

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 .- ANTECEDENTES

Todo país entre los gastos más importantes que presenta, son las inversiones en vías de comunicación. La vinculación caminera del Departamento de Tarija, es considerada actualmente como la principal estrategia de desarrollo regional, es entonces, que la construcción de rutas principales y en este caso secundarias, la apertura, el mejoramiento, de tramos viales estratégicos, se convierten en premisas dentro de los planes de desarrollo existentes.

En lo que concierne a Bolivia la evolución de la red caminera ha sido lenta: fundamentalmente debido a las condiciones topográficas y geográficas.

En zonas montañosas los costos de construcción de las carreteras son elevados, y en las zonas tropicales a causa de la escasez de material y el terreno no es muy bueno chocamos con carreteras muy inestables a causa de inundaciones y desastres naturales.

Adicionalmente, el Departamento de Tarija en el contexto nacional, ha ido adquiriendo paulatinamente en Bolivia una mayor importancia social y económica, convirtiéndose en la actualidad en la región con mayor productividad y reservas gasíferas de nuestro país.

Según información del programa de desarrollo para Caminos Rurales, el tráfico vehicular en la mayoría de los caminos es menor a los 90 vehículos/día. Estas carreteras de baja intensidad de tráfico también denominadas caminos vecinales, son aquellos que van de un poblado a otro y unen un poblado con un punto cualquiera de una vía de comunicación.

Estos caminos son necesarios para cualquier sistema de transporte que de servicio al público en estas zonas rurales con el fin de mejorar el flujo de bienes y servicios, para ayudar a promover el desarrollo, la salud pública, la educación, como una ayuda en la administración del uso del suelo y de los recursos naturales, llegando de esta manera a mejorar las condiciones de vida de los pobladores e incrementando la productividad en la zona.

En vista de la importancia que constituye este camino municipal se vio la necesidad de realizar el diseño geométrico de este tramo para que el proyecto logre la integración de estas comunidades, durante todo el año y de este modo mejorar el nivel y bienestar de la zona y el potenciamiento de las actividades productivas, las posibilidades de desarrollo regional y departamental.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

Las poblaciones aledañas de una ciudad pueden comenzar a progresar a partir del momento que estas tengan un camino para tener una mejor comunicación con la ciudad y mejorar sus medios de transporte, por eso es de mucha importancia la construcción de carreteras o el mejoramiento de los mismos.

Con el presente proyecto se estaría dando como primera instancia el de satisfacer la necesidad de tener un camino logrando de esta manera una mejor comunicación vial del tramo “Gamonedá-Barbecho” así mismo se pretende brindar un documento técnico que permita el diseño geométrico del camino vecinal del tramo Gamonedá-Barbecho, beneficiando a ambas comunidades.

Esto nos debe convencer de que esta obra es una de las necesidades que tiene nuestra ciudad ya que esta dentro de los caminos municipales. El diseño del camino estará en base a normas establecidas por la Administradora Bolivia de Caminos (ABC).

El progreso de la comunidad, radica básicamente en la transitabilidad y la interconexión aun sistema vial, paralelamente a la actividad económica principal de la región.

En el presente estudio se considero realizar solo curvas circulares simples con el fin de mantener el trazo actual del camino, considerando la topografía del lugar la velocidad del proyecto donde es baja, viendo así que las curvas circulares son fáciles de ejecutarlas y realizarlas, así mismo no requieren de mucho espacio y se adecuan a la forma del terreno.

1.3.- ALCANCE DEL PROYECTO.-

El alcance del presente trabajo consiste en realizar el diseño geométrico, sus obras de arte menor y un análisis de costos para el camino “Gamonedá-Barbecho”.

La descripción fisiográfica del tramo “Gamoneda-Barbecho” estará definido por la ubicación geográfica que correspondería a una descripción en el, departamental y cartas del IGM.

El capítulo de aspectos técnicos de ingeniería es la parte fundamental de este proyecto, se recopilaran los datos de campo como también se generaran parámetros de diseño de acuerdo a las normas manuales de nuestro país, así también fundamentado por la teoría.

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

También se realizara la ingeniería del proyecto, la topografía del tramo tanto el trabajo de campo como el trabajo de gabinete, luego se pasara la información obtenida y se realizara el diseño geométrico establecido para este tipo de camino vecinal.

Se trabajara en la planimetría, en el perfil longitudinal y luego proseguir con las secciones transversales tomando en cuenta el ancho de calzada taludes para posteriormente realizar el cómputo volumétrico que corresponda al movimiento de tierras calculando el área y el volumen más su diagrama de masa respectivo.

De acuerdo a datos hidrológicos se realizara un análisis de los mismos para posteriormente determinar el caudal máximo que transitan por los causes naturales, las cuales servirán para el diseño hidráulico de las obras de arte menor como alcantarillas y cunetas del respectivo tramo

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

1.4 OBJETIVOS.-

1.4.1 Objetivo general.-

- ✿ Realizar el estudio del proyecto vial que involucre el Diseño Geométrico, aplicando al tramo “Gamonedá-Barbecho” según el manual de la Administradora Boliviana De Carreteras (ABC).

1.4.2 Objetivos específicos.-

- ✿ Evaluar el tramo de estudio, sus accesos, limitaciones para planear la alternativa de solución para el mismo.
- ✿ Realizar el levantamiento topográfico del camino a lo largo del eje preliminar con el fin de obtener las coordenadas y elevaciones del terreno.
- ✿ Realizar un estudio de suelos mediante ensayos de laboratorio para obtener las características, composición y comportamiento de la subrasante.
- ✿ Realizar el diseño geométrico aplicando las normas establecidas por la Administradora Boliviana de Carreteras. (ABC).
- ✿ Realizar el diseño de las obras de drenaje necesario para el buen funcionamiento del camino, tomando datos hidrológicos del SENAMHI para definir el caudal de diseño.
- ✿ Cuantificar el movimiento de tierras que origine el diseño geométrico hasta determinar el diagrama masa.
- ✿ Determinar en forma técnica los precios unitarios para cada una de las actividades que intervienen en el diseño geométrico y el presupuesto general del proyecto.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO

2.1.- CONTROLES BÁSICOS DE DISEÑO

A continuación se señalan los factores que han intervenido y que de alguna manera influyeron en las características de la carretera, distinguiéndose los factores funcionales, físicos, de costo, que en su conjunto desarrollan los criterios que deben ser considerados para definir las características de la vía.

2.1.1.- Factores que influyeron en el diseño geométrico

Se han considerado las distintas variables que afectan directamente el diseño geométrico de la carretera, como los, factores físicos (topografía, geología, drenaje natural), factores económicos (costos de inversión).

La preponderancia de uno o la interrelación entre ellos será objeto de análisis en los siguientes acápite.

2.2.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y EXTENSIÓN.-

2.2.1 Ubicación geográfica.-

El proyecto se encuentra ubicado entre las comunidades de Gamoneda y Barbecho, cuales pertenece a la provincia cercado del departamento de Tarija, se encuentra ubicada a 15 Km de la ciudad de Tarija con una altitud de 1830 msnm limita al Norte con la comunidad de Calderas Grande, al Sur con la comunidad de Barbecho, al Este con la comunidad de Yesera Sur, al Oeste con Morros blancos.

a) Ubicación.

- a. Departamento: Tarija
- b. Provincia: Cercado
- c. Comunidad: Gamoneda-Barbecho

La ubicación geográfica se la ha obtenido mediante la carta geográfica correspondiente al lugar de estudio.

b) Mapa de Ubicación.

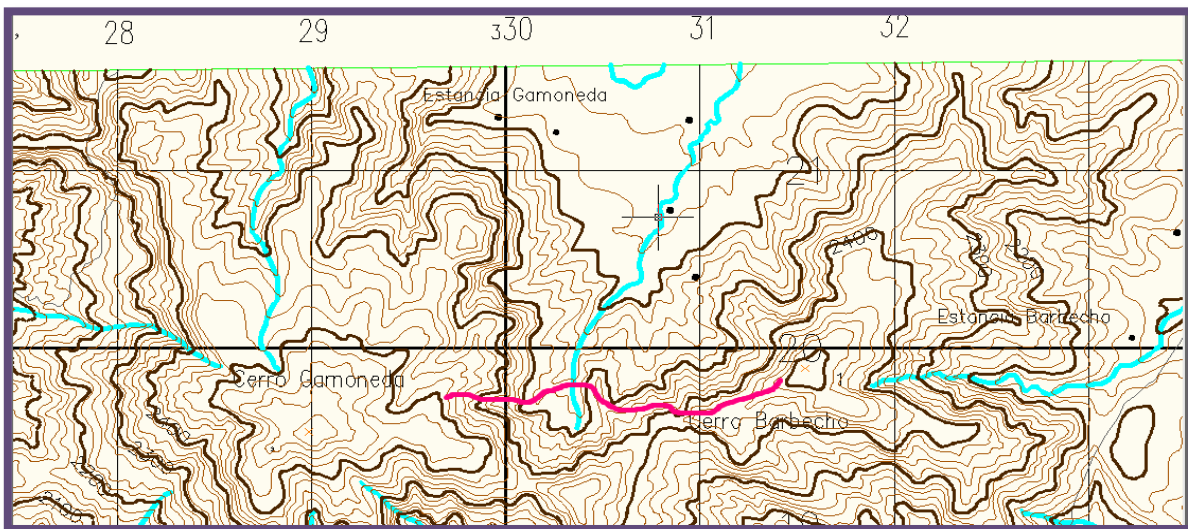
Fig. 2.1

División Política de Tarija



Fig.2.2

Ubicación del tramo en estudio “Gamonedá – Barbecho”



Fuente: Carta Geográfica (IGM)

c) Ubicación.

- a. Departamento: Tarija
- b. Provincia: Cercado
- c. Comunidad: Gamoneda-Barbecho

La ubicación geográfica se la ha obtenido mediante la carta geográfica correspondiente al lugar de estudio.

📍 Ubicación Geográfica del tramo del en estudio

Inicio de tramo: Comunidad Gamoneda

N 7621217,85; E = 329271.85

Fin de tramo: Comunidad de Barbecho

N = 7619832,962; E = 331190.776

2.2.2.- Extensión.-

El diseño de ingeniería del diseño geométrico del tramo “Gamoneda-Barbecho” tiene una longitud de 3.358 km que se encuentra contemplado en este proyecto.

2.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN.-

2.3.1 Población beneficiaria

Las principales personas beneficiarias serán los que viven en Gamoneda porque no se cuenta con ningún diseño de ingeniería y además serán los mayores usuarios de la ejecución de este proyecto.

Se favorecerán los productores agrícolas de la comunidad ya que contarán con un camino con condiciones de transitabilidad. Se favorecerán las personas que realizan el transporte público y privado ya que circularán por un tramo que tendrá una mejor comodidad disminuyendo los costos de manteniendo de los vehículos.

☼ Lenguaje que habla la población.-

En cuanto al idioma que habla la población de Gamoneda se puede constatar que debido a que la mayoría de los habitantes son nativos, el lenguaje que hablan es el español (castellano).

☼ Número aproximado y tamaño promedio de las familias

Si bien no existen datos exactos en el INE acerca de las familias en esta comunidad, es importante destacar el trabajo de los profesores de la Unidad Educativa Gamoneda. Quienes en cada inicio de gestión realizan un censo en la población para tener información acerca de la cantidad de niños y niñas que existen por familia para así obtener datos que ayuden a programar las actividades escolares del año.

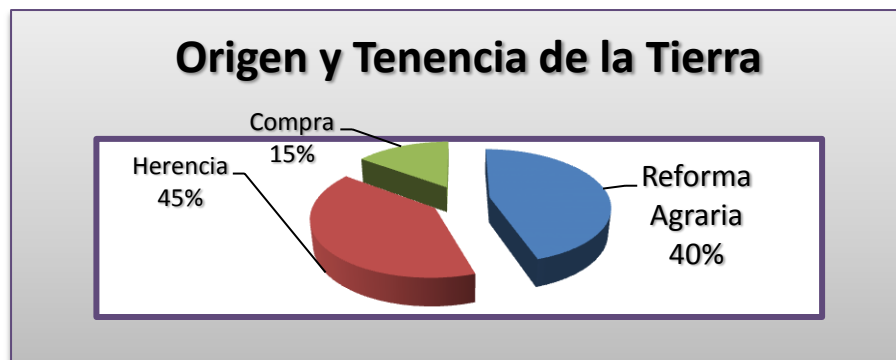
Según los datos proporcionados por los maestros de la mencionada Unidad Educativa se puede decir que la cantidad de familias es de 120, los integrantes de cada familia son aproximadamente de seis a siete personas.

2.3.2.- ASPECTOS ECONÓMICOS.-

☼ Tenencia de la tierra

En el área de influencia del proyecto, según el relato de los comunarios en un mayor porcentaje de la tierra obtuvieron por herencia propia o directa de sus antepasados en tanto que en otro significativo porcentaje fue adquirida a través de la reforma agraria quedando un mínimo porcentaje por compra.

Tabla N° 2.1



Fuente: Encuesta Realizada en la Comunidad de Gamoneda (Elaboración Propia)

Haciendo una descripción a cerca de la cantidad de tierras existentes en el área de influencia del proyecto, se puede indicar que existen aproximadamente 48 hectáreas de las cuales 25 hectáreas son cultivadas a temporal (es decir que son cultivadas solo en época de lluvias).

Por último las restantes hectáreas son utilizadas por los comunarios para la actividad de pastoreo y reforestación.

✿ Principales actividades económicas.-

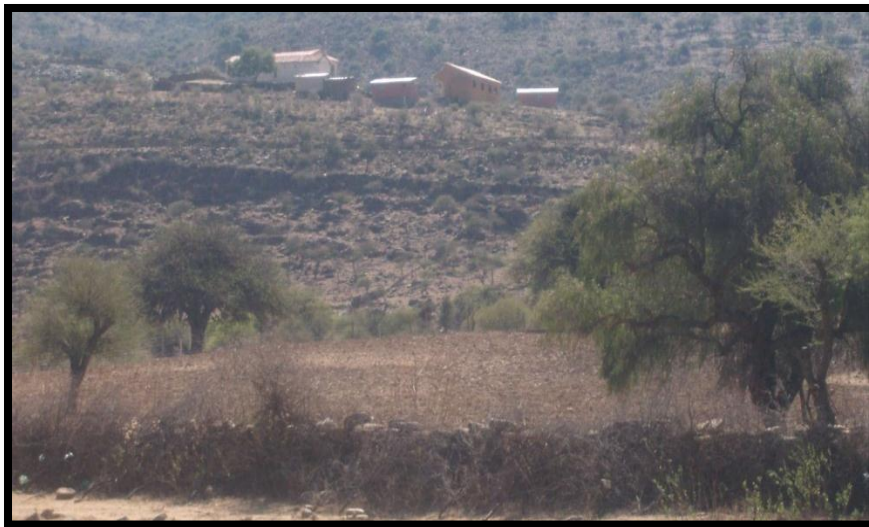
La actividad económica se ha basado históricamente en la pequeña agricultura, y pequeña ganadería.

Entre los principales productos que se cultivan en la zona, se pueden indicar: maíz, trigo, papa, arveja.

Por otra parte, entre los principales tipos de ganado que se crían en el área de influencia del proyecto se tiene: bovino, caprino, porcino y vacuno

Fig. 2.3

Tierras de cultivo (comunidad de Gamoneda)



Fuente: Elaboración propia

2.4.-ASPECTOS SOCIALES.-

2.4.1.- Descripción de las características sociales

🌿 Rol de los varones y mujeres dentro de la comunidad

El rol de hombres y mujeres dentro de las comunidades rurales son compartidas puesto que la mujer asume un papel importante en la cooperación de llevar adelante las actividades tanto agrícolas como ganaderas ayudando mutuamente al hombre.

El rol de los varones, como en todas las comunidades rurales es de atender y cultivar las tierras, realizar las labores cultivables de las tierras desde el inicio en que se siembra hasta la cosecha del último producto, y el cuidado de los animales, etc.

Los roles de las mujeres son más que todos doméstico, pero no debemos dejar de lado de que en todo momento está ayudando al hombre en todo el proceso de producción sin descuidar sus actividades en la casa. Por otro lado es menester indicar que en la comunidad de Gamoneda existe una buena organización por parte de las mujeres tanto así que cuentan con un Centro de Madres donde realizan diferentes actividades dirigidas a la capacitación de las mismas.

2.5 SERVICIOS BÁSICOS EXISTENTES

🌿 Servicios de Electricidad

Con respecto al servicio de energía eléctrica, toda la comunidad goza del mismo ya que hace 2 años se culminó con el proyecto del tendido eléctrico realizado por parte de SETAR, dicho proyecto permitió que todas las familias cuenten con el mismo.

🌿 Servicios de Agua Potable

Los servicios de agua potable en el área de influencia del proyecto son aceptables, ya que del total de las familias todas cuentan con este servicio.

🌿 Servicios de Educación

La comunidad de Gamoneda cuenta con un solo centro educativo a nivel primario.

CAPÍTULO III

ASPECTOS TÉCNICOS DE INGENIERÍA

El diseño geométrico de una carretera se constituye en la parte más importante de un proyecto vial, pues en base a las condiciones prevalecientes y factores existentes debe encontrarse una configuración geométrica final tal que satisfaga las necesidades de:

- ⊕ Funcionalidad
- ⊕ Seguridad
- ⊕ Comodidad
- ⊕ Armonía
- ⊕ Estética
- ⊕ Integración al entorno
- ⊕ Economía

Estos factores determinan la calidad y costo final de un proyecto vial. Satisfacer íntegramente una de las cualidades citadas empobrece el diseño en general, por lo tanto debe encontrarse un balance a través del diseño geométrico.

