

## **CAPÍTULO I**

### **DISEÑO TEÓRICO**

#### **1.1. Introducción.**

Se entiende por diseño de ingeniería de un camino vecinal, la realización del diseño geométrico y diseño estructural de dicho camino aplicando todos los conocimientos técnicos adquiridos en aula y llevándolos a cabo a la realización de un proyecto de ingeniería para la construcción de una vía de comunicación.

La carretera actual de la ruta antigua Yacuiba – Campo Grande, es una carretera que actualmente no se encuentra pavimentada, no cuenta con el diseño de alcantarillas y la misma no cumple con las normas de diseño según las normas vigentes en el país, debido a que se encuentra en pésimas condiciones de transitabilidad ya que la polvareda generada por el paso de los vehículos puede ser causante de muchas enfermedades y molestias en los usuarios, por lo tanto los mismos tienen que optar por utilizar otras vías de ingreso, viéndose afectados por la demora de traslado y el costo que genera éste.

El objetivo de este proyecto es diseñar los elementos de diseño geométrico y estructural para el mejoramiento del camino vecinal, tramo Yacuiba – Campo Grande, para poder realizar los distintos componentes de ingeniería, diseñar y elegir las mejores alternativas y así diseñar las obras de arte que las mismas necesiten para una libre y segura circulación de los usuarios.

La realización de este diseño de ingeniería, será basado en la norma que está actualmente vigente en nuestro país, la norma de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), con la cual nos guiaremos para realizar los distintos estudios y diseñar todos los componentes de ingeniería, puesto que ayudará a los habitantes de la zona a contar con una infraestructura caminera adecuada y necesaria para lograr comercializar su producción como así también el fácil acceso a los insumos y servicios.

## **1.2. Justificación.**

### **1.2.1. Justificación académica.**

La realización de este diseño de ingeniería, será basada en la norma que está actualmente vigente en nuestro país, la norma de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), con la cual nos guiaremos para realizar los distintos estudios y diseñar todos los componentes de ingeniería.

### **1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica.**

El presente proyecto busca diseñar los elementos de diseño geométrico y estructural para el mejoramiento del camino vecinal, tramo Yacuiba – Campo Grande, para poder realizar los distintos componentes de ingeniería, diseñar y elegir las mejores alternativas y así diseñar las obras de arte que las mismas necesiten para una libre y segura circulación de los usuarios.

### **1.2.3. Justificación e importancia social.**

Debido a que en la actualidad el único ingreso directo a esta zona no se encuentra asfaltado, el presente proyecto ayudara a los habitantes de la zona a contar con una infraestructura caminera adecuada y necesaria para lograr comercializar su producción, como así también el fácil acceso a los insumos y servicios.

## **1.3. Planteamiento del problema.**

### **1.3.1. Situación problémica.**

El desarrollo de las comunidades depende íntimamente de los medios de transporte, la falta de una buena infraestructura caminera es uno de los mayores obstáculos para lograr un mejor desarrollo económico y social, así como también la integración de los pueblos.

Todo camino que cuenta con todos sus elementos de diseño, será esencial para el desarrollo económico y social de toda comunidad, puesto que lo contrario, se vuelve completamente perjudicial para la conexión libre entre dos o más comunidades y así mismo con las vías principales, generando molestias en los usuarios de la zona.

Un camino es de vital importancia, por lo tanto con este diseño tratamos de mitigar la polvareda y la tierra que dejan los vehículos en algunos sectores del tramo y que son un perjuicio para los mismos que circulan por dicho camino y para los habitantes de la zona que se ven afectados por esto, por este motivo se tiene la necesidad de presentar alternativas de diseño de ingeniería para el mejoramiento del camino vecinal Yacuiba - Campo Grande, el mismo que saldrá a conectarse con la ruta fundamental.

### **1.3.2. Determinación del tiempo.**

El presente trabajo tiene como tiempo límite, aproximadamente 14 semanas, desde el inicio del primer semestre de la presente gestión, por lo que debemos realizar un cronograma de actividades con el cual evitaremos tener problemas con el tiempo de ejecución para dicho proyecto.

### **1.3.3. Determinación del espacio.**

El lugar donde llevará a cabo los diferentes tipos de ensayo, es de mucha importancia, ya que en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S., algunas veces es complicado conseguir libre el mismo para poder hacer uso de este.

