

## **CAPITULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

### **1.1. Introducción.-**

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

El presente proyecto consiste en el “**Diseño final de Ingeniería Carretera Ruta Cruce F011 – Yahuanambi**”, que es un tramo que une varias localidades y cuyo alcance abarca a toda la población comprendida dentro de dichas localidades que son aledañas a la ciudad de Villamontes, de igual manera con la implementación de éste proyecto vial se buscara alcanzar una alternativa de ruta más corta en lo que se refiere a la conexión de Tarija (Bolivia), con los países vecinos.

Yahuanambi es un punto estratégico dentro del tramo vial **RUTA F011 IBIBOBO – ESMERALDA**, encontrándose a 19 kilómetros de la localidad de Ibibobo y conectándose a Esmeralda, siendo esta localidad importante dentro del territorio Tarijeño y por ende Boliviano, ya que conecta una triple frontera, con colindancia hacia Paraguay y hacia Argentina, facilitando así el acceso a estos países desde la ciudad Villa Montes y el resto del país, pasando por las comunidades intermedias tales como **Yahuanambi**, Las Moras, El Tuscal y Esmeralda, por citar a las más importantes.

Es un proyecto de gran impacto social, por el hecho que autorizará un desarrollo integral en el área de influencia del proyecto, es decir en forma directa facultará generar condiciones adecuadas para desarrollar esta región.

## **1.2. Justificación.-**

Una de las razones sociales que justifican la construcción del tramo pavimentado radica básicamente en que los habitantes o familias requieren un camino vehicular estable todo el año, y en especial en épocas de cosecha y temporada de pesca, con el objeto de acceder a los mercados de abasto para poder comercializar sus productos pecuarios (ganado vacuno y otros), y con estos mismos ingresos poder acceder a otros productos que no se producen en la zona y de este modo poder tener una alimentación más balanceada y equilibrada, además de convertirse el área involucrada con el proyecto en un polo de desarrollo para la región.

Entre las razones económicas que justifican la implementación del proyecto, es que se tiene una producción tendiente a expandirse ya que se cuenta con los terrenos en condiciones para la producción y en la actualidad existe una producción excedentaria que no es consumida por los productores, lo que implica que este excedente de producción necesita ser comercializada.

Al contar con un camino estable en especial en épocas de cosecha los productos llegan rápido a los diferentes mercados de abasto y son comercializados en buen estado, directamente al consumidor final o al intermediario final, y de esta manera también se reducen las pérdidas por la comercialización de los productos.

Lo que se pretende con el proyecto es mejorar el camino actual mediante la construcción de una carretera pavimentada, debido a que este camino se encuentra en condiciones poco aptas debido a su antigüedad.

En cuanto al diseño geométrico se pretende pavimentar la plataforma mejorando el ancho, peraltar las curvas, mejorar las pendientes longitudinales, mejorar longitudes de tangentes horizontales y subrasantes, mejorar radios de curvas horizontales y longitudes de curvas verticales, proporcionar bombeo a la calzada, proporcionar bermas, etc.

Esta carretera formara parte de un corredor internacional que llega hasta la localidad de Esmeralda siendo esta un punto de vital importancia para el departamento ya que une directamente a los hermanos países de la Argentina y el Paraguay.

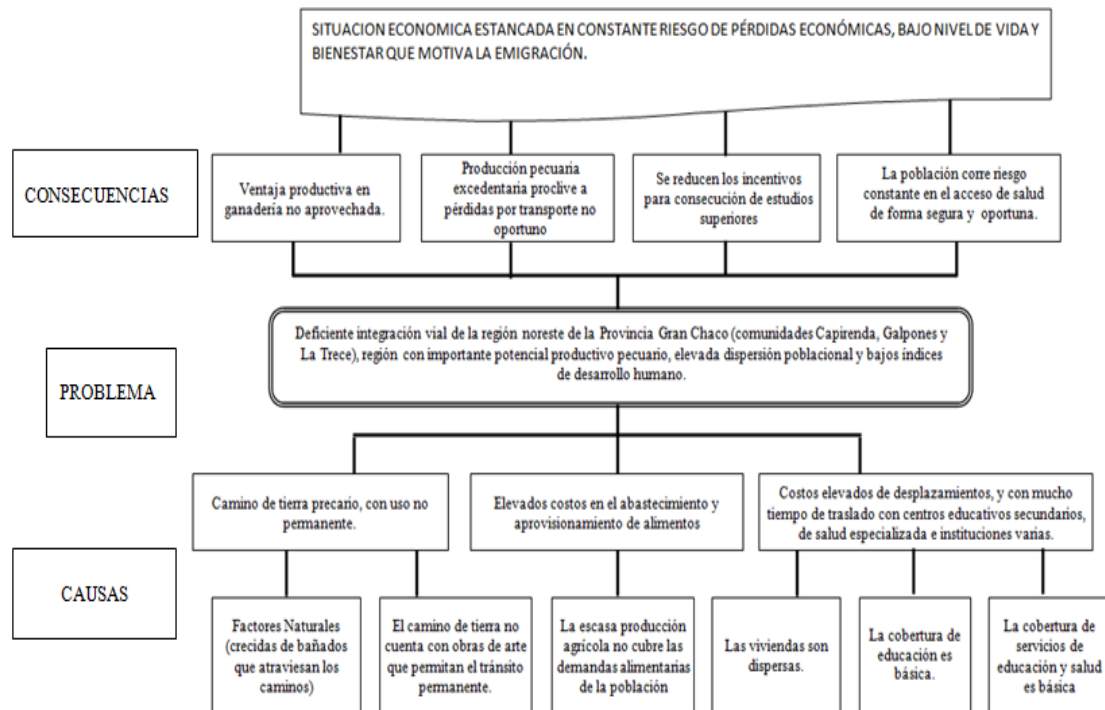
### **1.3.- Situación Problemática**

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

Sin embargo, esta posibilidad se ve frustrada ya que constantemente y en especial en épocas de lluvia las comunidades se encuentran desconectadas entre sí y con el resto de la provincia, por lo que las familias se encuentran ante serios problemas por el tránsito cotidiano precario, no pudiendo transportar la cantidad de producción al mercado, los costos de transporte se encarecen para el abastecimiento de insumos y en la comercialización, los desplazamientos en búsqueda de atención en salud se ponen en riesgo, los jóvenes se ven seriamente perjudicados en su búsqueda de educación en el ciclo secundario, entre otros inconvenientes.

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

**FIGURA 1.1 ÁRBOL DE PROBLEMAS**



Fuente: PDM - Villamontes

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

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

#### **1.4.- Determinación del Problema**

El principal problema a resolver con la construcción de este camino es la vinculación entre las comunidades de Ibibobo ruta F11 comunidades intermedias y la localidad de Yahuanambi en épocas de lluvia, además de reducir los costos generales de viaje, reducir los accidentes de tránsito, aumentar el flujo de moviidades para poder facilitar el traslado de producción agrícola y ganadera.

Al no contar en la actualidad con un camino que reúna las condiciones, las dificultades del uso de la carretera corresponden a sus características geométricas actuales, y crean dificultades técnicas y de operación para los vehículos que circulan por ella, especialmente para automotores pesados. Además se producen frecuentes interrupciones del tráfico en la época de lluvias.

La necesidad e importancia de mejorar la conexión de la zona contando con un camino estable y directo, que facilite la relación con su capital de sección, y los centros de consumo y comercialización de sus productos, conduce a la comunidad a organizarse y solicitar al Gobierno Autónomo Regional de Villa Montes se elabore el estudio de diseño correspondiente a nivel TESA.

Como alternativa se plantea la construcción un camino Pavimentado de 13.8 Km. de longitud con carpeta asfáltica, con diferentes obras de arte mayor y menor que parte desde la comunidad de Ibibobo Ruta F11 hasta la comunidad de Esmeralda, el mencionado camino llegara a cubrir todas las necesidades de las poblaciones beneficiadas, contando con un camino estable en todas épocas del año.

Además que se convertirá en una ruta principal que vinculara la él territorio Boliviano con el Paraguay y la Argentina.

## **1.5.- Objetivos**

### **1.5.1.- Objetivo General**

“Elaborar el diseño final de ingeniería del tramo Cruce F011 – Yahuanambi (Villamontes), en base a las Normas establecidas en el país para el diseño de Carreteras y que responda la premisa de un tránsito rápido, cómodo y seguro.”

### **1.5.2.- Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar el levantamiento topográfico de la zona sobre la cual se diseñará la carretera.
  
- ✓ Plantear alternativas de trazado en planta y elegir la más adecuada para realizar el diseño geométrico (Planimétrico y altimétrico) de la carretera gracias a los puntos obtenidos en el levantamiento topográfico.
  
- ✓ Realizar el estudio hidrológico de las áreas de aporte, en base a las estaciones cercanas a la zona de proyecto.
  
- ✓ Diseñar, analizar los sistemas de evacuación de aguas tales como alcantarillas, cunetas, badenes, en base a los caudales calculados.
  
- ✓ Realizar el estudio de suelos a las muestras extraídas de la subrasante, para conocer todas sus características físico-mecánicas que ayudaran al diseño del paquete estructural.

- ✓ Aforar los tipos de vehículos que transitan por la carretera, en un punto estratégico dentro de la misma, para determinar los ejes equivalentes de la misma.
- ✓ Diseñar, analizar y comparar las alternativas entre pavimento rígido, flexible, y tratamiento en base a los datos obtenidos de los ensayos de suelos y aforos de vehículos y elegir la mejor alternativa técnico – económica.
- ✓ Señalizar tanto vertical como horizontalmente la carretera en base a la normativa vigente.
- ✓ Elaborar la ficha ambiental del proyecto, para determinar la magnitud de los impactos ambientales que se podría ocasionar a la zona de emplazamiento de la carretera.
- ✓ Realizar los cálculos métricos de los ítems así como del análisis de precios unitarios para la elaboración del presupuesto general del diseño de ingeniería.

### **1.6.- Alcance**

El presente alcance de trabajo tomando en cuenta, que se trata del “Diseño final de ingeniería Carretera Cruce F011 – Yahuanambi”, comprende el diseño geométrico y estructural del tramo, ya que este beneficiara a la ciudad de Villamontes y por ende al departamento de Tarija.

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

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

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

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

## **CAPITULO II.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1.- Conceptualización.-**

#### **2.1.1.- Vía o Camino.-**

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

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

#### **2.1.2.- Pavimento.-**

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

#### **2.1.3.- Calzada.-**

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

#### **2.1.4.- Carril.-**

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

### **2.1.5.- Banquina o berma.-**

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

### **2.1.6.- Cuneta.-**

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

### **2.1.7.- Zona de Camino**

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

## **2.2.- Clasificación de las Vías.-**

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

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

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

## **2.3.- Aspectos Complementarios al Diseño.-**

### **2.3.1.- Topografía.-**

#### **2.3.1.1.-Definicion.-**

La topografía es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas y absolutas de los puntos sobre la tierra, así como la representación en un plano de una porción de la superficie terrestre.

Para lograr su objetivo, la topografía se valdrá de diversos métodos y procedimientos así como la de instrumentos de alta y de baja precisión; para luego representar los datos obtenidos en un plano topográfico construido a partir de coordenadas rectangulares y a una determinada escala.

#### **2.3.1.2.-Tipo de Levantamiento.-**

El tipo de Levantamiento corresponde al Longitudinal o de vías de Comunicación.

Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, donde el objetivo es señalar las características planimétricas y altimétricas de la superficie terrestre donde se proyectara e implantara una obra vial.

Ese tipo de levantamientos generalmente son los más completos y tienen igual incidencia los elementos de distancia, direcciones y alturas.

#### **2.3.1.3.- Curvas de Nivel.-**

Una curva de nivel es una línea dibujada en un mapa o plano que conecta todos los puntos que tienen la misma altura con respecto a un plano de referencia.

Las curvas de nivel tienen como función la de representar en un plano en planta y elevación al mismo tiempo, las formas, relieves y características o configuración de un respectivo trozo de terreno sobre el cuál se hace el estudio.

El trazado de las curvas de nivel debe hacerse con líneas finas y de espesor uniforme, y por cada cinco líneas debe trazarse una más gruesa, a intervalos regulares se marca numéricamente la altura o elevación de las curvas en pies o metros según el sistema, respecto al nivel del mar o a una elevación arbitraria, según sea el caso.

### **2.3.2.- Criterios de Diseño Planimétrico.-**

#### **2.3.2.1.- Peralte.-**

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

Para evitar estos peligros, la norma propone ciertos valores como se ven en el CUADRO 2.1 en consideración de los factores principales siguientes:

- El flujo de tráfico puede circular a velocidades menores que las velocidades de diseño.
- La longitud de transición del peralte resulta prácticamente viable.
- Categoría del camino, topografía de la región y velocidades directrices.

- Razones económicas, reducción de costos de construcción y mantenimiento.
- Condiciones climáticas de la zona.

**CUADRO 2.1 PERALTES**

<b>CRITERIOS DE APLICACIÓN</b>	<b>e máx. Deseable</b>	<b>e máx. Absoluto</b>
<b>Zonas rurales con probabilidad de formación de hielo o acumulación de nieve sobre la calzada. Carreteras de categoría 0 y I.A</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Zona llanas y ondulaciones, sin probabilidad de hielo o acumulación de nieve sobre la calzada</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Zonas montañosas, sin probabilidad de formación de hielo o acumulación de nieve sobre la plataforma</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

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

### **2.3.2.2.- Coeficientes de Fricción.-**

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

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

### 2.3.2.3.- Curvas Circulares.-

#### Elementos de la Curva Circular.-

En la Figura 2.1 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

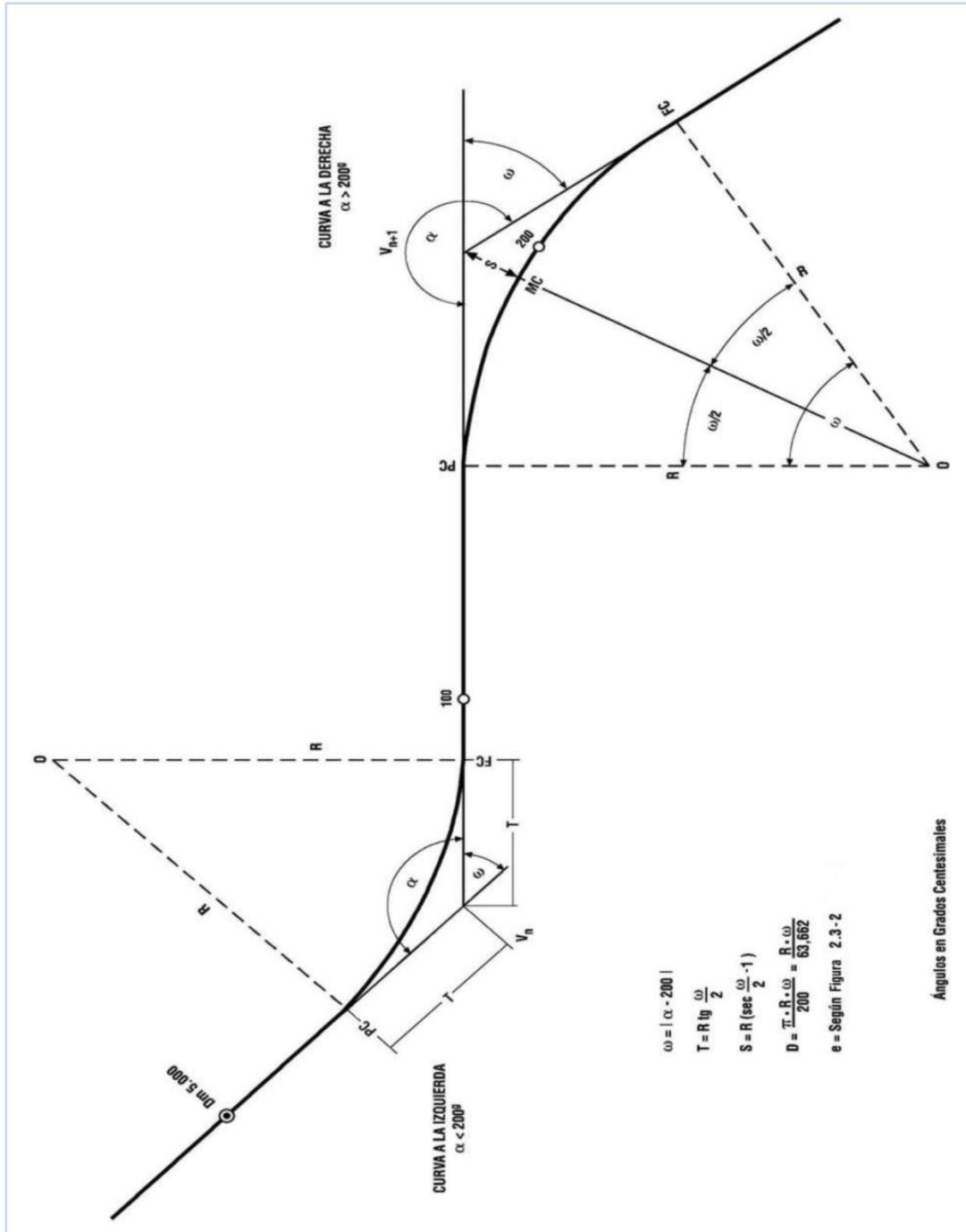
La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

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

- **Vn:** Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
- **$\alpha$ :** Angulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
- **$\omega$ :** Angulo de Deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
- **R:** Radio de Curvatura del arco de círculo (m)
- **T:** Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m).  
  
Determinan el principio de curva **PC** y fin de curva **FC**.
- **S:** Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)
- **D:** Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia **PC** y **FC** (m)
- **e:** Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)

- **E:** Ensanche; sobreesfuerzo que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva

**FIGURA 2.1. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR**



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

### ✚ Radios mínimos de Curvas Circulares.-

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

$$R_{min} = \frac{v^2}{127*(e_{max}+f)} \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

$R_{min}$  = Radio de Curva mínimo (metros)

$V$  = Velocidad Directriz (Km. /h)

$e$  = Peralte (m/m)

$f$  = Coeficiente de fricción a dimensional

## CUADRO 2.2 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES

<b>Caminos Colectores – Locales – Desarrollo</b>			
<b>Vp</b>	<b>e<sub>máx</sub></b>	<b>f</b>	<b>R<sub>min</sub></b>
<b>km/h</b>	<b>(%)</b>		<b>(m)</b>
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
<b>Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios</b>			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

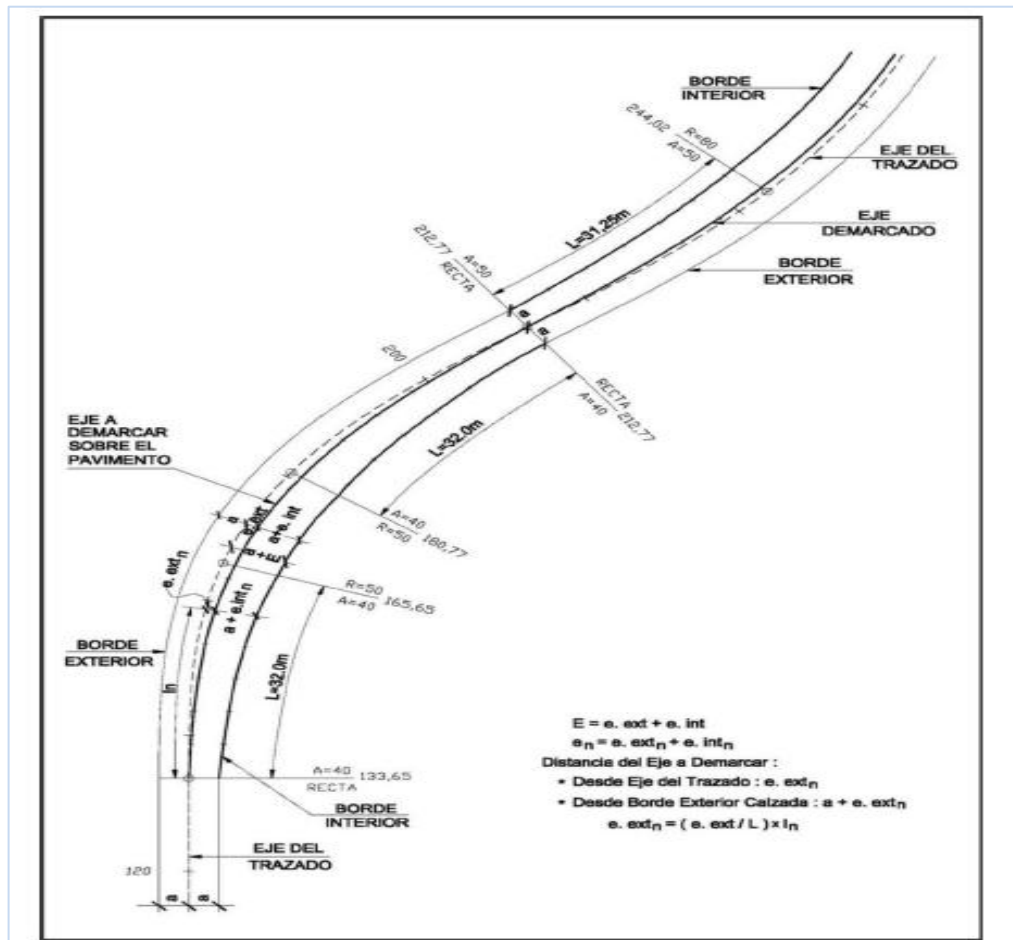
Fuente: “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC

### 2.3.2.4.- Curvas de Transición.-

La incorporación de elementos de curvatura variable con el desarrollo, entre recta y curva circular o entre dos curvas circulares, se hace necesaria en carreteras y caminos por razones de seguridad, comodidad y estética. El uso de estos elementos permite

que un vehículo circulando a la Velocidad Específica correspondiente a la curva circular, se mantenga en el centro de su carril. Esto no ocurre, por lo general, al enlazar directamente una recta con una curva circular, ya que en tales casos el conductor adopta instintivamente una trayectoria de curvatura variable que lo aparta del centro de su carril e incluso lo puede hacer invadir la adyacente, con el peligro que ello implica.

**FIGURA 2.2 CURVA DE TRANSICIÓN**



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

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

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

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

La curva de transición adoptada es la de espiral de Cornu o Clotoide, y cuya ecuación paramétrica es la siguiente:

$$R \times L = A^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

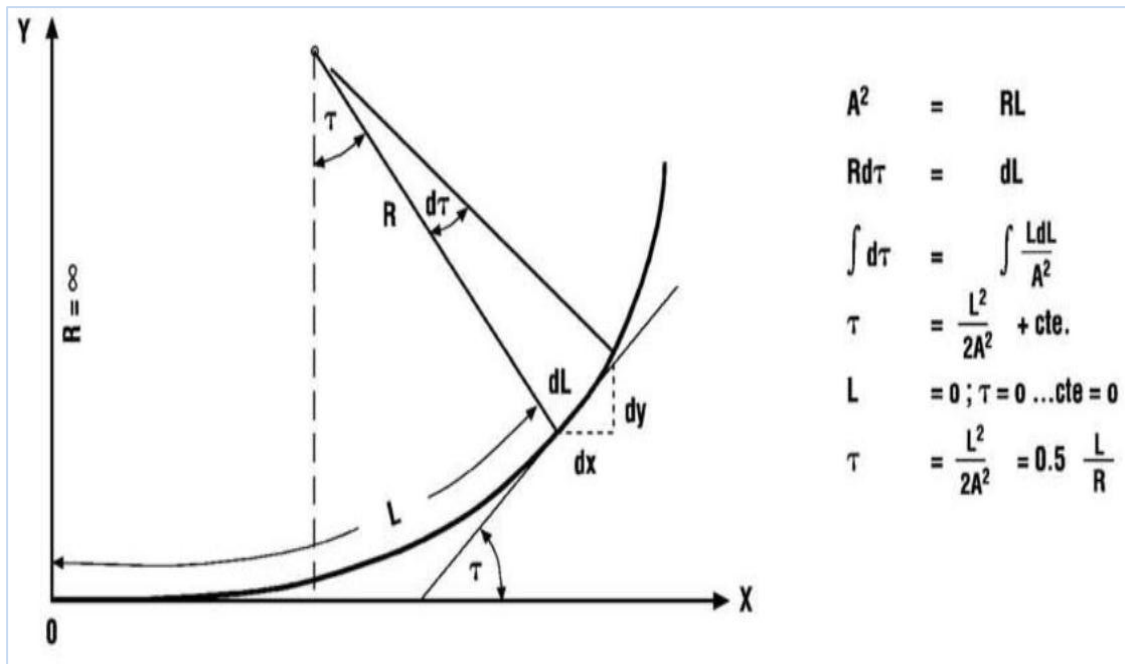
Dónde:

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

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

$A$  = Parámetro de la Clotoide (m).