En la actualidad existen varias técnicas de diseño que ayudan a encontrar tal balance, entre diversas podemos citar: diseño curvilíneo, diseño consistente y diseño sensitivo al contexto.

Estas técnicas aplicadas con gran éxito en diferentes países han sido empleadas en el presente diseño. Se ha prestado especial atención en evitar la destrucción de la naturaleza, buscando en lo posible la integración del proyecto con el paisaje y armonizar las necesidades del diseño geométrico con el medio natural que lo rodea.

3.1.- ESTUDIO TOPOGRÁFICO

La topografía es uno de los pasos principales de la ingeniería civil ya que gracias a ella podemos realizar un buen estudio, en la construcción de un camino se trata siempre de que la línea quede alojada en terreno plano la mayor extensión posible, pero siempre conservándola dentro de la ruta general.

Esto no es siempre posible por la topografía de los terrenos pues así cuando llegamos al pie de una cuesta, la pendiente del terreno es mayor que la máxima permitida para ese camino siendo necesario entonces desarrollar la ruta.

3.1.1.- Trabajo de campo.-

Como primer paso se realizó el reconocimiento del lugar donde se ha observado las pendientes y radios de curvaturas en los sitios críticos del camino a ser mejorado, así como la colocación de una línea de trazo preliminar, y así poder definir donde se realizarían los cambios de estación.

Una vez reconocida la ruta y realizar el análisis en la etapa anterior, dentro de la zona, se establece una faja suficientemente ancha de terreno como para localizar el eje del camino. Se procedió a levantar datos desde el inicio es decir de la progresiva 0+000 a través de la línea de trazo preliminar dentro de la zona elegida, y se colocó BMs para tenerlos como puntos de partida y control en el levantamiento a detalle.

Teniendo como objetivo la obtención de coordenadas, para la planimetría de la poligonal, la nivelación de la misma y las transversales que nos permitan la representación de las curvas de nivel de la faja levantada en el tramo.

Para obtener la faja continua de datos y poder trazar las curvas de nivel de cada 20 m sobre el eje se levantaron transversales con un ancho de 20 m a cada lado del eje suficientes para tener una representación de la faja necesaria para el diseño geométrico.

Para fines de control del trabajo topográfico y replanteo posterior se han colocado referencias de BMs.

El levantamiento fue realizado con el cuidado de mantener la pendiente longitudinal de la poligonal preliminar debajo del máximo especificado, pero existieron limitantes en algunos tramos que por su uso del terreno, puntos obligados lo que dificultó de mantener la pendiente máxima.

Este levantamiento tuvo el objetivo de proporcionarnos todos los datos necesarios para la confección del plano en planta, perfil longitudinal y perfiles transversales para trazar el eje

definitivo del camino, calcular el movimiento de tierras más rentable, y localizar las obras de arte, etc.

El levantamiento topográfico abarco una longitud de 3358 m (3+358 km). Se incluye, toda la información del levantamiento topográfico en listas que muestran las coordenadas de cada punto.





3.1.2 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consiste en el procesamiento de la información obtenida del levantamiento topográfico, el cual consiste en transferir los de de la Estación Total al computador, en el formato de block de notas (esv) u otro, conocidos para posteriormente, ingresar los datos al programa de el AUTODESK autocad Civil 3D Land Desktop y las mismas fueron calculadas mediante coordenadas XYZ , dicho programa por medio de la triangulación genera las curvas de nivel, configurando una distancia de separación de un metro entre cada curva de nivel.

Las curvas de nivel son la representación grafica del terreno, las mismas ayudan a definir el trazo del terreno.

La descripción y las coordenadas de los puntos topográficos (cogo) obtenidos en el levantamiento se muestran en ANEXO de este proyecto.

Como resultado del trabajo de campo se obtiene de gabinete:

-  Curvas de nivel
-  Plano de planta
-  Plano de perfil longitudinal
-  Planos transversales

3.2. ESTUDIO DE SUELOS

El estudio de suelos es un factor muy importante, que indica las características técnicas de conformación de los suelos, a través de la toma de muestra de suelos en la extensión del camino de la Comunidad de Gamoneda, con la finalidad de realizar los diferentes ensayos

de laboratorio, para determinar sus características y su clasificación mediante métodos de laboratorio.

3.2.1. Toma de muestras

Para obtener las muestras de suelo se procedió a la perforación de hoyos con una profundidad de 1 m. para conseguir muestras que representen las características y propiedades actuales del terreno.

Las muestras fueron extraídas cada 500 m, de separación, una vez obtenidas se colocaron en bolsas plásticas, conservando así su humedad natural.

Fig. N°3.1

Toma de muestra



Fuente – Propia

3.2.2. Contenido de humedad

El conocimiento de la humedad natural de un suelo permite estimar su posible comportamiento, como subrasante. Para determinar el contenido de humedad se toma una pequeña proporción de la muestra, se la coloca en una capsula determinando su peso.

Después se lo coloca en el horno durante de 24 hrs, luego de ello se pesa capsula con el suelo seco.

El contenido de humedad del suelo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de Humedad}(\%) = \frac{\text{Peso perdido de la muestra} * 100}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad \text{Ec: 3.1}$$

3.2.3. Granulometría

La granulometría determina cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas de suelo. La interpretación de la granulometría es necesaria para identificar el tipo suelo y establecer su clasificación dentro de uno de los sistemas de clasificación convencionales.

Tamaño de las partículas:

- Gravav → > 2mm
- Arenas → 0.06 – 2mm
- Limos → 0.002 – 0.06mm
- Arcillas → < 0.002mm

La granulometría de las diferentes muestras fue realizada mediante el procedimiento del tamizado manual (ASTM D422 –AASHTO T88), los tamices empleados para el ensayo son: 2”, 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, N°4, N°10, N°40, N°200.

3.2.4. Límites de AATERBEHG

Los límites de Atterberg o de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua, poco a poco va pasando sucesivamente a los estados

de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

3.2.4.1. Límite Plástico

El límite plástico, es el contenido de humedad que tiene el suelo en el momento de pasar del estado plástico al semisólido.

Esta humedad deberá permitir amasar rodillos de este suelo en un diámetro de 3mm, aproximadamente y 10cm, de longitud, sin que presente signo de ruptura.

3.2.4.2. Límite Líquido

El Límite Líquido de un suelo es aquel contenido de humedad bajo el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la maquina, haciendo girar la manivela, hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12mm (1/2"). Si el numero de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (peso agua /peso del suelo seco) corresponde al Límite Líquido.

3.2.4.3. Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad de un suelo es el campo de humedad, expresado como porcentaje del peso del suelo seco, dentro del cual el suelo permanece plástico. Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico.

El índice de plasticidad se expresa de la siguiente manera:

$$IP = LL - LP \quad Ec: 3.2$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad

LL= Limite Liquido

LP= Limite Plástico

Cuando el Limite Plástico no pueda ser determinado o cuando sea igual o mayor que el Limite Liquido se indicara el índice plástico como NP (No Plástico).

3.2.5. Clasificación de suelos

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudios para diseño de carretera son el de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASTHO) y el Unified Soil Clasification System, conocido como Sistema Unificado de clasificación de suelos (S. U. C. S).

3.2.5.1. Clasificación según AASTHO

La clasificación de las muestras tomadas de los diferentes puntos a lo largo del camino se la realizo por separado bajo la tabla de clasificación de la AASTHO, en la función a la granulometría, limite líquido y al índice de plasticidad dando como resultado lo siguiente:

$$IG = (P - 35) * [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15) * (IP - 10) \quad Ec: 3.3$$

Donde:

F = % Pasante N° 200 (Numero redondo).

Si: IG = Es negativo reportar = 0.

IG → Siempre es número redondo.

El índice de grupo es útil para determinar la calidad relativa del suelo como material de construcción.

La clasificación de los suelos según el método AASHTO, se encuentra en ANEXOS VII.

3.2.5.2. Clasificación según SUCS

La clasificación se realizó en base a la tabla que este método proporciona la que se encuentra en ANEXOS VII. Se basa en la granulometría, Limite Líquido y el índice de Plasticidad del suelo.

La clasificación de los suelos según el método SUCS, se encuentra en ANEXOS VII.

3.2.6. Compactación

La compactación es un proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, comprensibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos.

La compactación realizada a las diferentes muestras bajo el método del Proctor Modificado (ASTH D422 AASHTO T180), consiste en la determinación de la densidad máxima seca de las muestra bajo cierto contenido de humedad, obteniéndose así diferentes tipos de densidades en función al tipo de suelo.

El peso del suelo seco es obtenido a través de la siguiente ecuación:

$$W_{SS} = \frac{W_{SH}}{(100 + W)} * 100 \quad Ec: 3.4$$

Donde:

W_{SS} = Peso del suelo seco (Kg)

W_{SH} = Peso del suelo humedo (Kg)

W = Contenido de humedad (%)

Densidad del suelo seco:

$$\gamma_D = \frac{W_{ss}}{V} \quad Ec: 3.5$$

γ_D = Densidad del suelo seco (kg/cm³)

W_{ss} = Peso de suelo seco (kg)

V= Volumen de la muestra (cm³)

Los resultados de la compactación se encuentran en la parte de ANEXO.

3.2.7. Relación de soporte de California (CBR)

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Se establece en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su capacidad de soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles.

Relación de Soporte California (ASTM D1883 AASHTO T - 193) para realizar este ensayo en el laboratorio se utiliza como complemento la compactación T-180, realizando así tres ensayos de CBR con una humedad óptima pero bajo diferentes números de golpes correspondiendo a 12, 25, 56 golpes para posteriormente sumergirlo en agua durante 4 días ya obtenida su expansión, se hace correr los CBR leyendo el extensómetro que lee la deformación del anillo para diferentes penetraciones siendo las más importantes 0,1” y 0,2” para cada tipo de suelo que pertenecen a la subrasante y a los materiales de banco (Río de Gamoneda).

La ecuación del anillo de 6000lb de capacidad usada en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S.

$$y = 7,33 * x + 25,1 \quad Ec: 3.6$$

Donde:

y = Carga de ensayo (lb)

x = Deformación (mm)

$$q = 0.07031 * \frac{y}{A} \quad Ec: 3.7$$

Donde:

q = Esfuerzo de ensayo (kg/cm²)

y = Carga de ensayo o ecuación del anillo (lb)

A= Área del pistón 3 pulg² (cm²)

$$CBR_{0.1} = \frac{q}{70.31} * 100 \quad Ec: 3.8$$

$$CBR_{0.2} = \frac{q}{105.4} * 100 \quad Ec: 3.9$$

Donde:

$CBR_{0.1}$ = Relación de Soporte California para 0,1” de penetración (%)

$CBR_{0.2}$ = Relación de Soporte California para 0,2” de penetración (%)

q = Esfuerzo de ensayo (kg/cm²)

$$exp = \frac{|Lf - Li|}{h} * 100 \quad Ec: 3.10$$

Donde:

exp = Expansión (%)

Lf = Lectura final (mm)

Li = Lectura inicial (mm)

h = Altura del espécimen (mm)

Los resultados de los ensayos del CBR, se encuentran en la parte de ANEXOS VII.

3.3.- DISEÑO GEOMÉTRICO

Se entiende por Diseño Geométrico de una carretera que comprende el dimensionamiento de sus elementos físicos tales como curvas verticales, curvas horizontales , ancho de carril, secciones transversales, los alineamientos, pendientes, distancias de visibilidad, peralte, sobre ancho, con las características de operación, facilidades de frenado, aceleración, condiciones de seguridad, etc.

Así definido el Diseño Geométrico abarca el diseño de todos los aspectos de una carretera, excepto los elementos referentes a los elementos estructurales.

Es a través del Diseño Geométrico que los datos que son expresiones cuantitativas de la naturaleza, requerimientos e idiosincrasia de los hombres, características de los vehículos y usos de la tierra, se combinan para dar configuración a una vía que dentro de las limitaciones económicas impuestas, satisfaga la demanda reflejada por estos datos.

A fin de establecer relaciones matemáticas, en muchas ocasiones se hace necesaria formular hipótesis arbitrarias referentes a la velocidad y otros parámetros. Estas hipótesis, a través de un proceso de verificación, han contribuido a la solución de un gran número de problemas de diseño.

El diseño geométrico o trazado comprenderá todos los elementos y factores que orienten a establecer un trazo definitivo entre dos o más puntos.

Para la elaboración de un Proyecto de Carretera, se siguen varias etapas, que establecen en forma clara los objetivos; dentro de esas etapas en la Ingeniería de Proyecto, se tienen etapas, entre las cuales se encuentra el reconocimiento y la elección de la ruta.

Sin duda es importante antes de realizar el reconocimiento y la elección de la alternativas conocer los antecedentes que guardan relación con el tramo en estudio.

Como el estudio se trata de implementar un mejoramiento del tramo, se han planteado la alterativa para el trazo cuidando las fuertes pendientes, con grandes movimientos de estratos sedimentarios debido a las pendientes de diseño, radios de curvatura y la

implantación de las obras de arte como las alcantarillas. Existen alternativas para el trazado por partes, por lo tanto se ha tratado de proyectar el camino equilibrando las características técnicas, económicas, sociales y ambientales. Una vez realizado el análisis en sitio y en gabinete de la alternativa planteada, y haber realizado un recorrido preliminar por las zonas objeto del estudio de la alternativa, y tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- ✿ Tratar de mantener con menor desarrollo la pendiente especificada.
- ✿ Tipo de suelo
- ✿ Menor movimiento de tierras
- ✿ Menor costo
- ✿ Menor cantidad de obras de arte

Considerando como viable la alternativa de mejorar y además presenta buenas condiciones para la ejecución del proyecto y para cumplir con los objetivos del mismo.

En cuanto al movimiento de tierras por tratarse de una carretera de tipo ondulado, tiene importantes volúmenes de movimiento de tierras como son los cortes y terraplenes.

3.3.1. Parámetros de diseño geométrico

Para el diseño geométrico balanceado de una carretera, todos sus elementos físicos deben estar determinados, tanto como ello sea económicamente posible, para proporcionar seguridad y continuidad de operación. En este sentido los parámetros que estudiaremos son los siguientes:

- ✿ Velocidad de proyecto
- ✿ Peralte
- ✿ Radio de curvatura
- ✿ Pendiente
- ✿ Visibilidad
- ✿ Secciones

3.3.2. Derecho de vía

El derecho de vía es la faja de terreno dentro de la cual se alojan el camino o carretera y sus servicios auxiliares, la anchura mínima absoluta es de 20 m a cada lado del eje de la vía adoptado para el tramo Gamoneda-Barbecho.

3.3.3.- Categoría de vía

De acuerdo con las características topográficas los terrenos se clasifican en:

- ✿ *Terreno Llano.*- Esta constituido por amplias extensiones libre de obstáculos, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado.
El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes.
- ✿ *Terreno Ondulado.*-Esta constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota.
El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes.
- ✿ *Terreno Montañoso.*- Esta constituido por cordones montañosos, en las cuales el trazado salva desniveles considerables. En consecuencia el empleo de elementos de características mínimas será más frecuente y obligado.

➤ **Definición conceptual de las categorías:**

- ✿ *Autopistas (O).*- Son carreteras nacionales, destinadas a servir al tránsito de paso que se asocian longitudes de viaje considerables, en consecuencia deberán diseñarse para velocidades de emplazamiento elevadas.
- ✿ *Autorrutas (I.A).*-Son carreteras Nacionales a las que se les ha construido o se lo construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de carretera.
- ✿ *Carreteras Primarias (I.B).*-Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y

larga distancia, pero que sirven también para un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

✿ *Caminos Colectores (II)*, -Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo.

Caminos Colectores (III), -Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la adyacente.

✿ *Caminos Locales (III)*, -Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la adyacente.

✿ *Caminos de desarrollo*, - Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitaran vehículos motorizados y tracción animal. Sus características corresponden a las mínimas consultas para los caminos públicos

✿ 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.

Tabla 3.1

Clasificación funcional para diseño carreteras y caminos rurales

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)
		Nº CARRILES	Nº CALZADAS	
AUTOPISTA	(O)	4 ó 0 UD	2	120 - 100 - 80
AUTORUTA	(I.A)	4 ó 0 UD	2	100 - 90 - 80
PRIMARIO	(I.B)	4 ó 0 UD	2 (1)	100 - 90 - 80
		2 BD	1	100 - 90 - 80
COLECTOR	(II)	4 ó 0 UD	2 (1)	80 - 70 - 60
		2 BD	1	80 - 70 - 60
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 - 60 - 50 - 40
DESARROLLO		2 BD	1	50 - 40 - 30

Fuente: Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

3.3.4. Velocidad de proyecto

La velocidad de proyecto de una carretera (también llamada velocidad directriz o velocidad de diseño), es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de

los elementos del trazado, principalmente en el alineamiento horizontal y vertical, en condiciones de comodidad y seguridad.

La velocidad de proyecto es un módulo, una escala de referencia a través de la cual pueden estudiarse muchos aspectos del movimiento de los vehículos. Se la define como la mayor velocidad a la cual puede ser recorrido con seguridad un tramo de carretera, inclusive con el pavimento mojado, cuando el vehículo se encuentra sometido únicamente a las condiciones impuestas por las características geométricas de dicho tramo.

