

Nro.	PROGRESIVA	LADO		LONGITUD m
		Izquierda	Derecha	
1	0+285,20 - 0+770	Izquierda	Derecha	484,80
2	0+900- 1+300	Izquierda		400,00
3	1+580 - 1+800	Izquierda	Derecha	220,00
4	1+800 - 2+060	Izquierda		260,00
5	2,060 - 2+540	Izquierda	Derecha	480,00
6	2+804,20 - 3+240	Izquierda	Derecha	435,80
7	3+240 - 3+600	Izquierda		360,00
8	3+600 - 3+800	Izquierda	Derecha	200,00
9	4+340 - 4+800	Izquierda	Derecha	460,00
10	5+460 - 5+780	Izquierda		320,00
11	5+780 - 5+870	Izquierda	Derecha	90,00
12	5+980 - 6+142,01	Izquierda	Derecha	162,01

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.-Alcantarillas de alivio.-

Las alcantarillas de alivio se las ubicará a una profundidad de 1,5 m en función de la cota rasante de la carretera.

Para el cálculo de las áreas de aporte se tomó un derecho de vía de 50 m. El cálculo de áreas de aporte para las alcantarillas de alivio se representa como:

DISEÑO DE INGENIERIA TRAMO AEROPUERTO-ARROZALES (BERMEJO) DISEÑO DE ALCANTARILLA DE ALIVIO

Progresiva 0+441,35

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 ponderado tomado del diseño de las cunetas

A = Área de aporte (Ha)

Datos:

i = 29,01 mm/h

C = 0,455

A = 2,42 has

n = 0,024

S = 0,01 m/m

Coeficiente de rugosidad (n=0.024 tubería metálico ARMCO)



Q = 0,089 m3/seg

Caudal producido por las cunetas

e).- Calculo del tirante de agua

$$V_{tubo-lleño} = \frac{1}{n} * (R_h)^{2/3} * S^{1/2} = \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Y_N = \frac{1.31576}{D^{0.3558}} * \left(\frac{n * Q_{diseño}}{S^{1/2}} \right)^{0.504827}$$

$$Y_N = \frac{1.31576}{1^{0.3558}} * \left(\frac{0.024 * 0.089}{0.01^{1/2}} \right)^{0.504827}$$

Q= caudal de diseño (m3/seg)

A= Área de la sección (m2)

P= Perímetro de la sección (m)

S= Pendiente del canal (m/m)

D= Diámetro de la sección (m)

n= Coeficiente de rugosidad

Yn= 0,189 m

TABLA Nro. 54 Calculo hidráulico de las alcantarillas de alivio

Lugar:	BERMEJO	Proyecto:	PROYECTO DE INGENIERIA
Tramo:	AEROPUERTO-ARROZALES	Revestimiento:	ARMCO

Datos:			
Caudal (Q):	0.089	m3/s	
Diámetro (d):	1	m	
Rugosidad (n):	0.024		
Pendiente (S):	0.01	m/m	

Resultados:			
Tirante normal (y):	0.1773	m	
Area hidráulica (A):	0.0941	m2	
Espejo de agua (T):	0.7638	m	
Número de Froude (F):	0.8609		
Tipo de flujo:	Subcrítico		
Perímetro mojado (p):	0.8692	m	
Radio hidráulico (R):	0.1082	m	
Velocidad (v):	0.9462	m/s	
Energía específica (E):	0.2229	m-Kg/Kg	

Se tiene como resultado un tirante normal de:

y = 0,18 m

y + borde libre = 0,28 m

Se asume un diámetro mínimo comerciable tubo de chapa ARMCO de D=1.00m

Fuente: Elaboración Propia

TABLA Nro. 55 Resumen geométrico de las alcantarillas de alivio

N ro	PROGRESIVA	Q (m³/s)	So (m/m)	A aporte (Ha)	Y (m)	D (m)	Long. (m)
1	0+441,35	0,089	0,010	2,42	0,28	1	14,50
2	1+300	0,076	0,010	2,00	0,27	1	14,50
3	1+580	0,042	0,010	1,10	0,22	1	14,50
4	1+800	0,050	0,010	1,30	0,24	1	14,50
5	2+540	0,062	0,010	2,40	0,28	1	14,50
6	2+835	0,083	0,010	2,18	0,27	1	14,50
7	3+240	0,069	0,010	1,80	0,26	1	14,50
8	3+600	0,038	0,010	1,00	0,22	1	14,50
9	4+510	0,088	0,010	2,30	0,28	1	14,50
10	5+460	0,061	0,010	1,60	0,25	1	14,50
11	5+780	0,017	0,010	0,45	0,18	1	14,50
12	5+980	0,031	0,010	0,81	0,21	1	14,50

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3.- Diseño de alcantarillas de cruce.-

Estos alcantarillados se las ubico estratégicamente en los puntos bajos donde cumpla la función de evacuar las aguas provenientes de las quebradas y lagos como también de algunas vertientes que se forman en épocas de lluvias.