**FIGURA 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CLOTOIDE**



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

### Elección del parámetro A de la Clotoide.-

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

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

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

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

### Elementos del conjunto arco de enlace curva circular.-

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

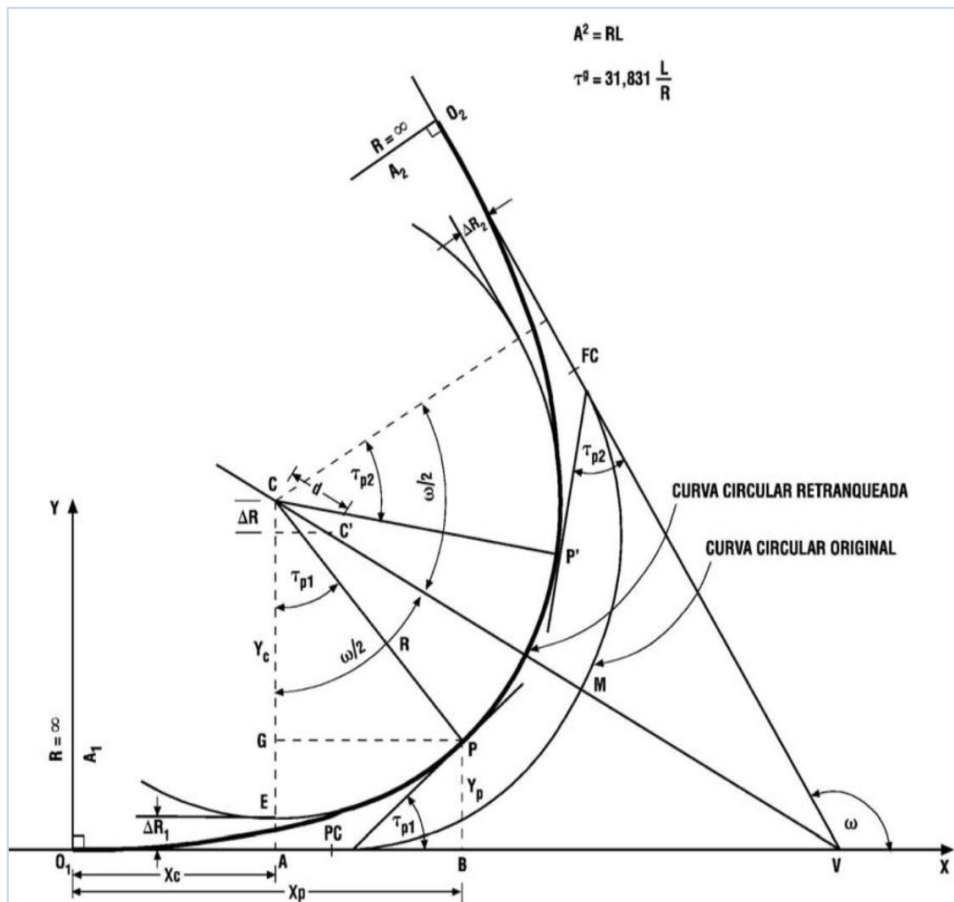
El radio de la curva circular permanece constante y el desarrollo de ésta es parcialmente reemplazado por secciones de las clotoides de enlace.

La Figura 2.4, ilustra los conceptos antes mencionados y permite establecer las relaciones necesarias para el replanteo. Los Elementos del arco de enlace curva circular son:

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

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

**FIGURA 2.4 ELEMENTOS DEL CONJUNTO ARCO DE ENLACE CURVA CIRCULAR**



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

### 2.3.3.- Criterios de Diseño Altimétrico.-

#### 2.3.3.1.- Pendientes Máximas del Perfil Longitudinal.-

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

Los valores correspondientes a las categorías de diseño adoptadas para el Proyecto se presentan en el siguiente cuadro.

**CUADRO 2.3 PENDIENTES MÁXIMAS ADMISIBLES**

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/hr)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Desarrollo</b>	10 a 12	10 a 9	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<b>Local</b>	-----	9	9	8	8	-----	-----	-----	-----	-----
<b>Colector</b>	-----	-----	-----	8	8	8	-----	-----	-----	-----
<b>Primario</b>	-----	-----	-----	-----	-----	6	5	4,5	-----	-----
<b>Autorrutas</b>	-----	-----	-----	-----	-----	6	5	4,5	-----	-----
<b>Autopistas</b>	-----	-----	-----	-----	-----	5	-----	4,5	-----	4

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

#### 2.3.3.2.- Distancias de Visibilidad.-

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

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

##### **Distancia de visibilidad de frenado.-**

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

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

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

$$Df = \frac{V \cdot t}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f + i)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

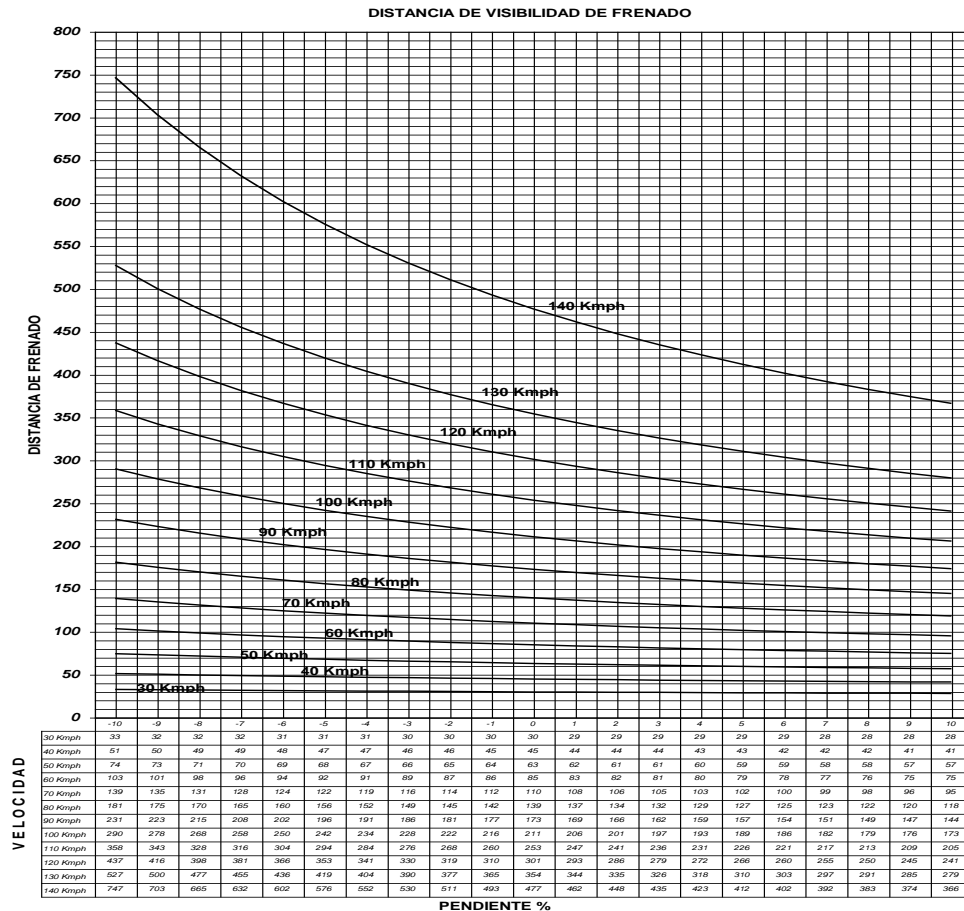
Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado.

V = Velocidad de diseño km/h.

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

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

**FIGURA 2.5 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE FRENADO**



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

### **✚ Distancia de visibilidad para sobrepaso.-**

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

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

El cuadro 2.4 entrega los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

**CUADRO 2.4 DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO**

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

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

### **2.3.3.3.- Curvas Verticales.-**

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

$$L = K \times J \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

L = 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.

J =  $[i_1 - i_2]$  = 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.

#### **Curvas Verticales Convexas.-**

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

$$K = \frac{Df^2}{4.12} \text{ (Condiciones diurnas); } K = \frac{Df^2}{2.7} \text{ (Condiciones nocturnas)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

K = Parámetro de la parábola en metros.

Df = Distancia mínima de visibilidad de frenado metros

#### **Curvas Verticales Cóncavas.-**

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

$$K = \frac{2 * Df}{J} - \frac{1.2 + 0.035 * Df}{J^2} \text{ (L < Df)} ; K = \frac{Df^2}{1.2 + 0.035 * Df} \text{ (L > Df)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

$K$  = Parámetro de la parábola en metros.

$D_f$  = Distancia mínima de visibilidad de frenado metros

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

$J = [i_1 - i_2]$  = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en m/m.

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

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

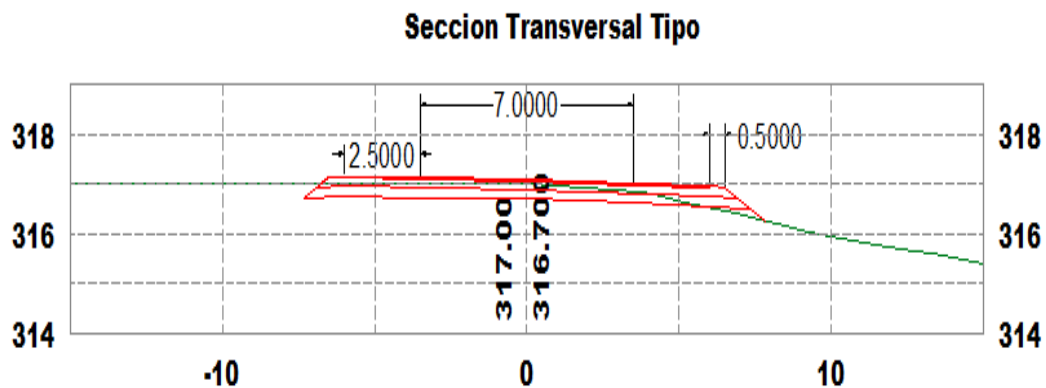
#### 2.3.3.4.- Seccion Transversal.-

##### ✚ Calzada.-

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

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

**FIGURA 2.6 SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO**



Fuente: Diseño Geométrico en el Programa Land Cad

### **Berma.-**

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

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

### **Sobreancho de Plataforma (SAP).-**

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

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

Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor que 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la berma deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las bermas. En el cuadro 2.5 mostramos el valor de calzada, berma y SAP, adecuados a los parámetros anteriormente citados.

**CUADRO 2.5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE CALZADA, BERMA Y SAP**

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

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

**🚦 Pendiente Transversal de la Calzada.-**

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

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

## CUADRO 2.6 PENDIENTE TRANSVERSAL DE LA CALZADA

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

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

### Taludes de corte y terraplén

Debido a que no existen taludes de corte sol hacemos referencia al talud de terraplén para el cual se adoptó un talud de 2:1 (V/H) como talud general para todo el tramo en estudio.

### 2.3.4.- Volúmenes de Movimiento de Tierras

#### 2.3.4.1.- Aspectos Generales.-

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

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

### 2.3.4.2.- Calculo de los Volúmenes de Movimiento de Tierras

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

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

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

$$V = \frac{L}{2} * (A1 + A2) \text{ (Ecuación 7)}$$

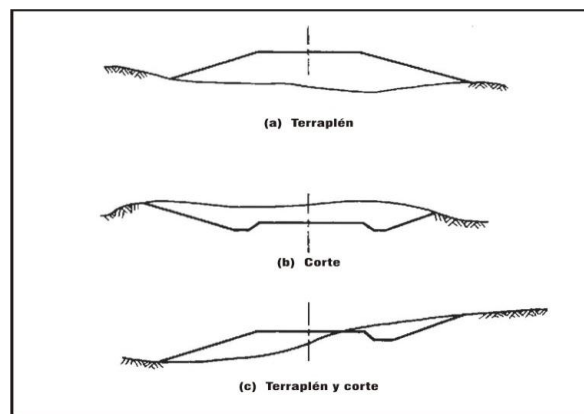
Dónde:

V = volumen (m<sup>3</sup>)

A1 y A2 = áreas extremas (m<sup>2</sup>)

L = distancia entre las secciones transversales (m)

**FIGURA 2.7 TIPOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL**



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

### **2.3.5.- Mecánica de Suelos.-**

#### **2.3.5.1.- Estudio de la subrasante.-**

Básicamente ésta investigación está orientada a conocer las características y la calidad de los suelos que constituyen el perfil de la subrasante natural, en función al conocimiento del tipo de suelos a lo largo del trazado, su caracterización, su clasificación, y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, que permiten definir la aptitud de dichos materiales para ser utilizados como material de fundación del paquete estructural, aptitud resumida en el conocimiento de su capacidad de soporte como base de sustentación para la implementación de pavimentos flexibles o rígidos.

Los materiales a ser empleados en la regularización de la subrasante serán los propios materiales de ésta. En el caso de sustitución o adición de material, los mismos serán provenientes de las fuentes indicadas en el proyecto.

Deberán tener un diámetro máximo de partícula de 7.00 cm. El índice de soporte California (CBR), determinado por el ensayo AASHTO T-193, con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180-D y para la densidad seca correspondiente al 95% de la máxima determinada en este ensayo, deberá ser igual o mayor que la considerada para el dimensionamiento del pavimento (Capa superior de los terraplenes), y la expansión del material deberá ser inferior al 2%, determinada conforme los mismos ensayos.

#### **2.3.5.2.- Estudio del Material Cuerpo del Terraplén.-**

Los terraplenes son segmentos de la carretera cuya conformación requiere el depósito de materiales provenientes de cortes o préstamos dentro de los límites de las secciones de diseño que definen el cuerpo de la carretera.

La construcción de terraplenes comprende; esparcimiento, conveniente humedecimiento o desecación y compactación de los materiales provenientes de cortes o préstamos, para la construcción del cuerpo del terraplén, hasta los 40 cm. Por debajo de la cota correspondiente a la subrasante.

En la ejecución del cuerpo de los terraplenes se utilizarán suelos con CBR igual o mayor que 4% y la expansión máxima de 4% correspondiente al 90% de la densidad seca máxima del ensayo AASHTO T- 180D y para el ensayo AASHTO T-193 respectivamente.

Cuando por motivos de orden económico el cuerpo del terraplén deba ser construido con materiales de soporte inferiores al indicado hasta el mínimo de 2%, se procederá al aumento del grado de compactación o sustitución del material de modo de, obtener el CBR mínimo indicado en la tabla siguiente:

Este procedimiento también se aplica a los tramos en corte o de terraplenes existentes.

#### **CUADRO 2.7 RELACION DE CBR CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD**

<b>Profundidad por Debajo del Nivel</b>	<b>CBR Mínimo</b>
<b>de la Subrasante (cm)</b>	<b>Requerido</b>
60 a 90	3%
Mayor a 90	2%

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

#### **2.3.5.3.- Estudio de la capa Sub base.-**

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

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

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

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

**CUADRO 2.8 GRANULOMETRÍA CAPA SUB BASE**

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

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

#### **2.3.5.4.- Estudio de la capa Base.-**

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

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

**CUADRO 2.9 % POR PESO DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMICES  
CON MALLA CUADRADA SEGÚN AASHTO T-11 Y T-27**

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

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

De la misma manera deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La fracción que pasa el tamiz No. 40 deberá tener un límite líquido inferior o igual ( $\leq$ ) a 25% y un índice de plasticidad inferior o igual ( $\leq$ ) a 6%. Pasando de estos límites, el equivalente de arena deberá ser mayor ( $>$ ) que 30%.
- b) El porcentaje del material que pasa el tamiz No. 200 no debe exceder a 2/3 del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.
- c) El índice de Soporte de California no deberá ser inferior a 60% y la expansión máxima será de 0.5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180 D.
- d) El agregado retenido en el tamiz No. 10 debe estar constituido de partículas duras durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y exentas de materia vegetal, terrones de arcilla u otra sustancia perjudicial, los agregados gruesos deberán tener un desgaste no superior a 50% a 500 revoluciones, según lo determine el ensayo AASHTO T-96.

### 2.3.5.4.- Estudio de la capa de Rodadura o Carpeta Asfáltica.-

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

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

**CUADRO 2.10 % EN PESO, QUE PASA CRIBAS CON MALLAS CUADRADAS, AASHTO T-11 Y T-27**

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

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

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

### **2.3.6.- Hidrología.-**

#### **2.3.6.1.- Definición.-**

La Hidrología es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

#### **2.3.6.2.- Objetivo de la Hidrología dentro del diseño de Carreteras.-**

El objetivo fundamental de la Hidrología dentro del diseño de carreteras es el de obtener los caudales de diseño de las obras de drenaje necesarias para la correcta evacuación de agua proveniente de las precipitaciones sobre la carretera, ya sea drenaje transversal, superficial o subsuperficial.

En términos simples, el estudio hidrológico se divide en 5 pasos característicos:

- Elección del Período de Retorno (T)
- Caracterización hidrográfica del Área de Estudio
- Recopilación de datos meteorológicos
- Análisis de los datos hidrológicos
- Estimación de los caudales de diseño

Cabe señalar que los procedimientos utilizados permiten estimar los caudales causados fundamentalmente por lluvias y no incluyen los escurrimientos provenientes de deshielos o cuencas cubiertas de nieve.

#### **2.3.6.3.- Drenaje Trasversal.-**

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a ésta, riesgos al tráfico o a la propiedad adyacente. Se entiende por alcantarilla una estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, sea de hasta 6 m; Losas de luces mayores, se tratarán como puentes en lo relativo a su cálculo hidráulico. La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico en la carretera, el peso de la tierra sobre ella, las cargas durante la construcción, etc., es decir, también debe cumplir requisitos de tipo estructural.

#### **Badenes.-**

Las estructuras tipo badén son soluciones efectivas cuando el nivel de la rasante de la carretera coincide con el nivel de fondo del cauce del curso natural que intercepta su alineamiento, porque permite dejar pasar flujo de sólidos esporádicamente que se presentan con mayor intensidad durante períodos lluviosos y donde no ha sido posible la proyección de una alcantarilla o puente.

Para el diseño hidráulico se idealizará el badén como un canal trapezoidal con régimen uniforme.

Este tipo de flujo tiene las siguientes propiedades:

**a)** La profundidad, área de la sección transversal, velocidad media y gasto son constantes en la sección del canal.

b) La línea de energía, el eje hidráulico y el fondo del canal son paralelos, es decir, las pendientes de la línea de energía, de fondo y de la superficie del agua son iguales. El flujo uniforme que se considera es permanente en el tiempo.

#### **Alcantarillas de Alivio.-**

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

$$Q = C * i * A \text{ (Ecuación 8)}$$

El coeficiente de escorrentía puede ser un valor ponderado por el coeficiente de escorrentía de la superficie de rodadura de la carretera y el coeficiente correspondiente al resto del área de aporte.

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

#### **Alcantarillas de cruce.-**

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

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

**a) Método por comparación.-**

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

**b) Método de Talbot.-**

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

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3} \text{ (Ecuación 9)}$$

Dónde:

a = Área hidráulica (m<sup>2</sup>)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Área de la cuenca en (Has)

Valores de “C”

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

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

**c) Método racional.-**

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

$$Q = C * i * \frac{A}{3.6} \text{ (Ecuación 10)}$$

Dónde:

Q = Caudal (lt/seg)

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

A = Área de la cuenca (Has)

$$Q = 27.52 * C * i * A \text{ (Ecuación 11)}$$

i = (cm/hr)

C = Coeficiente de escorrentía.

Valores de “C”

Asfaltos	0.75-0.95
Concreto hidráulico	0.70-0.90
Suelos impermeables	0.40-0.65
Ligeramente permeables	0.15-0.40
Suelos permeables	0.05-0.20

En base a la ecuación racional siempre y cuando se tengan los valores confiables sobre la intensidad de precipitación el cual estará determinado a partir de las precipitaciones máximas diarias utilizando distribución de ajustes probabilísticas como: distribución normal, logarítmica-normal, Pearson y otros que nos permiten encontrar una correlación entre la intensidad de precipitación el tiempo de retorno y

el de concentración, se recomienda tomar el valor de intensidad de precipitación en los 10 min de tiempo de concentración y un periodo de retorno de 50 a 100 años.

Determinado el caudal que va a pasar por el punto donde se va a ubicar la alcantarilla utilizando la ecuación de Manning donde Q ya es un dato, además tenemos la pendiente longitudinal de la alcantarilla en base al lecho del río, el coeficiente “n” dependiendo de la rugosidad del material de la alcantarilla dejando como incógnita el valor del área hidráulica necesaria que por iteración de la puede obtener ya sea esta en sección circular (diámetro) o rectangular (base por altura).

**d) Método de sección y pendiente.-**

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

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2} \text{ (Ecuación 12)}$$

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

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

**e) Método de precipitación pluvial.-**

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

$$Q = 0.022 * C * i * A * \sqrt[4]{\frac{S}{A}} \text{ (Ecuación 13)}$$

Dónde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/seg)

c = Coeficiente de escorrentía

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

S = Pendiente longitudinal del lecho (m/Km)

A = Área de la cuenca (Has)

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

En el tramo en estudio solo se ubicaran alcantarillas de este tipo, que también funcionarán como alcantarillas de alivio debido a que no se encontraron quebradas que cruzan la carretera y colocándolas a distancias prudentes una de la otra, siendo tomadas como obras de prevención de crecidas debido a los bajos caudales que se presentan en la zona.

#### **2.3.6.4.- Drenaje de la Plataforma.-**

El objetivo último del diseño de las obras de drenaje de la plataforma es mantener las pistas de tránsito libres de inundación para la probabilidad de la precipitación de diseño.

Esto incluye el análisis de los distintos tipos de obras necesarias para recoger y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de aguas lluvias que caen directamente sobre la franja de expropiación de la carretera, aguas superficiales que provienen de áreas vecinas fuera de la franja de expropiación, que no son interceptadas y llegan al camino, como también aguas superficiales que llegan a la carretera en los cruces de caminos.

### **Canales Longitudinales.-**

Dependiendo de su ubicación, los canales longitudinales podrán denominarse canales interceptores (también llamados contrafosos de coronación) o cunetas laterales.

Estos canales interceptores pueden estar contruidos en cortes o en terraplenes.

En el caso de los canales interceptores en cortes, si las aguas recogidas por los taludes de cortes que viertan hacia el camino dan lugar a la erosión o a deslizamiento de los mismos se proyectará un contrafoso o zanja protectora sobre la coronación del corte para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje.

Se recomienda no colocar estas zanjas paralelamente al camino, porque los tramos finales del canal quedan con una pendiente excesiva, sino que, por el contrario, se conducirá el trazado del canal hacia el interior de la hoya, siguiendo las pendientes admisibles para el tipo de terreno o revestimiento.

Los canales o cunetas laterales se dimensionan utilizando la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2} \text{ (Ecuación 14)}$$

### **2.3.7.- Estudio de Tráfico.-**

#### **2.3.7.1.- Generalidades.-**

El método o técnica más utilizada en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento con capas finales de rodadura tanto asfálticas como de concreto hidráulico, siempre se refiere a la AASHTO; en este método la información requerida en las ecuaciones de diseño incluye: la carga por eje, la configuración del mismo, así como el número de aplicaciones o paso de este eje sobre la superficie de pavimento.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 kN o 18 kips<sup>2</sup>, por lo que se les denominará “Equivalent simple axial load” o ESAL (ejes equivalentes).

#### **2.3.7.1.- Tipos de flujo de Tráfico.-**

El flujo de tráfico se puede dividir en dos tipos primarios. Entendiendo que tipo de flujo está ocurriendo en una situación dada, nos puede ayudar a decidir que métodos de análisis y descripciones son los más relevantes.

El primer tipo es denominado flujo ininterrumpido, y es el flujo regulado por interacciones vehículo-vehículo e interacciones entre los vehículos y la vía. Por ejemplo, los vehículos que viajan en una vía interurbana están participando de un flujo ininterrumpido.