Uno de los principales factores que gobiernan la adopción de la velocidad de proyecto es el costo de construcción resultante, ya que velocidades directrices elevadas requieren características físicas y geométricas de mayor nivel; principalmente en lo que respecta a curvas verticales y horizontales, a anchos de calzada y a bermas; las cuales elevarán el costo de construcción sustancialmente, salvo condiciones muy favorables. Esa elevación del costo de construcción, será menos pronunciada cuando más favorables fuesen las características físicas del terreno, principalmente la topografía, pero también las geológicas, las de drenaje, etc.

Para evaluar y definir estos aspectos se recurrió al Manual de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC), del cual se definió la velocidad de diseño a partir de su tráfico y la topografía como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla N°3.2

Velocidades de diseño de acuerdo al Manual de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC).

CATEGORIA		VELOCIDAD (Km/hr)
CAMINO	Llano a Ondulado medio	50-40
DESARROLLO	Ondulado fuerte a montañoso	30

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de la ABC

NOTA: Ver (CAPITULO - 1 Acápites 1-5 CONTROLES BASICOS DE DISEÑO “MANUAL ABC”)

3.3.5. Peralte

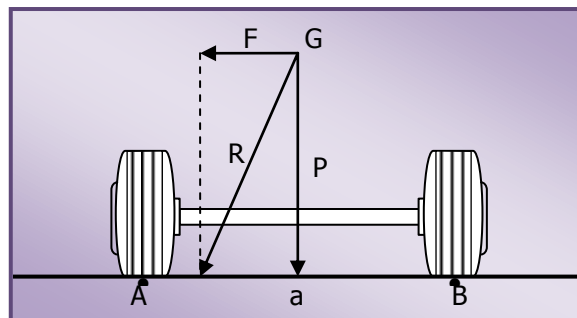
El peralte es la sobre elevación del carril exterior sobre el carril interior, para verificar la perpendicularidad de la resultante de fuerzas que actúan sobre el vehículo.

Al pasar un vehículo de una tangente a un alineamiento curvo, al recorrer aparece la fuerza centrífuga que debe ser contrarrestada con el peralte que es desnivel del carril interno en relación al carril externo, es decir “la inclinación de la calzada de la carretera que contrarresta los peligros de deslizamiento transversal y el vuelco del vehículo”.

La elección del peralte adecuado para un proyecto de una carretera debe obedecer criterios en los que un equilibrio entre el radio de curvatura, el peralte y el coeficiente de fricción. El manual de la Administradora Boliviana de Caminos (A.B.C.) establece peraltes máximos recomendables para diferentes radios.

Fig. N° 3.2

Fuerzas que actúan sobre un vehículo en trayectoria recta



Donde:

P = Peso del Vehículo

Fc = Fuerza Centrífuga

R = Resultante

El peralte de la carretera es calculado conforme a las expresiones indicadas en la tabla No. 3.3 para los diferentes rangos de radios sugeridos en la normativa (referirse a la figura 6 de la norma de la ABC).

Tabla: N° 3.3

Determinación del peralte

RADIO (m)	PERALTE
$25 \leq R \leq 350$	7
$350 < R \leq 2.500$	$7 - 6.08(1-350/R)^{1.3}$
$2.500 < R \leq 3.500$	2
$3.500 < R$	Igual al bombeo

Fuente: Manual de Diseño Geométrico “ABC”

Este parámetro tiene su importancia, por lo tanto debe establecerse los peraltes respectivos concordantes con toda la geometría de la carretera en tanto las condiciones topográficas son más severas, se tendrá que establecer los peraltes más recomendables de manera que la circulación de los vehículos sea en confort y seguridad en las trayectorias curvas.

Si un vehículo sigue la trayectoria de una tangente y pasa a la de una curva, al recorrer ésta aparece la fuerza centrífuga que origina dos peligros de estabilidad para el vehículo en movimiento:

El peligro de deslizamiento transversal si el coeficiente de fricción transversal “f” no es suficiente para que:

$$f * P > F_c$$

Ya que la única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de rozamiento (f * P) que se desarrolla entre los neumáticos y el pavimento.

1. Peligro de vuelco si:

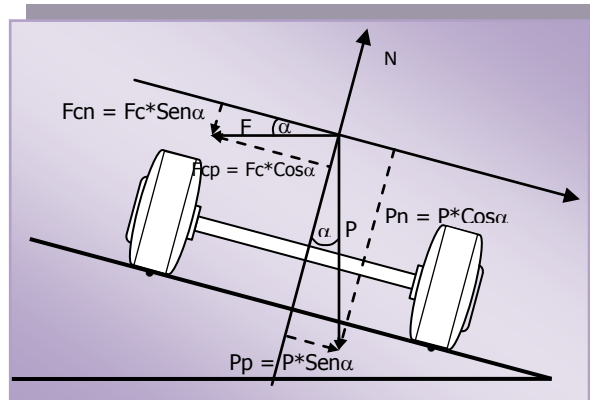
$$e = e_{m\acute{a}x} \left(\frac{2 R_{m\acute{i}n}}{R} - \frac{R_{m\acute{i}n}^2}{R^2} \right) \text{EC.3.11}$$

$$f = \frac{V^2}{127 R} - e \text{EC.3.12}$$

Ambos peligros pueden evitarse peraltando la curva, es decir, dando al plano AB de la calzada una inclinación α .

Fig. N°3.3

Fuerzas que actúan sobre un vehículo en trayectoria curva



Donde:

F_c = Fuerza centrífuga

F_{cn} = Componente de la fuerza centrífuga normal a la calzada

F_{cp} = Componente de la fuerza centrífuga paralela a la calzada

P = Peso del vehículo

P_n = Componente del peso del vehículo normal a la calzada

P_p = Componente del peso del vehículo paralela a la calzada

N = Normal

Como podemos observar en la figura 3.3.1.6 las componentes normales a la calzada son siempre del mismo sentido y se suman, contribuyendo a la estabilidad del vehículo, en tanto que las componentes paralelas a la calzada son de sentido opuesto y su relación puede hacer variar los efectos que se sienten en el vehículo.

Considerando que el peralte es fijo, la componente F_{cp} aumentará o disminuirá según aumente o disminuya la velocidad de circulación, en tanto que P_p permanece constante.

Estas circunstancias conducen a que la resultante de las fuerzas que actúan sobre el vehículo pueda seguir una de las siguientes direcciones:

Cuando $F_{cp} = P_p$, la resultante será perpendicular al pavimento y la fuerza centrífuga no es sentida por los ocupantes del vehículo. La velocidad que produce este efecto se llama velocidad de equilibrio. No es necesario un esfuerzo de dirección para realizar el giro.

Cuando $F_{cp} > P_p$, la resultante se desplaza en el sentido de la fuerza centrífuga. Hay una tendencia del vehículo a deslizarse hacia el exterior de la curva, resistida por una fuerza de sentido opuesto que se produce como consecuencia del rozamiento transversal entre los neumáticos del vehículo y el pavimento. Simultáneamente se origina un momento en sentido contrario a las agujas del reloj, que tiende a volcar el vehículo hacia fuera de la curva. Debe provocarse un giro en el volante en el sentido de la curva.

Cuando $F_{cp} < P_p$, la resultante se desplaza en sentido contrario a la fuerza centrífuga. Hay una tendencia del vehículo a deslizarse hacia el interior de la curva, resistida por una fuerza de sentido opuesto que se produce como consecuencia del rozamiento transversal entre los neumáticos del vehículo y el pavimento. Simultáneamente se origina un momento en el sentido de las agujas del reloj, que tiende a volcar el vehículo hacia el interior de la curva. Debe provocarse un giro en el volante en sentido contrario al que tiene la curva.

En el estado 1 y 3 la demanda del coeficiente de fricción transversal se encuentra entre cero y el límite admisible y la circulación se verifica en absolutas condiciones de seguridad y confort. Sin embargo en el estado 2 donde la demanda del coeficiente de fricción transversal es de sentido negativo la circulación no provee condiciones de confort. Por esto la fórmula del peralte basada en la estabilidad del vehículo y en el confort del conductor es la siguiente:

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (EC3.13)$$

Donde:

e = Peralte [m/m]

f = Coeficiente de fricción transversal entre los neumáticos del vehículo y el pavimento [adimensional]

V = Velocidad de diseño [Km/hr]

R = Radio de curvatura [m]

✿ Coeficiente de fricción transversal

Los coeficientes de fricción transversal entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, son valores determinados experimentalmente, que tienen en cuenta; condiciones medias del vehículo (suspensión, neumáticos, características dinámicas), de la calzada (rugosidad, presencia de agua) y del conductor y pasajeros (habilidad, ángulo de deriva, confort) las cuales son consideradas normales y admisibles.

Como vimos anteriormente, si los coeficientes de fricción transversal admisibles no son superados, estos proporcionan aceptablemente la seguridad de que no se producirá el desplazamiento del vehículo y de que el conductor y los pasajeros no tendrán sensaciones de incomodidad cuando el vehículo circula por la curva a la velocidad directriz o de diseño.

El coeficiente de fricción transversal es calculado mediante la siguiente expresión:

$$f = 0.265 - \frac{V}{602.4} \text{ EC. 3.14}$$

Donde:

V = velocidad en km/h.

Tabla N° 3.4

Valores máximos para la fricción transversal (f)

	f
Caminos Vp 30 - 80 km/h	0,265 - V/602,4
Carreteras Vp 80 - 120 km/h	0,193 - V/1134

Fuente: Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

Donde:

- f = Coeficiente de Fricción
- V = Velocidad de proyecto

Los valores de f calculados se muestran en el Tabla N° 3.5

Tabla N° 3.5

Valores del coeficiente de fricción (f)

V (km/h)	30	40	50	60	70	80
f	0.215	0.198	0.182	0.165	0.149	0.132

Fuente: Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

3.3.6.-Radio de curvatura

El radio geoméricamente se define como la línea recta tirada desde el centro del círculo a cualquier punto de la circunferencia. Desde el punto de vista vial el radio de curvatura es aquel parámetro de diseño geométrico que define la curvatura de un arco de circunferencia a través de su longitud, es así que a mayor radio corresponde menor curvatura y a menor radio corresponde mayor curvatura. Este parámetro está muy relacionado con otro parámetro de diseño que es el peralte o sobre elevación.

a) Radio mínimo

El radio mínimo de curvatura es el valor límite de éste para una determinada velocidad de proyecto, calculado según el máximo valor del peralte y el máximo coeficiente de fricción transversal

Las curvas circulares y de transición deben tener como especificación el radio de curvatura mínimo, este debe adoptarse en concordancia con la velocidad de proyecto y el peralte máximo. De acuerdo a las normas de la A.B.C. se establecen los radios de curvatura en función de los anteriores parámetros indicados en los términos de referencia.

Según el manual de la ABC la aplicación del radio mínimo no es recomendable, solo será utilizado en casos particulares, condicionado por razones técnicas o económicas.

Los radios mínimos para cada velocidad están dados por la siguiente expresión:

$$R_{min} = \frac{Vp^2}{127(e_{max} + f)} \quad Ec: 3.15$$

Donde:

R_{min} = Radio mínimo

Vp = Velocidad de diseño (km/m)

e_{max} = Peralte máximo correspondiente a la carretera o el camino (m/m)

f = Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp

Tabla N° 3.6

Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Camino Colectores - Locales - Desarrollo			
Vp	emáx	f	Rmin
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 de Diseño Geométrico (A.B.C.)

3.3.7.- Trazado en planta

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazado a lo menos la distancia mínima de visibilidad de frenado.

✚ Longitud máxima en rectas

Deben evitarse longitudes de rectas mayores al valor calculado con la siguiente expresión:

$$L_r = 20 \cdot V_p \quad \text{Ec:3. 16}$$

Donde:

L_r : es el largo del tramo recto en metros

V_p : es la velocidad de proyecto en km/hr.

✚ Longitud de recta entre curvas del mismo o distinto

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*

Deberá alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla siguiente, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto:

Tabla N° 3.7

Longitud máximo de recta

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

Fuente: Manual de diseño geométrico, “ABC”

b. *Curvas del mismo sentido*

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivas cortas entre curvas en el mismo sentido. La tabla entrega los valores deseables mínimos según al tipo de terreno y de acuerdo a la velocidad de proyecto V_p .

Tabla N° 3.8

LR MIN entre Curvas del Mismo Sentido

V _p (Km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
T. Llano y Ondulado	...	110/5	140/70	170/85	195/89	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 diseño geométrico, “ABC”

- Una curva circular simple es un arco de círculo de un solo radio, que se extiende desde una tangente a la siguiente.

3.3.8. Curvas Circulares

Las curvas horizontales simples es un arco de círculo de un solo radio que se extiende desde una tangente a la siguiente se emplea cuando:

- ✚ La topografía es muy empinada o elevada.
- ✚ En caminos vecinales, y no hay espacio para hacer otro tipo de curvas, a diferencia de las curvas de transición como ocupan mucho espacio se emplean en topografía mas planas y cuando la carretera es de primer nivel.

Dentro de las curvas horizontales se tienen dos posibilidades las curvas circulares simples y las curvas de transición. Las curvas de transición son las que técnicamente mejor satisfacen las condiciones de circulación y confort de los vehículos, en enlace se realiza a través de curvas de mayor grado como lo son las de espiral cubica, parábola cubica que son mas suavizadas y permiten en la circulación un movimiento más seguro confortable en la entrada y salida de una curva horizontal,

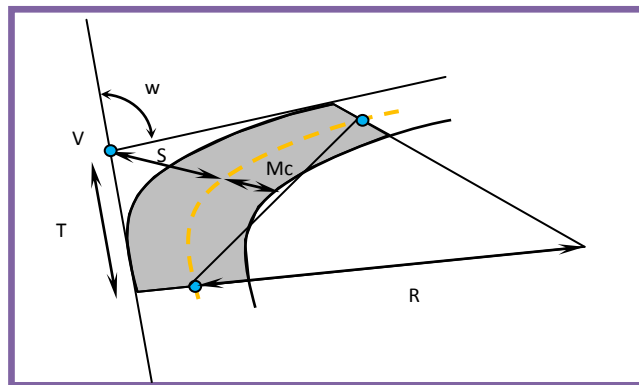
En el proyecto se utilizaron curvas circulares simples porque es un camino de desarrollo y además las características del alineamiento no permitirán el diseño de curvas de transición adecuadas para el poco espacio disponible entre PI s y debido a que las velocidades de proyecto es baja y se debe respetar la propiedad privada II.

En base a los parámetros planimétricos de una carretera correspondiente a la categoría camino de *Desarrollo*, especificados anteriormente se diseñaron las curvas horizontales en el eje definitivo evitando tener radios de curvaturas menores al recomendado por la Administradora Boliviana de Caminos (A.B.C.) para esta categoría de camino.

a) **Elementos de la curva circular simple:**

Fig. N°3.4

Elementos de la curva simple



Tangente:

$$T = R * \text{tang} \left(\frac{\omega}{2} \right) \quad \text{Ec: 3.17}$$

Externa:

$$S = R * \left(\text{sec} \left(\frac{\omega}{2} \right) - 1 \right) \quad \text{Ec: 3.18}$$

Flecha:

$$Mc = R * \left(1 - \cos \left(\frac{\omega}{2} \right) \right) \quad \text{Ec: 3.19}$$

Desarrollo:

$$D = \frac{\pi * R * \omega}{180} \quad \text{Ec: 3.20}$$

Longitud:

$$L = 2 * R * \text{sen} \left(\frac{\omega}{2} \right) \quad \text{Ec: 3.21}$$

3.3.9. Visibilidad

Todo diseño de un camino tiene como parámetros fundamentales la velocidad y visibilidad, esta última está relacionada con la distancia de visibilidad que requiere un vehículo en su movimiento en trayectoria curva y en trayectoria recta.

Se entiende por *visibilidad* la longitud continua de carretera que es visible para el conductor que transita por ella. Dotar de visibilidad a una carretera es requisito esencial, ya que la longitud del tramo de carretera sea visible al conductor y la mayor importancia en la seguridad y facilidad de operación.

A veces ocurren choques entre vehículos que circulan en el mismo sentido, o entre un vehículo en marcha y otro parado o cualquier obstáculo que se encuentre en la vía. A fin de evitar este tipo de accidentes, es necesario disponer de suficiente visibilidad en la vía; ello permitirá detener el vehículo cuando la aparición de un obstáculo así lo aconseje.

Por otra parte, en una carretera con doble sentido de circulación la seguridad impone que dos vehículos que viajen en sentido contrario deban distinguirse a tiempo, para que, si se encuentran en el mismo carril, lo cual sucede cuando uno de ellos trata de adelantar a otro que circula más lentamente, puedan maniobrar para que no se produzca colisión entre ellos.

Por consiguiente las distancias de visibilidad más importantes que deben determinarse en la etapa de diseño son:

- ✿ Distancia de visibilidad para frenar
- ✿ Distancia de visibilidad para sobrepasar
- ✿ Distancia de visibilidad horizontal en curva

3.3.9.1. Distancia de visibilidad para frenar

Se dice que en un determinado punto de una carretera hay visibilidad de frenado cuando la visibilidad en dicho punto es suficiente para que el conductor de un vehículo que se desplaza a velocidad de proyecto pueda detenerlo antes de alcanzar un obstáculo que observa se encuentra en la vía.

En cualquier punto de la carretera, la distancia de visibilidad para frenar deberá ser tan larga como sea posible, pero nunca menor que la distancia mínima de visibilidad para frenar. La distancia mínima de visibilidad para frenar tiene como base la suma de dos distancias:

La distancia recorrida por el vehículo desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos.

La distancia recorrida por el vehículo luego de aplicados los frenos y hasta el momento en que se detiene totalmente.