Se ubicara las alcantarillas de cruce a la profundidad del lecho de las quebradas en las que se encuentre la cual se encuentra detallada en ANEXO DE ALCANTARIILLAS DE CRUCE.

A continuación se presentara un resumen hidráulico donde también se detallara los diámetros y las longitudes calculados:

Tabla Nro. 56 Resumen de alcantarillado de cruce

ALC. DE CRUCE	C	tc (hrs)	I (mm/hrs)	A (km2)	Q max m3/seg
Alcantarilla 1	0,410	0,615	51,180	0,780	4,546
Alcantarilla 2	0,456	0,891	61,680	0,280	2,188
Alcantarilla 3	0,410	0,539	47,770	0,061	0,330
Alcantarilla 4	0,424	0,635	52,380	0,064	0,392
Alcantarilla 5	0,474	0,320	37,260	0,057	0,281
Alcantarilla 6	0,393	0,704	55,600	0,205	1,244
Alcantarilla 7	0,335	1,338	72,850	0,040	0,274
Alcantarilla 8	0,361	0,828	59,640	0,604	3,609
Alcantarilla 9	0,471	0,535	47,580	0,054	0,334
Alcantarilla 10	0,382	0,201	31,500	0,054	0,181

PROGRESIVAS	PEND. %	Nro de ALCANTARILLA	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)	VEL. m/seg
0+181,59	0,10	1	1,5	19	2,57
0+420,00	0,10	1	1	19	1,77
0+823,37	0,10	1	1	19	0,79
1+470,00	0,10	1	1	19	0,85
1+530,00	0,10	1	1	19	0,73
2+752,75	0,10	1	1	19	1,58
3+240,00	0,10	1	1	19	0,69
4+770,00	0,10	1	1,5	19	2,11
5+650,00	0,10	1	1	19	0,79
5+853,70	0,10	1	1	19	0,58

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4.- Volúmenes de movimiento de tierras.-

Obtenidos a partir del trazado de la subrasante, nos indica la cantidad de volumen de corte y relleno que tendrá el proyecto. Estos valores se muestran detallados en el anexo 5 que corresponde al movimiento de tierras, y que nos ayudan a determinar la curva masa.

TABLA Nro. 57 Resumen de volúmenes de movimiento de tierra

VOLÚMENES TOTALES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Total volumen de relleno (m³)=	9779,30	VOLUMEN ÍTEM N°8
Total excavación común (m³)=	14319,85	VOLUMEN ÍTEM N°6
Sobre acarreo (m³)=	4540,550	VOLUMEN ÍTEM N°7

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos notar que presenta volúmenes de cortes y rellenos a lo largo del tramo carretero, esto es debido para no transportar el suelo excedente a tramos largo economizando el presupuesto de la obra dando como resultado la compensación de los cortes con el terraplén. En el anexo de planos.

4.4.- DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA.-

Para el diseño del paquete estructural de la carretera se utilizó el paquete DIPAV 2.0, utilizando los parámetros que se muestran en el capítulo II. Unos de los datos más relevantes a considerar es el CBR de la sub rasante la cual se trabajó con el más crítico para darle seguridad a la rodadura (CBR= 5.26 %), además se utilizó datos como: datos de tráfico, etc. Datos obtenidos del anexo Nro. 4.

Realizaremos el diseño estructural de pavimento flexible y rígido esto con la finalidad de realizar una comparación de precios y para luego elegir una de las dos alternativas para su posterior construcción.

4.4.1.- Procedimiento de cálculo pavimento flexible.-

- a) Se introducen los datos anteriormente descritos en el capítulo 2.

IMAGEN Nro. 10 Entorno de cálculo Dipav 2.0 pavimento flexible

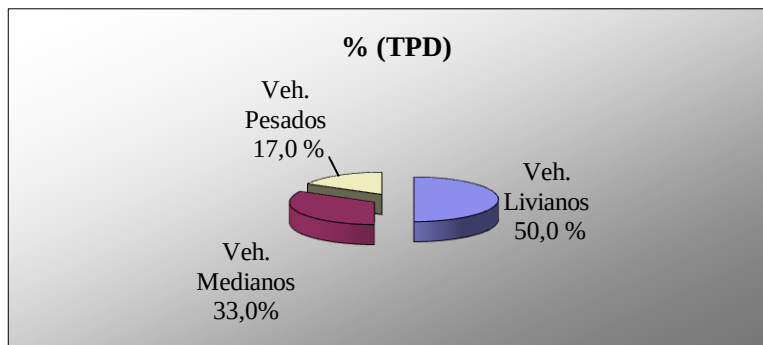
Fuente: Programa DIPAV 2.0

- b) Cálculo de Esals.- Para el cálculo de Esals, se debe calcular el Trafico Promedio Diario Anual TPDA, para lo cual permite el cálculo a través de Factores de Carga de cada Camión Tipo de diseño, este procedimiento de lo realizo de forma manual, esta tabla se encuentra en el ANEXOS Nro 4.