El segundo tipo de flujo de tráfico es el llamado flujo interrumpido. Este flujo es regulado por un medio externo, como un semáforo. Bajo condiciones de flujo interrumpido, las interacciones vehículo-vehículo y vehículo-vía juegan un papel secundario en la definición del flujo de tráfico. Este tipo de flujo es el que vamos a estudiar en la presente tesis de investigación.

#### **2.3.7.2.- Transito.-**

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

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

- Periodo de Diseño: 20 años (2013-2032)
- Tráfico Promedio Diario en dos direcciones (ADT)
- Número de Carriles en cada Dirección
- Porcentaje de todos los Camiones en el carril de diseño
- Porcentaje de Camiones en la Dirección de Diseño

Es importante aclarar que el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) corresponde al valor total del tráfico que circula en ambas direcciones de una carretera en un día promedio, de modo que si se tiene una carretera de únicamente dos carriles (uno por sentido de tráfico), podría introducirse el valor de 50%, es decir que la mitad de tráfico circula en cada sentido, sin embargo, en carreteras que típicamente van más cargadas en un sentido (por ejemplo en zonas agrícolas o mineras) se prefiere utilizar el valor de 60%.

#### **2.3.7.3.- Composición del Tráfico y Número de Ejes Equivalentes ESALs.-**

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

De una manera simple, podríamos definir el número acumulado de ESALs como un valor que representa a la totalidad del tráfico considerando los diferentes tipos de vehículos, configuración de ejes y llantas, convertidos a un número equivalente de

ejes simples cuyo peso es de 18,000 lb. (80 KN). En el ensayo de carreteras de AASHTO.

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

- Porcentaje del ADT
- Tasa de crecimiento
- Factor Camión Promedio Inicial (TF)
- Tasa de Crecimiento del TF

### **2.3.8.- Diseño del Pavimento Flexible (Alternativa 1).-**

#### **2.3.8.1.- Función del Pavimento.-**

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

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

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

#### **2.3.8.2.- Factores de Diseño.-**

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

- Tráfico
- Propiedades de la Subrasante

- Materiales de Construcción
- Condiciones Climáticas, Ambientales y Drenaje

Para el propósito de este estudio se realizaron estudios previos de Suelos y Materiales, Tráfico e Hidrología. Obteniendo los datos necesarios para el diseño del pavimento.

### **2.3.8.3.- DIPAV 2.0.-**

El diseño es elaborado por el programa DIPAV 2.0, software elaborado por el Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH), al igual que su antecesor se basa en los conceptos de la Guía de diseño AASHTO versión 1993 por lo que la parte de cálculos y ecuaciones del programa son las mismas que las utilizadas en la versión anterior de DIPAV, se basa en los métodos y ecuaciones desarrollados en la Guía “AASHTO Pavement Overlay Desing.”

### **🚦 Serviciabilidad.-**

La Serviciabilidad de un pavimento está definida como la habilidad de servir a tráfico de alto volumen y alta velocidad. Se mide por medio del Índice de Serviciabilidad Actual “PSI”, que es una escala que va desde el 5 (camino perfecto) hasta 0 (camino imposible).

#### **i. Serviciabilidad Inicial.-**

La Serviciabilidad Inicial (po) al valor de PSI, es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción.

Tiene un rango en una escala de 0 a 5. El promedio de serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles en el Ensayo de Carreteras de la AASHTO fue 4.2, el cual es normalmente utilizado en los diseños de pavimentos flexibles nuevos.

En la mayoría de los casos la Serviciabilidad Inicial debe ser mayor a 4. Según la AASHTO tenemos:

➤ *Pavimentos Flexibles:* **po = 4.2**

➤ *Pavimentos Rígidos:* po = 4.5

## ii. **Serviciabilidad Terminal.-**

Serviciabilidad Terminal “pt” es el valor de PSI mínimo tolerable de un pavimento.

Cuando la Serviciabilidad de un pavimento alcanza este valor, se requiere rehabilitación. Para volúmenes bajos de tránsito la AASHTO recomienda un valor de **pt = 2.0**

### 2.3.8.4.- **Conversión de los Vehículos a ESALs/vehículo.-**

Para transformar cada tipo de carga que actuará sobre el pavimento se determina el factor de equivalencia de carga LEF (Load Equivalent Factor).

#### **Factor de Equivalencia de Ejes.-**

Este factor relaciona la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje con la producida por el eje de 18kip. Esto se lo calcula con la siguiente expresión:

#### **(Ecuación 15)**

$$LEF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ejes de } 80 \text{ kN(ESALs) que producen una pérdida de Serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes de "x" kN que producen una misma pérdida de Serviciabilidad}}$$

x : Carga para la cual se calcula el factor de equivalencia

Como los esfuerzos varían con el tipo y espesor del pavimento, entonces los LEFs de las cargas no son constantes. Otro factor que varía los LEFs es la Serviciabilidad que se adopta para el diseño.





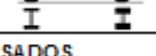
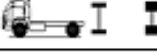


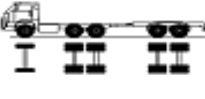
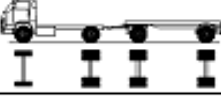
### ✚ **Calculo del Factor Camión.-**

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

#### **a). Configuración de Ejes de los Vehículos**

De acuerdo con los censos de origen y destino, la configuración de los ejes de los vehículos se puede ver en el cuadro 2.11.

**CUADRO 2.11 CONFIGURACION DE EJES**

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

Fuente: Teoría Flujo de Tráfico en Vías Urbanas

En el caso de los camiones articulados, los aforos de tráfico demuestran que en su mayoría son del tipo (122) un eje simple delantero y 2 ejes Tandem.

**b). Cargas de los Ejes.-**

Según el Decreto Ley N°11771, los Límites de la Ley de Cargas para los diferentes tipos de ejes se pueden ver en el cuadro 2.20.

**CUADRO 2.12 LÍMITES DE CARGAS POR EJE DECRETO LEY N°11771**

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

Fuente: Manual de Diseño AASHTO

**✚ Cálculo del Factor Camión de Cada Vehículo.-**

DIPAV calcula los FC de acuerdo al peso de cada eje y su configuración según se detalla en Factores equivalentes de carga. La forma de introducir los datos es la siguiente:

- 1 Para eje simple
- 2 Para eje tandem
- 3 Para eje tridem

El eje delantero se ubica siempre como el primero y seguir en orden con el 1er, 2do y 3er eje trasero.

Finalmente, puesto que los Factores Equivalentes vehiculares dependen del desempeño mismo del pavimento, se verifica con una estimación el número

estructural para el caso de pavimento flexible, el cual es modificado una vez que se calcule el valor real mediante DIPAV.

De acuerdo a la ley de cargas, el factor camión para los diferentes tipos de vehículos pesados se ve en el cuadro 2.13.

**CUADRO 2.13 FACTOR CAMIÓN DE ACUERDO A LA LEY DE CARGAS**

PAVIMENTO FLEXIBLE											
CÁLCULO DE FACTORES DE CARGA (FACTOR CAMIÓN)											
DESCRIPCION	VEH.LIV	CAMIONETAS	MICROBUS	BUSMEDIANO	BUSGRANDE	CAMION MEDIANO	CAMION GRANDE 2EJES	CAM.GRANDE 3EJES	CAM.SEMIREMOLQUE	CAM.C/REMPOLQUE	
Nomenclatura	Eje Delantero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1er Eje Trasero	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
	2do Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
	3er Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Carga por Eje (ton)	Eje Delantero	1	1,6	3	4,2	7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
	1er Eje Trasero	1	3,3	6,2	8,3	14	5,6	8,8	14,4	14,4	11,2
	2do Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	14,4	8,8
	3er Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,8
Factor Camión	Eje Delantero	0,00027	0,00143	0,01695	0,06825	0,550199986	0,224289998	0,224289998	0,224289998	0,224289998	0,224289998
	1er Eje Trasero	0,00027	0,02509	0,3391	1,064659953	0,756820023	0,224289998	1,328780055	0,845459998	0,845459998	0,308530003
	2do Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0,845459998	1,328780055
	3er Eje Trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,328780055
Total Ejes Equivalentes	0,00054	0,026520001	0,35605001	1,132910013	1,307019949	0,448579997	1,553069949	1,069749951	1,915210009	3,190380096	
Total Número de Vehículos	3401435	1360720	1360720	679995	2039985	1870990	1530810	850085	113150	85045	
ESAL's	1837	36086	484484	770373	2666301	839289	2377455	909378	216706	271326	

Fuente: Programa DIPAV 2.0

Como se utilizan las cargas máximas, se asume que el factor TF no cambia con el tiempo, entonces el valor de la tasa de crecimiento del TF es 0.

**✚ ESALs de Diseño.-**

El número de carriles en la dirección de diseño es igual a uno, en tal caso el porcentaje de vehículos pesados que circula en el carril de diseño es el 100%.

Generalmente el Factor de Distribución Direccional de camiones es igual a 50%, o sea que el mismo número de vehículos pesados circula en ambas direcciones.

Se introducen los datos en el programa DIPAV, utilizando las tasas de crecimiento compuestas. De los resultados del cálculo podemos observar que aunque los porcentajes de los vehículos livianos son mayores, dan valores insignificantes de ESAL'S, concluyendo que la cantidad de vehículos pesados es la más importante.

**CUADRO 2.14 CALCULO DE ESAL´S**

PAVIMENTO FLEXIBLE											
CÁLCULO DE FACTORES DE CARGA (FACTOR CAMIÓN)											
DESCRIPCION	VEH.LIV	CAMIONETAS	MINIBUS	MICROS	OMNIBUS	CAM.PEQUEÑO	CAM.MEDIANO	CAM.GRANDE	CAM/ACOPLADO	OTROS VEHICULOS	
Total Ejes Equivalentes	0.00044	0.0142	0.964370012	3.923799992	22.8716507	2.587610006	2.840650082	9.395950317	8.059760094	10.73213959	
Total Número de Vehículos	3401435	1360720	1360720	679995	209995	1870990	1530810	850085	113150	85045	
ESAL's	1497	19322	1312238	2688164	46657824	4841392	4348495	7987356	911962	912715	

Fuente: Programa DIPAV 2.0

### 2.3.8.5.- Confiabilidad.-

La Confiabilidad de un proceso de diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección diseñada con ese proceso rendirá satisfactoriamente con las condiciones de tráfico y ambientales para el período de diseño.

Los parámetros que miden esa confiabilidad son dos:

- Nivel de Confiabilidad
- Desviación Estándar

En cierto modo, esta variable probabilística es una indicación del porcentaje del pavimento que estará en condiciones operativas al final de su vida de diseño.

Es decir que si un pavimento se diseña con un 85% de confianza, se espera que el 85% del pavimento se encuentre en condiciones operativas y un 15% del mismo haya "fallado", es decir que tenga algún tipo de deterioro presente antes de cumplir con su período de vida útil.

## CUADRO 2.15 NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO SEGÚN NIVEL DE TRÁFICO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Manual de diseño AASHTO Parte I

Para el proyecto se adoptó un nivel de confianza del 85 %.

### 2.3.8.6.- Desviación Estándar.-

La desviación Estándar es una medición de los errores o variabilidad de los datos introducidos, propiedades de los materiales, tráfico, propiedades de la subrasante, condiciones climáticas y calidad de construcción.

En la ausencia de valores locales, la AASHTO recomienda los siguientes valores:

- Pavimentos Flexibles:  $S_o = 0.49$
- Pavimentos Rígidos:  $S_o = 0.35$

Para el cálculo de PAVIMENTOS FLEXIBLES, se adopta  $S_o = 0.49$

### 2.3.8.7.- Propiedades de la Subrasante.-

La propiedad que se usa para caracterizar la Subrasante es el Módulo Resiliente “Mr”. Este valor es una medida de la elasticidad del suelo reconociendo características no lineares.

El módulo Resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido en el módulo de reacción (k) para el diseño de pavimentos rígidos.

La AASHTO proporciona la siguiente ecuación para correlacionar valores de C.B.R. menores a 10% y para materiales de grano fino y empapado. Caso que se adecua a los valores del proyecto:

$$M_R = 1500 \times CBR [psi]$$

Para :  $CBR \leq 10\%$  (Ecuación 16)

**CUADRO 2.16 VALORES DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE**

PROGRESIVA		CLASIFICACION	HUM. OPTIMA	D. MAXIMA	CBR (95%)
DE	HASTA				
0+000	2+000	A-4	16.15	1.644	1.53
2+000	4+000	A-4	11.50	2.022	18.36
4+000	6+000	A-6	22.60	1.572	1.11
6+000	8+000	A-6	21.50	1.775	1.54
8+000	10+000	A-6	19.40	1.717	1.18
10+000	12+000	A-4	15.10	1.842	2.36
12+000	14+000	A-4	11.48	2.023	17.93
14+000	16+000	A-6	19.40	1.830	1.48

Fuente: Estudio de Suelos Realizados

#### 2.3.8.8.- CBR de Diseño.-

De los valores obtenidos en el estudio de suelos, se tomó el CBR de diseño al 90% de ocurrencia, al 95% del Proctor Modificado AASHTO T-180. En el caso de los suelos A-6 y A-4, no se tomaron en cuenta ya que se planea la remoción y reemplazo en por lo menos 40cm por suelos de mejor calidad y no expansivos.

Los valores obtenidos para el mejoramiento de la capa subrasante es el proporcionado del ensayo realizado a los materiales existentes en el banco de Yuquirenda, con sus correlaciones se pueden ver en el cuadro 2.17.

**CUADRO 2.17 BANCO DE MATERIALES YUQUIRENDA**

DESCRIPCION PRUEBA	RESULTADOS
CLASIFICACION de Suelos	A-1 a(0)
Contenido de Humedad	5.65%
Densidad Máxima	2.231 Kg/dm <sup>3</sup>
Expansión	0
C.B.R. (100% de Dmax)	79 %

Fuente: Estudio de Suelos Realizados

#### **2.3.8.9.- Subbase.-**

La subbase es la porción del pavimento entre la capa base y la capa subrasante. Consiste de material granular. Las especificaciones, granulometría de los materiales se ven en el Capítulo Especificaciones Técnicas. Para el uso en el período de diseño la capa base debe ser representada por un coeficiente de capa (a<sub>3</sub>)

Aparte de la función como elemento estructural la subbase también cumple la función de proteger la base de la intrusión de grano fino.

#### **2.3.8.10.- Base.-**

La base es la capa inmediatamente debajo de la superficie. Construida encima de la subbase.

Consiste en mezcla de materiales que se clasifiquen como A-2-4, con C.B.R, que sea mayor a 50%, preferentemente agregado de piedra triturada.

Las especificaciones para la capa base son más estrictas que las de la subbase.

### 2.3.8.11.- Capa de Rodadura.-

La capa de rodadura de una estructura flexible consiste una mezcla de agregado mineral con material bituminoso. Está por encima de la capa base. Aparte de su función como capa estructural, debe resistir las fuerzas abrasivas del tráfico, impermeabilizar el pavimento, proveer una superficie áspera, y proveer una superficie suave y confortable para el viaje.

La carpeta asfáltica o capa de rodadura estará formada por una mezcla de agregado grueso (piedra triturada), Agregado fino: (arena), Filler y cemento asfáltico 85-100, que cumplirán con la siguiente granulometría que será continua sin inflexiones bruscas, ligeramente cóncava y estará comprendida entre los siguientes límites siendo aproximadamente paralela a una de las curvas límites

Pasa tamiz 1”	100%
Pasa tamiz 3/4”	80 - 100%
Pasa tamiz N °4.	60 - 80%
Pasa tamiz N° 8	40 - 55%
Pasa tamiz N° 40	20 - 40%
Pasa tamiz N°200	.4 - 10%

CEMENTO ASFÁLTICO: Tipo 85-100, que mejor se acomoda a las condiciones climáticas de la región del chaco, por lo que este (ca) será utilizado para la fabricación de la capa de rodadura tal como se señala en el Capítulo de Especificaciones Técnicas

### 2.3.8.12.- Conversión de SN a espesores de capa.-

Obtenido el SN, debe ser convertido a espesores reales de las capas. Según la siguiente ecuación:

$$SN = a_1d_1 + a_2d_2m_2 + \dots a_n d_n m_n \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Dónde:

SN = Número Estructural

$a_i$  = Coeficiente Estructural de la capa  $i$

$d_i$  = Espesor de la Capa  $i$

$m_i$  = Coeficiente de Drenaje de la capa

Para encontrar los espesores iniciales, se deben asumir los coeficientes de drenaje y estructurales de cada capa. Para hallar los coeficientes estructurales se consultó la sección 2.3 y 2.4 parte II de la AASHTO Design Guide.

Los valores usados se pueden ver en el cuadro 2.18.

**CUADRO 2.18 COEFICIENTES DE DRENAJE Y ESTRUCTURALES DE LAS CAPAS**

<b>Material</b>	<b>CBR</b>	<b><math>a_i</math></b>	<b><math>m_i</math></b>
Carpeta Asfáltica	-	0.44	1.00
Tratamiento S. Doble	-	0	1.00
Tratamiento S. Simple	-	0	1.00
Base Granular Triturada	80%	0.14	1.05
Subbase Granular	30%	0.11	1.00

Fuente: Guía de diseño AASHTO

### **2.3.8.13.- Módulo de Elasticidad o Modulo Resiliente por capa**

A fin de que DIPAV 2.0 pueda calcular los espesores mínimos que deben colocarse sobre cada una de las capas, es necesario contar con sus respectivos Módulos Resilientes, expresados en KPa. De este modo, DIPAV 2.0 realiza el cálculo de la ecuación de AASHTO para cada una de las capas y en función de sus coeficientes estructurales y de drenaje, establecerá el espesor mínimo de la(s) capa(s) superiores a

la capa en estudio. La última capa se obtendrá por diferencia entre los números estructurales requerido y aportado por las capas superiores.

**CUADRO 2.19 MÓDULO RESILIENTE DE LOS MATERIALES DE DISEÑO  
POR CAPAS**

Material	M <sub>R</sub> MPa (psi)	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Concreto asfáltico	2760 (400000)	0.42	1.0
Base piedra partida	207 (30000)	0.14	0.80
Subbase granular	97 (14000) ✓	0.10	0.70
Subrasante	34 (5000)	----	----

Fuente: Guía de diseño AASHTO

### 2.3.9.- Diseño del Pavimento Rígido (Alternativa 2).-

#### 2.3.9.1.- Aspectos y Variables para el Diseño de un Pavimento Rígido.-

El diseño de un pavimento rígido comprende los siguientes aspectos:

- Diseño del espesor de la losa de hormigón
- Diseño de barras pasajuntas (si se requiere)
- Diseño de barras de amarre (si se requiere)
- Diseño del reservorio para el sello de junta (si se requiere)
- Diseño de juntas en planta

Para realizar el diseño de todos estos elementos, se requiere conocer las distintas variables que intervienen en las ecuaciones de pavimentos rígidos de AASHTO. La principal ecuación, para la determinación del espesor puede escribirse de la siguiente forma:

**(Ecuación 18)**

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Referencia Guía de Diseño AASHTO Parte 1 – Sección 1.2

Esta ecuación, por su complejidad debe resolverse mediante iteraciones sucesivas para despejar el valor "D", que corresponde al espesor de la losa. El significado de las variables y sus valores más utilizados se indican brevemente a continuación y para una profundización de las mismas, sugerimos consultar la referencia arriba indicada.

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento e iniciar con realizar tanteos, con el espesor supuesto se calcula los ejes equivalentes y posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple en equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es el resultado del diseño.

Las variables de diseño de un pavimento rígido son:

- ESAL'S
- Serviciabilidad inicial y terminal
- Nivel de confiabilidad y desviación estándar
- Módulo de Ruptura del hormigón
- Módulo Elástico del hormigón
- Módulo de Reacción Efectivo
- Coeficiente de Transferencia de Carga
- Coeficiente de Drenaje

Como algunas variables ya fueron conceptualizadas analizaremos las que no fueron vistas previamente.

#### **2.3.9.2.- Módulo de Rotura del Hormigón a los 28 días.-**

El módulo de ruptura promedio del hormigón ( $S'_c$ ) es el esfuerzo de tracción por flexión en la fibra extrema bajo la carga de rotura de acuerdo con el método de ensayo AASHO T-97 cuyo equivalente es ASTM C 78, ensayo que utiliza vigas

prismáticas de 15x15cm de sección transversal, con una longitud de ensayo de 45cm y carga en los tercios centrales y se evalúa mediante la resistencia a los 28 días.

El módulo de ruptura del concreto ( $S_c'$ ) es el esfuerzo a tracción extremo bajo una carga crítica. Está relacionado a la resistencia a la compresión a los 28 días con la siguiente fórmula:

$$S_c' = 10x\sqrt{f_c'}; f_c': [psi] \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Para un hormigón de 270 kg/cm<sup>2</sup>,  $S_c' = 4800$  Kpa (4.8 MPA).

### 2.3.9.3.- Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días.-

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

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

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

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

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

Dónde:

$E_c$  = Módulo Elástico promedio del hormigón.

$f_c'$  = Resistencia a la compresión

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

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

Para un hormigón de 270 kg/cm<sup>2</sup>,  $E_c' = 28,000$  Mpa.

### 2.3.9.4.- Coeficiente de Drenaje.-

En el método de diseño AASHTO, el parámetro de drenaje se introduce a través del coeficiente global de drenaje denominado: Cd. Su efecto en el desempeño del pavimento es una función de la calidad del drenaje es decir el tiempo requerido para que el suelo alcance un cierto porcentaje de saturación y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de la base y los materiales de fundación, el diseño de las secciones transversales estructurales y de la presencia de drenes longitudinales de borde. El periodo de tiempo durante el año que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación es una función de las características de precipitación y evapotranspiración inherentes al clima particular de la región. Las siguientes tablas de la Guía AASHTO proveen una guía para la selección del coeficiente de drenaje:

**CUADRO 2.20 COEFICIENTES DE DRENAJE**

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía AASTHO para Diseño de Pavimentos

Coeficiente de drenaje en relación al Porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a niveles de saturación y la calidad de drenaje. Asumimos un valor de **Cd=1.0**

**CUADRO 2.21 COEFICIENTES DE DRENAJE**

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Fuente: Calidad de drenaje en función al tiempo en que alcanza el 50% y 85 % de saturación

#### **2.3.9.5.- Coeficiente de Transferencia de Carga.-**

El coeficiente de transferencia de carga (J) es usado en pavimentos rígidos para determinar el soporte lateral provisto a las esquinas de la losa. Mecanismos de transferencia de cargas, encajamiento del agregado o la presencia de bermas de concreto tienen efecto en este valor.

Coeficientes grandes corresponden a menor soporte provisto al pavimento. Con menos soporte, es esperado que el pavimento sea más susceptible al bombeo, fallas o ruptura de esquinas. Como se planea el uso de bermas de tratamiento bituminoso, la AASHTO aconseja el uso del valor de **J=3.2**.

#### **2.3.9.6.- Diseño de las Juntas Transversales.-**

Las juntas transversales proveen una configuración ordenada de las grietas que ocurren cuando el hormigón empieza a contraerse.

La transferencia de cargas en las juntas se obtiene por medio del encajamiento del agregado.

Sin embargo se recomienda el uso de barras de transferencia de acero. Estas barras son cubiertas con pintura epóxica para prevenir la corrosión.

### **2.3.9.7.- Espaciamiento de Juntas.-**

La separación entre las juntas no debe exceder en pies el doble del espesor de la losa en pulgadas. Tampoco el radio longitud/ancho de la losa no debe exceder 1,25.

### **2.3.9.8.- Diámetro, Longitud y Espaciamiento de las Barras.-**

El diámetro de las barras no debe ser menor a 1/8 del espesor de la losa. La longitud común es de 460mm y el espaciamiento es de 300mm.

### **2.3.9.9.- Diseño de los Pasadores en las Juntas Longitudinales.-**

Las juntas longitudinales son las que están a lo largo del pavimento, dividen los carriles. Los pasadores son piezas de acero deformado que sirven para mantener juntos los carriles. Se espera que los pasadores sean flexibles, en tal caso no se deben usar diámetros grandes ni acero inelástico.