1. La distancia recorrida por un vehículo desde el momento en que se hace visible un obstáculo hasta el instante en que el conductor aplica los frenos, depende de la velocidad de proyecto que normalmente es un parámetro ya establecido y del tiempo de percepción y reacción que es el tiempo que transcurre desde que el obstáculo se hace visible hasta la aplicación del pie en el freno.

El tiempo de percepción es el que transcurre desde que el conductor ve el obstáculo hasta el momento en que toma una decisión acerca de lo que debe hacer; bajo ciertas condiciones el conductor decide instantáneamente, en otras, transcurre un cierto tiempo hasta asociar el objeto en la vía con un posible obstáculo; en este caso, el tiempo que transcurre depende de las condiciones físicas del conductor, de las condiciones atmosféricas, de las dimensiones y distancias a que se halla el obstáculo, etc. El tiempo de reacción es el que se requiere para que el conductor de un vehículo accione los frenos, una vez que haya decidido que su aplicación es necesaria. Los valores del tiempo de percepción y del tiempo de reacción son pequeños por lo que se ha visto conveniente adoptar un solo tiempo conocido como tiempo de percepción y reacción para el cual se recomienda un valor de 2.5 seg., ya que se ha

llegado a la conclusión de que no se justifica hacer una distinción de valores para las diferentes velocidades.

Entonces, la distancia recorrida por un vehículo desde el momento en que se hace visible un obstáculo hasta el instante en que el conductor aplica los frenos es igual a:

$$d = \frac{V * t}{3,6} \text{ (Ec.3.22)}$$

Donde:

d = Distancia recorrida desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

t = Tiempo de percepción y reacción igual a 2.5 seg.

2. La distancia recorrida por un vehículo luego de aplicados los frenos y hasta quedar totalmente detenido recibe el nombre de distancia o largo de frenado.

Debido a las limitaciones que impone el rozamiento entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, y a la desaceleración máxima que se permite para efectuar un frenado sin violencia, existe una distancia mínima que debe recorrer el vehículo antes de llegar al paro completo y es igual a:

$$d_1 = \frac{V^2}{254(f_1 \pm i)} \text{ (Ec.3.23)}$$

Donde:

d₁ = Distancia de frenado [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

f₁ = Coeficiente de fricción longitudinal máximo entre neumático y pavimento mojado [adimensional]

i = Pendiente longitudinal de la carretera. Considerada como positiva en subida y negativa en bajada [m/m]

La adopción de los coeficientes de fricción longitudinal, que actúan durante el frenado del vehículo, está basada en que:

Sean razonables tanto el estado como las condiciones de mantenimiento del pavimento de la calzada y de los neumáticos y el sistema de frenos de los vehículos.

El pavimento se encuentra mojado, pero sin presencia de lodo o hielo.

Los coeficientes de fricción longitudinal máximos recomendados, que dependen de la velocidad directriz, se muestran en el cuadro siguiente:

Como explicamos anteriormente la distancia mínima de visibilidad para frenar " d_f " es igual a la suma de la distancia recorrida desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos denominada " d " mas la distancia de frenado determinada " d_1 ":

$$d_f = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254(f_1 \pm i)} \text{ (Ec.3.24)}$$

Donde:

d_f = Distancia mínima de visibilidad para frenar [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

t = Tiempo de percepción y reacción igual a 2 seg.

f_1 = Coeficiente de fricción longitudinal máximo entre neumático y pavimento mojado [adimensional]

i = Pendiente longitudinal de la carretera. Considerada como positiva en subida y negativa en bajada [m/m]

Un vehículo en movimiento, ante la aparición de un obstáculo 0.20m de alto que es percibido por el conductor sobre la superficie del camino necesita de una distancia suficiente para detenerse compuestos por dos factores: la distancia que recorre un vehículo

desde el momento en que el conductor observa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia recorrida durante el frenado.

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

Tabla N° 3.9

Distancia mínima de frenado en pendiente horizontal

V (km/hr)	t (s)	f ₁	dt (m)	df (m)	Df (m)	
					dt + df	Adoptado
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38
V* = 40 +5 = 45	2					44
V* = 40 +10 = 50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras “ABC

3.3.9.2- Distancia de visibilidad para sobrepaso (Da)

La distancia de sobrepaso es la distancia necesaria o suficiente para que el conductor de un vehículo que va a velocidad de proyecto pueda adelantarse a otro, que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de chocar con otro vehículo que venga en sentido contrario y que se haga visible al iniciarse la maniobra del paso

Se dice que en un determinado punto de una carretera hay visibilidad de sobrepaso cuando la visibilidad en dicho punto es suficiente para que el conductor de un vehículo que va a velocidad de proyecto pueda adelantarse a otro, que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de chocar con otro vehículo que venga en sentido contrario y que se haga visible al iniciarse la maniobra del paso.

Al calcular la distancia de visibilidad para sobrepasar en carreteras de dos carriles, se hacen las siguientes suposiciones con respecto al comportamiento del conductor:

El vehículo sobrepasado va a una velocidad uniforme (velocidad media de circulación), menor que la velocidad de proyecto.

El vehículo que sobrepasa tiene que reducir su velocidad a la que lleva el vehículo que es rebasado mientras recorre la parte del camino donde la distancia de visibilidad para sobrepasar no es segura.

Cuando se llega a la zona segura de sobrepaso, el conductor del vehículo que quiere sobrepasar requiere un corto periodo de tiempo para examinar la situación y decidir si es seguro el sobrepaso o si no lo es. Este periodo de tiempo se llama de percepción y reacción y varía entre dos y tres segundos.

Estas suposiciones no abarcan todas las formas de sobrepaso posibles pero sí permiten una determinación satisfactoria de la distancia de visibilidad que requiere dicha operación.

La forma de maniobra que se ha supuesto requiere por lo tanto la consideración de los tres elementos siguientes:

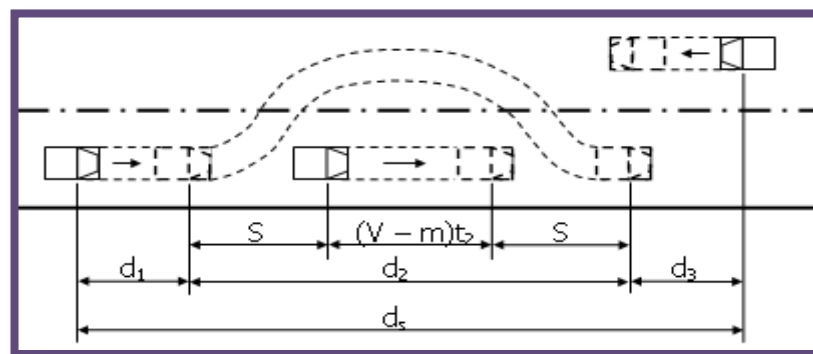
Distancia d_1 recorrida durante el tiempo de percepción y reacción.

Distancia d_2 recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase.

Distancia d_3 recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto durante la operación de sobrepaso.

Fig.3.5

Esquema de una maniobra de sobrepaso



Fuente –Elaboración propia

Si se supone que el vehículo que sobrepasa, el cual llevaba velocidad de proyecto (V) ha reducido su velocidad hasta igualar la que lleva el vehículo sobrepasado, y que esta es de

15 Km/hr inferior a la velocidad de proyecto, o generalizando, m kilómetros por hora menor; el vehículo que sobrepasa, durante el tiempo de percepción y reacción ahora con una velocidad de (V – m), recorre la distancia d_1 que es igual a:

$$d_1 = \frac{(V - m)}{3.6} t_1 \text{ (Ec.3.25)}$$

Donde:

d_1 = Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/h]

m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos [Km/h]

t_1 = Tiempo de percepción y reacción para iniciar la maniobra, valor recomendable para diseño de 3 seg.

Se supone que esta distancia d_1 se recorre mientras el vehículo que sobrepasa se mantiene a una distancia S del que lo precede y se admite que esta distancia se calcula así:

$$S = 0.189 (V - m) + 6$$

Donde:

S = Distancia mínima de seguridad entre los dos vehículos [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/h]

m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos [Km/h]

Cuando se ha completado la maniobra de sobrepaso, el vehículo que lleva mayor velocidad habrá recorrido una distancia 2S mas, con relación al que lleva menor velocidad. Durante la maniobra el de mayor velocidad ha estado acelerando, por lo tanto el tiempo t_2 requerido, viene dado por la expresión:

$$t_2 = \sqrt{\frac{14.4S}{a}} \text{ (Ec.3.26)}$$

Donde:

t_2 = Tiempo en el cual el vehículo que sobrepasa tarda en recorrer la distancia d_2 [seg.]

S = Distancia mínima de seguridad entre los dos vehículos [m]

a = Aceleración del vehículo que sobrepasa durante la maniobra [Km/hr/seg.]

La distancia total de sobrepaso d_2 será aquella que recorre el vehículo que pasa con respecto al sobrepasado más la distancia recorrida por este último en el mismo tiempo y vale:

$$d_2 = 2 S + \frac{(V - m)}{3.6} t_2 \text{ (Ec.3.27)}$$

Donde:

d_2 = Distancia recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase [m]

S = Distancia mínima de seguridad entre los dos vehículos [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos [Km/hr]

t_2 = Tiempo en el cual el vehículo que sobrepasa tarda en recorrer la distancia d_2 [seg.]

Se ha supuesto que en el momento de iniciarse la maniobra de sobrepaso, aparece en sentido contrario un tercer vehículo circulando a la velocidad de proyecto V . Por lo tanto la distancia recorrida por este vehículo será:

$$d_3 = \frac{V}{3.6} t_2 \text{ (Ec3.28)}$$

Donde:

d_3 = Distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto durante la operación de sobrepaso [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

t_2 = Tiempo en el cual el vehículo del carril contrario tarda en recorrer la distancia d_3 [seg.]

En conclusión, la distancia mínima de visibilidad para sobrepasar a un vehículo es igual a la suma de las tres anteriores distancias denominadas d_1 , d_2 y d_3 ; por lo que es igual a:

$$d_s = \frac{(V-m)}{3.6}t_1 + 2S + \frac{(V-m)}{3.6}t_2 + \frac{V}{3.6}t_2 \text{ (Ec3.29)}$$

Donde:

d_s = Distancia mínima de visibilidad de sobrepaso [m]

V = Velocidad de proyecto [Km/hr]

m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos [Km/hr]

t_1 = Tiempo de percepción y reacción para iniciar la maniobra [seg.]

S = Distancia mínima de seguridad entre los dos vehículos [m]

t_2 = Tiempo en el cual el vehículo que sobrepasa tarda en recorrer la distancia d_2 , mismo en el cual el vehículo del carril contrario tarda en recorrer la distancia d_3 [seg.]

La distancia mínima de visibilidad de sobrepaso está condicionada técnica y económicamente por las características topográficas del terreno.

Tabla N° 3.10

Distancia mínima de adelantamiento

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

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

NOTA: Ver Págs. 2-9; 2-17 CAPITULO – 2 DISEÑO GEOMETRICO DEL TRAZADO “MANUAL ABC”

Las condiciones tenidas en cuenta en esas distancias son: el vehículo sobrepasado avanza a la velocidad media de circulación, es decir, al promedio de las velocidades de los vehículos que componen la corriente de tránsito; el vehículo que sobrepasa circula en el mismo sentido y a una velocidad superior en unos 15 Km/hr; en sentido contrario se aproxima otro vehículo que circula a igual velocidad que la del que efectúa el sobrepaso. Los valores de la anterior tabla permiten que un único vehículo realice la maniobra de sobrepaso, en tramos sensiblemente horizontales y en condiciones que ofrecen una absoluta seguridad.

El Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de nuestro país considera como condición deseable que en lo posible exista al menos una sección con visibilidad de sobrepaso cada 1.5 a 3 Km. Otra es que, además de la anterior, el porcentaje de la longitud total de las secciones con visibilidad de sobrepaso, respecto de la longitud del tramo, sea mayor cuanto más favorables sean las condiciones topográficas y cuanto mayor sea el volumen de tránsito.

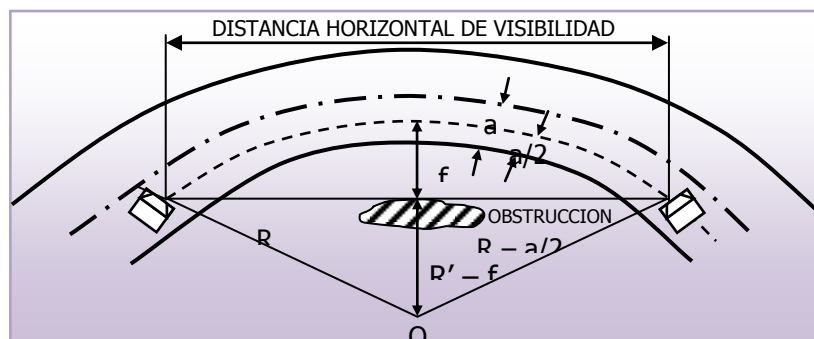
3.3.9.3.-Distancia de visibilidad en curvas horizontales

Cuando un vehículo recorre una curva horizontal ocupando un carril interno, cualquier obstáculo que se encuentra cerca de la línea interna de la vía impide la visibilidad al conductor y por lo que hace tanto peligrosa, pudiendo ser los obstáculos el talud de corte, vegetación, cercos y edificios.

La distancia de visibilidad horizontal en curva es una longitud determinada cuyo objetivo es establecer la distancia a la cual dos vehículos que circulan en sentidos opuestos se visualicen uno a otro y puedan corregir su posición al carril que les corresponde.

Fig. N° 3.6

Distancia de visibilidad horizontal en curva



Cuando un vehículo recorre una curva horizontal circular, cualquier obstáculo que se encuentre situado en la parte interior de la curva impide la visibilidad al conductor y por lo tanto hace la curva peligrosa. Lo anterior sucede comúnmente en los cortes, ya que el talud interior presenta un saliente que impide la visibilidad adecuada en la curva; también se constituyen en obstáculos los árboles, edificios, vegetación, etc.

La distancia de visibilidad horizontal en curva d_h se calcula con la siguiente expresión:

$$a_{\max} = R(1 - \cos(\frac{100 * DV}{\pi * R})) \quad Ec : 3.20$$

$$R' = R - \frac{a_c}{2} \quad Ec: 22$$

$$Dh = 2 * \sqrt{R'^2 - (R' - m)^2} \quad Ec. 3.21$$

Donde:

a_{\max} =despeje máximo

R= radio de curvatura

Dv= distancia de frenado o de adelantamiento

Dh= distancia horizontal

R' =diferencia del radio de curvatura y la media e ancho de carril interior

El Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de nuestro país utilizan la misma expresión con la variante de que puede definirse la distancia de visibilidad horizontal en curva para frenado o para sobrepaso.

Esta distancia de visibilidad permitirá delimitar a través de marcas viales los tramos de la carretera donde debe o no utilizarse carriles contrarios.

3.3.10. Ensanche de la calzada en curvas horizontales

El ensanche es la ampliación de la calzada que pueden requerir las curvas horizontales para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva. Esta situación se presenta en curvas de radio pequeño y mediano.

La trayectoria de los vehículos en curvas horizontales, debido a la rigidez del chasis de los vehículos generalmente originan que las trayectorias del eje delantero y trasero sean diferentes, si se quiere mantener la trayectoria del eje delantero y trasero sean diferentes, si se quiere mantener la trayectoria del eje delantero dentro del carril que le corresponde, el eje trasero requiere de un ancho adicional denominado sobreancho.

Este parámetro al igual que el resto de los parámetros geométricos tiene su importancia, tiene una función específica que cumple en la trayectoria de los vehículos en las carreteras en la trayecto curva, en el caso de las carreteras con bajo volumen de tráfico al tener velocidades de proyecto más bajas, directamente este sobreancho se hace menor.

Tabla N° 3.11

Ensanche de la calzada E (m) permitiendo el cruce de 2 vehículos

CALZADA EN RECTA 6m (n=2) $0.35 < E < 3,20m$: $h_1=0.45m$ $h_2=0.05m$

TIPO DE VEHICULO (m)	PARAMETRO DE CALCULO (m)	E (m)
Camión Unid. Simple Lt = 11.0*	Lo = 9.5	$(Lo^2/R)-0.2$
Bus Corriente Lt = 12.0		

Fuente: Manual ABC.

Donde:

Lo = Es el largo legal total del vehículo m

NOTA: Ver Págs. 2-34; 2-36 CAPITULO – 2 DISEÑO GEOMETRICO DEL TRAZADO “MANUAL ABC”

3.3.11. Perfil longitudinal

Perfil longitudinal es la proyección vertical del eje espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo siendo aquel que resulta de la obtención de las cotas a lo largo del eje definitivo de diseño de una carretera a partir de las curvas de nivel, es decir se obtienen las cotas de las estacas correspondientes por interpolación. Esta metodología es la más práctica siendo aceptada su utilización siempre y cuando se disponga de un levantamiento topográfico que muestre exactamente las características del terreno, en caso contrario lo más recomendable es proceder a un replanteo del eje por nivelación, e ir obteniendo las cotas cada 20 mts. En las rectas y cada 10 en las curvas.

Cuales quiera de las formas de obtención de las cotas de nivelación, se proceden en base a esos datos a graficar el perfil longitudinal del eje definitivo de la carretera en un plano cuyas escalas más corrientes son 1:1000 horizontales y 1:100 vertical o 1:2000 horizontal y 1:200 vertical.