TABLA Nro. 58 Porcentajes de "TPD"

VOLUMEN DE TRÁFICO TOTAL

Tipo de Vehículo	TPD [veh/día]	% TPD
Livianos	56	50,0
Medianos	37	33,0
Pesados	19	17,0
Total =	111	100,0



Fuente: Propia

c) Cálculo de Eje Equivalente Vehicular

TABLA Nro. 59 Número de eje equivalente

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
LIVIANOS	24293
MEDIANOS	795194
PESADOS	483051
TOTAL EJES EQUIVALENTES	1,30E+06

NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO W18 : **1,30E+06**

NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO W18 : **1302537**

Fuente: Elaboración Propia

- d) Diseño de espesores por capas.- Para realizar el cálculo de espesores por capas se debe iniciar con espesores estimados para las capas inferiores, de acuerdo al análisis de características de cada capa. En este caso se adopta un espesor de 0.40 m para la capa subrasante y de 0.23 m ,0.20m para las capas Sub base y Base consecuentemente este procedimiento se las realizó con el programa **DIPAV V2.0.**

IMAGEN Nro. 11 Diseño con verificación por capa DIPAV 2.0 pavimento flexible

Flexible	Módulo	ESALs	Diseño de Espesor de Capas	Gráfico		
Diseño con Verificación por Capas			Diseño Especificado			
Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Coefficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)
CAPA SUB BASE	0.12	1	120,000	250	250	30
CAPA BASE	0.12	1	180,000	150	150	18
RODADURA	0.44	1	450,000		89	39

Número de Capas

3

Fuente: Programa DIPAV 2.0

- e) Diseño Especificado de Espesores por capas.- Para realizar la verificación de los espesores iniciales de diseño DIPAV presenta una paleta de cálculo de Especificado de Espesores en la cual se verifican los espesores de las diferentes capas tomando en cuenta el número estructural alcanzado con el numero estructural alcanzado, con lo que se verifican las condiciones de las capas por medio del espesor, posteriormente se asume los espesores con los cuales se trabajan para la cuantificación de volúmenes de ejecución.

IMAGEN Nro. 12 Diseño especificado DIPAV 2.0 pavimento flexible

Flexible	Módulo	ESALs	Diseño de Espesor de Capas	Gráfico			
Diseño con Verificación por Capas			Diseño Especificado				
Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Coefficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
CAPA SUB BASE	0.12	1	120,000	250	250	30	250
CAPA BASE	0.12	1	180,000	150	150	18	150
RODADURA	0.44	1	450,000		89	39	90

Número Estructural Alcanzado

Número Estructural Requerido

Fuente: Programa DIPAV 2.0

4.4.1.1.- Resultados

Los resultados de los espesores iniciales y las verificaciones analizadas por el programa DIPAV V2.0 se muestran en la siguiente tabla:

TABLA Nro. 60 Espesores de capa para la calzada

CAPAS	ESPESORES
Carpeta asfáltica	9,00 cm
Capa base granular	15,00 cm
Capa sub base granular	25,00 cm

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.- Procedimiento de cálculo pavimento rígido (Alternativa 2).-

- a) Se introducen los datos anteriormente descritos en los cuadros respectivos, tal como se muestra en imagen 12.

IMAGEN Nro. 13 Entorno de cálculo DIPAV V2.0 pavimento rígido

The screenshot displays the DIPAV V2.0 software interface for rigid pavement calculation. The interface is organized into a grid with input fields and labels. The top navigation bar includes tabs: 'Rígido', 'Módulo', 'ESALs', 'Información Adicional', 'Barras de Amarre', 'Reservorio de Juntas', and 'Gráfico'. The main area contains the following inputs:

- Serviciabilidad Inicial (Po): 4.5
- Serviciabilidad Final (Pt): 2.5
- Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)(MPa) - (psi): 4.83 MPa (70,053 psi)
- Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi): 34,000 MPa (493,128,308 psi)
- Coefficiente de Drenaje (Cd): 1
- Coefficiente de Transferencia de Cargas (J): 3.2
- Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci): 34.96 kPa/mm (12,888 pci)
- Confiabilidad (R)(%): 80
- Desviación Estándar (So): 0.39
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 1,302,537
- Espesor de Losa (mm): 169

At the bottom, there are radio buttons for 'Espesor' (selected) and 'ESALs', along with 'Calcular' and 'Borrar todo' buttons.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

- b) Cálculo de Esals.- Para el cálculo de Esals, se debe calcular el Tráfico Promedio Diario Anual TPDA, para lo cual permite el cálculo a través de Factores de Carga de cada Camión Tipo de diseño, este procedimiento de lo realizo de forma manual, esta tabla se encuentra en el ANEXOS de tráfico
- c) Cálculo de factores equivalente vehicular (FEV).