### **2.3.9.10.- Factores de Diseño de los Pasadores Longitudinales.-**

Para determinar las características de los pasadores se introducen los siguientes datos:

- Tipo de Acero,  $f_s = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 412 \text{ Mpa}$
- Distancia al borde libre, se mide desde la junta longitudinal al borde del pavimento,  $d = 4.15 \text{ m}$
- Espesor de la losa se adopta como inicial 200 mm
- Factor de Fricción, representa la resistencia entre la capa que existe debajo del pavimento con la losa de hormigón, para subbases granulares, se recomienda un valor de 1.5.

- Factor de Seguridad, para prevenir de que el acero se esfuerce excesivamente no se permite que alcance más que el 75% de la resistencia última, este valor es recomendado por la AASHTO.
- Diámetro de las barras.

#### **2.3.9.11.- Diseño de las Juntas y Sellante.-**

El diseño de las juntas de contracción es muy importante en el diseño de pavimentos rígidos. El diseño de la junta debe hacerse con la selección de un sellante apropiado.

#### **2.3.9.12.- Factores de Diseño de las Juntas.-**

Los factores que influyen en el diseño de las juntas son:

- Coeficiente de Expansión Termal, es una medida del cambio de dimensiones del material debido a cambios de temperatura. El tipo de agregado usado en la mezcla es uno de los factores que tiene el mayor impacto. Para el uso de grava como agregado usamos  $10.8e-6$  mm/mm/°C.
- Rango de Temperatura del Vaciado a la Temperatura mínima, esta temperatura ayuda a saber los cambios en la losa desde su construcción.
- Coeficiente de Contracción por Secado, para estimar este valor se usa la TABLA con un valor de 2800 kPa, el coeficiente de contracción es 0.0006.
- Factor de Ajuste por fricción entre la Losa y Subbase, se usa un factor de ajuste en el movimiento en la junta debido a la resistencia a la fricción a ese

movimiento entre la losa y la subbase, para subbases granulares se usa un valor de 0.80.

### **2.3.9.13.- Propiedades del Sellante**

Las propiedades del sellante son:

- Tipo de sellante, se asume el uso de un sellante de Silicona, que es un material aplicado en frío.
- Deformación permisible del sellante, la deformación máxima permitida a un sellante es especificación del fabricante. Un valor común para silicona es de 0.50.
- Factor de forma, es el radio altura/ancho del sellante, para silicona se usa un radio de 0.5.

### **2.3.10.- Señalización.-**

#### **2.3.10.1.- Señalización Vertical.-**

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas. De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:

**Señales preventivas:** Las señales de advertencia de peligro (preventivas) tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o

situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal.

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

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

#### **Color y Retroreflectancia.-**

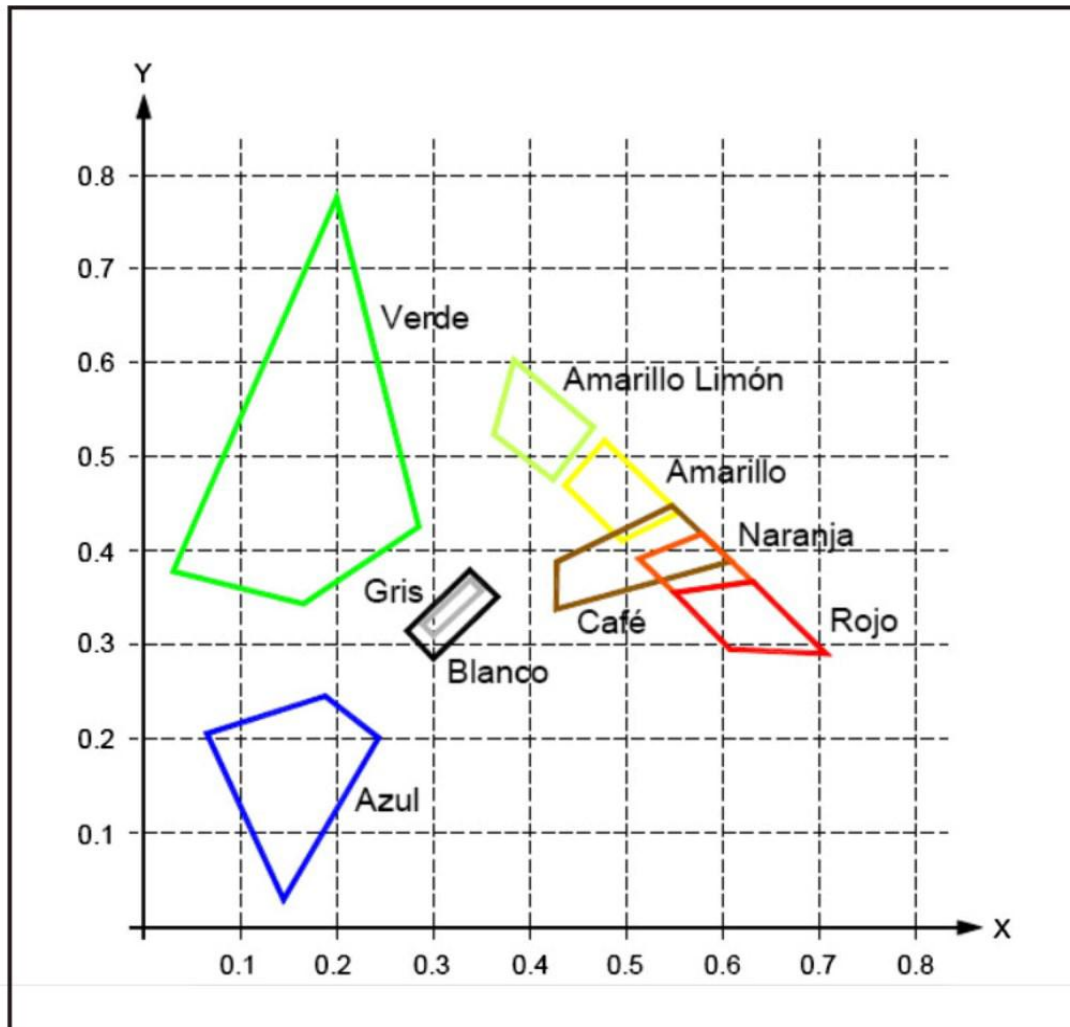
Las señales que se instalen deberán ser legibles para los usuarios y su ubicación debe ser acorde con lo establecido en el manual de la ABC, para permitir una pronta y adecuada reacción del conductor aun cuando éste se acerque a la señal a alta velocidad.

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

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

Estos colores, se definirán en base a las coordenadas cromáticas y deberán estar dentro de los respectivos polígonos de color formados por los cuatro vértices definidos por la CIE (Commission International de l'Eclairage), especificados en el Diagrama Cromático CIE 1931, correspondiente a la Figura 2.8.

**FIGURA 2.8 DIAGRAMA CROMATICO CIE 1931, PARA SEÑALES VERTICALES**



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

#### **✚ Tableros.-**

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

## **Estructuras de Soporte.-**

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

## **Señales Preventivas.-**

### **i. Objetivo.-**

Las señales de advertencia de peligro, llamadas también preventivas, tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones especiales presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Se identifican como base con el código SP.

### **ii. Forma.-**

En general, las señales de advertencia de peligro, tienen la forma de un cuadrado con una de sus diagonales colocada verticalmente, con la excepción de CRUZ DE SAN ANDRES (SP-33), y las Placas de Refuerzo.

### **iii. Color.-**

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

#### iv. Ubicación

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

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

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

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

Mostramos ejemplos de señales preventivas que se usaran en la carretera de proyecto en la figura 2.9.



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

## **Señales Reglamentarias.-**

### **i. Objetivo.-**

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

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

### **ii. Forma.-**

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

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

### **iii. Color.-**

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

Las excepciones a esta regla son:

- SR-01: PARE, cuyo fondo es rojo, orlas y letras en blanco

- SR-38 y SR-39: TRÁNSITO EN UN SENTIDO y TRÁNSITO EN AMBOS SENTIDOS, serán de fondo negro y flechas y orlas blancas.
- SR 40 a la 43: SEÑALES DE PASO OBLIGADO Y CICLOVIA, serán de fondo azul y símbolo blanco.

En la figura 2.10 se muestran ejemplos de señales reglamentarias.

**FIGURA 2.10 SEÑALES REGLAMENTARIAS**



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

### 2.3.10.2.- Señalización horizontal

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

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

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

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

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

#### **Líneas longitudinales.-**

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

Una línea discontinua sobre la calzada, independiente de su color, significa que traspasable por cualquier conductor.

#### **Líneas de eje.-**

Las líneas de eje central se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar dónde se separan los flujos de circulación opuestos. Se ubican generalmente en el centro de

dichas calzadas; sin embargo, cuando la asignación de pistas para cada sentido de circulación es desigual, dicha ubicación no coincide con el centro. De forma similar, cuando existen juntas de construcción en la calzada, es conveniente desplazar levemente estas líneas para asegurar una mayor duración de las mismas.

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

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

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

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

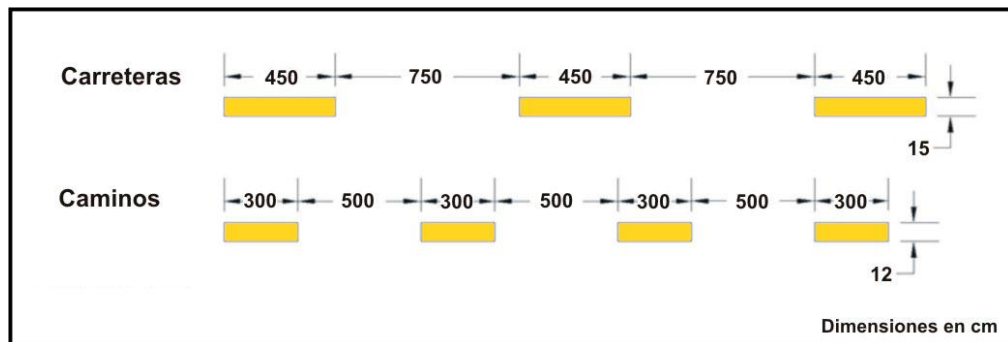
**i. Línea amarilla discontinua.-**

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

Para velocidades menores a 60 km/hr. El ancho de la línea continua será de 12 cm.

Para rutas con velocidades mayores, su ancho será de 15 cm.

**FIGURA 2.11 DISEÑO LINEA DISCONTINUA**



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

## ii. Línea amarilla Continua.-

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

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

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

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

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

**CUADRO 2.22 DISTANCIAS DE ADELANTAMIENTO**

Vel. Max. (Km/hr)	Distancia de adelantamiento minima (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

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

### **iii. Línea Blanca Continua.-**

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

#### **a. Demarcar la separación de carriles**

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

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

#### **b. Demarcar el borde derecho de la calzada**

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

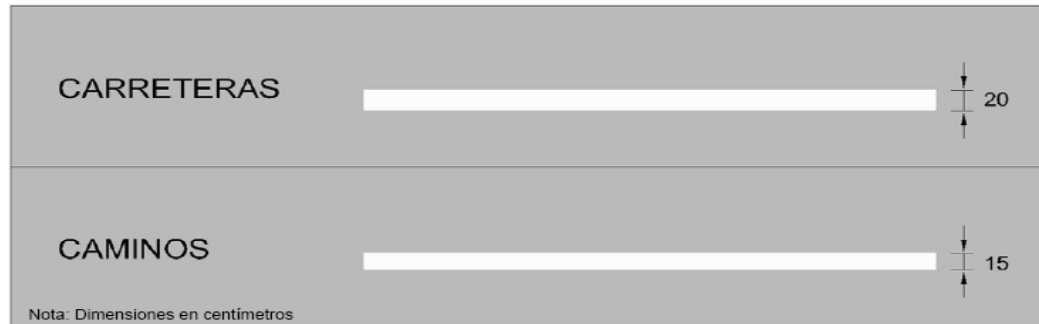
Estas demarcaciones, son la única orientación para un conductor cuando es encandilado por un vehículo que transita en el sentido contrario, de allí la importancia que presenta en caminos y carreteras bidireccionales.

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

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

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

**FIGURA 2.12 DIMENSIONES DEMARCACION CONTINUA**



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

### **2.3.11.- Estudio del Análisis de Costos.-**

#### **2.3.11.1.- Generalidades.-**

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

La estimación del costo de construcción es necesariamente el resultado de un proceso de cálculo de cantidades (volúmenes de obra) y Valores (precios unitarios) de todos los ítems y/o actividades que forman parte de una construcción, en ningún caso deben considerarse probabilidades porque estas no siempre podrán dar un resultado positivo. Indiscutiblemente no es posible hablar de valores perfectos, ya que estos dependen de una serie de factores entre los que podríamos citar: Variaciones de precios en el mercado, ausencia o carencia de materiales, bajos rendimientos de mano

de obra, errores en los cálculos métricos, etc. Autores de una misma nacionalidad consideran rendimientos diferentes en el cálculo de costos, igualmente existen discrepancias de opinión relativas a la aplicación de gastos generales, imprevistos, utilidad, etc. Es por esta razón que el cálculo de costos obliga al profesional a adquirir una serie de conocimientos, cualidades y factores que le permitan analizar detalles y generalidades del trabajo, experiencia en la construcción, información permanente sobre el valor de los materiales, rendimientos sobre la mano de obra, maquinaria y equipo apropiado, problemas de administración, financiamiento, medios de transporte, clasificación y calificación de prioridades en las compras, acumulación racional de materiales, además de las cualidades personales de capacidad, método y seguridad en el cálculo.

#### **2.3.11.2.- Presupuesto.-**

Algunas definiciones de presupuestar:

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

### **2.3.11.3.- Ítems.-**

Un Ítem es una unidad de obra, parte de un proyecto con carácter propio, tanto de materiales como mano de obra, siendo su cantidad proporcional a la magnitud de la obra.

Forma un conjunto de actividades valoradas en unidades determinadas a través de la unidad que puede apreciarse al efectuar el presupuesto, las mismas pueden ser de longitud (ml), superficie (m2), volumen (m3), peso (Kg), pieza (N<sup>a</sup>) punto (Pto), existiendo algunas de ellas que por su naturaleza o complejidad solamente pueden medirse en forma global.

### **2.3.11.4.- Precios Unitarios.-**

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

### **2.3.11.5.- Presupuesto por Análisis de Precios Unitarios**

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

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

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

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

### **2.3.12.- Estudio Ambiental.-**

#### **2.3.12.1.- Generalidades del Impacto Ambiental en el Tramo en Estudio**

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

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

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

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

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

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

## **CAPITULO III.- RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

### **3.1.- Descripción del Área de Proyecto.-**

#### **3.1.1.- Localización del Proyecto.-**

País: Bolivia

Departamento: Tarija

Provincia: Gran Chaco

Municipio: 3ra Sección Villa Montes

Distrito: # 10

Comunidades: Cutaiqui, El Toro, Bolívar, Esmeralda, Media Luna, La Victoria, Las Bayas, Samayhuate, Yahuanambi, Algodonal, Nueva Esperanza, Soledad

La Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco, se encuentra ubicado estratégicamente al noreste del departamento de Tarija. Limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con el Municipio de Yacuiba y la República de Argentina, al este con Paraguay y al oeste con la Provincia O'Connor del Departamento Tarija.

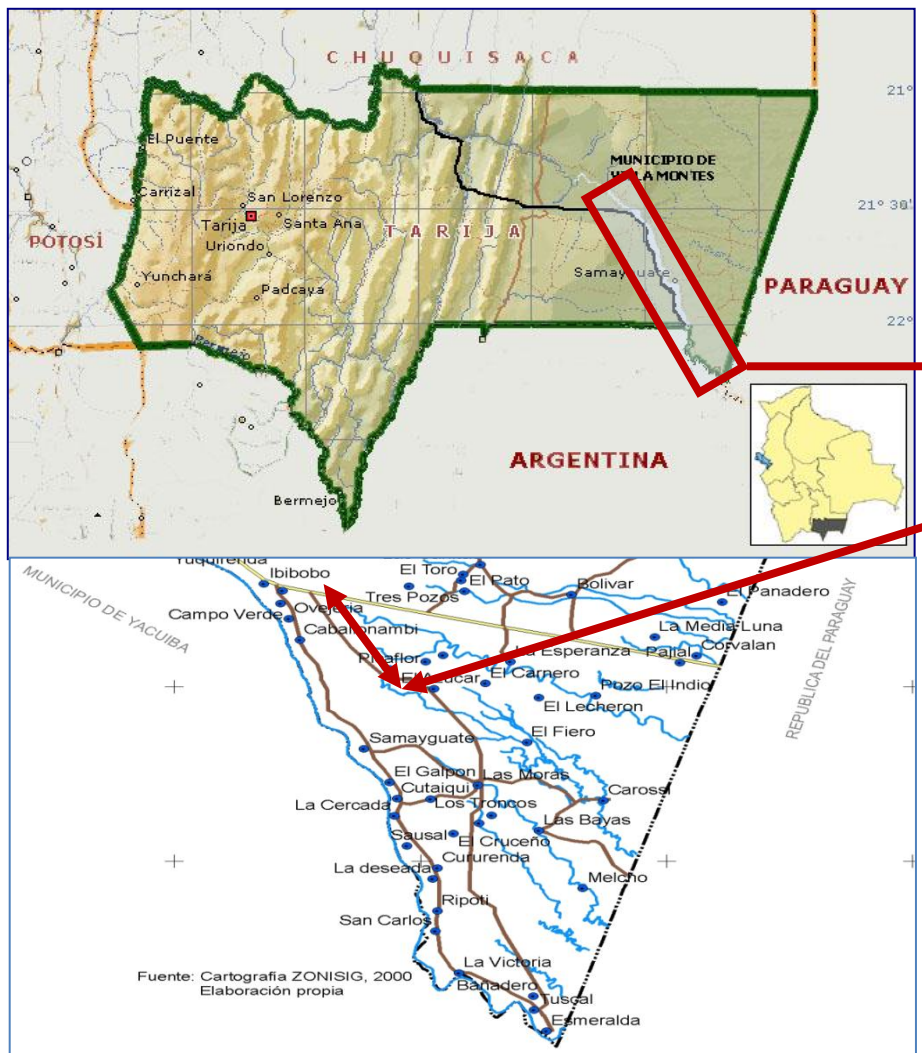
Su extensión territorial es 11.300 km<sup>2</sup>, que representa el 63.8% de la provincia Gran Chaco y el 29.5% del total departamental.

Esta sección municipal fue creada mediante Decreto Supremo de fecha 24 de agosto del año 1937, durante el gobierno de la junta militar presidida por el Tcnl. Germán Busch, y constituye la última sección creada en la provincia Gran Chaco.

El proyecto se ubica territorialmente en el Departamento de Tarija y en la Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco, el desarrollo del mismo se encuentra ubicado en la zona sudoeste de la Tercera Sección entre los meridianos 63°30' de longitud oeste y los paralelos 21°30' de latitud Sud.

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

### IMAGEN 3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO (MAPA REFERENCIAL)



Fuente: PDM - Villamontes

#### 3.1.2.- Acceso a la zona de Proyecto.-

En cuanto a la infraestructura caminera, por el Municipio de Villa Montes, pasan dos carreteras comprendidas en la red nacional, como son la ruta 9 Santa Cruz – Yacuiba,

en un tramo asfaltado de 75 Km (Camatindi – Cortaderal) y la ruta Tarija – Hito BR94, con tramos parcialmente asfaltados de 205 Km (Palos Blancos – Villa Montes – Hito BR94), una red departamental con una extensión de 451 Km. y red vecinal de 128 Km.

La red Nacional, comprende vías que une el principal centro poblado del Municipio como es la ciudad de Villa Montes, con otros centros de la provincia Gran Chaco y con el resto del departamento y del país, como asimismo con la República Argentina y el Paraguay, siendo rutas que tienen una mayor frecuencia de tráfico y cuenta con una extensión aproximada de 275 Km. en los tramos Villa Montes – Hito BR94, Villa Montes – Palos Blancos, Villa Montes - Camatindi y Villa Montes - Yacuiba.

La red departamental, de conexión entre las rutas nacionales y caminos vecinales hacia las comunidades rurales, tiene una extensión aproximada de 662 Km., siendo transitables en períodos secos, complicándose en épocas lluviosas debido a una serie de deslizamientos y al cruce de quebradas, aguadas, bañados, etc., que obstaculizan el normal tráfico vehicular, caracterizándose principalmente por tener atención esporádica temporal, por lo cual son deficientes.

Además cuentan con pocos trabajos de obras de arte, alcantarillado, ripiado, drenaje, de manera que las lluvias destruyen el terraplén ocasionando la paralización del tráfico.

Esta red comprende los tramos Ibibobo - Esmeralda, Ruta 9 - Tiguiipa – Capirenda – Galpones – Quintín Ortiz, Villa Montes - Capirendita - Resistencia.

El acceso a la zona del proyecto puede efectuarse por medio del tramo Villa Montes Ibibobo-Hito BR94 perteneciente a la Red Nacional.

Posteriormente desde Ibibobo-La Victoria-Esmeralda (Red Departamental) un tramo de ripio con longitud actual de 163 Kms.

### **3.1.3.- Aspectos climáticos y temperatura.-**

#### **3.1.3.1.- Clima.-**

La micro región de Villa Montes presenta un clima semiárido tórrido, mesotermal, con poco o ningún exceso de agua; teniéndose entre las más representativas de esta unidad climática a las comunidades de la Llanura Chaqueña.

#### **3.1.3.2.- Temperatura.-**

La temperatura media anual es de 29 °C, en verano de 34,2 °C y en invierno de 18,4 °C. Con máximas que superan los 44 °C en los meses de verano y mínimas que bajan hasta menos 6 °C en invierno con frentes fríos del sur.

#### **3.1.3.2.- Precipitación.-**

El Municipio de Villa Montes tiene una precipitación promedio anual de 929,6 mm. De los cuales el 80% se distribuye entre los meses de noviembre a mayo. En la parte oriental las precipitaciones están alrededor de 600 mm. Al año.

En el Municipio de Villa Montes, la sequía prolongada por falta de precipitaciones se ocasiona pérdidas considerables en agricultura y ganadería.

Siendo un problema que se presenta todos los años, poniendo a la población en situación de emergencia.

### **3.2.-Geología de la Zona.-**

La geología de la zona se define por zonas fisiográficas y estas se dividen en: serranías, colinas, piedemonte y llanuras.

El análisis fisiográfico es un método de identificación de suelos predominantes que se basa en la relación suelo–paisaje.

### **3.2.1.- Serranías.-**

Los suelos en estas serranías son moderadamente profundos con poco desarrollo pedogenético, afectados por erosión laminar ligera a moderada, bien a moderadamente bien drenados, de color pardo muy oscuro a pardo amarillento oscuro.

Predominan texturas medias, con pH entre 5,5 y 7,5 en los horizontes superficiales.

### **3.2.2.- Colinas.-**

Los suelos son profundos a muy profundos y bien drenados, generalmente con evidencias de erosión laminar ligera a moderada.

Los horizontes superficiales presentan color pardo oscuro por la presencia de materia orgánica a pardo amarillento oscuros a mayor profundidad.

Se encuentran suelos poco desarrollados y otros con iluviación de arcilla con texturas franco arcillo arenosas y la estructura es en bloques subangulares o migajosa.

Generalmente no se presentan fragmentos gruesos, no son calcáreos, el pH varía de 5,5 a 8 y no son salinos ni sódicos.

El contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes son bajos.

### **3.2.3.- Piedemonte.-**

Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos fluviales con desarrollo pedogenético incipiente hasta procesos de iluviación de arcilla, son profundos a muy profundos, afectados por erosión laminar ligera, bien a imperfectamente drenados en la parte distal del abanico en contacto con la superficie de llanura.

Son suelos pardo rojizos oscuros a pardo amarillentos oscuros, con texturas franco arenosas a franco arcillo arenosas, sin fragmentos gruesos y con la estructura en bloques subangulares a granular.

No son calcáreos, con valores del pH variables entre 6 y 8,5 y no son salinos ni sódicos. La disponibilidad de nutrientes en general es baja.

### **3.2.3.- Llanuras.-**

Se encuentran suelos con desarrollo incipiente hasta bien desarrollados: con materia orgánica en el horizonte superficial, iluviación de arcilla en los horizontes inferiores y presencia de sales y carbonatos en el abanico aluvial del río Pilcomayo.

En general son suelos profundos a muy profundos, afectados por erosión laminar ligera, bien a moderadamente bien drenados con algunas zonas imperfectamente drenadas.