Al igual que el trazado en planta, el perfil longitudinal está constituido por una serie de tramos rectos de pendientes variadas que pueden ser de subida o bajada enlazadas por curvas verticales, que normalmente son parábolas de segundo grado.

El trazado en alzado está controlado principalmente por: la categoría de la vía, la topografía del lugar de emplazamiento de la obra, el trazado horizontal, las distancias de visibilidad. De acuerdo a lo establecido en el manual del ABC.

Después de obtenido el perfil longitudinal se procede a la elección de las sub-rasantes que son las líneas que definen el nivel de la carretera, después de realizado el movimiento de tierras. El criterio del proyectista debe ser el encontrar las sub-rasantes que produzcan una mayor compensación, pasando por los puntos obligados y en lo posible que tengan pendientes bajas.

3.3.11.1. Rasante

La sub-rasante o rasante es el perfil de las terracerías del camino compuesto por las líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curva parabólica verticales

Según sea el sentido del encadenamiento, las pendientes ascendentes se marcan signo positivo y las descendentes con signo negativo.

La sub-rasante que se debe proyectar, en todo lo que sea posible, los cortes con los terraplenes en el sentido longitudinal y aun en el transversal cuando se aloje en una ladera que permita la compensación lateral. Cuando la ladera es muy inclinada y no se detienen los terraplenes, en el perfil aparece la sub-rasante como una línea mal compensada, continuamente en desperdicio, pero justificado ya que el camino debe alojarse totalmente y firme.

Para proyectarla sub-rasante debe tenerse en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y la longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contrapendiente innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un alineamiento vertical defectuoso, inadecuado para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodos.

Una vez que se ha elegido una sub-rasante, deberán calcularse las curvas verticales y determinar los espesores.

Obtenido el trazado definitivo, al mismo se le determina en el estacado los niveles de cada uno de los puntos obteniéndose de esta manera el perfil longitudinal del eje definitivo cuyas progresivas son cada 20 m en las tangentes y cada 10 m en las curvas, tomándose también en cuenta los puntos relevantes como son los PC, FC, ST, TS. Sobre este perfil longitudinal deducido se trata de la sub-rasante para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes factores;

- ✿ Puntos obligados en planimetría
- ✿ Pendiente máxima específica
- ✿ Compensación de volúmenes de corte y relleno
- ✿ Tratar de mantener la sub-rasante en corte

Correspondiendo a la categoría de la carretera el “Manual de Diseño Geométrico” de la Administradora Boliviana de Carreteras “ABC” establece inclinaciones máximas y mínimas para las pendientes a emplear el proyecto.

3.3.11.2. Pendiente

La pendiente longitudinal es otro parámetro que está relacionado con el diseño geométrico de las carreteras y que nos indica la inclinación que tendrá la superficie de rodadura de la carretera por donde circulará el tráfico vehicular, además dependerá de ella la magnitud del movimiento de tierras que pueda tenerse en un determinado proyecto.

Las pendientes suaves o bajas obligan a altos costos de construcción sobre todo en aquellas regiones topográficamente desfavorables debido al mayor movimiento de tierras que ocasionan y las pendientes fuertes o altas aunque ocasionan menor movimiento de tierras influyen sin embargo en el costo de transporte porque se disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos; además, cuando un vehículo se encuentra descendiendo por un tramo de carretera con pendiente fuerte requiere de una mayor distancia para detenerse debido a la mayor velocidad, lo cual puede tener un efecto adverso sobre la seguridad. Por todo lo anterior la selección de las pendientes y sus longitudes aplicables al diseño de un tramo de carretera, debe efectuarse teniendo en cuenta un conjunto coherente de consideraciones técnicas y operativas, que respondan adecuadamente a la categoría de la carretera y por lo tanto a los criterios definidos para su clasificación.

Las pendientes, además, tienen gran influencia en la capacidad de las carreteras, especialmente en aquellas de una calzada y dos sentidos de circulación; en estos casos, un vehículo comercial que sube una rampa puede representar, en términos de capacidad, el equivalente de varias decenas de automóviles.

3.3.11.3. Pendiente máxima

La pendiente máxima es la máxima inclinación que podrá tener un determinado tramo de carretera y debe ser tomada en cuenta en el momento del trazado altimétrico.

El proyectista debe seleccionar la pendiente máxima según la categoría de diseño del tramo; en función de las condiciones físicas del terreno, principalmente la topografía y la geología; y manteniendo coherencia con la velocidad directriz, el volumen y características del tránsito previsto. En la medida de lo posible y en general, el proyectista debe evitar el empleo de los valores máximos de pendiente. El siguiente cuadro presenta rangos de

pendientes máximas, según el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de nuestro país, en función de la categoría de diseño del tramo de carretera:

La pendiente máxima de acuerdo a la categoría de la vía se presenta a continuación:

Tabla: N° 3.12

Pendientes máximas admisibles de la rasante (%)

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/hr)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
DESARROLLO	10-12	10	9	...	...	...	...	...	-1	...
LOCAL	...	9	9	8	8	...	...	...	...	...
COLECTOR	8	8	8	...	...	...	...
PRIMARIO	6	5	4,5	...	...
AUTORRUTAS	6	5	4,5	...	...
AUTOPISTAS	5	...	4,5	...	4

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

3.3.11.4. Pendiente mínima

Si bien desde el punto de vista constructivo y de circulación se podría tomar como pendiente mínima el valor de “0”, por fines de drenaje para garantizar el escurrimiento de las aguas superficiales que caen sobre la carretera la pendiente mínima establecida es de 0.5 % que garantiza el escurrimiento superficial.

3.3.11.5. Enlace de rasantes

Para el diseño geométrico en el alineamiento vertical, se han previsto curvas verticales parabólicas de segundo orden, para asegurar un trazado seguro, buena apariencia estética, comodidad a los usuarios, etc.

El utilizar las curvas verticales, para pasar gradualmente entre dos pendientes adyacentes del perfil longitudinal, proporcionando, como mínimo una distancia de visibilidad igual a la distancia mínima de frenado.

La longitud de curva vertical o la proyección horizontal de la misma, se calcula con la siguiente expresión:

$$2.T = K . \theta$$

Donde:

- ⊕ 2T = Longitud de la curva vertical (Proyección horizontal)
- ⊕ K = Parámetro de la parábola en metros. El parámetro es la distancia horizontal requerida para que se produzca un cambio de pendiente de un 1% a lo largo de la curva.
- ⊕ $\theta = |i_1 - i_2|$ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en m/m.

Para el cálculo de las curvas verticales cóncavas y convexas, los valores asumidos corresponden a la distancia mínima de visibilidad de frenado, para los valores absolutos de las pendientes. En la figura 2.3 observamos los tipos de curvas verticales.

⊕ **Curvas verticales convexas**

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

$$K_v = \frac{Df^2}{4.48}$$

Donde:

- K_v = Parámetro de la parábola en metros.
- Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado metros

Para cada una de las curvas del diseño, se procedió al cálculo de la longitud de frenado con la menor pendiente de las rasantes que la conforman, pues esta es la más desfavorable, obteniendo de esta manera los valores K_v mínimos para cada curva vertical convexa.

⊕ **Curvas Verticales Cóncavas**

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

$$K_c = \frac{Df^2}{1.2 + 0.035 \cdot Df}$$

Donde:

- K_c = Parámetro de la parábola en metros.
- Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado metros

Las anteriores ecuaciones muestran los valores del parámetro K_c , para condiciones nocturnas siendo estas las más desfavorables. El cálculo del parámetro K_c mínimo para cada curva se muestra en el anexo respectivo al alineamiento vertical.

A continuación en la Tabla 2.12, se muestran valores de K para curvas convexas y cóncavas.

Tabla N° 3.13

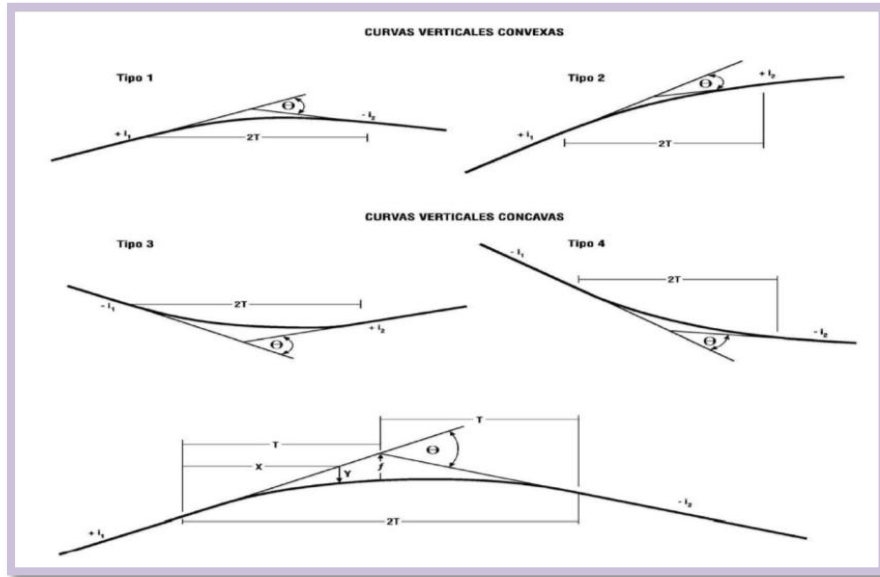
Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado

Velocidad de Proyecto	CURVAS CONVEXAS			CURVAS CONCAVAS
	K_v			K_c
V_p	$V^*=V_p$	$V^*=V_p+5$	$V^*=V_p+10$	V_p
(km/h)	km/h	km/h	km/h	km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

Figura 3.7

TIPOS DE CURVAS VERTICALES



3.3.11.6. Longitud mínima de curvas verticales

La longitud mínima de curvas verticales está dada por la expresión siguiente:

$$2 T \geq Vp$$

Donde: “2T” es la longitud de la curva vertical proyectada en metros y “Vp” es la velocidad de proyecto en km/hr.

Con esta condición queda establecida la longitud mínima para curvas verticales en el proyecto, siendo esta: **2T min = 40 m.**

Para el proyecto se diseñaros curvas verticales en simétricas encima y en columpio.

3.3.11.7. Replanteo de curvas verticales

Para la determinación de los puntos de la parábola en curvas verticales;

Sus coordenadas:

$$y = \frac{P \times X^2}{2 \times L} \quad Ec: 3.23$$

$$X_p = \frac{L \times G_1}{G_1 - G_2} \quad \text{Ec: 3.24}$$

Donde:

P= Diferencia algebraica de pendientes de (m/m).

X=Distancia para determinar la ordenada (y).

X_p= Punto más bajo de la curva.

i₁ = Pendiente de entrada.

i₂ = Pendiente de salida.

En curvas verticales asimétricas, las ordenadas de la curva se determinan con las ecuaciones siguientes:

La deflexión máxima:

$$m = \frac{P \times L_1 \times L_2}{2 \times (L_1 + L_2)} \quad \text{Ec: 3.25}$$

Las ordenadas, se determina de:

$$y_1 = \left(\frac{X_1}{L_1} \right)^2 \times m \quad y_2 = \left(\frac{X_2}{L_2} \right)^2 \times m \quad \text{Ec: 3.26}$$

Donde:

X₁= Distancia de la zona de entrada de la curva vertical.

L₁= Distancia proyectada entre el PCV y el vértice.

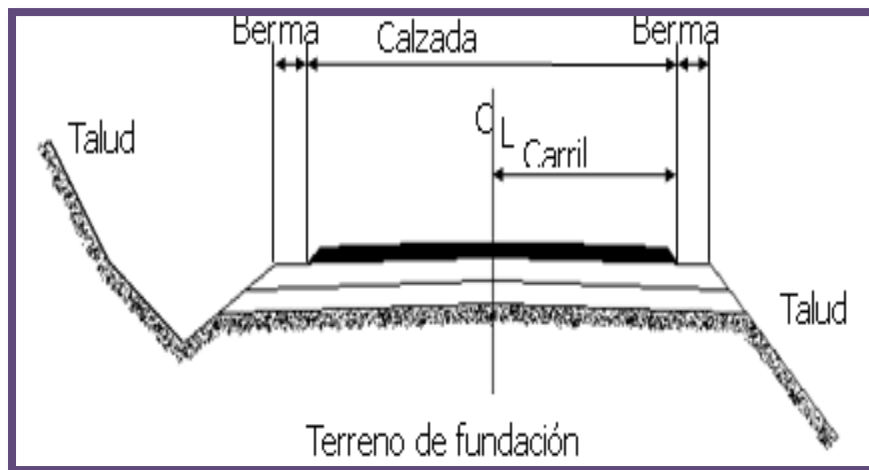
X₂=Cualquier distancia de la zona entrante

3.3.12. Sección

Se entiende por "sección de una carretera" al corte transversal de la misma que nos permite visualizar con claridad las dimensiones de sus elementos, los cuales son: calzada, berma, cuneta, talud de corte y talud de relleno. Estos elementos influyen sobre las características operativas, estéticas y de seguridad de la carretera.

Fig.Nº3.8

Sección de una carretera



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

3.3.12.1. La plataforma

La plataforma se define como la superficie visible del camino el Manual del ABC establece valores para el ancho de la plataforma en función a la categoría de la vía y de la velocidad de proyecto, como se muestra a continuación en la tabla siguiente:

Tabla 3.14

Cuadro resumen de anchos de plataforma

CAMINOS DE DESARROLLO				
CALZADA BIDIRECCIONAL				
Velocidad de Proyecto (km/h)	Ancho de pista (m)	Ancho de berma (m)	Ancho de SAP (m)	Ancho Total de Plataforma
50	3,0 - 3,5	0,5 - 1,0	0,5	8,0 - 10
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: Elaboración propia, en base al cuadro resumen de anchos de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante, Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

Las bermas son las dos partes en ambos lados de la plataforma adyacente a la calzada, por donde pueden circular temporalmente los vehículos o bien estacionarse. Las bermas abarcan desde el borde de la calzada hasta el fin de la plataforma.

3.3.12.2. Ancho de la calzada

Se define como calzada la parte de la carretera destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por uno o más carriles. El ancho y el estado de la superficie de la calzada tienen gran influencia en la seguridad y confort del usuario de la carretera.

El ancho de los carriles de circulación proviene, generalmente, de adicionar al ancho del vehículo tipo de proyecto adoptado un ancho de seguridad. Ese ancho de seguridad, depende de la velocidad directriz, de la categoría del tramo de carretera.

La valores recomendados para el ancho de los carriles de circulación, según la categoría del tramo de carretera y su velocidad de proyecto se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla N^o 3.15

Ancho de carril

Número de calzadas	Categoría	Vp (km/hr)	Ancho de pistas (m)
1 – Bidireccional	Desarrollo	40	3,00

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

A mayor volumen de tránsito se requiere mayor ancho de carril, por razones de nivel de servicio y seguridad.

Cuanto más elevada sea la proporción de vehículos comerciales en el volumen de tránsito, mayor ancho de carril será necesario por razones de nivel de servicio y de seguridad.

3.3.12.3. Pendiente transversal

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

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

Por lo anterior, el valor de la pendiente transversal resultará relativamente más bajo en los pavimentos de alta calidad y elevado patrón de terminación superficial, y aumentará a medida que decrezcan los niveles de las características del pavimento mencionado.

La pendiente transversal de la calzada puede diseñarse en dos formas básicas.

Una sección compuesta por dos sentidos de la pendiente (bombeo) con el punto más alto situado en el centro de la calzada.

Una sección con pendiente única en un solo sentido.

El primer tipo de conformación, presenta las ventajas del drenaje más rápido y de la eliminación o reducción del desnivel entre los bordes de la calzada; su desventaja es que, los vehículos que cruzan su eje, quedan sujetos a un cambio en el sentido de la componente transversal de la aceleración de la gravedad. Los casos de aplicación principales, son las

calzadas simples con dos sentidos de circulación o las calzadas dobles pero con trazados independientes.

El segundo tipo de conformación, presenta las siguientes ventajas: evita estructuras de drenaje longitudinal en un lado de la calzada, no genera cambios en el sentido de la componente transversal de la aceleración de la gravedad a los vehículos que cambian de carril, y hace más simple la transición del peralte y la construcción de la estructura del pavimento; tiene como características inconvenientes a la diferencia de cotas entre sus bordes y a la mayor acumulación de agua durante el escurrimiento en el carril más bajo.

En el siguiente cuadro se presentan los valores usuales de la pendiente transversal en función del tipo de pavimento, de las condiciones climáticas y del número de carriles de la calzada:

Se refiere a la inclinación transversal de la calzada de la carretera en los tramos rectos tiene que ver con una inclinación necesaria para el escurrimiento superficial del agua hacia las cunetas.

La elección del valor del bombeo está determinada por el tipo de superficie de rodadura de la obra y las condiciones climáticas.

Tabla N° 3.16

Bombeo de la calzada

TIPO DE SUPERFICIE	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	$(I'_{10}) \leq 15$ mm/hr	$(I'_{10}) > 15$ mm/hr
Pav. De Hormigón o Asfalto	2	2,5
Tratamiento Superficial	3	3,5
Tierra, Grava, Chancado	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0

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

3.3.12.4. Bermas

Las bermas son la parte de la carretera contigua a la calzada, comprendida entre el borde exterior del carril y el borde interior de la cuneta o del talud según sea la sección en corte o

en terraplén. Las bermas reciben también las denominaciones de banquetas, hombrillos, arcenes y acotamientos.

Las bermas cumplen las siguientes funciones fundamentales:

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

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

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

Mejoran la visibilidad en los tramos en curva.