### **1.3.4. Formulación del problema.**

¿De qué manera el diseño de ingeniería del tramo ruta antigua Yacuiba – Campo Grande reducirá las deficiencias del camino vecinal y ayudará a mejorar las condiciones de vía existentes mejorando su geometría e infraestructura?

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

- Realizar el diseño de ingeniería para el tramo “ruta antigua Yacuiba – Campo Grande”; basándose en los datos de su condición física actual; con la finalidad de garantizar la fluidez del tráfico vehicular con circulación cómoda y segura.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Identificar las características de la zona de estudio.
- Realizar el levantamiento topográfico, el cual nos permitirá obtener las curvas de nivel del terreno.
- Efectuar el estudio de suelos y la clasificación de los mismos para poder determinar el CBR de diseño correspondiente del tramo a diseñar.
- Realizar un estudio hidrológico que nos permita dimensionar las distintas obras de arte necesarias para el diseño del tramo.
- Desarrollar un estudio de tráfico, que nos ayude a clasificar el tramo caminero.
- Realizar el diseño geométrico basado en las normas vigentes de nuestro país (ABC) y la aplicación del programa informático Civil 3D.
- Elaborar el diseño de las obras de arte menor como ser alcantarillas y de acuerdo al estudio hidrológico del lugar.
- Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible por el método AASTHO.
- Elaborar la señalización correspondiente para el tramo caminero.
- Realizar los cálculos métricos para determinar los volúmenes de obra.
- Elaborar un análisis de precios unitarios para determinar el presupuesto general de la obra.
- Elaborar las especificaciones técnicas de cada ítem realizado en toda la obra.

### **1.5. Alcance de la justificación.**

En relación al tipo de investigación establecido, se considera como un diseño no experimental transaccional con alcance descriptivo, puesto que el investigador no manipulará las variables y aplicará un instrumento de recolección de datos en un momento único, del cual se obtendrán resultados que serán analizados para obtener algunas conclusiones.

Dentro de la realización del estudio a diseño final del presente tramo, llevaremos a cabo actividades de inspección y reconocimiento de campo; el levantamiento de datos topográficos será realizado con estación total para luego mediante estudios más profundos en gabinete, obtener el relieve topográfico de la zona y en base a estas curvas de nivel se podrá llegar a analizar las ventajas y desventajas de las alternativas planteadas en el diseño geométrico de la carretera con alineaciones planimétricas y altimétricas.

Para el análisis del suelo, se obtendrán apiques de aproximadamente 1m de profundidad para la extracción del suelo y realizar ensayos de laboratorio como ser granulometría, límites de Atterberg, CBR, para así conocer las características físico mecánicas del mismo.

En cuanto al diseño hidrológico, se realizará el correspondiente estudio de las cuencas de aporte del tramo Yacuiba – Campo Grande, las sub-cuencas de Yacuiba que pertenecen al sistema de drenaje del río Caraparí. El análisis pluviométrico se hará en base de los datos disponibles de la estación de AASANA (Aeropuerto de Yacuiba), proporcionados por el “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología” (SENAMHI) y así poder determinar las precipitaciones y caudales máximos con sus respectivas curvas IDF, para el diseño hidráulico de las obras de arte.

Por otro lado, en cuanto se refiere al diseño del paquete estructural, realizaremos aforos vehiculares y encuestas de origen y destino para determinar los ejes equivalentes y a su vez los espesores de las diferentes capas de la carpeta,

considerando todas aquellas variables que influyan en el cuidado de la vida útil de la carretera, desarrollando la mejor opción para el tipo de suelo que tenemos en esta zona y demostraremos la alternativa elegida con un análisis de costos y presupuestos de obra derivados del análisis de precios unitarios.

Los planos se elaborarán a escala 1:100 y 1:1000, vertical y horizontal respectivamente, indicando la ubicación de obras de arte y todo detalle necesario para describir las características del terreno y la vía (esto se realizará con programas software de apoyo AUTOCAD CIVIL 3D).

### **1.6. Hipótesis.**

El nivel de la condición actual del tramo vial en la ruta antigua Yacuiba – Campo Grande permite determinar su mejoramiento.