Los colores típicamente son pardo oscuros a pardo amarillentos oscuros y las texturas varían de franco arcillo limosas a franco arcillosas sin fragmentos gruesos, mientras la estructura es en bloques subangulares.

Son suelos ligera a fuertemente calcáreos, con pH de 6 a 8,8 y una disponibilidad de nutrientes de baja a moderada.

## **3.3.- Topografía.-**

### **3.3.1.- Criterio del Levantamiento.-**

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

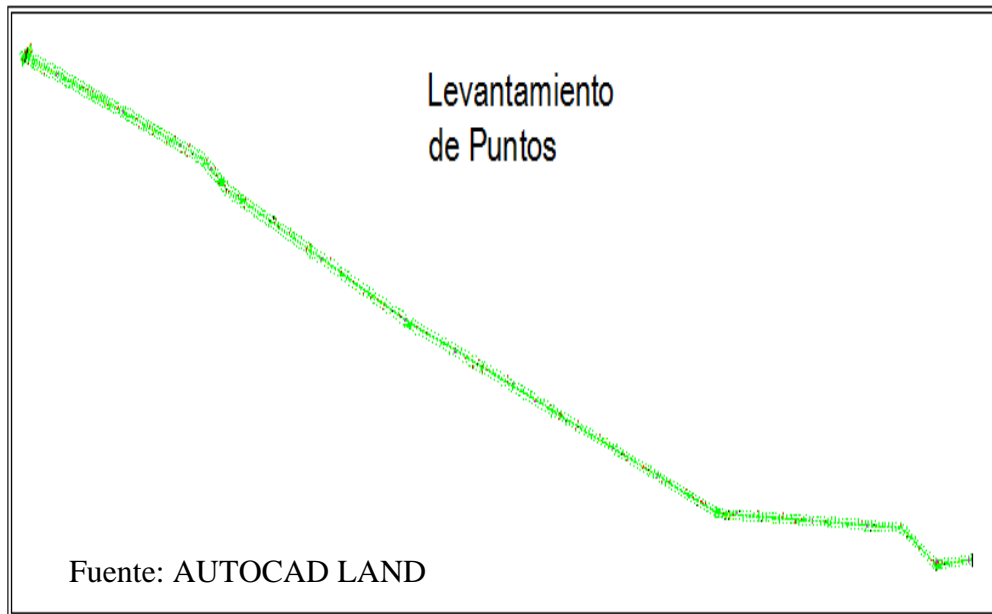
Como este trabajo en particular trata sobre el diseño de una carretera, se optó por este tipo de levantamiento.

### 3.3.2.- Observaciones del trabajo.-

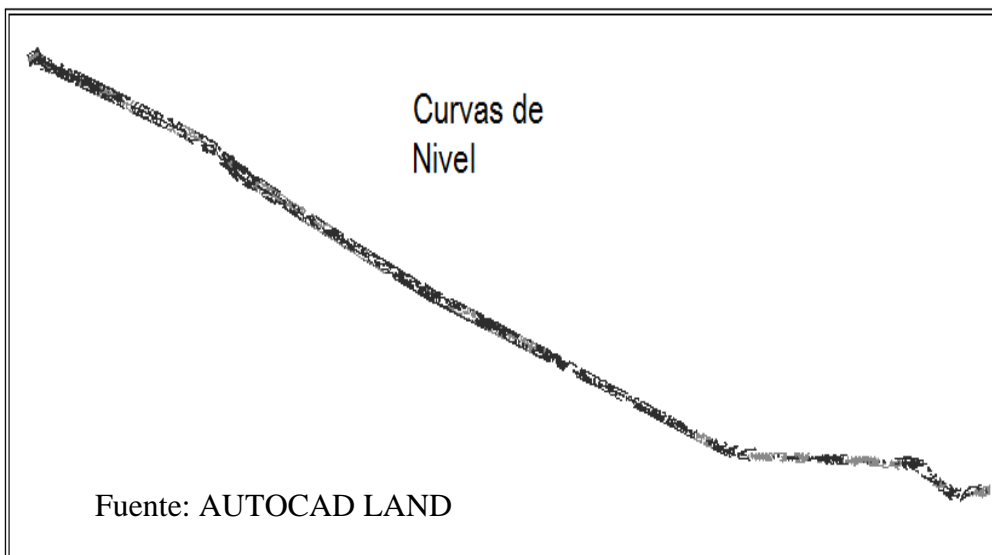
Debido a que generalmente en la zona chaqueña los terrenos son en su conjunto llanuras, no se tuvieron mayores problemas para realizar el levantamiento de la zona, y se pudo avanzar rápidamente durante toda la elaboración de dicho levantamiento.

En las imágenes se muestran los puntos y curvas obtenidas, que sobre las cuales se realizara el diseño geométrico.

**IMAGEN 3.2 PUNTOS DEL LEVANTAMIENTO**



**IMAGEN 3.3 CURVAS DE NIVEL**



### 3.4.- Mecánica de Suelos.-

#### 3.4.1.- Criterios de Estudio de Muestreo.-

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

**CUADRO 3.1 ENSAYOS REALIZADOS**

<b>Ensayo</b>	<b>Nº de Veces</b>
Lim. Atem.	9
Proctor	30
CBR	30

**Fuente: Estudio de Suelos Realizados**

Se tomaron muestras de la subrasante cada 2 kilómetros, y se extrajeron a 1 metros de profundidad.

**IMAGEN 3.4 ZONA DE EXTRACCION KM. 2**



**IMAGEN 3.5 ZONA DE EXTRACCION KM. 4**



En el siguiente cuadro mostramos un resumen de los estudios realizados en laboratorio y cuyas planillas se muestran en el ANEXO N° 2.

### CUADRO 3.2 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

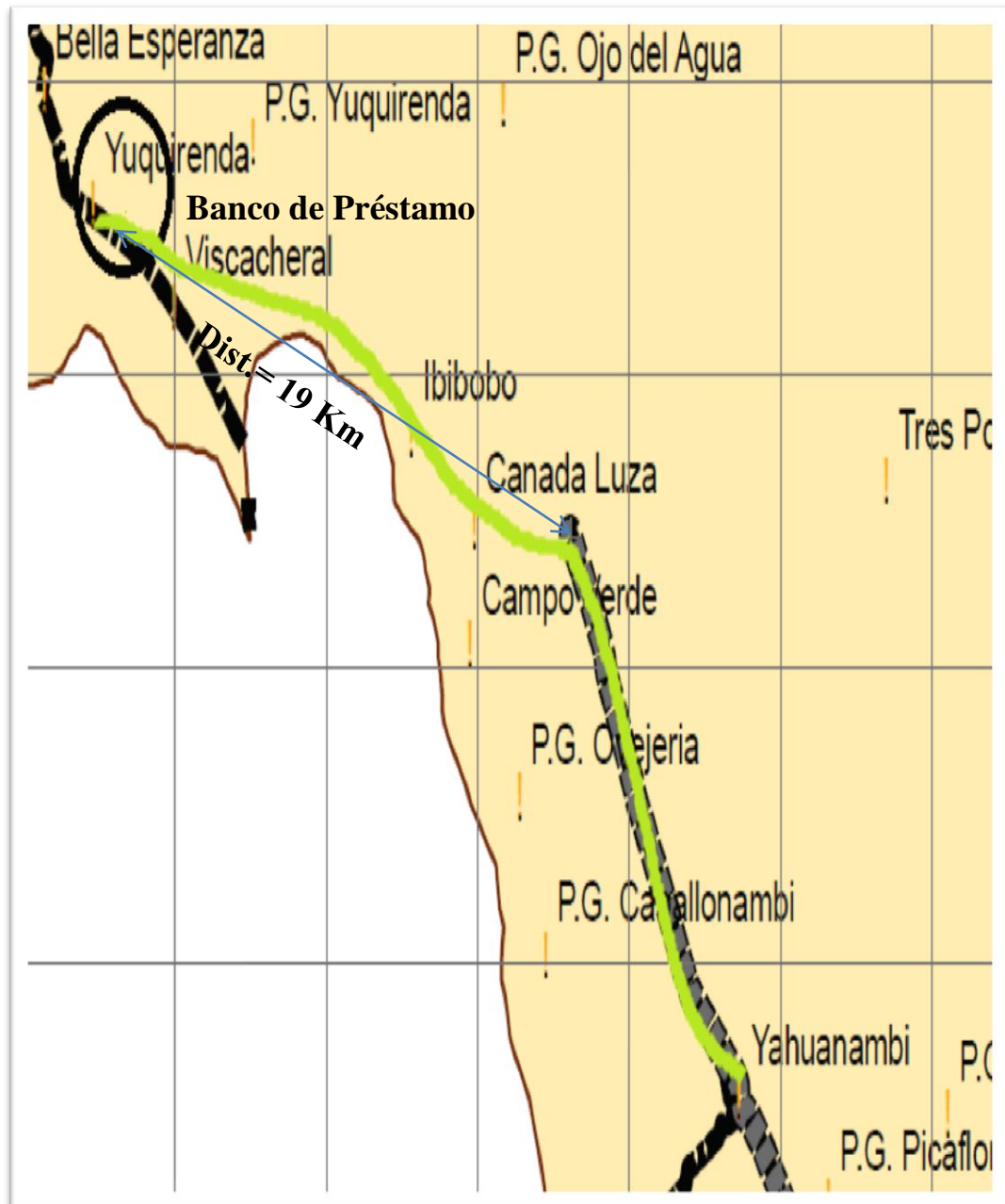
ESTUDIO GEOTECNICO  
RESUMEN CONTROL TECNOLOGICO DE MATERIALES  
Diseño Final de Ingeniería Carretera Cruce Ruta F011-Yahuanambi

N° Muestra	Origen		Destino	Límites de Atterberg			Clasificación AASHTO	PROCTOR		CBR		
	Progresiva	Prof.		LL	LP	IP		Dmax.	Hopt.	100%	95%	Expansión
Muestra N° 1	0+000	1m.	Estudio	No Plástico			A-4	1,644	16,15	1,87	1,53	4
Muestra N° 2	2+000	1m.	Estudio	No Plástico			A-4	2,022	11,5	26,57	18,36	0,331
Muestra N° 3	4+000	1m.	Estudio	46,23	28,67	17,56	A-6	1,572	22,6	1,22	1,11	8,81
Muestra N° 4	6+000	1m.	Estudio	44,23	30,16	14,07	A-6	1,775	21,5	1,8	1,54	6,59
Muestra N° 5	8+000	1m.	Estudio	38,67	33,23	5,44	A-6	1,717	19,4	1,48	1,18	4,55
Muestra N° 6	10+000	1m.	Estudio	No Plástico			A-4	1,842	15,1	3,7	2,36	2,67
Muestra N° 7	12+000	1m.	Estudio	No Plástico			A-4	2,023	11,48	25,57	17,93	0,313
Muestra N° 8	14+000	1m.	Estudio	18,69	14,86	3,83	A-6	1,83	19,4	1,6	1,48	6,55
Muestra N° 9	Banco de Mat. Yuquirenda		Estudio	No Plástico			A-1a(0)	2,231	5,65	79		0

**Fuente: Estudio de Suelos Realizados**

La muestra número nueve pertenece al banco de préstamo para el mejoramiento de la subrasante, este banco se encuentra a una distancia aproximada de 19 km, en la localidad de Yuquirenda.

**IMAGEN 3.6 UBICACIÓN DEL BANCO DE MATERIAL**



Fuente: PDM - Villamontes

Estos resultados serán los que se utilizarán para el cálculo y dimensionamiento de los espesores del paquete estructural.

### 3.5.- Hidrología.-

Como se mencionó en el capítulo anterior, la hidrología nos ayuda a estimar los caudales que se utilizarán para el dimensionamiento de las distintas obras de evacuación, que para el presente proyecto serán cunetas y alcantarillas de cruce.

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

En el cuadro siguiente se muestra los valores de los caudales calculados para cada una de las alcantarillas y el caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de todas las alcantarillas.

**CUADRO N° 3.3 CAUDALES DE ALCANTARILLAS, CUNETAS Y  
BADENES**

PROGRESIVA	Qmax [m³/seg] RACIONAL	
	T = 25 Años	T = 50 Años
0+200	2,07	2,50
0+450	1,65	2,00
0+720	1,69	2,04
0+980	1,59	1,92
1+220	1,40	1,69
1+420	1,43	1,73
1+670	1,72	2,08
1+960	1,81	2,19
2+240	1,65	2,00
2+480	1,50	1,81
2+710	1,53	1,85
2+960	1,75	2,12
3+260	1,65	2,00
3+480	1,53	1,85
3+740	1,59	1,92
3+980	2,13	2,49
4+410	2,16	<b>2,54</b>
4+660	1,62	1,96
4+920	1,65	2,00
5+180	1,59	1,92
5+420	1,56	1,88
5+670	1,59	1,92
5+920	1,59	1,92
6+170	1,53	1,85
6+400	1,53	1,85
6+650	1,59	1,92

**Q de Diseño**

PROGRESIVA	Qmax [m³/seg] RACIONAL	
	T = 25 Años	T = 50 Años
6+900	1,88	2,27
7+240	2,13	2,53
7+570	1,85	2,23
7+820	1,59	1,92
8+070	1,59	1,92
8+320	2,04	2,46
8+710	2,04	2,46
8+960	2,07	2,50
9+360	2,10	2,54
9+620	1,59	1,92
9+860	1,75	2,12
10+170	2,04	2,46
10+500	1,69	2,04
10+700	1,53	1,85
10+980	1,72	2,08
11+240	1,78	2,15
11+540	1,78	2,15
11+800	1,62	1,96
12+050	1,59	1,92
12+300	1,81	2,19
12+620	1,69	2,04
12+830	1,59	1,92
13+120	1,56	1,88
13+320	1,40	1,69
13+560	1,40	1,69
13+760	1,11	1,34

Caudal	m3/s
Qd cuneta	0,03

PROGRESIVA	Qmax [m³/seg] RACIONAL	
	T = 25 Años	T = 50 Años
BADEN		
3+260	4,60	5,56
5+670	4,93	5,95
9+360	6,27	<b>7,58</b>
10+700	2,75	3,33
12+300	4,91	5,94
12+500	0,63	0,76
12+830	0,78	0,94
13+760	1,59	1,92

Fuente: Estudio Hidrológico

### 3.6.- Estudio de Tráfico.-

Los datos del tráfico también se utilizaran para el diseño del paquete estructural.


Estos datos se recogieron mediante la realización de aforos en un lugar estratégico dentro del tramo a ser diseñado, y las planillas se muestran en el ANEXO N°3 .

En el cuadro 3.4 se muestra la planilla utilizada para el llenado de los datos registrados en cada uno de los aforos que se realizaron.

**CUADRO 3.4 PLANILLA TIPO PARA DATOS DE AFOROS**

**AFOROS VOLUMETRICOS CLASIFICADOS SEGÚN VEHICULOS**

Estudiante: Alejandro Javier Curcuy Zuñiga  
 Estación: Campo Verde  
 Sentido: Ambas direcciones

Universidad Autónoma  
 Juan Misael Saracho 

Dia y Fecha	Hora De A	Livianos			BUSES			CAMIONES					Total	
		VEH.LIVIANOS	CAMIONETA	JEEP-VAG Jeep	MINIBUS	MICRO	OMNIBUS	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE	ACOPLADO	OTROS		
1 29-mar-13	0 - 1													0
	1 - 2													0
	2 - 3													0
	3 - 4													0
	4 - 5													0
	5 - 6												1	1
	6 - 7			2										2
	7 - 8													0
	8 - 9													0
	9 - 10										1		1	2
	10 - 11													0
	11 - 12													0
	12 - 13													0
	13 - 14			1										1
	14 - 15													0
	15 - 16										2		1	3
	16 - 17		1											1
	17 - 18													0
	18 - 19										2			2
	19 - 20													0
	20 - 21		1											1
	21 - 22													0
	22 - 23													0
	23 - 24													0
<b>Total</b>		2	3	0	0	0	0	0	0	5	2	1	13	
<b>Porcentaje</b>		15,38	23,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,46	15,38	7,69	100,00	

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar al ser una carretera que se encuentra dentro de la red departamental, cuenta con el paso constante de vehículos tanto livianos (camionetas, autos, jeep), como camiones (grandes y con acoplados), que son los comunes en el tema de viajes y transporte de mercadería.

## **CAPITULO IV.- DISEÑO DE INGENIERÍA**

### **4.1.- Diseño Geométrico.-**

#### **4.1.1.- Análisis de Alternativas.-**

##### **4.1.1.1.- Alternativa 1.-**

Esta alternativa va directamente a alinear el camino evitando que existan muchos puntos de inflexión como también muchas curvas horizontales innecesarias tratando de mantener el trazo existente evitando de invadir la propiedad privada en algunos casos que se pueda evitarlo y construyendo curvas con un radio según la categoría de camino elegida. En el trayecto también se cuentan con la implementación de alcantarillas de cruce y alcantarillas de alivio y una capa de rodadura pavimentada de calzada, con una longitud total de 13.809,576 m.

##### **4.1.1.2.- Alternativa 2.-**

La alternativa se encuentra en dirección sureste en relación a la primera alternativa, con mayor cantidad de puntos de inflexión que a su vez generaran una mayor cantidad de curvas horizontales, este trazo tiene una longitud de 16.047,255 m, y está en una zona donde las pendientes no varían considerablemente debido a la topografía plana del lugar.

##### **4.1.1.3.- Elección de Alternativa.-**

Las alternativas se las realizaron siguiendo todas las normas estipuladas y tomando criterios técnicos, para que el camino sea una ruta cómoda segura y que beneficie a la mayor cantidad de comunarios para que puedan llevar sus productos a comercializar a las localidades más cercanas y a la ciudad de Villa Montes es muy importante su implementación para que el flujo vehicular no tenga problemas en todo el año especialmente en época de lluvias.

Desde el punto de vista de la optimización en la asignación de recursos en proyectos de inversión social, la idea de decisión indica que en una comparación de costos de inversiones compatibles como solución a determinado problema, debe orientarse en la

menor inversión y máximo beneficio. Entonces, en esta situación se elige la primera alternativa por consistir en una alternativa técnica de menor costo con relación a segunda y técnicamente más viable, debido a que la segunda alternativa generara una mayor invasión en las propiedades cercanas, generando un mayor costo de indemnización social a los comunarios del lugar.

El trazado de las alternativas se encuentra anexado en el Anexo N° 10 “Planos”.

#### 4.1.2.- Categoría de la Carretera.-

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

- El tránsito vehicular será permanente durante todo el año.
- Desplazamiento desde la red vecinal hacia la red provincial se efectuará de manera fluida en movilidad.
- El ancho de la calzada será de 7 m., con más bermas y dos carriles que permite el paso de un camión semitrailer L=16.8 metros sin problemas.
- El camino será con pavimento flexible y con las obras de arte que lo constituyen con un eje consolidado en los 13.8 Kms. de principio a fin.

#### CUADRO 4.1 CATEGORÍA DE CARRETERA

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

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

Del cuadro adoptamos que será una carretera primaria I.B con dos calzadas.

#### 4.1.3.- Determinación de la velocidad de Diseño.-

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

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

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

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

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

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

**CUADRO 4.2 VELOCIDADES DE PROYECTO**

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

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

De acuerdo a la categoría adoptada para la carretera, se adoptara para el presente proyecto una velocidad de diseño de 100 km/hr., sobre la base de este valor se calculan o se asumen el resto de los parámetros de diseño.

#### 4.1.4.- Parámetros Adoptados.-

Los parámetros de diseño fueron adoptados del “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la ABC, estos parámetros nos servirán para el diseño tanto del alineamiento horizontal como del alineamiento Vertical, utilizando el paquete AutoCAD LAND 2009.

**CUADRO 4.3 RESUMEN DE PARAMETROS ADOPTADOS**

<b>Categoría del camino según norma ABC</b>	<b>PRIMARIO (I.B) 2B</b>
Topografía	Llano
Velocidad de diseño	100 Km/h
Peralte máximo	8%
Coefficiente de fricción transversal	0.105
Radio mínimo	425 m.
Distancia mínima de frenado (i = 0%)	175 m.
Distancia mínima de sobre paso	600 m.
Berma a cada lado	2.00 m. Ambos lados
Ancho total de la plataforma a nivel rasante	12 m.
Ancho de carril	3.5 m
Pendiente Longitudinal	Máx. 4.5%
SAP Sobreancho de Protección	0.5
Derecho de vía	50 m

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

#### 4.1.5.- Diseño Planimétrico.-

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

**CUADRO 4.4 RESUMEN DEL DISEÑO PLANIMETRICO**

Alineamiento Horizontal									
N° de Curva	Progresiva	Radio (m)	Long. Tran.(m)	Peralte (m/m)	Peralte (%)	SAP (m)	Berma (m)	Bombeo (%)	Tipo de Curva
Curva 1	0+015,755	1200		0,057	5,7	0,5	2,5	2	Simple
Curva 2	0+459,087	4000		0,024	2,4	0,5	2,5	2	Simple
Curva 3	1+892,894	7500		0,02	2	0,5	2,5	2	Simple
Curva 4	2+448,364	520	60	0,08	8	0,5	2,5	2	Transicion
Curva 5	2+931,563	520	60	0,08	8	0,5	2,5	2	Transicion
Curva 6	4+130,850	7500		0,02	2	0,5	2,5	2	Simple
Curva 7	4+998,143	7500		0,02	2	0,5	2,5	2	Simple
Curva 8	5+809,782	750	50	0,076	7,6	0,5	2,5	2	Transicion
Curva 9	6+035,674	1500		0,048	4,8	0,5	2,5	2	Simple
Curva 10	7+175,736	7500		0,02	2	0,5	2,5	2	Simple
Curva 11	10+118,162	600	70	0,078	7,8	0,5	2,5	2	Transicion
Curva 12	12+604,155	600		0,078	7,8	0,5	2,5	2	Simple
Curva 13	13+118,628	600		0,078	7,8	0,5	2,5	2	Simple

Fuente: Diseño Geométrico del Proyecto

#### 4.1.6.- Diseño Altimétrico.-

En este punto se refiere al perfil longitudinal de la carretera, trazado de la rasante que nos indicara el volumen tanto de corte como de relleno que se tendrá y el diseño de curvas verticales, en el cuadro 4.5 se muestra el resumen del diseño altimétrico.