TABLA Nro. 61 Número de eje equivalente

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
livianos	24293
medianos	795194
pesados	483051
TOTAL EJES EQUIVALENTES	1,30E+06

Fuente: Elaboración Propia

- d) Diseño de Espesores por capas.- Para realizar el cálculo del espesor de losa se debe adoptar el espesor inicial de pavimento, de acuerdo al análisis de características de cada capa. En este caso se adopta un espesor de 0.25 m para la capa base y 0.20 m para la losa de hormigón.
- e) Cálculo de barras de amarre.

IMAGEN Nro. 14 Entorno de cálculo DIPAV V2.0 calculo barras de amarre transversal

Rígido	Módulo	ESALs	Información Adicional	Barras de Amarre	Reservorio de Juntas	Gráfico
Tipo de Capa Base			A-1b CBR 56,1 %			
Espesor de Capa Base (mm)			250			
Diámetro de Barras Pasajuntas (mm)			16			
Longitud de Barras Pasajuntas (cm)			45			
Separación entre Barras Pasajuntas (cm)			30			
Revestimiento de Barras Pasajuntas			anticorrosivas			
Separación entre Juntas Transversales (m)			3.84			
Espesor de Losa Adoptado (mm)			200			

El diagrama ilustra la configuración de las barras de amarre transversales en una losa de pavimento. Se muestran las siguientes características:

- SENTIDO DEL TRAFICO:** Indicado por una flecha azul.
- JUNTA LONGITUDINAL:** Línea vertical que divide la losa.
- JUNTA TRANSVERSAL:** Línea horizontal que divide la losa.
- LONGITUD DE LA BARRA:** Dimensionada para cruzar la junta transversal.
- SEPARACION ENTRE BARRAS:** Distancia entre las barras de amarre.
- DIAMETRO DE LA BARRA:** Dimensionado para el tipo de concreto.
- REVESTIMIENTO DE LA BARRA:** Material que protege la barra de la corrosión.
- ESPESOR DE LOSA ADOPTADO:** Dimensionado para soportar las cargas.
- ESPESOR DE CAPA BASE:** Dimensionado para proporcionar soporte adicional.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

IMAGEN Nro. 15 entorno de cálculo DIPAV V2.0 barras de amarre longitudinal

Rígido	Módulo	ESALs	Información Adicional	Barras de Amarre	Reservorio de Juntas	Gráfico
Coeficiente de Fricción / Losa - Base: 1.5						
Calidad del Acero (MPa): 400						
Diámetro de la Barra (mm): 16						
Distancia al Borde Libre (m): 3.5						
Porcentaje de Resistencia a Tracción: 75						
Separación entre Barras (m): 0.45						
Área de Acero Requerida (mm ² /m): 25,333						
Longitud de la Barra (m): 0.59				Calcular		

Diagrama de la losa con barras de amarre longitudinales. Se indican las distancias al borde libre (DIST. 1, DIST. 2) y el sentido del tráfico.

Diagrama 3D de la losa con barras de amarre longitudinales y transversales. Se indican las juntas longitudinales y transversales, la separación entre barras, la longitud de la barra y el diámetro de la barra.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

f) Reservorio de juntas.

IMAGEN Nro. 16 Reservorio de juntas

Rígido	Módulo	ESALs	Información Adicional	Barras de Amarre	Reservorio de Juntas	Gráfico
Coeficiente de Expansión Térmica (10 ⁻⁶ mm/mm/°C): 10.8						
Rango de Temperatura (°C): 30						
Coeficiente de Retracción por Secado (mm/mm): 0.00040						
Coeficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base: 0.8						
Tipo de Sellador: asfalto						
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm): 0.25						
Factor de Forma del Sellador: 1						
Apertura de la Junta (mm): 22						
Ancho del Reservorio de Junta (mm): 9						
Profundidad Mínima del Sello (mm): 9						
Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm): 23						
Calcular						

Diagrama de un reservorio de junta. Se muestran el ancho del reservorio de junta, la tira de respaldo (Baker Rod), la profundidad mínima del sello, la profundidad mínima de corte de ampliación, la apertura de la junta y el corte inicial.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

4.4.2.1.- Resultados.-

Los resultados del diseño se detallan en los siguientes cuadros.