➤ **Ancho de las bermas**

La determinación del ancho de las bermas requiere de un análisis técnico – económico cuyos factores intervinientes son los siguientes:

La categoría de la carretera, el volumen de tránsito y sus características y la velocidad directriz del tramo.

La topografía y la geología sobre la cual se desarrolla el trazado.

El clima de la zona y, particularmente, la precipitación pluvial.

La posibilidad futura de aumentar el ancho de la calzada.

El siguiente cuadro nos muestra rangos de anchos de bermas en función de la categoría de la carretera:

A continuación se muestra los anchos de berma recomendados por el manual de la ABC.

Tabla N° 3.17

Ancho de berma

Número de calzadas	Categoría	Velocidad de proyecto (km/hr)	Ancho de berma (m)
1 – Bidireccional	Desarrollo	40	0,00 – 0,50

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

De acuerdo a lo establecido en el manual de la ABC se tomara un ancho de berma igual a **0,50m**.

➤ **Pendiente transversal en bermas**

El “Manual de Diseño Geométrico” del “ABC indica que independientemente del material o del tipo de pavimento de la calzada, las bermas deben mantener la misma pendiente transversal de la calzada.

Es decir que para tramos ubicados en tangente horizontal o curvas que no necesiten peralte la pendiente transversal de la berma será igual al bombeo, **b = - 3, 50 %**; mientras que en tramos curvos la pendiente transversal será igual al peralte, si el peralte es el máximo entonces la pendiente transversal de la berma será: **e = 7,00 %**.

3.4. MOVIMIENTO DE TIERRA

✿ **CALCULO DE ÁREAS**

Para determinar el movimiento de tierras que origina un diseño geométrico de una carretera una vez definida la sección transversal en las diferentes estaciones a lo largo de la carretera, tomando todos los aspectos que intervienen en la definición de una sección transversal además de los otros emergentes del propio diseño como ser peralte o sobreebanco en curvatura.

Con estas secciones transversales definidas exactamente tanto en los tramos rectos como en los curvos se procede al cálculo de las áreas habiendo las siguientes metodologías:

- a) Por planímetro.
- b) Por secciones uniformes.
- c) Por papel milimetrado.
- d) Por coordenadas

✿ Cálculo de áreas por planímetro:

Para este método se utiliza un instrumento denominado planímetro que está compuesto por una apuntador que hace recorrer por el contorno de la sección y a medida que avanza ésta, un contador va midiendo el perímetro de la sección multiplicado por un coeficiente estandarizado, nos da directamente la superficie de la sección, la facilidad en la actualidad de tener planímetros digitalizados nos permite realizar mediciones de áreas más exactas y más rápidas.

✿ Cálculo de áreas por secciones uniformes:

Consiste en seccionar un segmento de ancho uniforme “k” toda la superficie a se medida en la cual se establece diferentes cuerda “ l_i ” que se puedan ir midiendo acumulativamente determinándose el área de la sección con la relación:

$$A = \sum l_i \cdot k$$

Donde:

l_i = Cuerdas entre extremos de la sección.

k = Equidistancia del segmento.

✿ Cálculo de áreas por papel milimetrado:

Un método cuyo uso es común es el método del papel milimetrado que debido a que las secciones transversales son graficadas sobre papel milimetrado y a escala, es posible si la escala que normalmente se usa es 1:100 por lo tanto 1 cm² equivaldrá a 1m² siendo la

sumatoria de los cm^2 que existen dentro de la sección nos darán la superficie o el area correspondiente.

✿ Cálculo de áreas por coordenadas:

Consiste en determinar las coordenadas que forman la sección transversal y a partir de un determinante calcular el área correspondiente es un método que para realizarlo a mano es muy largo, pero todos los paquetes computacionales utilizan este método. El método que nosotros utilizamos en el cálculo de áreas fue por coordenadas ya que consideramos es el más fácil y exacto, ya que el proyecto se realizara con un programa computacional AutoCAD Civil 3D Land Desktop que nos brinda estos cálculos.

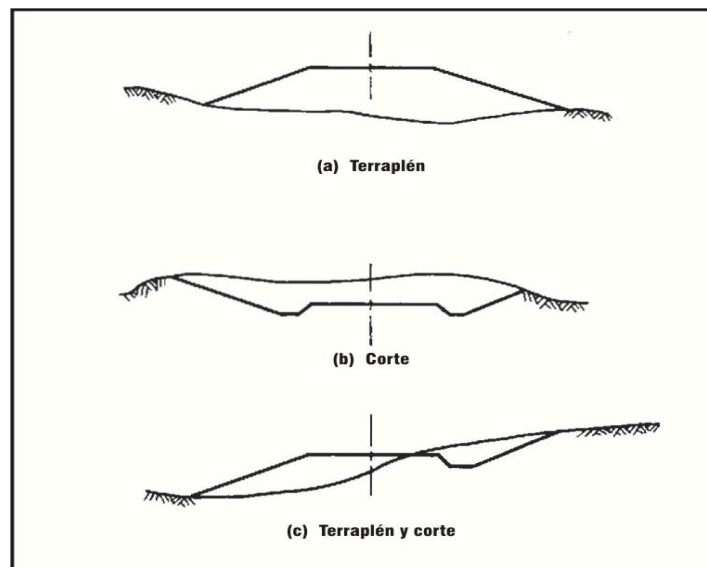
✿ CÁLCULO DE VOLÚMENES

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

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

Figura 3.9

Casos de la conformación del terraplén



✿ En vía recta

Uno de los ítems más importantes para la ejecución de carreteras es el movimiento de tierras que resulta ser aquel necesario para conformar el terreno a las condiciones del diseño. Por esta razón es indispensable realizar el cálculo de volúmenes.

Para el cálculo de volúmenes se tienen determinando varios casos entre los cuales tenemos:

CORTE - CORTE

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

RELLENO - RELLENO

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

RELLENO - CORTE Y CORTE - RELLENO

$$V_C = \frac{A_1 \cdot I_1}{2} \quad I_1 = \frac{A_1 \cdot L}{A_1 + A_2}$$

$$V_R = \frac{A_2 \cdot I_2}{2} \quad I_2 = \frac{A_2 \cdot L}{A_1 + A_2}$$

✿ En vía curva

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

$$V_{\text{CURVA}} = V_{\text{RECTA}} + Cc$$

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

CORTE - CORTE

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

RELLENO – RELLENO

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

CASO DE LADERAS:

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

Este cálculo también ya es calculado mediante el programa computacional que utilizaremos.

3.4.1. DIAGRAMA DE MASA

Después de haber calculado las áreas de los volúmenes de los prismoides, pueden prepararse una tabulación de estos valores de manera como se indica como conversión, los cortes se llevan hacia arriba y los rellenos abajo. La curva resultante recibe el nombre de perfil de cortes y rellenos.

Este perfil es muy similar en forma al perfil longitudinal de la carretera, por lo que a veces se omite su dibujo y se representa por el perfil longitudinal.

Si los valores de los volúmenes acumulados son llevados como ordenadas en las abscisas correspondientes a la posición de las estaciones, la curva obtenida es el diagrama de masas.

Para obtener la curva masa en forma óptima debemos seguir los siguientes pasos:

- Se proyecta la subrasante sobre el perfil del terreno.
- Se determina en cada estación o en los puntos que los acredite los espesores de corte o de terraplén.
- Se dibujan las secciones transversales topográficas.

- Se dibujan la plantilla de corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo del material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
- Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
- Se calculan los volúmenes abundando los cortes y haciendo reducción de los terraplenes según el tipo de material y métodos escogidos.
- Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
- Se dibuja la curva de los valores anteriores.

Comparando varios diagramas de curva masa para un mismo tramo, el mejor será el más económico, esto es aún en aquellos cuya suma de importe se las excavaciones incluyendo préstamos, más el valor de lapso sobre acarreo, del menor precio, siempre y cuando se refiere a un perfil aceptable.

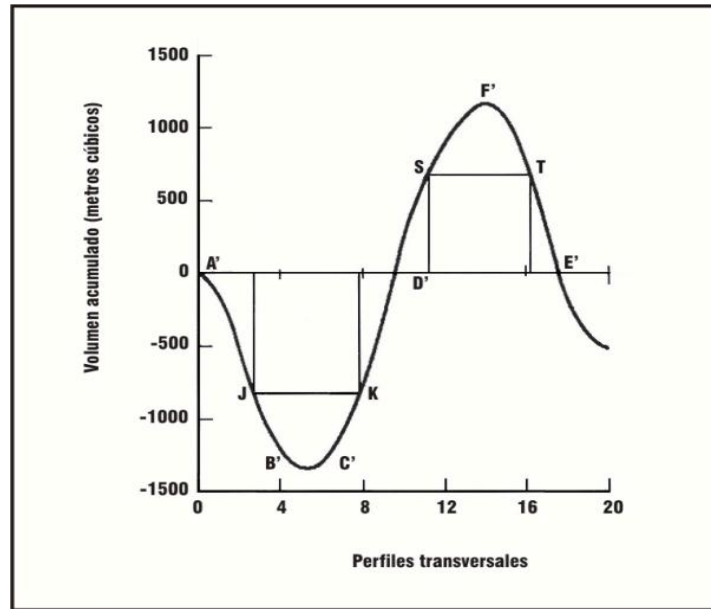
Los objetivos principales de la suma de masas son los siguientes:

- Compensar volúmenes.
- Fijar el sentido de los movimientos de material.
- Fijar el límite del acarreo libre.
- Calcular los sobre acarreos.
- Controlar préstamos y desperdicios y desperdicios.

El diagrama de masas es el resultado del movimiento de tierras de un proyecto, este diagrama de masas esta graficado en función de los volúmenes acumulados entre todas las secciones transversales (recta y curva) se dispondrá de los volúmenes de corte y de relleno en todo el alineamiento, esto será calculado y diagramado mediante el programa computacional mencionado.

Figura 3.10

Esquema del diagrama de masa



El diagrama de masas es el estudio de las cantidades de excavación y de relleno su, compensación y movimiento. La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las tercerías y las abscisas del encadenamiento correspondiente, el diagrama de masas se dibuja en el mismo papel donde se dibujó el perfil del terreno y se proyectó la sub rasante.

El diagrama de masas es una representación gráfica de los volúmenes acumulados en el movimiento de tierras para la conformación de una carretera; este diagrama tiene mucha importancia tanto al nivel de diseño donde se puede visualizar la mala o buena compensación que se ha realizado en la ejecución, este diagrama sirve también como un control y planificación de los trabajos de movimiento de tierras.

La distancia de libre acarreo es la distancia al que cada metro cúbico de material puede ser movido sin que se haga un pago adicional y corresponderá a 300 mts.

Tabla N°3.18

Factor de Abundamiento

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra Negra	1,00 - 1,25
Material Arenoso	1,10 - 1,30
Roca Suelta	1,30 - 1,40
Roca Fija	1,40 - 1,65

Fuente: Vías de Comunicación

Tabla N° 3.19

Factor de reducción

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCIÓN
Tierra Negra	0,98 - 1,00
Material Arenoso	0,75 - 0,90
Roca Suelta	0,70 - 0,75
Roca Fija	0,60 - 0,70

Fuente: Vías de Comunicación

El diagrama de masas se encuentra indicado en los planos de este proyecto en anexos.

TALUDES DE CORTE Y TERRAPLÉN

➤ **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 del corte variara según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. Para el proyecto como talud de corte 1: 1.5(H: V)

➤ **Terraplén**

Es el aporte o relleno de tierras en zonas de cota inferior a la prevista en proyecto. Pueden aprovecharse si son aptas las tierras extraídas de 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 alturas inferiores a 15 m tendrán una inclinación máxima de 1:1.5 (H: V). Como se especifica en el manual de la ABC.

En el caso de suelos de fundación con alto contenido de materia orgánica o muy compresible, estos deberán ser retirados o tratados según sea el problema que los afecte.

3.5. DRENAJE

El drenaje en una carretera busca eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja del camino, restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado y evitar que el agua subterránea pueda comprometer la estabilidad de la base, de los terraplenes y cortes del camino.

El estudio de Hidrología y drenaje, se inicio con la recopilación de datos necesarios para el análisis, visitas a campo y estudio de las obras de arte existentes. Se pudo obtener información de estaciones pluviométricas del SENNAMHI, muy cercanas al área de influencia del proyecto, utilizando los datos de precipitaciones máximas diarias horarias para utilizar el método racional para la obtención de los caudales máximos.

Con los datos de precipitación obtenidos se realiza el análisis pluviométrico: ajuste de los datos a funciones de distribución teóricas, pruebas de bondad y ajuste y finalmente la obtención de las precipitaciones de diseño para períodos de retorno de datos.

☼ INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Se han considerado y analizado las series históricas registradas en las estaciones de medidas ubicadas en una amplia zona alrededor del área del Proyecto (ver el cuadro 2.3). Se dispone de las series históricas de precipitación mensual y anual registrada en 1 estación pluviométrica, cuyas coordenadas geográficas y periodo de registro se presentan a continuación.

Tabla N° 3.20

Estaciones climatológicas y pluviométricas

ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	PERIODO DE REGISTRO
GAMONEDA	PLUVIO-CLIMATOLOGICA	1980-2005

Fuente: SENAMHI

✚ ANÁLISIS PLUVIMÉTRICO

Los principales objetivos del análisis pluviométrico son:

- Determinar las características y las distribuciones de probabilidades de las lluvias máximas diarias.
- Determinar las curvas de probabilidad pluviométrica que corresponden a las lluvias máximas anuales con duración menor de 24 horas

Para realizar el análisis estadístico se han tomado en cuenta los datos históricos de 1 estación pluviométrica, que es la más cercana ubicada en la región.

Tabla N° 3.21

Precipitación máxima en 24 hrs (mm)

Año Hidrológico		Precipitación Max. (mm)
1980	1981	26,0
1981	1982	55,5
1982	1983	37,4
1983	1984	14,0
1984	1985	55,0
1985	1986	41,2
1986	1987	41,2
1987	1988	53,5
1988	1989	56,1
1989	1990	45,0
1990	1991	62,5
1991	1992	50,6
1992	1993	55,6
1993	1994	66,5
1994	1995	74,5
1995	1996	54,7
1996	1997	54,0

1997	1998	25,0
1998	1999	59,7
1999	2000	109,0
2000	2001	93,8
2001	2002	49,7
2002	2003	49,2
2003	2004	52,2
2004	2005	48,2

Fuente: SENAMHI

✿ DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS

De acuerdo a la experiencia, las lluvias máximas diarias registradas en una estación, tienen una ley de distribución cuyo mejor ajuste se obtiene con la ley de Gumbel.

Aplicando la ley de Gumbel modificada, mediante la siguiente ecuación se calcula las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

$$Hdt = Ed(1 + Kd \cdot \log T)$$

Donde:

- Ed= moda ponderada
- Kd= característica ponderada
- T= periodo de retorno
- Hdt= altura de lluvia máxima diaria

Para las precipitaciones máximas horarias para diferentes periodos de retornos lo calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Hdt = Ed \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta (1 + Kd \cdot \log T)$$

- Ed= moda ponderada
- Kd= característica ponderada
- T= periodo de retorno
- hdt= altura de lluvia máxima horaria

- t_c = Es el tiempo de duración de la lluvia
- β = Es una constante que en nuestro medio se adopta generalmente = 0.2
- α = Equivalente de lluvia diaria que depende de la magnitud = 12

✿ TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Hidrológicamente está demostrado que el caudal máximo en una corriente de agua para una sección particular de interés, se produce para una lluvia o tormenta cuya duración es igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración queda definido como el tiempo que tardaría una gota de agua en llegar a la sección de interés, desde el punto más alejado de la cuenca.

Para la estimación del tiempo de concentración se han propuesto varias ecuaciones, correspondientes a diferentes autores.

Es el tiempo que tarda en recorrer una gota de agua desde el lugar más alejado hasta la salida de la cuenca en nuestro caso hasta donde queremos conocer el caudal el punto de aforo.

Existen muchos autores que proponen sus formulas para el cálculo de ellas pero no todas son aplicables a nuestro medio. A continuación se presenta algunas de ellas con sus respectivos autores:

- F. ALCANTARILLAS

$$t_c = \left(0.871 * \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad Ec: 3.33$$

- F. CALIFORNIA

$$t_c = 0.30 * \left(\frac{L}{\sqrt[4]{J}} \right)^{0.76} \quad Ec: 3.34$$

– F. GIANDOTTI

$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{253 * J * L} \quad Ec: 3.35$$

– F.CHEREKE

$$tc = \left(0.871 * \frac{L}{H}\right)^{0.385} \quad Ec: 3.36$$

Donde

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del río principal (km)

H = Desnivel de la cuenca (m)

J = Pendiente del río principal (%)

🌿 ESTIMACION DE LA INTENSIDAD

Puede estimarse a través de varias funciones de distribución estadísticas hidrometeorológicas.

$$I = \frac{h_{(tT)}}{tc}$$

Donde:

- htT = Altura de lluvia máxima horaria (por función de distribución)
- tc = Tiempo de concentración

3.5.1. DRENAJE HIDARULICO DE OBRAS DE ARTE MENOR

La lluvia que cae sobre las cuencas tributarias de la carretera, y el agua que cae sobre la calzada, debe ser adecuadamente conducida cuando estos flujos alcanzan la carretera y por tanto la carretera debe contar de los elementos necesarios para conducirla o desviarla, sin que ocasione ningún daño ni debilitamiento a la estructura de la carretera.