**CUADRO 4.5 RESUMEN DEL DISEÑO ALTIMETRICO**

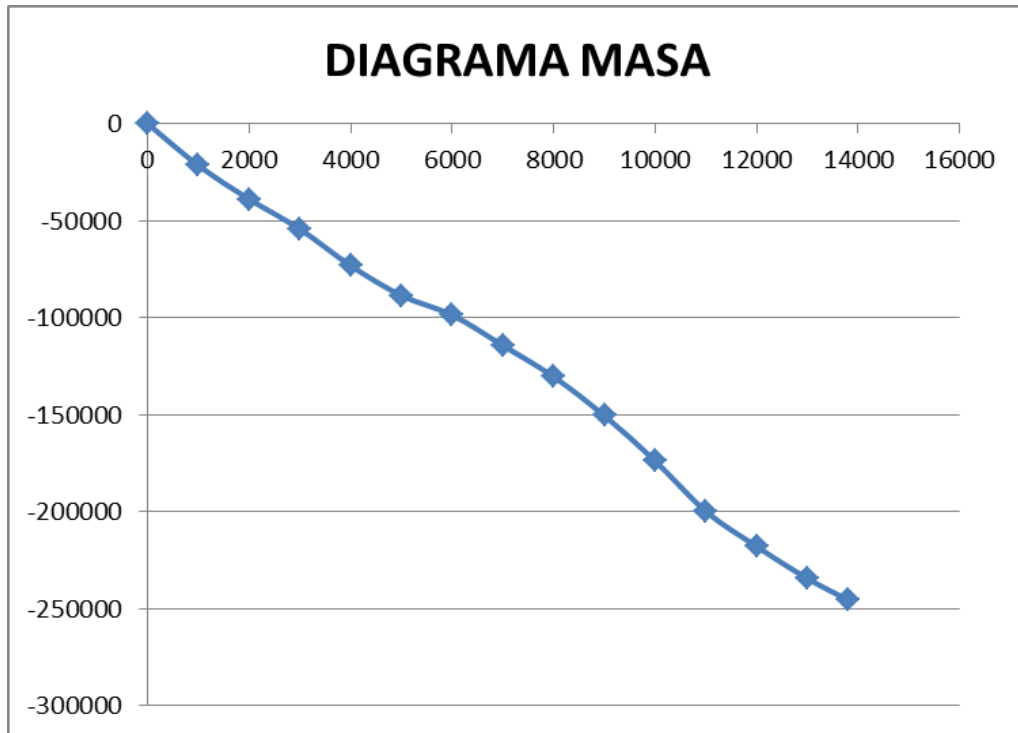
Alineamiento Vertical								
N° de Curva	Long. de Curva (m)	Estacion PVC	Elevacion (m)	Estacion PVI	Elevacion (m)	Estacion PVT	Elevacion (m)	Dif. de Pend.(%)
Curva 1	180	0+737,982	316,626	0+827,982	316,617	0+917,982	316,347	-0,290
Curva 2	80	1+382,184	314,955	1+422,184	314,835	1+462,184	314,799	0,210
Curva 3	70	2+675	314,955	2+710	314,835	2+745	314,799	0,035
Curva 4	70	2+995	313,519	3+030	313,499	3+065	313,482	0,005
Curva 5	80	5+630	312,186	5+670	312,166	5+710	312,160	0,036
Curva 6	80	7+200	311,944	7+240	311,938	7+280	311,926	-0,016
Curva 7	80	7+530,505	311,851	7+570,505	311,839	7+610,505	311,832	0,013
Curva 8	150	8+635,031	311,655	8+710,031	311,642	8+785,031	311,687	0,077
Curva 9	160	9+229,997	311,952	9+309,997	312,000	9+389,997	311,914	-0,167
Curva 10	120	11+480	309,669	11+540	309,605	11+600	309,569	0,047
Curva 11	80	12+260	309,173	12+300	309,149	12+340	309,174	0,122
Curva 12	120	12+766,180	309,439	12+826,180	309,476	12+886,180	309,328	-0,309
Curva 13	140	13+250	308,430	13+320	308,257	13+390	308,236	0,217

Fuente: Diseño Geométrico del Proyecto

#### 4.1.7.- Volúmenes de movimiento de tierras.-

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

**FIGURA 4.1 DIAGRAMA MASA DE PROYECTO**



Fuente: Diseño Geométrico del Proyecto

Como podemos notar en la curva masa, solo tenemos presentes volúmenes de relleno a lo largo del tramo carretero, este debido a al terraplén que se colocara, ya que la topografía de toda la zona es llana y seria innecesarios los cortes (excavación) en el terreno, para así evitar el inundamiento de la carretera. En el Anexo 10 “Planos” se muestra la relación entre la curva masa y el perfil longitudinal de la carretera.

## 4.2.- Diseño del Paquete estructural de la Carretera.-

Para el diseño del paquete estructural de la carretera se utilizó el paquete DIPAV 2.0, utilizando los parámetros que se muestran en el capítulo II, y además con los datos de tráfico, estudios de suelos realizados y cuyos valores se muestran en el capítulo III.

Cabe recalcar que la carretera se diseñara con pavimento flexible, pero haremos una comparación, diseñando también la capa de rodadura como si fuera de pavimento rígido.

### 4.2.1.- Procedimiento de Calculo Pavimento Flexible.-

- a) Se introducen los datos anteriormente descritos en los cuadros respectivos, tal como se muestra en la Imagen 4.1.

#### IMAGEN 4.1 ENTORNO DE CÁLCULO DIPAV 2.0 PAVIMENTO FLEXIBLE

The screenshot shows the DIPAV 2.1 software interface. The main window is titled 'DIPAV 2.1' and has a menu bar with 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area is divided into tabs: 'PAVESM' and 'REPAVR'. Under 'REPAVR', there are sub-tabs: 'Flexible', 'Módulo', 'ESALs', 'Diseño de Espesor de Capas', and 'Gráfico'. The 'Diseño de Espesor de Capas' tab is active. It contains several input fields and buttons:

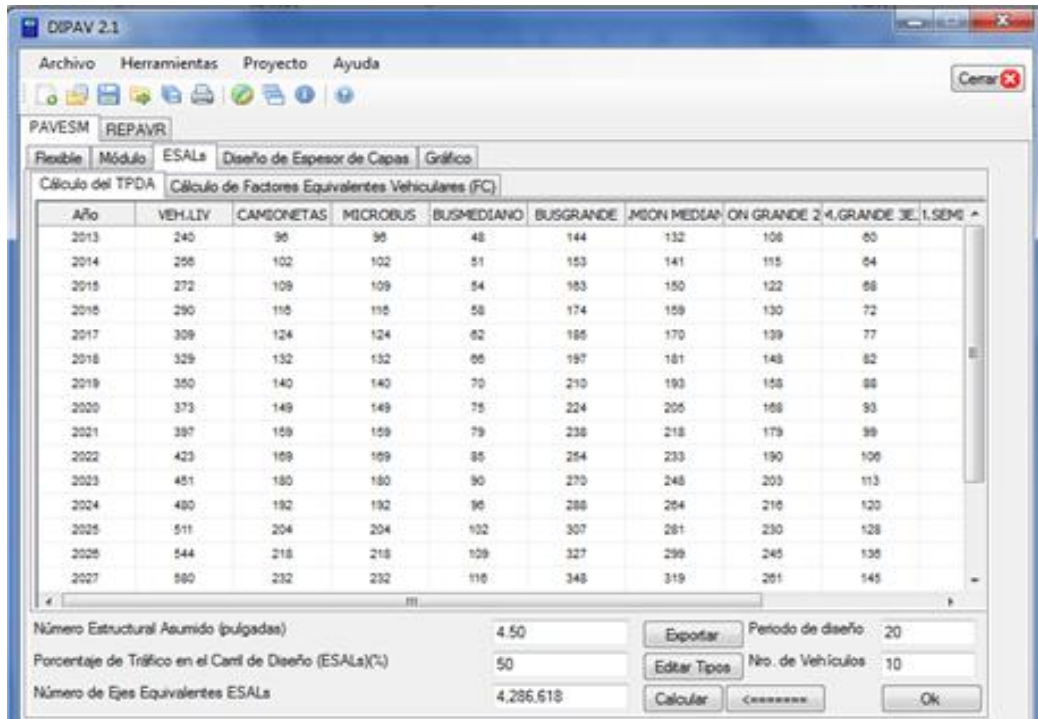
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	54,200	KPa ==> 786,105 psi
Confiabilidad (R)(%)	85	
Desviación Estándar (So)	0.49	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	4,286,618	
Número de Etapas de Construcción	2	
Número Estructural (mm) - (pulg)	114	4.49

Buttons: 'Calcular' (next to Po), 'Calcular' (next to Mr), 'Calcular ESALs', 'Calcular' (next to the second structural number), and 'Borrar todo' (next to ESALs).

Fuente: Programa DIPAV 2.0

- b) Calculo de Esals.- Para el cálculo de Esals, se debe calcular el Trafico Promedio Diario Anual TPDA, para lo cual el Programa DIPAV V2.0, permite el cálculo a través de Factores de Carga de cada Camión Tipo de diseño.

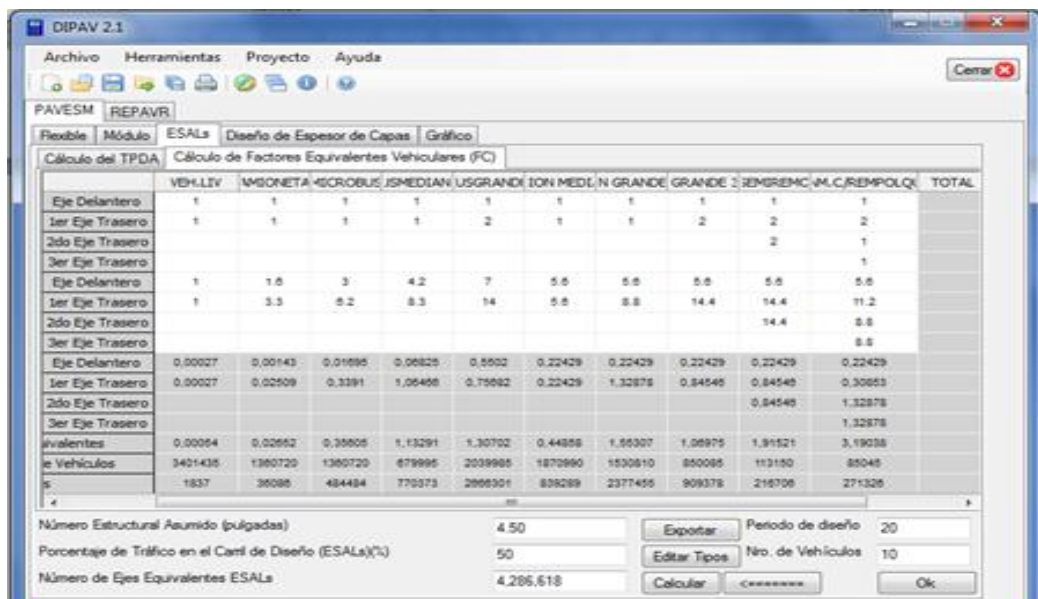
## IMAGEN 4.2 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 PAVIMENTO FLEXIBLE



Fuente: Programa DIPAV 2.0

c) Calculo de Factores Equivalente Vehicular

## IMAGEN 4.3 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 PAVIMENTO FLEXIBLE



Fuente: Programa DIPAV 2.0

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

**IMAGEN 4.4 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 PAVIMENTO FLEXIBLE**

The screenshot shows the DIPAV 2.1 software interface. The main window displays a table with the following data:

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	Módulo de Elasticidad (Pa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)
CAPA SUBRASANTE MEJORADA	0.09	1	90,000	400	400	36
SUBBASE	0.11	1	150,000	230	230	25
BASE	0.14	1.05	200,000	200	200	29
CAPA RODADURA	0.44	1	3,000,000		53	23

Below the table, there is a section for 'Número de Capas' with the value '4' and buttons for 'Dimensionar Tabla' and 'Calcular'.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

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

**IMAGEN 4.5 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 PAVIMENTO FLEXIBLE**

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (a)	Coeficiente de Drenaje (m)	Módulo de Elasticidad (Pa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
CAPA SUBRASA	0.09	1	90,000	400	400	36	400
SUBBASE	0.11	1	150,000	230	230	25	250
BASE	0.14	1.05	200,000	200	200	29	200
CAPA RODADUR	0.44	1	3,000,000		53	23	50

Número Estructural Alcanzado: 115  
 Número Estructural Requerido: 114

Fuente: Programa DIPAV 2.0

**4.2.1.1.- Resultados**

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

**CUADRO 4.6 ESPESORES DE CAPA PARA LA CALZADA**

Periodo	Capa	F011-Yahuanambi
2014-2033	Carpeta Asfáltica	5,00 cm.
	Capa Base Granular Triturada	20,00 cm.
	Subbase Granular	25,00 cm.
	Capa Subrasante Mejorada	40,00 cm.

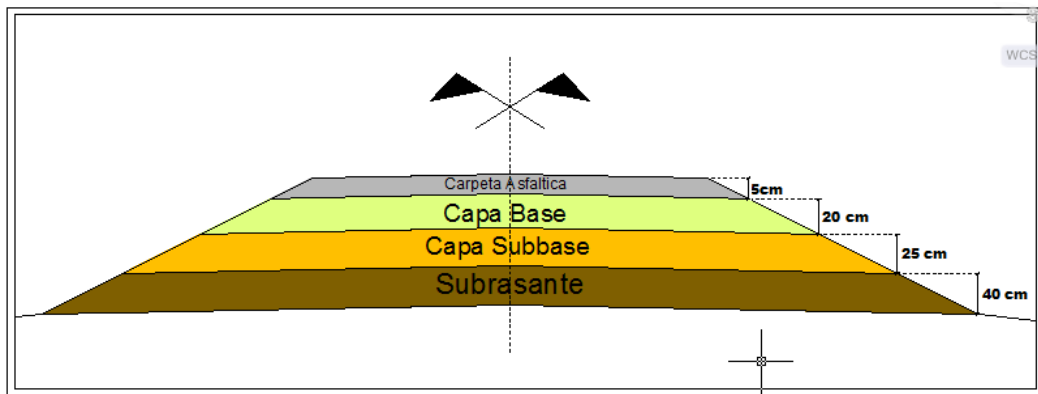
Fuente: Programa DIPAV 2.0

**CUADRO 4.7 ESPEORES DE CAPA PARA LA BERMA**

Periodo	Capa	F011-Yahuanambi
2014-2033	Tratamiento Simple	1,50 cm.
	Capa Base Granular Triturada	20,00 cm.
	Subbase Granular	25,00 cm.
	Capa Subrasante Mejorada	40,00 cm.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

**IMAGEN 4.6 ESPEORES EN LA SECCION TIPO**

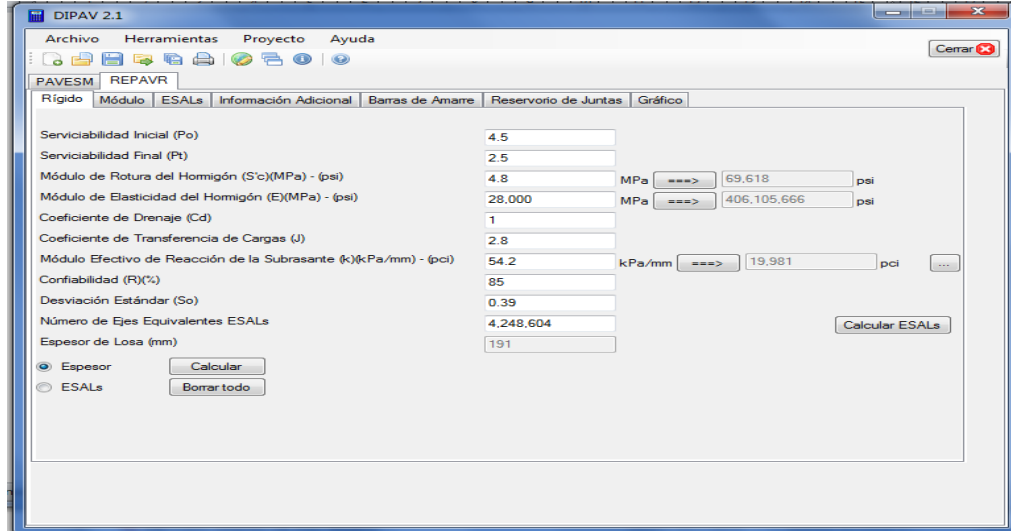


Fuente: Programa DIPAV 2.0

#### 4.2.2.- Procedimiento de Calculo Pavimento Rígido (Alternativa 2)

- a) Se introducen los datos anteriormente descritos en los cuadros respectivos, tal como se muestra en imagen 4.6

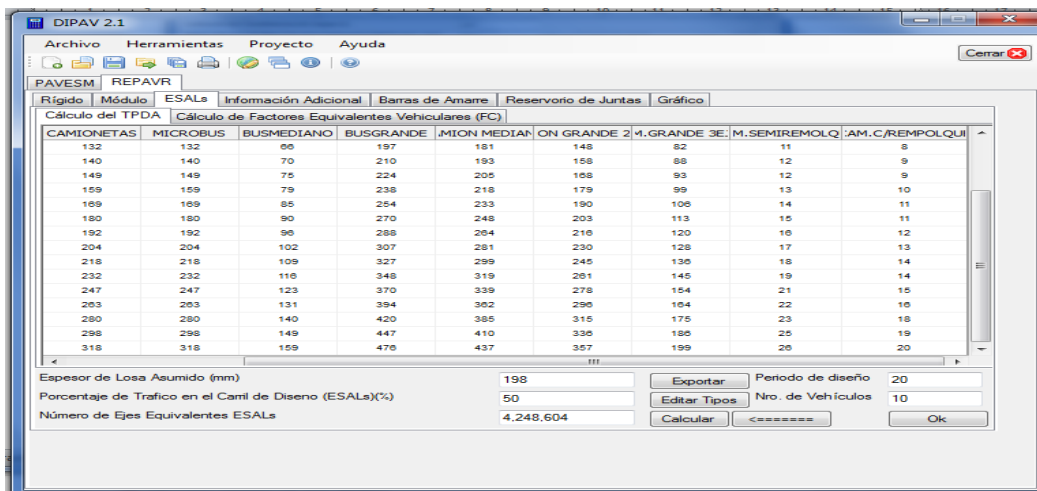
#### IMAGEN 4.7 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 CALCULO PAVIMENTO RIGIDO



Fuente: Programa DIPAV 2.0

- b) Calculo de Esals.- Para el cálculo de Esals, se debe calcular el Trafico Promedio Diario Anual TPDA, para lo cual el Programa DIPAV V2.0, permite el cálculo a través de Factores de Carga de cada Camión Tipo de diseño.

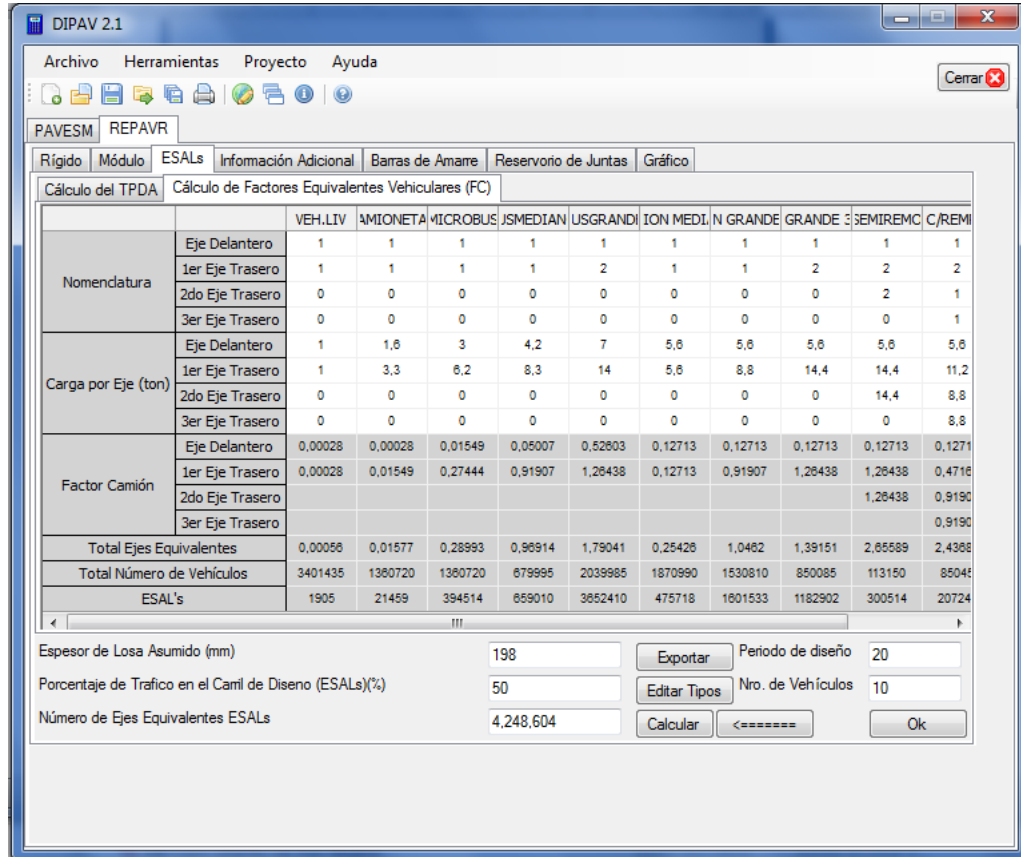
#### IMAGEN 4.8 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 CALCULO Esals



Fuente: Programa DIPAV 2.0

c) Cálculo de Factores Equivalente Vehicular (FEV).

**IMAGEN 4.9 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 CALCULO FEV**



Fuente: Programa DIPAV 2.0

d) Diseño de Espesores por capas.- Para realizar el cálculo del espesor de losa se debe adoptar el espesor inicial de pavimento, de acuerdo al análisis de características de cada capa. En este caso se adopta un espesor de 0.30 m para la capa base y de 0.25 para pavimento rígido.

Además el programa solicita valores adicionales los cuales son sugeridos por la AASTHO en su publicación oficial del año 1993.

e) Cálculo de barras de amarre.

## IMAGEN 4.10 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 CALCULO BARRAS DE AMARRE

**DIPAV 2.1 - Barras de Amarre**

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

PAVESM REPAVR

Rígido Módulo ESALs Información Adicional **Barras de Amarre** Reservorio de Juntas Gráfico

Tipo de Capa Base: A-1-a, CBR 79%

Espesor de Capa Base (mm): 300

Diámetro de Barras Pasajuntas (mm): 19.05

Longitud de Barras Pasajuntas (cm): 45

Separación entre Barras Pasajuntas (cm): 30

Revestimiento de Barras Pasajuntas: 2.0

Separación entre Juntas Transversales (m): 4.5

Espesor de Losa Adoptado (mm): 250

**DIPAV 2.1 - Barras de Amarre**

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

PAVESM REPAVR

Rígido Módulo ESALs Información Adicional **Barras de Amarre** Reservorio de Juntas Gráfico

Coefficiente de Fricción / Losa - Base: 1.5

Calidad del Acero (MPa): 276

Diámetro de la Barra (mm): 12

Distancia al Borde Libre (m): 7.6

Porcentaje de Resistencia a Tracción: 75

Separación entre Barras (m): 0.36

Área de Acero Requerida (mm<sup>2</sup>/m): 31.667

Longitud de la Barra (m): 0.59 Calcular

**Diagrama de Refuerzo:**

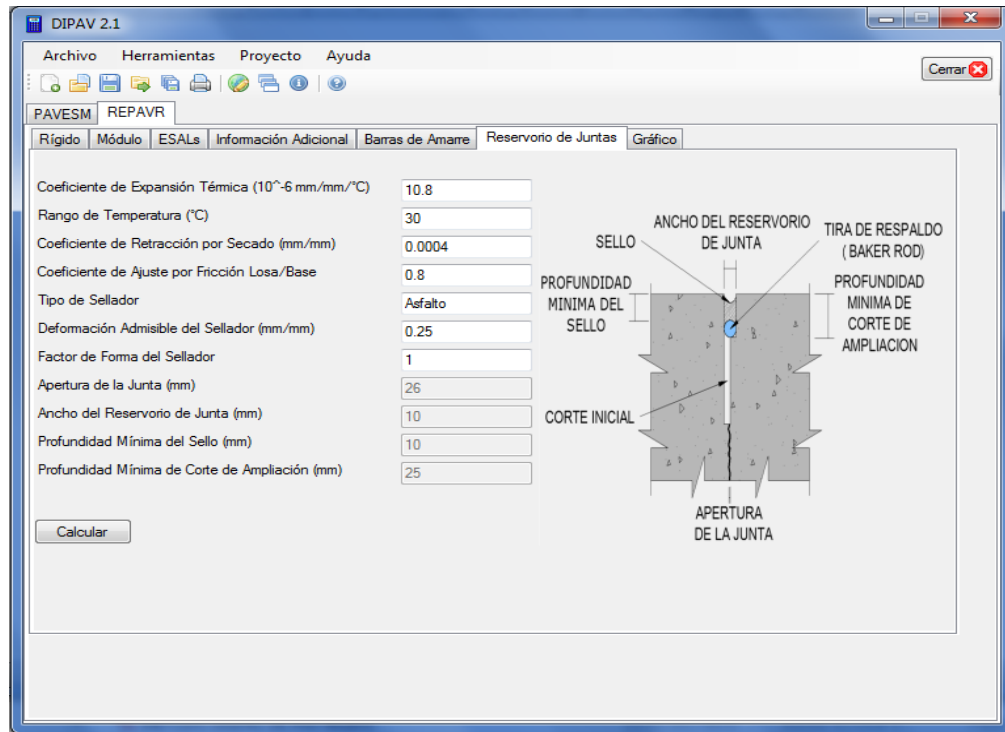
El diagrama muestra una losa de concreto sobre una capa base. Se indican las juntas longitudinales y transversales, el sentido del tráfico, la longitud de la barra, la separación entre barras, el diámetro de la barra, el revestimiento de la barra, el espesor de la losa adoptado y el espesor de la capa base.

El diagrama inferior muestra un plano de la losa con los bordes libres y las distancias DIST. 1 y DIST. 2.

Fuente: Programa DIPAV 2.0

f) Reservorio de Juntas.