- **Alternativa 2.- Construcción con pavimento rígido.-**

TABLA Nro. 60 Espesores de las capas para la calzada

CAPAS	ESPESORES
Losa Pavimento Rígido	20,00 cm
Capa Base Granular	25,00 cm

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3.-Ventajas y desventajas.-

IMAGEN Nro. 17 Ventajas de cada pavimento

Ventajas Flexible	Ventajas Pavimento Rígido
• Menor coste inicial a diferencia de otras opciones. • La resistencia al derrapamiento se da primordialmente por la textura de la capa de rodadura que permite proporcionar un buen coeficiente de fricción neumático pavimento y por un buen drenaje superficial que impida la formación de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento. • Los avances en la tecnología de modificación de ligantes asfálticos, en la de diseño de mezclas y el uso de materiales pétreos de mejor calidad ha permitido que en la actualidad se logren mezclas asfálticas con resistencias muy superiores a las convencionales, con la tecnología actual es posible lograr mezclas con módulos dinámicos superiores a los 10,000MPa (más del triple de las que se obtienen con una convencional). • La reutilización de mezclas asfálticas que han cumplido con su vida útil ha sido de uso común por un largo tiempo. Se pueden usar	• Con equipos de pavimentación se pueden lograr acabados muy buenos en los pavimentos de concreto hidráulico, además su gran capacidad estructural permite que se mantengan sin deformaciones de consideración a lo largo de su vida útil. • La textura en un pavimento de concreto de logra mediante un escobillado, por sus características el agregado grueso normalmente no queda expuesto al contacto con los neumáticos por lo que el aporte de la microtextura a la resistencia al derrapamiento. • En la práctica es frecuente que los pavimentos de concreto hidráulico sean proyectados para vidas útiles de 40 a 50 años. • Un pavimento de concreto bien diseñado y construido, y con mantenimiento adecuado tiene capacidades estructurales excelentes. • Tienen un mantenimiento muy fácil, porque

Fuente: Recopilación de varios Autores

IMAGEN Nro. 18 Desventajas de cada pavimento

Desventajas Pavimento Flexible	Desventajas Pavimento Rígido
• Al no tener cuidado, en la selección de materiales, en el diseño de las mezclas asfálticas y en los procesos constructivos no se logran buenos acabados, además estas mismas condiciones aunadas a deficiencias en el proyecto generan que algunos pavimentos flexibles presenten deformaciones plásticas prematuramente, afectando así las condiciones de durabilidad. • En la práctica nacional persiste la costumbre de emplear agregados locales por razones de costo inicial, aunque no tengan características adecuadas, además que las nuevas tecnologías de diseño y construcción de mezclas aún no están lo suficientemente extendidas. Esto genera superficies con problemas de derrapamiento de origen, que se van agravando con el tiempo al aparecer el fenómeno de pulimento y/o roderas que impiden un drenaje adecuado en la Carretera. • Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada.	• Tienen un elevado Coste Inicial. • En calles y caminos secundarios es común encontrar tanto proyectos deficientes como procedimientos constructivos inadecuados, generando problemas de regularidad por agrietamientos, escalonamientos, rotura de losas, etc. • Puede presentar fallas prematuras por defectos de construcción, como sellado de juntas eficiente, aserrado a destiempo de las mismas, curado insuficiente o pasajuntas mal colocados, también puede ser afectado por el exceso de carga de los vehículos que circulan por la vía. • La gran resistencia que se logra en los concretos de pavimentación provoca que sea un material difícil de demoler, dificultando con ello las posibilidades de ser reutilizado. • Es común encontrar que a despostillamiento en juntas se les atiende colocando mezcla asfáltica, la cual se convierte en un obstáculo a la libre expansión de las losas al subir la temperatura provocando que el problema se incremente. • Son más rudas para el conductor. • La fisuración nunca se detiene y son más difíciles de reparar si sufren una fractura. • Las reparaciones suelen ser caras y consumen mucho tiempo.

Fuente: Recopilación de varios Autores

4.4.4.-Comparación económica.-

TABLA Nro. 63 COSTO PAV. RIG.

PAVIMENTO REGIDO	
Modulo	Costo (Bs)
1.-Infraestructura Caminera	1.961.533,25
2.-Pavimento Rígido	20.490.572,64
3.-Obras de Drenaje	1.278.476,17
TOTAL:	23.730.582,06

Fuente: Elaboración Propia

TABLA Nro. 64 COSTO PAV. FLEX.

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Modulo	Costo (Bs)
1.-Infraestructura Caminera	1.961.533,25
2.-Pavimento flexible	15.300.985,27
3.-Obras de Drenaje	1.278.476,17
TOTAL:	18.540.994,69

Fuente: Elaboración Propia

4.4.5.-Análisis técnico económico de la alternativa.-

No existe un sistema de pavimentación único, los dos sistemas tienen virtudes considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado a conciencia para determinar cuál es la mejor opción para cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto.