La función de los drenajes superficiales de una carretera es la de facilitar el paso de las aguas de un lado a otro de la vía y lograr la remoción de las aguas que caen sobre la plataforma. Las obras que cumplen esta función son las alcantarillas, los puentes, las zanjas, cunetas y desagües pluviales.

Una alcantarilla es un conducto que lleva agua a través de un terraplén, es un paso a nivel para el agua y el tráfico que pasa sobre ella.

Los puentes cumplen la misma función pero a diferencia de las alcantarillas generalmente forman parte de la calzada de la carretera.

Las zanjas son canales abiertos que sirven para interceptar el agua superficial que proviene de la plataforma y de los taludes cuando existen cortes, se colocan generalmente a los lados de la carretera.

Los canales de desviación o de descarga son canales abiertos que prolongan el flujo de las zanjas para poder descargarlos a cauces naturales fuera de la carretera.

Las zanjas interceptoras o de coronación son canales que se excavan en los taludes de corte en su coronamiento para evitar la erosión de los taludes.

Para conducir las aguas desde un nivel más alto a uno más bajo, ya sea en taludes de corte o de terraplén se usan caídas o torrenteras, que son canales con una fuerte inclinación y casi siempre llevan disipadores de energía.

Para el diseño de las diferentes obras de drenaje se utilizaron los caudales calculados con la fórmula anterior, por tanto conociendo la cantidad de agua que llega a cada una de las obras de drenaje se determinó las dimensiones de la estructura necesaria para conducirla.

DISEÑO HIDRÁULICO DE CUNETAS

Las cunetas contribuyen las obras complementarias de drenaje de uso más extendidos y universal.

Las cunetas son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre, en el lado del corte en secciones de tal naturaleza. Permiten recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida por la vía y el coronamiento del corte.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%. La velocidad con la que circule sobre ella debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión, ambos indeseables.

El caso particular es que la vía se encuentra en terreno llano donde se aplican las siguientes ecuaciones:

En principio se efectuó el cálculo de los caudales por el método denominado racional, aplicando:

$$Q = 27.52 * c * i * A$$

Donde:

- Q = caudal máximo, en (l/s)
- C = coeficiente de escurrimiento
- I = intensidad de precipitación en los 10 min de máxima concentración, en (cm/hora)
- A = área de aporte, en (has)

Con relación al coeficiente de escurrimiento C, que depende, entre otros factores, de la pendiente de la cuenca y del río, del tipo de suelo, de la geología, de la vegetación, del grado de saturación del suelo, etc., se destaca lo siguiente:

- En la naturaleza, el agua se presenta formando un ciclo hidrológico, en el que ésta se evapora, condensa, precipita, escurre, infiltra, etc. Nos interesa, desde el punto de vista de los caudales máximos, la relación entre la cantidad de agua que escurre y la que llueve (coeficiente de escurrimiento).

Por todas las consideraciones hechas en los párrafos que preceden, es prudente esperar que el coeficiente de escurrimiento adopte un valor relativamente alto, la norma A.B.C nos propone ciertos valores de acuerdo al tipo de terreno:

Tabla N° 3.22
COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO (C)

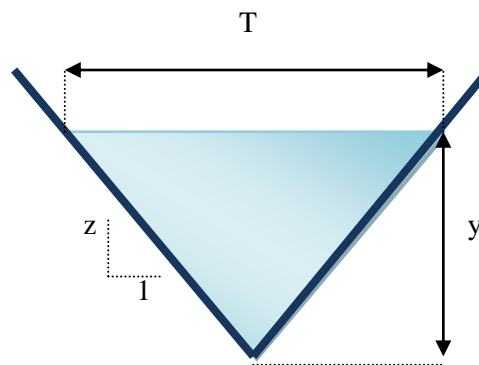
TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO
Pavimentos de adoquín	0.50 – 0.70
Pavimentos asfálticos	0.70 – 0.95
Pavimentos en concreto	0.80 - 0.95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2 – 7 %	0.15 – 0.20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2 – 7 %	0.25 – 0.40
Zonas de cultivo	0.20 – 0.40

Fuente: Manual de Diseño Geométrico (A.B.C.)

Con este factor y los otros que forman parte de la ecuación que responde al método racional.

Determinación de la Sección Hidráulica:

Fig. N° 3.11
Sección triangular



- Caudal de diseño (m^3/s)

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

- Área de sección triangular (m^2):

$$A = \frac{(a + b) \cdot h^2}{2}$$

- Perímetro de sección triangular (m):

$$P = \left(\sqrt{1 + a^2} + \sqrt{1 + b^2} \right) \cdot h$$

Donde:

- A=Área de la cuneta
- R=Radio hidráulico (m)
- So= Pendiente de la cuneta (m/m)
- n = Coeficiente de acuerdo al material
- Q = Caudal

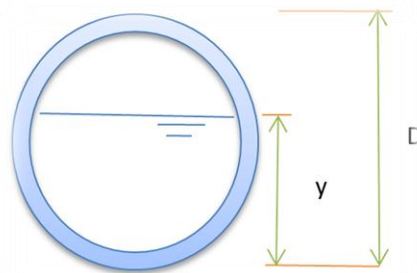
Por iteración se determina el área de la cuneta y sus dimensiones.

✿ ALCANTARILLAS DE ALIVIO

Los diferentes tramos donde se emplazarán cunetas cuentan con longitudes grandes hasta llegar a la alcantarilla, para esto es necesario aliviar la cuneta a una distancia de 100 – 150 m; para dimensionar la alcantarilla se considera parcialmente llena proyectada a 0,60 de su sección y flujo uniforme.

Fig. 3.12

Sección parcialmente llena



Ecuaciones para tuberías parcialmente llenas:

- Área (m²):

$$A = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta_r - \text{sen } \theta) P = \frac{D \cdot \theta_r}{2}$$

- Perímetro mojado (m) :

$$P = \frac{D \cdot \theta_r}{2}$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{D - 2 \cdot Y}{D}\right)$$

- Caudal de diseño (m³/s):

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^5}{P^2}\right)^{1/3} * S^{1/2}$$

Donde:

- n: Coeficiente de rugosidad
- S: Pendiente de la tubería (m/m)
- D: Diámetro de la tubería (m)

3.6. CÓMPUTOS MÉTRICOS

Cómputo métrico: es la cuantificación o determinación de volumen, superficie, etc. de materiales necesarios para ejecutar cada ítem, y para poder determinar el costo del mismo.

El trabajo de medición puede ser ejecutado de dos maneras que son: sobre la obra misma, o sobre los planos.

Ítem: es 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), existiendo algunas de ellas que por su naturaleza o complejidad solamente pueden medirse en forma global.

3.7.PRECIOS UNITARIOS

El precio Unitario: es 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.

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 de costos y precios unitarios, se ha establecido la participación de los siguientes costos básicos:

- Materiales e insumos.
- Mano de obra, en sus diferentes categorías.
- Maquinaria y equipo de construcción.

La moneda de referencia utilizada es el Boliviano, la cotización con relación al dólares americanos (\$us.).

En el análisis de precios unitarios se deberá de considerar el porcentaje regulado de acuerdo al Decreto Supremo N° 27328 para licitación del sector público correspondiente, los mismos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 3.23
Porcentajes Regulados por Decreto Supremo 27328

DESCRIPCION	POCENTAJE
Cargas Sociales	55 - 71,18% del Subtotal 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, Herramientas, Gastos generales y Administrativos)
IMPUESTOS: IT	3,09% (Materiales, Mano de Obra, Equipo, Maquinaria Herramientas, Gastos generales, Administrativos, Utilidad)

Fuente: Estructuras de costos

CAPITULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

La Poligonal Base es el armazón de todos los trabajos de topografía ejecutados y fue implantada siguiendo los criterios que se detallan a continuación:

- Se sigue el alineamiento del eje preliminar.
- Las referencias normalmente se colocaron a los márgenes del trazado perpendicular al eje.
- Con el fin de disponer de un sistema de referencias que permita reponer la poligonal base de forma rápida y eficiente, se han instalado BM`s de referencias aproximadamente de 150 m. a 450 m.
- A partir de las estacas del eje central de la poligonal base, se realizó el levantamiento de secciones transversales en un ancho de hasta 20 m.

Las planillas del levantamiento topográfico se encuentran en ANEXOS I (levantamiento topográfico).

4.2. DISEÑO GEOMETRICO

De acuerdo al capítulo III del presente proyecto y los parámetros extraídos del “Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)” se considera los siguientes parámetros de diseño que serán utilizados para realizar el diseño geométrico del camino.

- **CATEGORIA DE LA VIA**

De acuerdo a la clasificación que estipula la norma vigente, “Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)”, expuesta en el capítulo III, se considera a la vía como un **camino**.

La clasificación funcional para el diseño en nuestro caso es: **camino rural de DESARROLLO**. Principalmente porque la vía presentará un Tránsito Medio Diario Anual bajo de 30 veh/día y es un camino que se constituirá simplemente en una vía local de desarrollo donde su función primordial es el acceso a las comunidades e integración de ambas garantizando la transitabilidad durante todo el año.

- **VELOCIDAD DE PROYECTO**

La topografía de la zona es de tipo ondulado medio a ondulado fuerte por lo que se considera adoptar una **velocidad de proyecto de 40 Km/h**. Esto no quiere decir que en determinados sectores de la carretera no se puedan desarrollar velocidades superiores a las indicadas, esto dependiendo de la configuración topográfica del camino.

- **PERALTES**

Considerando la categoría de la vía y la velocidad de proyecto se adopto como **peralte máximo** el valor de **7%**, el cual condicionara el valor de radio mínimo en curvas horizontales.

- **RADIOS MÍNIMOS DE CURVAS HORIZONTALES**

Según los parámetros anteriores de nuestro proyecto se tomaran como **radios mínimos** de curvatura de **50 m** que son los que corresponden para las velocidades de proyecto asumido.

- **PENDIENTES MÁXIMAS DEL PERFIL LONGITUDINAL**

Según la topografía del lugar y la categoría del camino se determino que para nuestro proyecto se tomara la **pendiente máxima** de **10 %**.

Y como **pendiente longitudinal mínima** será del orden de **0,5%** esto a fin de asegurar y garantizar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales provenientes de las lluvias.

- **DISTANCIA DE FRENADO**

De acuerdo a lo expuesto en el capítulo III, la **distancia de frenado** para una velocidad de proyecto de 40 km/h es de **38 m**.

- **DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO**

La distancia mínima para que un vehículo pueda adelantar a otro vehículo es de **240 m**.

- **ENLACE DE RASANTES**

El enlace de rasantes será mediante curvas verticales, estas pueden ser cóncavas o convexas como se muestra en la figura 2.3 del capítulo III.

Los parámetros (k), para una velocidad de proyecto de 40 km/h, utilizada en el cálculo de la longitud de la curva vertical son:

- Curvas convexas $k_v = 400$
- Curvas cóncavas $k_c = 500$

Las curvas verticales del proyecto son simétricas porque existía una longitud suficiente para que se acomode la curva. El replanteo de las mismas se la realiza con las siguientes expresiones:

$$f = \frac{T \cdot \theta}{4}$$

$$y = \frac{f}{T^2} \cdot x^2$$

Donde:

- f = flecha (m.)
- $2T$ = longitud de la curva vertical (m.)
- θ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en (m/m).
- x = distancia acumulada (m.)

- **ANCHO DE CALZADA Y BERMAS**

Se adoptará un **ancho de calzada** de **3 m**, para garantizar el confort de los vehículos que transitaran por dicha vía.

De acuerdo a la tabla 2.13. se recomiendan los siguientes anchos de bermas. Para permitir una zona de parqueo eventual a vehículos que por cualquier razón requieran detenerse en el

trayecto y no perjudicar el normal tránsito por la vía se utiliza una **berma** de **0.50 m** a ambos lados de la vía.

Dando un **ancho total de plataforma** de **7.00 m**

- **PENDIENTE TRANSVERSAL DE LA CALZADA**

De acuerdo a la tabla 2.14 y considerando que nos encontramos en una zona húmeda y que el camino tendrá una capa de rodadura de ripiado, se elige una **pendiente transversal** de **3.5 %**.

- **ENSANCHAMIENTO DE CALZADA EN CURVAS (SOBREANCHO)**

Los sobreanchos calculados en base a los radios mínimos de curvatura varían entre 2.15 a 0.955 m. El replanteo de los sobreanchos varían de forma lineal hasta alcanzar el valor máximo del sobreancho, la expresión para el replanteo es:

$$e_n = \frac{E}{L} \cdot l_n$$

Donde:

- e_n = ensanche en un determinado punto
- E= ensanche máximo
- L= longitud de desarrollo
- l_n = distancia para un ensanche en un punto determinado

El ensanche puede realizarse dentro de la curva cuando exista un desarrollo de la curva suficiente para desarrollar el ensanche, esta longitud para caminos de desarrollo es de 30 m.

Cuando esto no es posible se puede realizar el ensanche fuera de la curva hasta llegar al valor máximo dentro del desarrollo de la curva.

4.2.1. RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

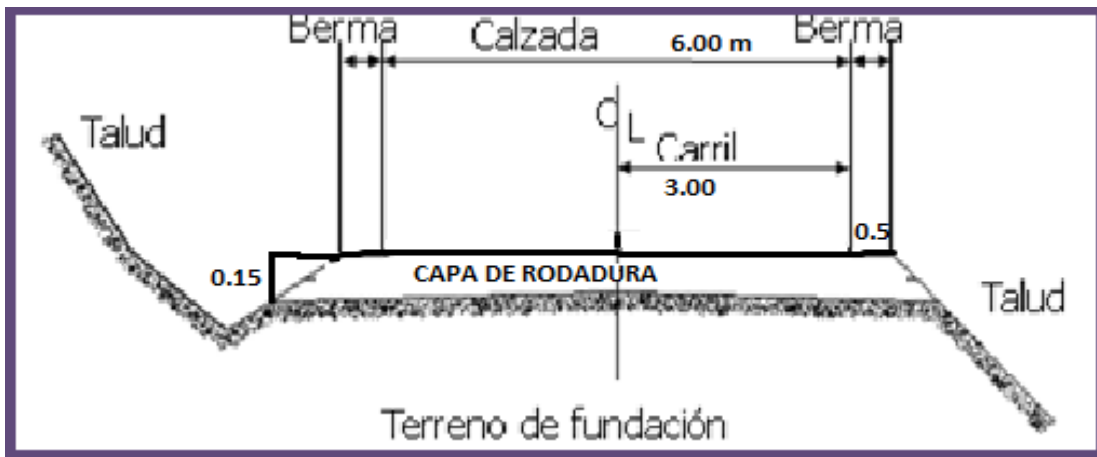
El del diseño geométrico para el tramo de Gamoneda-Barbecho es muy limitado, porque la topografía es ondulada, al margen de ello la velocidad de proyecto es baja, la velocidad es

igual a 40km/h, lo que de alguna manera coadyuva con la realización de enlaces aceptables con curva circulares simples.

Paralelamente el diseño geométrico, también se ve limitado por las construcciones consolidadas de comunarios. Sin embargo se realizo un mejor alineamiento, vertical y horizontal para el camino.

Luego de definir los parámetros más importantes para el diseño geométrico de un camino, a continuación se elaboro una tabla resumen de todos los parámetros fundamentales.

SECCIÓN TIPO



CUADRO 4.1

PARÁMETROS DEL DISEÑO PLANIALTIMETRICO

CATEGORÍA DEL CAMINO	Desarrollo
VELOCIDAD DE PROYECTO (km./h)	40
PERALTE MÁXIMO (%)	7
RADIO MINIMO (m)	50
PENDIENTE MÁXIMA (%)	10
DISTANCIAS MÍNIMAS DE VISIBILIDAD	
DE FRENADO (m.)	38
DE SOBREPASO (m.)	240
VALORES DE "K" PARA CURVAS VERTICALES	
CURVAS CONVEXAS (m/100)	400
CURVAS CÓNCAVAS (m/100)	500

Fuente: ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.2

PARÁMETROS DE LA SECCION TRANSVERSAL

SUPERFICIE DE RODADURA (m.)	7
ANCHO DE BERMAS (m.)	0,5
SOBREANCHO EN CURVAS (m.)	2,15/0.955
DERECHO DE VÍA (m.)	25
PENDIENTE TRANSVERSAL (%)	3.5

Fuente: ELABORACION PROPIA

4.3. DISEÑO DE DRENAJE

4.3.1. ANALISIS PLUVIMETRICO

Para realizar el análisis estadístico se han tomado en cuenta los datos históricos de 2 estaciones pluviométrica, que es la más cercana ubicada en la región.

Cuadro 4.3

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS (mm)

Estación: Gamoneda	Lat. S.: 21° 29' 00"	Estación: El Tejar	Lat. S.: 21° 32' 35"
Provincia: CERCADO	Long. W.: 64° 38' 00"	Provincia: CERCADO	Long. W.: 64° 43' 16"
Departamento: TARIJA	Altura: 2150 m.s.n.m.	Departamento: TARIJA	Altura: 1,859 m.s.n.m.