**IMAGEN 4.11 ENTORNO DE CALCULO DIPAV V2.0 CALCULO FEV**



Fuente: Programa DIPAV 2.0

**4.2.2.1.- Resultados**

Los resultados del diseño se detallan en los siguientes cuadros.

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

**CUADRO 4.8 ESPESORES DE LAS CAPAS DE LA CALZADA**

Periodo	Capa	F011-Yahuanambi
2014-2033	Losa Pavimento Rígido	25.0 cm
	Capa Base Granular Triturada	30.0 cm

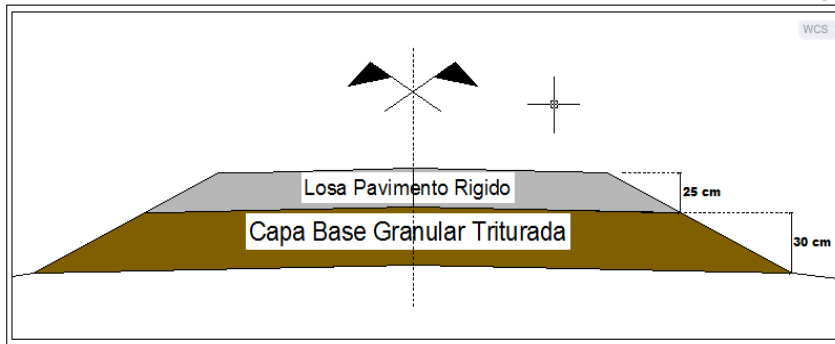
Fuente: Programa DIPAV 2.0

**CUADRO 4.9 ESPEORES DE LAS CAPAS DE LA BERMA**

Periodo	Capa	F011 - Yahuanambi
2014-2033	Tratamiento S. Simple	1.5 cm
	Capa Base Granular Triturada	28.5 cm
	Sub base Granular	30.0 cm

Fuente: Programa DIPAV 2.0

**IMAGEN 4.12 ESPEORES EN LA SECCION TIPO**

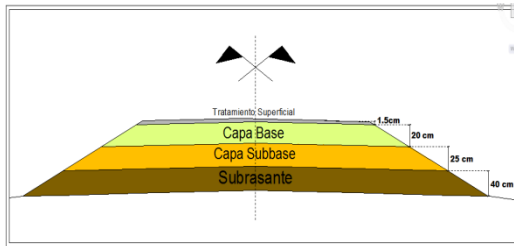


Fuente: Programa DIPAV 2.0

**4.2.2.2.- Comparación entre Tratamiento superficial, Pavimento Flexible y Pavimento Rígido.-**

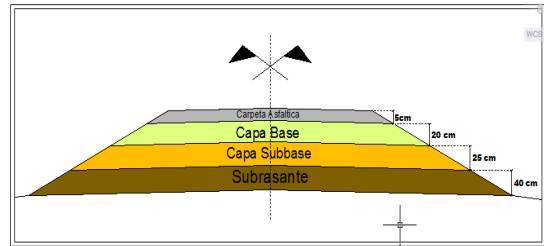
**i. Comparación Técnica.-**

**IMAGEN 4.13 TRAT. SUP.**



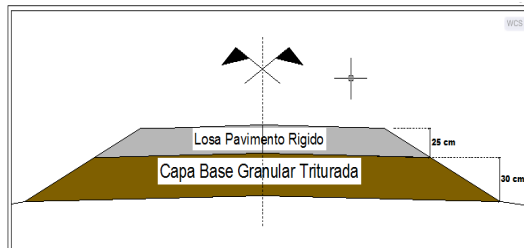
Fuente: Programa DIPAV 2.0

**IMAGEN 4.14 PAV. FLEX.**



Fuente: Programa DIPAV 2.0

**IMAGEN 4.15 PAV. RIG.**



Fuente: Programa DIPAV 2.0

ii. **Ventajas y Desventajas.-**

**CUADRO 4.10 VENTAJAS DE CADA PAVIMENTO**

Ventajas Tratamiento Superficial	Ventajas Flexible	Ventajas Pavimento Rígido
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor costo que otros tipos de pavimentos.</li> <li>• Fácil Reparación.</li> <li>• Reduce el coste del mantenimiento.</li> <li>• No requieren equipos especiales en su colocación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor coste inicial a diferencia de otras opciones.</li> <li>• La resistencia al derrapamiento se da primordialmente por la textura de la capa de rodadura que permite proporcionar un buen coeficiente de fricción neumático pavimento y por un buen drenaje superficial que impida la formación de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento.</li> <li>• Los avances en la tecnología de modificación de ligantes asfálticos, en la de diseño de mezclas y el uso de materiales pétreos de mejor calidad ha permitido que en la actualidad se logren mezclas asfálticas con resistencias muy superiores a las convencionales, con la tecnología actual es posible lograr mezclas con módulos dinámicos superiores a los 10,000MPa (más del triple de las que se obtienen con una convencional).</li> <li>• La reutilización de mezclas asfálticas que han cumplido con su vida útil ha sido de uso común por un largo tiempo. Se pueden usar en capas estructurales como en superficies de rodamiento, formando parte de mezclas en caliente, mezclas tibias, mezclas en frío, en capas de base estabilizada o como parte de una base granular.</li> <li>• Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada.</li> <li>• Producen una reducción al ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con equipos de pavimentación se pueden lograr acabados muy buenos en los pavimentos de concreto hidráulico, además su gran capacidad estructural permite que se mantengan sin deformaciones de consideración a lo largo de su vida útil.</li> <li>• La textura en un pavimento de concreto de logra mediante un escobillado, por sus características el agregado grueso normalmente no queda expuesto al contacto con los neumáticos por lo que el aporte de la microtextura a la resistencia al derrapamiento.</li> <li>• En la práctica es frecuente que los pavimentos de concreto hidráulico sean proyectados para vidas útiles de 40 a 50 años.</li> <li>• Un pavimento de concreto bien diseñado y construido, y con mantenimiento adecuado tiene capacidades estructurales excelentes.</li> <li>• Tienen un mantenimiento muy fácil, porque una vez que se desgastan pueden repararse fácilmente para volver a recuperar la textura.</li> </ul>

Fuente: Recopilación de varios Autores

**CUADRO 4.11 DESVENTAJAS DE CADA PAVIMENTO**

Desventajas Tratamiento Superficial	Desventajas Pavimento Flexible	Desventajas Pavimento Rígido
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor resistencia al paso de cargas elevadas.</li> <li>• Menor durabilidad que otros métodos, debido a que su periodo de vida útil es de entre 8 a 10 años.</li> <li>• Mayor tendencia a ablandarse en lugares muy cálidos.</li> <li>• Mayor cantidad de contaminación del suelo debido al empleo de hidrocarburos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al no tener cuidado, en la selección de materiales, en el diseño de las mezclas asfálticas y en los procesos constructivos no se logran buenos acabados, además estas mismas condiciones aunadas a deficiencias en el proyecto generan que algunos pavimentos flexibles presenten deformaciones plásticas prematuramente, afectando así las condiciones de durabilidad.</li> <li>• En la práctica nacional persiste la costumbre de emplear agregados locales por razones de costo inicial, aunque no tengan características adecuadas, además que las nuevas tecnologías de diseño y construcción de mezclas aún no están lo suficientemente extendidas. Esto genera superficies con problemas de derrapamiento de origen, que se van agravando con el tiempo al aparecer el fenómeno de pulimento y/o roderas que impiden un drenaje adecuado en la Carretera.</li> <li>• Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen un elevado Coste Inicial.</li> <li>• En calles y caminos secundarios es común encontrar tanto proyectos deficientes como procedimientos constructivos inadecuados, generando problemas de regularidad por agrietamientos, escalonamientos, rotura de losas, etc.</li> <li>• Puede presentar fallas prematuras por defectos de construcción, como sellado de juntas eficiente, aserrado a destiempo de las mismas, curado insuficiente o pasajuntas mal colocados, también puede ser afectado por el exceso de carga de los vehículos que circulan por la vía.</li> <li>• La gran resistencia que se logra en los concretos de pavimentación provoca que sea un material difícil de demoler, dificultando con ello las posibilidades de ser reutilizado.</li> <li>• Es común encontrar que a despostillamiento en juntas se les atiende colocando mezcla asfáltica, la cual se convierte en un obstáculo a la libre expansión de las losas al subir la temperatura provocando que el problema se incremente.</li> <li>• Son más rudas para el conductor.</li> <li>• La fisuración nunca se detiene y son más difíciles de reparar si sufren una fractura.</li> <li>• Las reparaciones suelen ser caras y consumen mucho tiempo.</li> </ul>

Fuente: Recopilación de varios Autores

### iii. Comparación Económica

**CUADRO 4.12 COSTO TRAT. SUP.**

Tratamiento Superficial	
Modulo	Costo (Bs)
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Flexible	26.947.703,66
3.-Obras de Drenaje	8.289.239,65
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
TOTAL.-	49.658.686,59

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 4.13 COSTO PAV. FLEX.**

Pavimento Flexible	
Modulo	Costo (Bs)
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Rígido	31.007.843,662
3.-Obras de Drenaje	8.289.239,6
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
TOTAL.-	53.688.511,59

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 4.14 COSTO PAV. RIG.**

Pavimento Rígido	
Modulo	Costo (Bs)
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Rígido	47.969.945,139
3.-Obras de Drenaje	8.289.239,6
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
TOTAL.-	70.680.928,870

Fuente: Elaboración Propia

### iv. Análisis Técnico Económico

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

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

Si bien la alternativa del tratamiento es la menos costosa de las tres con un costo de 49.637.934,39 de bolivianos, solo tiene un periodo de vida útil de máximo ocho años, tras los cuales se debería reinvertir en el mantenimiento o si es el caso el cambio de la capa de rodadura, aspecto que se hace difícil, tomando en cuenta la economía que posee el país.

El pavimento flexible tiene un costo de 53.698.074,39 de bolivianos, que es un 7.56% más elevado que el costo del tratamiento, pero este tipo de pavimento ofrece mejores condiciones de seguridad y confort para el libre tránsito de vehículos, además de su fácil colocación en obra. Además su nivel de inversión inicial la hace la opción más favorable, a la hora de decidir el tipo de pavimento.

El pavimento rígido tiene un costo de 70.660.175,870 de bolivianos, que es un 24.01 % más elevado que el pavimento flexible y un 29.75 % más que el tratamiento. Si bien es cierto que el pavimento rígido posee mayores cualidades en cuanto a la resistencia y periodo de vida útil, el monto de inversión inicial la hace una opción que tiene que ser analizada cuidadosamente por todas las partes que realizaran el proyecto.

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

### 4.3.- Diseño Hidráulico de Obras de Arte.-

#### 4.3.1.- Diseño de Alcantarillas (Alternativa 1).-

Para el diseño de alcantarillas se utilizó el paquete H-Canales, ya que se trata de estructuras que funcionan sin presión, o sea, solamente bajo el efecto de la gravedad. El Cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$Q_{T50} = 2.54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{T25} = 2.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

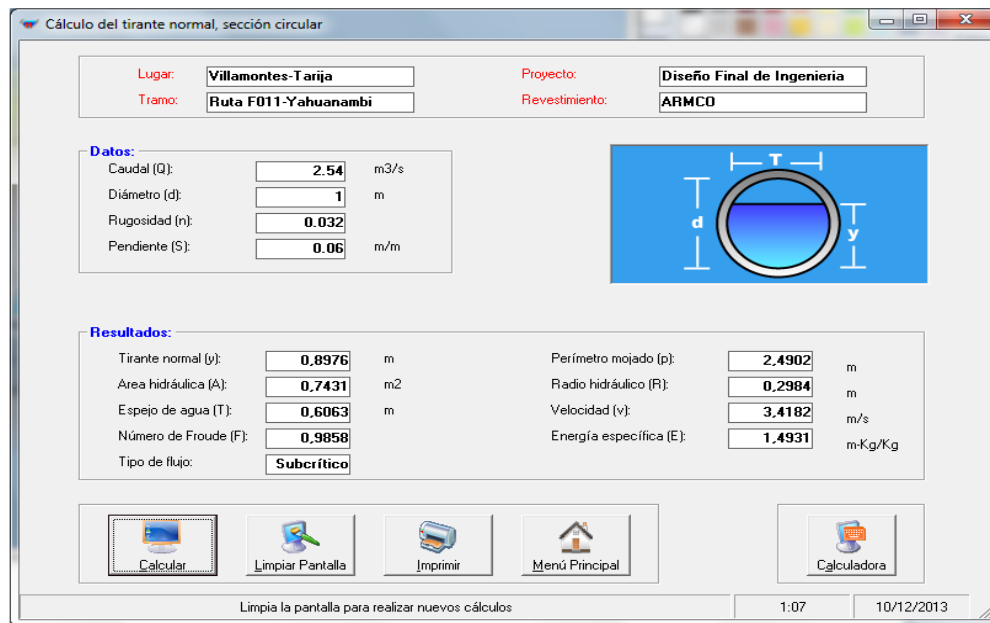
Coefficiente de rugosidad de Manning:

$$n = 0.032$$

Se verifica el gasto máximo que puede circular por los alcantarillas con el paquete H-Canales obteniéndose los siguientes resultados.

$$Q_{T50} = 2.54 \text{ m}^3/\text{s} \text{ como se tiene dos tubos se podrá evacuar } 5.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

**IMAGEN 4.16 DIMENSIONAMIENTO DE ALCANTARILLAS**



Fuente: Programa H-Canales

Por condiciones de seguridad ante posibles precipitaciones de elevada magnitud se opta por 2 tuberías Armco de 1m. de diámetro.

Los caudales de diseño se muestran en el Anexo del Estudio Hidrológico e Hidráulico.

**CUADRO 4.15 RESUMEN DE UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE ALCANTARILLAS**

PROGRESIVA	TIPO	FLUJO	N°	Long.	Ancho	Area	Caudal máximo SCS		Q <sub>máx</sub> = q <sup>2</sup> Q <sup>2</sup> A (m <sup>3</sup> /s)		Coef de escorrentia		I <sub>max</sub> [mm/h]		Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /seg] RACIONAL	
				(m)	(m)	(km <sup>2</sup> )	T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años		
0+200	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	1	325	250	0,08	0,69	0,89	0,34	0,37	269,55	299,34	2,07	2,50		
0+450	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	2	260	250	0,07	0,55	0,72	0,34	0,37	269,55	299,34	1,65	2,00		
0+720	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	3	265	250	0,07	0,56	0,73	0,34	0,37	269,55	299,34	1,69	2,04		
0+980	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	4	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
1+220	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	5	220	250	0,06	0,46	0,61	0,34	0,37	269,55	299,34	1,40	1,69		
1+420	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	6	225	250	0,06	0,47	0,62	0,34	0,37	269,55	299,34	1,43	1,73		
1+670	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	7	270	250	0,07	0,57	0,74	0,34	0,37	269,55	299,34	1,72	2,08		
1+960	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	8	285	250	0,07	0,60	0,78	0,34	0,37	269,55	299,34	1,81	2,19		
2+240	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	9	260	250	0,07	0,55	0,72	0,34	0,37	269,55	299,34	1,65	2,00		
2+480	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	10	235	250	0,06	0,50	0,65	0,34	0,37	269,55	299,34	1,50	1,81		
2+710	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	11	240	250	0,06	0,51	0,66	0,34	0,37	269,55	299,34	1,53	1,85		
2+960	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	12	275	250	0,07	0,58	0,76	0,34	0,37	269,55	299,34	1,75	2,12		
3+260	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	13	260	250	0,07	0,55	0,72	0,34	0,37	269,55	299,34	1,65	2,00		
3+480	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	14	240	250	0,06	0,51	0,66	0,34	0,37	269,55	299,34	1,53	1,85		
3+740	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	15	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
3+980	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	16	335	250	0,08	0,71	0,92	0,34	0,37	269,55	299,34	2,13	2,49		
4+410	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	17	340	250	0,09	0,72	0,94	0,34	0,37	269,55	299,34	2,16	2,54		
4+660	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	18	255	250	0,06	0,54	0,70	0,34	0,37	269,55	299,34	1,62	1,96		
4+920	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	19	260	250	0,07	0,55	0,72	0,34	0,37	269,55	299,34	1,65	2,00		
5+180	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	20	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
5+420	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	21	245	250	0,06	0,52	0,67	0,34	0,37	269,55	299,34	1,56	1,88		
5+670	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	22	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
5+920	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	23	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
6+170	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	24	240	250	0,06	0,51	0,66	0,34	0,37	269,55	299,34	1,53	1,85		
6+400	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	25	240	250	0,06	0,51	0,66	0,34	0,37	269,55	299,34	1,53	1,85		
6+650	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	26	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
6+900	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	27	295	250	0,07	0,62	0,81	0,34	0,37	269,55	299,34	1,88	2,27		
7+240	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	28	335	250	0,08	0,71	0,92	0,34	0,37	269,55	299,34	2,13	2,53		
7+570	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	29	290	250	0,07	0,61	0,80	0,34	0,37	269,55	299,34	1,85	2,23		
7+820	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	30	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
8+070	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	31	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
8+320	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	32	320	250	0,08	0,67	0,88	0,34	0,37	269,55	299,34	2,04	2,46		
8+710	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	33	320	250	0,08	0,67	0,88	0,34	0,37	269,55	299,34	2,04	2,46		
8+960	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	34	325	250	0,08	0,69	0,89	0,34	0,37	269,55	299,34	2,07	2,50		
9+360	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	35	330	250	0,08	0,70	0,91	0,34	0,37	269,55	299,34	2,10	2,54		
9+620	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	36	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
9+860	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	37	275	250	0,07	0,58	0,76	0,34	0,37	269,55	299,34	1,75	2,12		
10+170	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	38	320	250	0,08	0,67	0,88	0,34	0,37	269,55	299,34	2,04	2,46		
10+500	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	39	265	250	0,07	0,56	0,73	0,34	0,37	269,55	299,34	1,69	2,04		
10+700	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	40	240	250	0,06	0,51	0,66	0,34	0,37	269,55	299,34	1,53	1,85		
10+980	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	41	270	250	0,07	0,57	0,74	0,34	0,37	269,55	299,34	1,72	2,08		
11+240	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	42	280	250	0,07	0,59	0,77	0,34	0,37	269,55	299,34	1,78	2,15		
11+540	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	43	280	250	0,07	0,59	0,77	0,34	0,37	269,55	299,34	1,78	2,15		
11+800	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	44	255	250	0,06	0,54	0,70	0,34	0,37	269,55	299,34	1,62	1,96		
12+050	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	45	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
12+300	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	46	285	250	0,07	0,60	0,78	0,34	0,37	269,55	299,34	1,81	2,19		
12+620	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	47	265	250	0,07	0,56	0,73	0,34	0,37	269,55	299,34	1,69	2,04		
12+830	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	48	250	250	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
13+120	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	49	245	250	0,06	0,52	0,67	0,34	0,37	269,55	299,34	1,56	1,88		
13+320	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	50	220	250	0,06	0,46	0,61	0,34	0,37	269,55	299,34	1,40	1,69		
13+560	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	51	220	250	0,06	0,46	0,61	0,34	0,37	269,55	299,34	1,40	1,69		
13+760	ARMCO DOBLE D=1m	D-1	52	174,84	250	0,04	0,37	0,48	0,34	0,37	269,55	299,34	1,11	1,34		
13+810	FIN DE TRAMO					MAX	0,72	0,94				MAX	2,16	2,54		

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico

### 4.3.2.- Diseño de Badenes (Alternativa 2)

El diseño de badenes se realiza con datos similares a los del diseño de las alcantarillas, donde a través de estas estructuras se logran evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones, en este caso actuando como vasos comunicantes.

Los caudales calculados se muestran en el cuadro 4.16, mostrado a continuación.

**CUADRO 4.16 RESUMEN DE UBICACIÓN DE BADENES**

Caudal específico interpolado para tc  
 $q = 0,241$  (m<sup>3</sup>/s/mm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>)

Escorrentía (precipitación efectiva)  
 $Q = 35,02$  (mm) 45,73 (mm)

PROGRESIVA	TIPO	FLUJO	Nº	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal máximo SCS		Q <sub>máx</sub> = q*Q*A (m <sup>3</sup> /s)		Coef de escorrentía		I <sub>max</sub> [mm/h]		Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /seg] RACIONAL	
					T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años	T = 25 Años	T = 50 Años		
3+260	Baden 1	D-I	1	0,18	1,52	1,99	0,34	0,37	269,55	299,34	4,60	5,56		
5+670	Baden 2	D-I	2	0,19	1,63	2,13	0,34	0,37	269,55	299,34	4,93	5,95		
9+360	Baden 3	D-I	3	0,25	2,08	2,71	0,34	0,37	269,55	299,34	6,27	7,58		
10+700	Baden 4	D-I	4	0,11	0,91	1,19	0,34	0,37	269,55	299,34	2,75	3,33		
12+300	Baden 5	D-I	5	0,19	1,63	2,12	0,34	0,37	269,55	299,34	4,91	5,94		
12+500	Baden 6	D-I	6	0,02	0,21	0,27	0,34	0,37	269,55	299,34	0,63	0,76		
12+830	Baden 7	D-I	7	0,03	0,26	0,34	0,34	0,37	269,55	299,34	0,78	0,94		
13+760	Baden 8	D-I	8	0,06	0,53	0,69	0,34	0,37	269,55	299,34	1,59	1,92		
13+810	FIN DE TRAMO			MAX	2,08	2,71				MAX	6,27	7,58		

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico

Los badenes poseen una seccion tipo, para un determinado caudal, en este caso para un caudal de 8 m<sup>3</sup>/s, con pendientes suaves en su totalidad, por esto se determina badenes de 12 mts de longitud. El cálculo se realizó con el paquete H-Canales.