Se deben tomar en cuenta las condiciones del entorno, el proyecto geométrico, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y la disponibilidad de materiales y equipo de construcción.

El pavimento flexible tiene un costo de 18.540.994,69 de bolivianos, pero este tipo de pavimento ofrece mejores condiciones de seguridad y confort para el libre tránsito de vehículos, como su fácil colocación en obra. Además su nivel de inversión inicial la hace la opción más favorable, a la hora de decidir el tipo de pavimento.

El pavimento rígido tiene un costo de 23.730.582,06 de bolivianos, Si bien es cierto que el pavimento rígido posee mayores cualidades en cuanto a la resistencia y periodo de vida útil, el monto de inversión inicial la hace una opción que tiene que ser analizada cuidadosamente por todas las partes que realizaran el proyecto.

- En base a todo lo expuesto anteriormente el pavimento elegido para el presente proyecto de aplicación práctica será el **pavimento flexible**.

4.4.- Señalización.-

La señalización horizontal está ligada a la distancia de sobrepaso o de adelantamiento, para el presente proyecto tenemos los siguientes tipos de línea considerando que la distancia mínima de adelantamiento es de 300 m.

TABLA Nro. 65 Tipos de línea amarilla para la señalización horizontal de sobrepaso

PROGRESIVA		LONG. RECTA	TIPO DE LÍNEA AMARILLA
De	Hasta		
0+000	1+127.39	1127,39	Discontinuo
1+132.36	1+353.67	221,31	Continuo
1+354.27	1+436.74	82,47	Continuo
1+441.68	1+602.43	160,75	Continuo
1+602.60	1+853.64	251,04	Continuo
1+853.81	2+060.24	206,19	Continuo
2+061.37	2+185.05	124,05	Continuo
2+186.33	2+379.10	192,77	Continuo
2+379.31	2+507.53	128,22	Continuo
2+508.41	2+573.82	65,41	Continuo
2+575.57	2+668.20	92,63	Continuo
2+672.04	2+743.44	71,4	Continuo
2+752.76	2+791.72	38,96	Continuo
2+798.32	2+879.73	90,41	Continuo
2+907.10	4+140,30	1233,2	Discontinuo
4+141.73	5+307,29	1165,56	Discontinuo
5+315.92	5+441.75	125,83	Continuo
5+442.70	5+670.98	228,28	Continuo
5+671.33	5+839.90	168,57	Continuo
5+858.04	5+912.67	54,63	Continuo
5+936.87	5+951.54	19,67	Continuo
5+958.25	6+142,01	183,76	Continuo

Fuente: Elaboración propia

4.6.- ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.-

4.6.1.- Identificación de los impactos ambientales en la etapa de construcción.-

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

4.6.2.- Impactos sobre el medio físico.-

Impactos sobre el suelo.

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

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

Impactos sobre el agua y los drenajes naturales.

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

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

Impactos sobre el aire.

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

Se producirían emisiones de polvo producto del transporte de los materiales; actividades de limpieza, desbroce, excavación, relleno y compactación, así como

debido al desplazamiento de vehículos en las áreas seleccionadas como vías alternas y en los caminos de acceso a la obra, se considera que el impacto es negativo, mediana importancia, localizado, corta duración y reversible.

Impactos sobre niveles de presión sonora.

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

4.6.3.- Impactos sobre el medio biótico.-

Impactos sobre la flora.

En la mayor parte del trazado no habrá un impacto significativo sobre este componente ambiental, ya que el mejoramiento del camino se realizará ocupando las áreas despejadas y ya existentes, donde la vegetación es poco predominantemente. Habrá afectaciones a algunos árboles que actualmente se encuentran al pie de la vía existente. El impacto se considera negativo, poca importancia, localizado y reversible.

Impactos sobre la fauna.

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

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

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

Impactos sobre los ecosistemas.

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

4.6.4.- Impactos al medio socioeconómico.-

Impactos sobre la salud y seguridad del componente humano.