Año Hidrológico		Presipitacion Max. (mm)	Año Hidrológico		Presipitacion Max. (mm)
1980	1981	26,0	1980	1981	44,1
1981	1982	55,5	1981	1982	45,3
1982	1983	37,4	1982	1983	60,5
1983	1984	14,0	1983	1984	32,0
1984	1985	55,0	1984	1985	43,1
1985	1986	41,2	1985	1986	53,2
1986	1987	41,2	1986	1987	60,7
1987	1988	53,5	1987	1988	47,3
1988	1989	56,1	1988	1989	70,2
1989	1990	45,0	1989	1990	60,0
1990	1991	62,5	1990	1991	62,1
1991	1992	50,6	1991	1992	58,2

1992	1993	55,6	1992	1993	46,2
1993	1994	66,5	1993	1994	71,6
1994	1995	74,5	1994	1995	60,0
1995	1996	54,7	1995	1996	56,4
1996	1997	54,0	1996	1997	61,4
1997	1998	25,0	1997	1998	37,0
1998	1999	59,7	1998	1999	48,2
1999	2000	109,0	1999	2000	58,2
2000	2001	93,8	2000	2001	66,6
2001	2002	49,7	2001	2002	56,8
2002	2003	49,2	2002	2003	46,6
2003	2004	52,2	2003	2004	70,2
2004	2005	48,2	2004	2005	35,6

Fuente: SENAMHI

• **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS**

Se han calculado los parámetros respectivos, cuyo resumen se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.4

PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION DE LA ESTACION.

Nº de datos	25
Media	53,2
Desvió	19,669
Moda	44,353
Caracteriaristica	0,796

Nº de datos	25
Media	54,5
Desvió	11,031
Moda	49,511
Caracteriaristica	0,400

Fuente: ELABORACION PROPIA

Aplicando la ley de Gumbel modificada, calculamos las precipitaciones máximas horarias para diferentes periodos de retorno.

$$Hdt = Ed \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta (1 + Kd \cdot \log T)$$

Los resultados se presentan en el ANEXO (estudio hidrológico) del presente proyecto.

La precipitación máxima de diseño para un periodo de retorno de 5 años, que utilizamos en el cálculo del caudal para las cunetas es de:

$$h_{(dt)} = 51,52 \text{ mm}$$

- **ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD**

Puede estimarse a través de varias funciones de distribución estadísticas hidrometeorológicas con la siguiente expresión.

$$I = \frac{h_{(dt)}}{tc}$$

Para un tiempo de 10 min de máxima concentración calculamos la intensidad de diseño para las obras de drenaje:

$$I = \frac{52,51}{(10/60)} = 25.76 \text{ mm/h}$$

4.3.2. DISEÑO HIDRAULICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

- **DISEÑO HIDRÁULICO DE CUNETAS**

El cálculo de los caudales se realiza con la siguiente expresión.

$$Q = 27.52 * c * i * A$$

El cálculo hidráulico de cunetas esta realizado en base a la ecuación de Manning.

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

A continuación presentamos un resumen del cálculo hidráulico de las cunetas que se presentan en los ANEXOS (diseño de cunetas y alcantarillas de alivio).

Cuadro 4.5**DATOS PARA EL CÁLCULO HIDRAULICO**

DATOS		
a	3,00 mts.	(Ancho de carril)
C1	0,4	(Coeficiente de escorrentia de la calzada)
C2	0,15	(Coeficiente de escorrentia del terreno)
I	25,76 mm/h	(Intensida de la lluvia)

Fuente: ELABORACION PROPIA

Los coeficientes de escurrimiento fueron asumidos de acuerdo a la tabla 2.16 (coeficientes de escurrimiento C) del capítulo II.

En el siguiente cuadro presentamos las dimensiones asumidas de acuerdo al cálculo hidráulico, se asumió un borde libre de 0.05 m para garantizar el funcionamiento de la cuneta.

Cuadro 4.7**RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA CUNETA**

TRAMO		CAUDAL (m ³ /s)	Cef. De Rugosidad n	h	
Progresiva				(m)	(m)
0+000	0+060	0,006	0,016	0,25	0,3
0+80	0+120	0,004	0,016	0,25	0,3
0+140	0+180	0,004	0,016	0,25	0,3
0+200	0+220	0,002	0,016	0,25	0,3
0+220	0+280	0,008	0,016	0,25	0,3
0+320	0+330,670	0,002	0,016	0,25	0,3
0+400	0+420	0,001	0,016	0,25	0,3
0+420	0+630	0,032	0,016	0,25	0,3
0+640	0+660	0,005	0,016	0,25	0,3
0+760	0+820	0,007	0,016	0,25	0,3
1+174,084	1+210	0,003	0,016	0,25	0,3
1+336,50	1+380	0,003	0,016	0,25	0,3
1+390	1+400	0,001	0,016	0,25	0,3
1+420	1+460	0,003	0,016	0,25	0,3
1+480	1+500	0,002	0,016	0,25	0,3
1+500	1+520	0,001	0,016	0,25	0,3
1+554,55	1+560	0,000	0,016	0,25	0,3
1+560	1+660	0,008	0,016	0,25	0,3
1+780	1+800	0,002	0,016	0,25	0,3
1+820	1+860	0,003	0,016	0,25	0,3

1+980	2+020	0,003	0,016	0,25	0,3
2+070	2+080	0,001	0,016	0,25	0,3
2+120	2+140	0,002	0,016	0,25	0,3
2+140	2+160	0,002	0,016	0,25	0,3
2+175,164	1+180	0,000	0,016	0,25	0,3
2+180	2+260	0,007	0,016	0,25	0,3
2+280	2+350	0,006	0,016	0,25	0,3
2+358,236	2+380	0,002	0,016	0,25	0,3
2+520	2+530,265	0,001	0,016	0,25	0,3
2+530,265	2+550	0,002	0,016	0,25	0,3
2+750	2+780	0,002	0,016	0,25	0,3
2+780	2+796,949	0,001	0,016	0,25	0,3
2+870	2+900	0,002	0,016	0,25	0,3
2+900	2+920	0,002	0,016	0,25	0,3
2+932,645	2+960	0,002	0,016	0,25	0,3
3+000	3+014,975	0,001	0,016	0,25	0,3
3+014,975	3+160	0,011	0,016	0,25	0,3
3+176,862	3+180	0,000	0,016	0,25	0,3
3+190	3+210	0,002	0,016	0,25	0,3
3+290	3+358.298	0,005	0,016	0,25	0,3

Fuente: ELABORACION PROPIA

- **DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO**

Las alcantarillas de alivio serán instaladas a una distancia de aproximadamente 250 m. y en lugares donde sea necesario realizar la evacuación del caudal precipitado en la vía, como los puntos más bajos de las curvas verticales o cuando cambie la sección de corte a terraplén.

Para dimensionar la alcantarilla se considera la tubería parcialmente llena con la siguiente relación:

$$\frac{y}{D} = 0.70$$

La pendiente de la tubería será del 2 % para que el agua pueda evacuarse a través del terraplén.

El diámetro se calcula mediante iteraciones utilizando la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^5}{P^2} \right)^{1/3} * S^{1/2}$$

Para el diseño de las alcantarillas de alivio se tomó en cuenta su ubicación debido a que ello nos permitirá conocer el caudal proveniente de las cunetas que evacuará. La estación, número de curva, y otras características de las alcantarillas de alivio pueden ser apreciados en el cuadro siguiente:

Cuadro 4.8 RESUMEN DE LA UBICACIÓN DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO

DATOS						
a :	3,00 mts.	(Ancho de carril)				
C1 :	0,4	(Coeficiente de escorrentia de la calzada)				
C2 :	0,22	(Coeficiente de escorrentia del terreno)				
I :	25,8 mm/h	(Intensida de la lluvia)				
n :	0,013	(Coeficiente de rugosidad) PVC				
Y/D :	0,75	(Relacion tirante, diametro)				
DISEÑO DE ALCANTARILLA DE ALIVIO						
GEOMETRIA						
θ =	4,189	(Angulo central)				
PROGRESIVA		L	A1	A2	Cp	Q
		(m)	(m ²)	(m ²)		(lt/s)
0+020	0+540	410	1230,00	467500,00	0,220	746,543
0+540	1+480	310	930,00	450310,00	0,220	718,356
1+480	2+260	480	1440,00	698904,00	0,220	1114,915
3+040	3+200	400	1200,00	764523,00	0,220	1218,509

Fuente: ELABORACION PROPIA

A continuación en el siguiente cuadro presentamos un resumen del diseño hidráulico que se encuentran en los ANEXOS (diseño de cunetas y alcantarillas de alivio). Donde podemos apreciar la ubicación, el caudal de diseño, el diámetro calculado y el que se asume de acuerdo a un diámetro comercial.

Cuadro 4.9 RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA ALCANTARILLA DE ALIVIO

PROGRESIVA		Q	So	D	D	D
		(m ³ /s)	(m/m)	(m)	(plg)	Asumido
0+020	0+540	0,747	0,005	0,792	32	40
0+540	1+480	0,718	0,005	0,781	31	40
1+480	2+260	1,115	0,005	0,921	37	40
3+040	3+200	1,219	0,005	0,952	38	40

Fuente: ELABORACION PROPIA

- **DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS DE CRUCE**

Las alcantarillas de cruce solo habrá una que se encuentra en la progresiva 1+940 Para dimensionar la alcantarilla se considera la tubería parcialmente llena con la siguiente relación:

$$\frac{y}{D} = 0.70$$

El diámetro se calcula mediante iteraciones utilizando la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^5}{P^2} \right)^{1/3} * S^{1/2}$$

Para el diseño de las alcantarillas de cruce se tomó en cuenta su ubicación debido a que ello nos permitirá conocer el caudal proveniente de la quebrada que evacuará. La estación, número de curva, y otras características de las alcantarillas de cruce pueden ser apreciados en el cuadro siguiente:

Cuadro 4.8

RESUMEN DE LA UBICACIÓN DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO

n :	0,013	(Coeficiente de rugosidad)
Y/D :	0,75	(Relación tirante, diámetro)
θ =	4,189	(Angulo central) Radianes

Fuente: ELABORACION PROPIA

A continuación en el siguiente cuadro presentamos un resumen del diseño hidráulico que se encuentran en los ANEXOS. Donde podemos apreciar la ubicación, el caudal de diseño, el diámetro calculado y el que se asume de acuerdo a un diámetro comercial.

Cuadro 4.9

RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA ALCANTARILLA DE ALIVIO

PROGRESIVA	Q	Q/2	So	D	D	D (Com)	N° Tubos
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m/m)	(m)	(plg)	(m)	
1+940	4	2,000	0,017	0,911	36	1	2 tubos

4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL

4.4.1. ESTUDIO GEOTECNICO

- MUESTREO

Se realizo el muestreo adoptando el método de un sondeo manual mencionado en el punto 3.1.1. del capítulo III, el muestro fue realizado aproximadamente cada 500 m., obteniendo 7 puntos de muestreo a lo largo del camino como se muestra en la figura 4.1, las muestras tomadas fueron a una profundidad de hasta 1.0 m. tomando el material existente a esa profundidad y trasladándola en bolsas de polietileno para conservar su humedad.

El primer punto fue al inicio con una profundidad de 1.5 metros, el siguiente punto fue a una distancia 500 metros de igual forma la muestra a una profundidad de 1.5 metro, el siguiente punto fue a una distancia de 1000 metros a una profundidad de 1 metros debido a que el suelo era demasiado duro para excavar se fue extraendo diferentes muestras cada 500 hasta el último fue tomado a una distancia de 3000 metros a una profundidad de 1 metro. En la figura 4.2 observamos cómo se obtuvieron las muestras.

Figura 4.1

MUESTRAS TOMADAS EN EL CAMINO

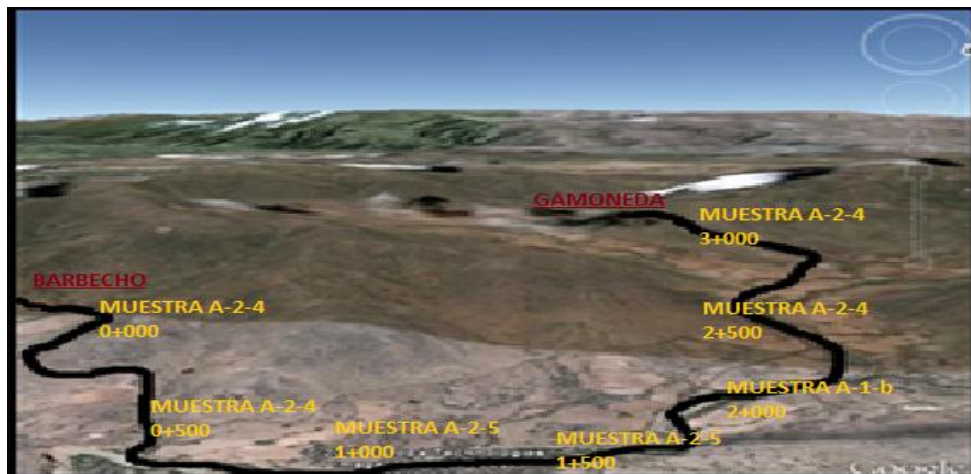


Figura 4.2

OBTENCION DE MUESTRAS



- **CLASIFICACION DE SUELOS**

A través de la granulometría y límites de Atterberg, se clasificaron las muestras obtenidas de campo, en los cuales predominan los limos y las arenas finas.

Según la clasificación AASHTO y SUCS, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 4.10

CLASIFICACION DE SUELOS

CLASIFICACION DE SUELOS		
PROGRESIVA	AASHTO	SUCS
0+000	A-2-4(0)	GW
0+500	A-2-4(0)	GW
1+000	A-2-5(0)	GW
1+500	A-2-5(0)	GM
2+000	A-1-b(0)	GM
2+500	A-2-4(0)	GW
3+000	A-2-4(0)	GW

Fuente: ELABORACION PROPIA

Los ensayos correspondientes podemos verlos en los ANEXOS (ensayos de laboratorio).

- **RESULTADOS DE LA COMPACTACION**

Mediante la compactación se determino la densidad máxima seca de las muestra bajo un cierto contenido de humedad, obteniéndose así densidades en función al tipo de suelo, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.11 COMPACTACION

COMPACTACION		
AASHTO	% HUMEDAD	DENSIDAD MAX.(gr/m ³)
A-1-b(0)	7,46	2,17
A-2-4(0)	7,91	2,17
A-2-5(0)	11,5	2,23

Fuente: ELABORACION PROPIA

Los ensayos correspondientes podemos verlos en los ANEXOS (ensayos de laboratorio).

- **RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR**

El CBR obtenido de los ensayo de laboratorio dan como resultado valores óptimos, reflejando la buena calidad del material como terreno de fundación,

Cuadro 4.12 ENSAYO DE C.B.R.

CBR		
AASHTO	100%	95%
A-1-b(0)	49	37
A-2-4(0)	42	39
A-2-5(0)	38	31

Fuente: ELABORACION PROPIA

Los ensayos correspondientes podemos verlos en los ANEXOS (ensayos de laboratorio).

Para la conformación de la capa de rodadura se realizara un ripiado de 15 cm de espesor a lo largo de la plataforma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✿ Se logró elaborar el estudio de mejoramiento del camino Gamoneda-Barbecho, cumpliendo con el alcance propuesto invocado a la ingeniería vial donde se desarrollaron los estudios necesarios, logrando así un adecuado diseño geométrico acorde a los requerimientos.
- ✿ Tomando como base de referencia, para la aplicación en el diseño geométrico del tramo en estudio y justificación técnica se aplicó la normativa, los conceptos y las sugerencias del manual de diseño geométrico de la ABC.
- ✿ Como es común en los levantamientos topográficos para tramos carreteros se aplicó una poligonal abierta a lo largo del camino, misma que permite el relevamiento de la información para establecer el diseño geométrico.
- ✿ Con la ayuda de imágenes satelitales a través del navegador GOOGLE EARTH, se obtuvieron imágenes satelitales del área de proyecto que ayudaron a tener una mejor apreciación y precisión en el mejoramiento del diseño geométrico del camino actual.
- ✿ De acuerdo a la clasificación funcional según el manual de la ABC, el proyecto pertenece a un camino Desarrollo, pero no por esto deja de ser menos importante. Por lo que se asume: un ancho de plataforma de 7 m, ancho de berma de 0.5m.
- ✿ Para llevar adelante el estudio hidrológico se trabajó con la estación de Gamoneda y el Tejar de esta manera se obtuvieron los caudales razonables de diseño de las obras de drenaje tanto longitudinal como así también la de orden transversal.
- ✿ Se determinó el presupuesto total de 11.585.984.21 bs con un costo por kilómetro de 3.450.26 bs.

- ✿ Se concluye que el presente trabajo es factible técnicamente debido a que el diseño se realizó en condiciones reales referentes a las características topográficas y geológicas de la zona en emplazamiento

5.2 RECOMENDACIONES

- ✿ Se recomienda tener en cuenta antes de iniciar cualquier tipo de estudio la previa consulta o consenso a los pobladores de la zona para evitar problemas de carácter social, referente al impacto directo a sus terrenos adyacentes adyacentes en el tramo
- ✿ Es de prioridad un mantenimiento rutinario y adecuado para reducir el mínimo los costos de reparación a largo plazo, particularmente en lo que se refiere a las cunetas y estructuras de drenaje. El mantenimiento periódico debería incluir limpieza de alcantarillas, entradas y cunetas, eliminar el arrate de las estructuras de drenaje.
- ✿ Es necesario considerar pasos para acequias de riego en las áreas de cultivos próximas al are del proyecto, para evitar improvisaciones, daños en la estructura.
- ✿ Si el ancho de sección hidráulica es menor que al ancho del cauce es recomendable diseñar el ancho mayor o igual que la sección del cauce, para no alterar las condiciones del hidráulica natural del cauce o al menos posible.
- ✿ Se recomienda que las estructuras de drenaje sean diseñadas en un 130% del caudal normal, con la finalidad de evitar colmatación en los ingresos y ahogamiento, debido a que el sistema d drenaje es el aspecto más importante del diseño de caminos.