**IMAGEN 4.17 DIMENSIONAMIENTO DE BADENES**

**Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular**

Lugar: **Villamentes-Tarija** Proyecto: **Diseño Final de Ingeniería**  
 Tramo: **F011-Yahuanambi** Revestimiento:

**Datos:**  
 Caudal (Q): **8** m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b): **12** m  
 Talud (Z): **3**  
 Rugosidad (n): **0.013**  
 Pendiente (S): **0.03** m/m

**Resultados:**  
 Tirante normal (y): **0.1646** m Perímetro (p): **13.0412** m  
 Área hidráulica (A): **2.0569** m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R): **0.1577** m  
 Espejo de agua (T): **12.9878** m Velocidad (v): **3.8894** m/s  
 Número de Froude (F): **3.1204** Energía específica (E): **0.9356** m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Supercrítico**

Botones: **Calcular**, **Limpiar Pantalla**, **Imprimir**, **Menú Principal**, **Calculadora**

Retorna al Menú principal 14:15 03/12/2013

Fuente: Programa H-Canales

#### 4.3.2.1.- Diseño estructural de los badenes.-

##### Badenes 2 y 3.-

###### a) Datos Generales

Espesor	=	0,20	m
Tipo de Acero		Grado 60 (AASHTO-96)	
Sobrecarga de diseño de relleno		HS-20 (AASHTO-96)	
Hormigon Tipo A	$f'c =$	350	kg/cm <sup>2</sup>
Acero Estructural	$f_y =$	4200	kg/cm <sup>2</sup>

###### Empuje Lateral

Tipo de Suelo		A-6 Material granular	
Peso Especifico ( $\gamma$ ) Suelo	=	1800	kg/cm <sup>3</sup>
Angulo de Friccion	=	30	grados
Altura Terreno H	$\leq$	0,50	m
Altura de Baden Ha	=	0,20	m
$K_o = 1 - \text{sen } \theta$	=	0,50	

$P_1 = (\gamma) \text{ Suelo} * H * K_o$	=	450	kg/m
$P_i = (\gamma) \text{ Suelo} * H_a * K_o$	=	180	kg/m
$P_2 = P_1 + P_i$	=	630	kg/m

###### Sobrecarga de Diseño

Camion Tipo		HS20 (AASHTO-96)	
Longitud de la Carroceria	=	1,20	m
Ancho de Distribucion E	=	$1,22 + 0,06 * L_c$ ; maximo 2,10	(Ecuación 20)
Ancho de Distribucion E	=	1,292	m < 2,10 OK!!
Peso rueda mas pesada P	=	7500	kg
Impacto	$I = 0.3 - ((H^2 / 4.05) + (H / 9))$		(Ecuación 21)
Altura de rell. de impacto	$H =$	0,30	m
	$I =$	0,244	

$$W_t = P * (1 + I) / E \quad \text{(Ecuación 23)}$$

Carga Vertical  $\longrightarrow$   $W_t = 7223,94 \text{ kg/m}$

###### Carga de Concreto Armado.-

Carga Vertical  $\longrightarrow$   $W_c = 2400,00 \text{ kg/m}$

**b) Verificación de Tensiones en el Suelo de Fundación.-**

$$\Sigma \text{ de cargas solicitantes} \quad \Sigma p = 9623,94 \text{ kg/m}$$

**c) Diseño a Flexión.-**

$$\text{Peso específico del H}^\circ \quad \gamma = 2400,00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Luz de Calculo} \quad = 1 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la Losa} \quad h = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Peso propio de la losa por unidad de longitud} = \gamma_H * b * h \quad \text{(Ecuación 24)}$$

$$= 480 \text{ kg/m}$$

$$\text{Cargas permanentes Camion Tipo HS20}$$

$$= 7223,94 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momento Ultimo de Diseño} = \frac{q * L^2}{10} \quad \text{(Ecuación 25)}$$

$$= 48,00 \text{ kg/m}$$

**CARGAS NO PERMANENTES SOBRE LA LOSA**

$$\text{Etapa de Servicio:} \quad P = 7223,94 \text{ kg/m}$$

$$\text{Según AASHTO:} \quad M = \frac{(S + 0,61)}{9,75} * P_{HS20} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

$$M_{cv} = 1192,88 \text{ kg.m}$$

$$\text{Coeficiente por Impacto:} \quad 0,244 \quad \text{Adoptar} \rightarrow I = 0,30$$

**Momento Ultimo de Diseño Etapa de Servicio:**

$$M_u = 3429,06 \text{ kg.m}$$

**Verificación de la altura Util y Determinación de la Armadura Principal**

$$\text{Cuantía balanceada:} \quad \rho_b = 0,85 * b_1 * \left( \frac{f_c}{f_y} \right) * \left[ \frac{6000}{6000 + f_y} \right] \quad \text{(Ecuación 27)}$$

Donde:

$$b_1 = 0,85 \quad \text{para } f_c < 280 \text{ kg/cm}^2 \quad \rho_b = 0,0354167$$

Cuantía mecánica para controlar deformaciones:

$$\rho_{max} = 0,50 * \rho_b \quad \rho_{max} = 0,01771$$

$$\text{Cuantía mecánica:} \quad w = \rho_{max} * \left( \frac{f_y}{f_c} \right) \quad w = 0,2125$$

Altura efectiva de la Losa:

$$d = \left[ \frac{M_u}{(\phi * f_c * b * w * (1 - 0,59 * w))} \right] \quad \text{(Ecuación 28)}$$

Donde: Factor de reduccion por flexion:

$$\phi = 0,90$$

Ancho de losa para el calculo:

$$b = 100,00 \quad \text{cm}$$

Recubrimiento:

$$r = 5,00 \quad \text{cm}$$

Ancho efectivo:

$$d = 7,65 \quad \text{cm}$$

$$d = 12,65 \quad \text{cm}$$

**Adoptar:**

$$h = 20 \quad \text{cm}$$

$$y = d * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi * 0,85 * f_c' * b * d^2}} \right]$$

$$y = 1,06 \quad \text{cm} \quad \text{(Ecuación 29)}$$

$$A_s = \frac{0,85 * f_c' * b * y}{f_y}$$

$$A_s = 7,48 \quad \text{cm}^2 \quad \text{(Ecuación 30)}$$

### Verificacion por cuantias según ACI

$$\text{Cauntia balanceada: } \rho_b = 0,85 * \beta_1 * \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) * \left[ \frac{6090}{6090 + f_y} \right]$$

$$\beta_1 = 0,75 \quad \text{(Ecuación 31)}$$

$$\rho_b = 0,02 \quad \text{cm}$$

Cuantia maxima:

$$\rho_{max} = 0,75 * \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,01 \quad \text{cm} \quad \text{(Ecuación 32)}$$

$$A_{smax} = \rho_{max} * b * d$$

$$A_{smax} = 15,14 \quad \text{cm}^2$$

Cuantia minima:

$$\rho_{min} = 0,0018 \quad \text{cm}$$

**(Ecuación 33)**

$$A_{smin} = \rho_{min} * b * d$$

$$A_{smin} = 2,28 \quad \text{cm}^2$$

Verificando:

$$A_{smax} \geq A_s \geq A_{smin}$$

Cumple OK!!!

### Disposición de Armaduras

Diametro(f) barra	As(cm2)	Nº de Barras
10 mm	0,71	3,208
8mm	0,49	2,789

### As de distribucion Transversal

$$A_s \text{ dist. Min} = 2,28 \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Num. de barras } 10 \text{ mm} = 4 \quad \phi 10 \text{ c}/40$$

$$\text{Separacion de barras} = 33,33 \quad \text{cm}$$

$$\text{Separacion Adoptada} = 40 \quad \text{cm}$$

### As de distribucion longitudinal

$$A_s \text{ dist. Min} = 1,37 \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Num. de barras } 8 \text{ mm} = 3 \quad \phi 8 \text{ c}/40$$

$$\text{Separacion de barras} = 33,33 \quad \text{cm}$$

$$\text{Separacion Adoptada} = 40 \quad \text{cm}$$

## Badenes 1, 4, 5, 6, 7 y 8.-

### a) Datos Generales

Espesor	=	0,20	m
Tipo de Acero		Grado 60	(AASHTO-96)
Sobrecarga de diseño de relleno		HS-20	(AASHTO-96)
Hormigon Tipo A	$f'c =$	350	kg/cm <sup>2</sup>
Acero Estructural	$f_y =$	4200	kg/cm <sup>2</sup>

### Empuje Lateral

Tipo de Suelo		A-4	Material granular
Peso Especifico ( $\gamma$ ) Suelo	=	1800	kg/cm <sup>3</sup>
Angulo de Friccion	=	30	grados
Altura Terreno H	$\leq$	0,60	m
Altura de Baden Ha	=	0,20	m
$K_o = 1 - \text{sen } \theta'$	=	0,50	
$P_1 = (\gamma) \text{ Suelo} * H * K_o$	=	540	kg/m
$P_i = (\gamma) \text{ Suelo} * H_a * K_o$	=	180	kg/m
$P_2 = P_1 + P_i$	=	720	kg/m

### Sobrecarga de Diseño

Camion Tipo		HS20	(AASHTO-96)
Longitud de la Carroceria	=	1,20	m
Ancho de Distribucion E	=	$1,22 + 0,06 * L_c$	; maximo 2,10
Ancho de Distribucion E	=	1,292	m < 2,10 OK!!
Peso rueda mas pesada P	=	7500	kg
Impacto	$I = 0.3 - ((H^2 / 4.05) + (H / 9))$		
Altura de rell. de impacto	$H =$	0,30	m
	$I =$	0,244	

$$W_t = P * (1 + I) / E$$

Carga Vertical  $\longrightarrow$   $W_t = 7223,94$  kg/m

### Carga de Concreto Armado.-

Carga Vertical  $\longrightarrow$   $W_c = 2400,00$  kg/m

**b) Verificación de Tensiones en el Suelo de Fundación.-**

$$\Sigma \text{ de cargas solicitantes} \quad \Sigma p = 9623,94 \quad \text{kg/m}$$

**c) Diseño a Flexión.-**

$$\begin{aligned} \text{Peso específico del H}^\circ & \quad \gamma = 2400,00 \quad \text{kg/m}^3 \\ \text{Luz de Calculo} & \quad = 1 \quad \text{m} \\ \text{Altura de la Losa} & \quad h = 0,20 \quad \text{m} \\ \text{Peso propio de la losa por unidad de longitud} & \quad = \gamma_H * b * h \\ & \quad = 480 \quad \text{kg/m} \\ \text{Cargas permanentes Camion Tipo HS20} & \quad = 7223,94 \quad \text{kg/m} \\ \text{Momento Ultimo de Diseño} & \quad = \frac{q * L^2}{10} \\ & \quad = 48,00 \quad \text{kg/m} \end{aligned}$$

**CARGAS NO PERMANENTES SOBRE LA LOSA**

$$\text{Etapa de Servicio:} \quad P = 7223,94 \quad \text{kg/m}$$

$$\text{Según AASHTO:} \quad M = \frac{(S + 0,61)}{9,75} * P_{HS20}$$

$$M_{cv} = 1192,88 \quad \text{kg.m}$$

$$\text{Coeficiente por Impacto:} \quad 0,244 \quad \text{Adoptar} \quad \longrightarrow \quad I = 0,30$$

**Momento Ultimo de Diseño Etapa de Servicio:**

$$M_u = 3429,06 \quad \text{kg.m}$$

**Verificación de la altura Util y Determinación de la Armadura Principal**

$$\text{Cuantía balanceada:} \quad \rho_b = 0,85 * b_1 * \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) * \left[ \frac{6000}{6000 + f_y} \right]$$

Donde:

$$b_1 = 0,85 \quad \text{para } f'_c < 280 \text{ kg/cm}^2 \quad \rho_b = 0,0354167$$

Cuantía mecánica para controlar deformaciones:

$$\rho_{max} = 0,50 * \rho_b \quad \rho_{max} = 0,01771$$

$$\text{Cuantía mecánica:} \quad w = \rho_{max} * \left( \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad w = 0,2125$$

Altura efectiva de la Losa:

$$d = \left[ \frac{M_u}{(\phi * f_c * b * w * (1 - 0,59 * w))} \right]$$

Donde: Factor de reduccion por flexion:

$$\phi = 0,90$$

Ancho de losa para el calculo:

$$b = 100,00 \text{ cm}$$

Recubrimiento:

$$r = 5,00 \text{ cm}$$

Ancho efectivo:

$$d = 7,65 \text{ cm}$$

$$d = 12,65 \text{ cm}$$

**Adoptar:**

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$y = d * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{\phi * 0,85 * f_c' * b * d^2}} \right]$$

$$y = 1,06 \text{ cm}$$

$$As = \frac{0,85 * f_c' * b * y}{f_y}$$

$$As = 7,48 \text{ cm}^2$$

### Verificacion por cuantias según ACI

$$\text{Cauntia balanceada: } \rho_b = 0,85 * \beta_1 * \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) * \left[ \frac{6090}{6090 + f_y} \right]$$

$$\beta_1 = 0,75 \text{ cm}$$

$$\rho_b = 0,02 \text{ cm}$$

Cuantia maxima:

$$\rho_{max} = 0,75 * \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,01 \text{ cm}$$

$$As_{max} = \rho_{max} * b * d$$

$$As_{max} = 15,14 \text{ cm}^2$$

Cuantia minima:

$$\rho_{min} = 0,0018 \text{ cm}$$

$$As_{min} = \rho_{min} * b * d$$

$$As_{min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

Verificando:

$$As_{max} \geq As \geq As_{min}$$

Cumple OK!!!

### Disposición de Armaduras

Diametro(f) barra	As(cm2)	Nº de Barras
10 mm	0,71	3,208
8mm	0,49	2,789

### As de distribucion Transversal

$$\text{As dist. Min} = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Num. de barras 10 mm} = 4 \quad \phi 10 \text{ c}/40$$

$$\text{Separacion de barras} = 33,33 \text{ cm}$$

$$\text{Separacion Adoptada} = 40 \text{ cm}$$

### As de distribucion longitudinal

$$\text{As dist. Min} = 1,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Num. de barras 8 mm} = 3 \quad \phi 8 \text{ c}/40$$

$$\text{Separacion de barras} = 33,33 \text{ cm}$$

$$\text{Separacion Adoptada} = 40 \text{ cm}$$

### 4.3.3.- Comparación y elección de Alternativa.-

#### 4.3.3.1.- Comparación económica.-

**CUADRO 4.17 COSTO T.S. CON BADEN**

<b>Tratamiento Superficial</b>	
Modulo	Costo
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Flexible	26.947.703,66
3.-Obras de Drenaje/ Baden	1.334.809,59
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
<b>TOTAL.-</b>	<b>42.704.265,53</b>

**CUADRO 4.18 COSTO P.F.CON BADEN**

<b>Pavimento Flexible</b>	
Modulo	Costo
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Rígido	31.007.843,662
3.-Obras de Drenaje/Baden	1.334.809,59
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
<b>TOTAL.-</b>	<b>46.764.405,54</b>

**CUADRO 4.19 COSTO P.R. CON  
BADEN**

<b>Pavimento Rígido</b>	
Modulo	Costo
1.-Infraestructura Caminera	13.428.243,961
2.-Pavimento Rígido	47.969.945,139
3.-Obras de Drenaje/Baden	1.334.809,59
4.-Obras Complementarias	851.646,812
5.-Programa de Mitigación y Seg. Ambiental	141.861,51
<b>TOTAL.-</b>	<b>63.726.507,01</b>

Como se puede apreciar los badenes generan un menor costo que las alcantarillas, cuyo costo se colocó en la comparación económica entre los tipos de paquete estructural.

Este sería tal vez el único punto a favor de esta alternativa ya que como se expresa en el punto “elección de alternativa”, presenta muchas desventajas.

#### **4.3.3.2.- Elección de Alternativa.-**

A continuación se muestran los puntos por los cuales se escogió la primera alternativa, es decir las alcantarillas.

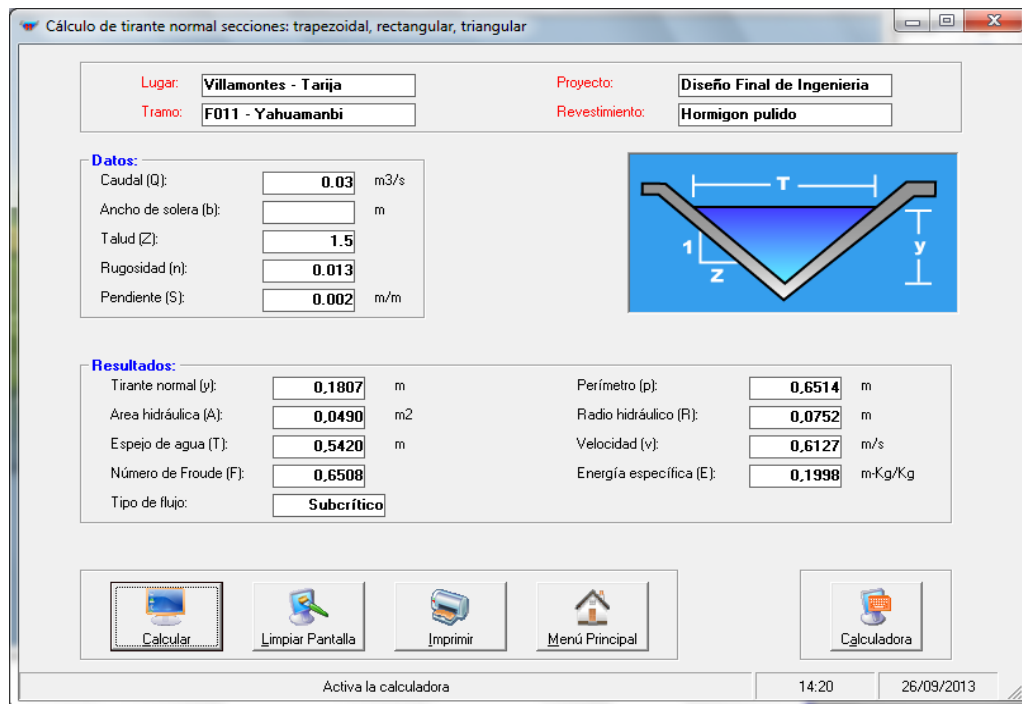
- ✚ Los badenes se colocaron en los cruces más importantes dentro del tramo, por ello se tienen solo ocho en todo el trayecto, provocando deficiencias en la vida útil de la carretera, y además que genera grandes distancias entre fin y comienzo de cuneta, distancias que según norma deben estar de entre 200 a 300 metros de distancia.
- ✚ Si es que se cumple este parámetro de las cunetas, se tendrán demasiados badenes en el tramo generando un costo aun mayor que el proyectado con alcantarillas.
- ✚ Al tener gran cantidad de badenes se afectaría el libre tránsito y confort al paso de vehículos, debido a que estas estructuras se utilizan mayormente en vías de segundo y tercer orden.
- ✚ Durante la fase de ejecución se debe tomar en cuenta que primero se realiza la colocado de todo el terraplén para después realizar la construcción de los badenes, provocando un costo de remoción del terraplén, que sería aún más difícil de realizar cuando la capa de rodadura sea de losa de hormigón armado.
- ✚ La limpieza de los badenes debe ser realizado con maquinaria, caso contrario con lo que pasa en la limpieza de alcantarillas que podrían ser limpiadas con mano de obra.

En síntesis el drenaje en general va a funcionar de una mejor manera con las alcantarillas, y este será definitivo.

#### 4.3.4.- Diseño de Cunetas.-

Las secciones de cunetas también se calcularan con el programa H-CANALES y tendrán las siguientes dimensiones:

**IMAGEN 4.18 DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS**



Fuente: Programa H-Canales

**CUADRO 4.20 DIMENSIONES ADOPTADAS**

H =	0,3	m
T =	0,65	m

Fuente: Programa H-Canales

#### 4.4.- Señalización.-

La señalización horizontal está ligada a la distancia de sobrepaso o de adelantamiento, para el presente proyecto tenemos los siguientes tipos de línea:

**CUADRO 4.12 TIPOS DE LINEA AMARILLA PARA LA SEÑALIZACION HORIZONTAL DE SOBREPASO**

Progresiva		Long. Recta	Sobrepaso	Tipo de Linea Amarilla
De	Hasta			
0+000	0+015,755	15,76	NO	Continua
0+081,190	0+459,087	377,9	NO	Continua
0+488,083	1+892,894	1404,81	SI	Discontinua
1+922,806	2+448,364	525,56	NO	Continua
2+662,291	2+931,563	269,27	NO	Continua
3+107,642	4+130,850	1023,21	SI	Discontinua
4+192,293	4+998,143	805,85	SI	Discontinua
5+080,188	5+809,782	729,6	SI	Discontinua
5+942,365	6+035,674	93,91	NO	Continua
6+119,958	7+175,736	1055,78	SI	Discontinua
7+191,182	10+118,162	2926,78	SI	Discontinua
10+378,375	12+604,155	2225,78	SI	Discontinua
12+924,118	13+118,628	194,51	NO	Continua
13+525,467	13+809,576	284,11	NO	Continua

Fuente: Diseño Geométrico

## **CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-**

### **5.1.- Conclusiones.-**

Como es expuesto, “**El Diseño Final de Ingeniería Carretera Cruce Ruta F011 - Yahuanambi**” es trabajo importante de aplicación en el campo de la Ingeniería Civil, ya que se analizan puntos muy importantes en lo que se refiere a dicha profesión, tales como el diseño en sí, estudio de suelos, estudio hidrológico, análisis de costos, etc.

Con respecto al tema del diseño geométrico, se tomaron en cuenta todos los parámetros que nos brinda la norma de la ABC, llegando a tener para esta carretera un ancho de carril de 3,5 metros, bermas de 2 metros y un sobrancho de protección de 0,5 m.

Para la elaboración del proyecto se realizó una investigación geotécnica en el área de estudio, para poder obtener las características básicas de los distintos suelos y materiales que componen la subrasante, estas muestras se sacaron cada 2 km, y durante su análisis se logró identificar su caracterización, clasificación y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

De acuerdo a esto vemos que en la mayoría de las muestras se tienen suelos de tipo A-4 y A-6 con un bajo porcentaje de CBR que en la mayoría tiene un valor de inferior al 3 %, por esta razón se procedió al mejoramiento de la subrasante, con material proveniente de un banco de préstamo ubicado en Yuquirenda, cuyo material posee un CBR del 79 % con clasificación A-1a(0), para que garantice un correcto valor de CBR de diseño para la carretera.

El tráfico es uno de los parámetros importantes para el diseño de la carpeta asfáltica. Para ello se realizaron aforos a lo largo del tramo durante siete días para obtener el TPDA, y la cantidad y tipo de vehículos que transitan ese trayecto.

Para simplificar este análisis se procedió a agruparlos en categorías constituidos por vehículos de características similares. Los valores del índice de crecimiento anual por categoría vehicular se evalúan a partir de información obtenida de la localidad de Villamontes.

Con respecto al diseño hidráulico se optó por alcantarillas que tienen dos tuberías de  $R=1\text{m.}$ , que permitirán la evacuación de los caudales obtenidos mediante el estudio hidrológico, como se pudo evidenciar se desecharon la alternativa de badenes, que tenían 12 mts de longitud para evacuar un caudal de  $8\text{ m}^3/\text{s}$ .

También se procedió a la realización del diseño de las cunetas que evacuaran toda el agua proveniente de las precipitaciones que caen sobre la calzada, estas estarán recubiertas con hormigón simple.

Para la definición del Diseño de Pavimento Flexible, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Consideraciones Constructivas. Se debe tener en cuenta la velocidad de construcción, el acomodamiento y seguridad del tráfico durante la etapa constructiva, la posibilidad de futuros ensanches, las estaciones del año durante las cuales se ejecutará la obra, y otros factores que pueden influir marcadamente en la selección del tipo de pavimento a construir.
- Comparación de Costos. Inevitablemente, hay circunstancias que obligan a que el factor prioritario sea la inversión inicial. Para tener una visión real del

problema, se deben considerar aparte los costos de mantenimiento, y de los usuarios.

Por estas razones los períodos de análisis deben tener una duración suficiente para incluir una reconstrucción representativa en los diferentes tipos de pavimento.

Tomando en cuenta todo lo expuesto anteriormente se optó por una carpeta asfáltica de pavimento flexible de 5 cm de espesor, una capa base de material granulado de 20 cm., una Subbase granular de 25 cm, una subrasante mejorada de 40 cm. y un tratamiento superficial para la berma de 1,5 cm.

En el análisis de costos y precios unitarios se llegó a un monto de 53.688.511,59 bs. Este valor está comprendido en todos los módulos que fueron identificados para la elaboración, como ser la infraestructura caminera, pavimento flexible, obras de drenaje, obras complementarias, y el programa de mitigación y seguridad ambiental.

Desde el punto de vista ambiental, no se tienen grandes movimientos de tierra, el poco que hay será reutilizado para la conformación del terraplén, pero siempre se deben efectuar todas las recomendaciones pertinentes a lo largo del tiempo que dure la construcción para la mitigación en el corto y mediano plazo, lo que hace que el proyecto sea factible.

## **5.2.- Recomendaciones.-**

Observamos que para todo diseño los datos deben presentarse escritos en forma clara y precisa en las planillas de cálculo realizadas, además los planos deben reflejar en forma exacta los datos que se deducen en la fase de campo.

Algo muy importante antes de realizar la construcción de la carpeta estructural deberá notificar a los habitantes del lugar, para tomar en cuenta, la manera de evitar lo más que se pueda el paso de los animales que pudieran estorbar a la maquinaria que se encuentre trabajando en la obra y así de esta manera evitar incidentes que perjudiquen el normal avance de la obra, además se deberá analizar con autoridades del lugar la implementación de obras como ser alcantarillado sanitario y redes de agua potable.

Es muy importante que la empresa constructora realice un estudio más profundo del banco de materiales antes ser empleado en el paquete estructural como ser la Subrasante, Subbase y Base, ya que cada capa tiene sus propias características, y estas deben ser cumplidas a cabalidad.

Tomando en cuenta estas recomendaciones uno pueden existir mayores complicaciones en la ejecución de este diseño de Pavimento Flexible.

Las alcantarillas deberán cumplir todos los aspectos señalados en el plano de detalles de las mismas, en especial con la inclinación (pendiente), para así permitir el correcto y libre flujo del agua, para que de esta manera se evita el taponamiento de las alcantarillas causados por el arrastre de material.

El tema ambiental deberá ser analizado constantemente con los comunarios de la zona, explicando detalladamente que es lo que se hará, como se lo hará y de qué manera se compensara a dueños de zonas afectadas.

Una recomendación importante para la ejecución del proyecto, es que se debe tomar en cuenta el clima, es decir cuando las precipitaciones pluviales cesen. Tomando estos factores se aconseja la ejecución física de la obra entre los primeros días de Abril, y además de tener horarios de trabajo aceptables tomando en cuenta las elevadas temperaturas del Chaco tarijeño.