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

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

Impactos sobre el empleo

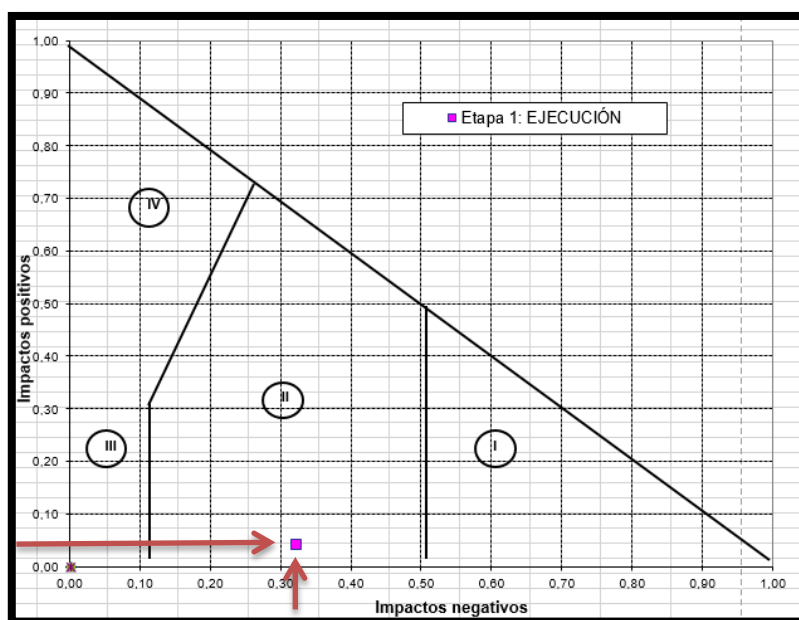
La creación de fuentes de trabajo temporales para las tareas de desbroce o de apertura de las franjas de servidumbre y mantenimiento de caminos, y en general actividades que no requiera personal especializado, generan beneficios temporales de los moradores de la zona. El impacto es positivo, alta importancia,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

Impactos sobre las actividades económicas

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

Para calificar se utilizó la matriz resumen de Identificación de Impacto Ambiental que contiene los valores ponderados de los impactos ambientales negativos y positivos de cada atributo ambiental, ver anexo Nro. 9, los resultados de este análisis se resumen en la siguiente gráfica que nos muestra el grado de impacto que produce la construcción de la carretera.

IMAGEN Nro. 19 Desventajas de cada pavimento



Fuente: Elaboración propia

- El proyecto tiene un impacto de categoría II, significa que requieren de una evaluación de impacto ambiental analítica específica.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES.-

- Como es expuesto, “El Diseño de Ingeniería tramo Aeropuerto - Arrozales” es un trabajo importante de aplicación en el campo de la Ingeniería Civil, ya que se analizan puntos muy importantes en lo que se refiere a dicha profesión, tales como el diseño en sí, estudio de suelos, estudio hidrológico, análisis de costos, etc.
- Los datos del levantamiento topográfico de la zona fueron obtenidos de la sub gobernación de la ciudad de Bermejo que consta de una poligonal abierta abarcando una longitud de 6,142 km.
- Según el estudio de tráfico vehicular realizado se determinó el número de ESALs, en función a la proyección de tráfico que se obtuvo para el año 2045. Al tratarse de una variante nueva a la ruta actual se realizó un estudio de encuestas origen-destino determinando el trafico derivado que vendrá a sumarse al tráfico normal que existe en un tramo de este nuevo trazo, una vez proyectado el tráfico generado y desarrollado por distintos factores e índices de crecimiento dando como resultado un ESALs de 1.302.537.
- El diseño geométrico que se realizó fue producto de un análisis cuantitativo y cualitativo de la norma adoptando las siguientes dimensiones 7 m de calzada, 1,0 m de berma y 0,5 m se SAP, utilizando radios de diferente magnitud, el diseño del trazo que se pudo obtener es seguro, confortable, para usuarios y peatones, esto se pudo lograr con la ayuda del software AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2011.
- Se determinó las subcuencas del proyecto que drenan sus aguas en dirección transversal a la carretera, así como los parámetros Hidrológicos e Hidráulicos para encontrar el caudal máximo de diseño para las obras de arte, por otro lado no se hubiera podido realizar un estudio hidrológico satisfactorio sin el análisis de las lluvias que hay en la zona, lamentablemente por la disposición de las estaciones solo se pudo contar con una sola estación de estudio (

Estación Bermejo), ya que es la que más cerca se encuentra de la zona logrando así obtener las curvas IDF necesarias para calcular los caudales que tendrán las alcantarillas y de esta manera dimensionarlas.

- Con respecto al diseño hidráulico se optó por 22 alcantarillas de material ARMCO, 20 alcantarillas tendrán un diámetro de 1m y 2 alcantarillas tendrán un diámetro de 1,50 m, que permitirán la evacuación de los caudales obtenidos mediante el estudio hidrológico.

También se procedió a la realización del diseño de las cunetas que evacuarán toda el agua proveniente de las precipitaciones que caen sobre la calzada, estas cunetas tendrán una sección triangular con dimensiones ($T=0,72$ m $Y=0,42$ m) éstas serán prefabricados de hormigón simple; para su cálculo se utilizara el software H canal.

- Al realizar el Estudio Geotécnico, se llega a la conclusión que existe diversos tipos de suelos, según la norma AASTHO se clasifico en: A1(b) mezcla de grava, arena y limo con CBR = 49%, A-2-4 arena limosa con grava con CBR = 24% y A4 suelo arenoso con arcilla orgánica con CBR = 5.26%.
- El diseño geométrico que se realizó fue producto de un análisis cuantitativo y cualitativo de la norma ABC adoptando las siguientes dimensiones 7 m de calzada, 1 m de berma, 0,5 m de SAP y con una longitud de la carretera de 6+142,01 m, utilizando radios de diferente magnitud, el diseño del trazo que se pudo obtener es seguro, confortable para usuarios y peatones, esto se pudo lograr con la ayuda del software AutoCAD Civil 3D versión 2011. Para el diseño el paquete estructural de pavimento flexible y rígido se utilizó el método AASHTO-93 donde por temas económicos se optó por el pavimento flexible, concluyendo así con un espesor de carpeta de 9 cm, debido al tránsito de que circula por esta carretera que fue registrado en los anexos de Aforos de tráfico, también se determinó un espesor de capa base de 15cm y de subbase de 25cm todo esto fue verificado mediante el programa DIPAV desarrollado por el instituto boliviano del concreto y hormigón.

- Con respecto a la señalización vertical como horizontal fue conveniente ubicar 9 señalizaciones preventivas, 4 señalizaciones informativas, 3 señalizaciones reglamentarias; 12.284,02 m de líneas blancas continuas y 6.032,44 m de líneas amarillas doble segmentadas.
- Se realizó el llenado de la ficha ambiental dando como resultado una evaluación de impacto ambiental específica.
- Según los costos horarios de equipos, materiales y mano de obra, en cuanto los resultados obtenidos están dentro de lo aceptable porque se utilizaron precios actuales, se obtuvo un costo total de la obra 18.540.994,69 Bs. correspondiendo 3.018.722,68 Bs por kilómetro.
- Se realizó las especificaciones técnicas de cada ítems considerado en los cómputos métricos.
- Se adjuntan planos a escala, ver anexos planos.

5.2.- RECOMENDACIONES.-

- Preferiblemente la construcción debe llevarse a cabo en época de estiaje habiendo así una mayor facilidad de operación en cada fase del proyecto, en especial en las obras de arte.
- Algo muy importante antes de realizar la construcción de la carpeta estructural deberá notificar a los habitantes del lugar, para tomar en cuenta, la manera de evitar lo más que se pueda el paso de los animales que pudieran estorbar a la maquinaria que se encuentre trabajando en la obra y así de esta manera evitar incidentes que perjudiquen el normal avance de la obra, además se deberá analizar con autoridades del lugar la implementación de obras como ser alcantarillado sanitario y redes de agua potable.
- Es muy importante que la empresa constructora realice un estudio más profundo del banco de materiales antes ser empleado en el paquete estructural como ser la subrasante, subbase y base, ya que cada capa tiene sus propias características, y éstas deben ser cumplidas a cabalidad.

- Las alcantarillas deberán cumplir todos los aspectos señalados en el plano de detalles de las mismas, en especial con la inclinación (Pendiente), para así permitir el correcto y libre flujo del agua, para que de esta manera se evita el taponamiento de las alcantarillas causados por el arrastre de material.
- El tema ambiental deberá ser analizado constantemente con los comunarios de la zona, explicando detalladamente que es lo que se hará, como se lo hará y de qué manera se compensara a dueños de zonas afectadas.
- Una recomendación importante para la ejecución del proyecto, es que se debe tomar en cuenta el clima, es decir cuando las precipitaciones pluviales cesen. Tomando estos factores se aconseja la ejecución física de la obra entre los primeros días de Abril, y además de tener horarios de trabajo aceptables tomando en cuenta las elevadas temperaturas de la ciudad de Bermejo.

5.3.- BIBLIOGRAFÍA.-

1.- Fundamentos de la ingeniería geotécnica

Braja M. Das, Editorial Thomson – Learning » año 2000, Pág. 249

2.- Hidráulica de canales

Alcides León - Estopiñan, Editorial Puerta y Educación » año 2000, Pág. 193

3.- Hidrologia

Ing. Máximo Villon Bejar » Ed. Villon - Lima, PERU » año 2002

4.- Manual de diseño geométrico

Administradora Boliviana de Carreteras » <http://www.ABC.com> -

5.- Manual de hidrología y drenaje

Administradora Boliviana de Carreteras » <http://www.ABC.com> -

6.- Manual de suelos y hormigones

Administradora Boliviana de Carreteras » <http://www.ABC.com> –

7.- Vías de comunicación

Ing. Carlos Crespo Villalaz » Ed. Limusa-MEXICO D.F. » año 1996