### **1.7. Variables.**

La única variable identificada es la condición actual del tramo vial, que pasará de una pésima a una mejor condición. Sin embargo, se puede realizar la siguiente descripción:

#### **Variables independientes:**

- Condición actual de la vía. Y1
- Poco mantenimiento. Y2
- Diseño precario. Y3
- Intemperismo. Y4
- Otros. Yn

#### **Variables dependientes:**

- Estudio topográfico. X1
- Estudio de suelos. X2
- Estudio hidrológico. X3
- Estudio de tráfico. X4
- Otros. Xn

## **1.8. Marco conceptual.**

### **1.8.1. 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.).

### **1.8.2. Pavimento.**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

### **1.8.3. Calzada.**

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

### **1.8.4. 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.

#### **1.8.5. 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.

#### **1.8.6. Cuneta.**

Una cuneta es una zanja o canal que se abre a los lados de las vías terrestres de comunicación (caminos, carreteras, autovías, etc.) y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños o inundaciones. También puede servir como defensa de pequeños derrumbes cuando las vías transitan por trincheras. Si el producto de su excavación se utiliza en la obra también se llama préstamo.

#### **1.8.7. Topografía.**

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.

#### **1.8.8. 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.

### **1.8.9. Diseño geométrico.**

#### **1.8.9.1. Categorización de la vía.**

Para la categorización de la vía se tomarán en cuenta los factores funcionales, factores físicos (relieve, hidrología, geología, clima), factores de costo asociados con la carretera y factores humanos y ambientales.

Para ello se utilizó la tabla de las características típicas de las carreteras y caminos según su clasificación funcional, dicha tabla se encuentra en el Manual de la Administradora Boliviana de Carreteras.

#### **1.8.9.2. Parámetros de diseño geométrico.**

Los parámetros de diseño geométrico juegan un papel muy importante, ya que se toma en cuenta los diferentes factores como los funcionales, físicos, factores de costo; en consecuencia, permite adopción de diferentes conceptos expresados en valores numéricos, adoptados del manual de diseño geométrico de la ABC.

### **1.8.10. Elementos que conforman un pavimento rígido.**

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

#### **1.8.10.1. Subrasante.**

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo

razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

#### **1.8.10.2. Subbase.**

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

#### **1.8.10.3. Losa.**

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

### **1.8.11. Funciones de las capas de un pavimento flexible.**

#### **1.8.11.1. Subbase granular.**

**Capa de transición:** La sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub-rasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub-rasante la contaminen menoscabando su calidad.

**Disminución de la deformación:** Algunos cambios volumétricos de la capa sub-rasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

**Resistencia:** La sub-base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la sub-rasante.

#### **1.8.11.2. Base granular.**

**Resistencia:** la función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

#### **1.8.11.3. Carpeta asfáltica.**

**Superficie de rodadura:** la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

**Resistencia:** su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

**Impermeabilidad:** hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

### 1.8.12. Capa superficial o superficie de rodadura.

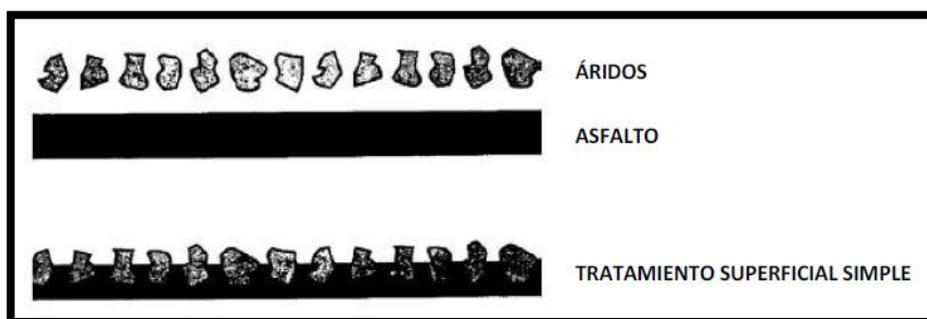
Esta es la capa que entra en contacto con el tráfico y medio ambiente. La capa superficial puede estar compuesta por una o varias capas asfálticas.

En el caso de superficies de rodadura, algunas veces estas no ayudan a resistir las cargas externas, más bien protegen las capas estructurales inferiores, enmarcándose dentro de esta categoría los tratamientos superficiales (simple, doble, o triple).

#### 1.8.12.1. Tratamiento superficial simple.

Consiste en una sola aplicación uniforme distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las de sollicitación a la que va a estar expuesta.

Figura 1: Esquema representativo de un tratamiento.



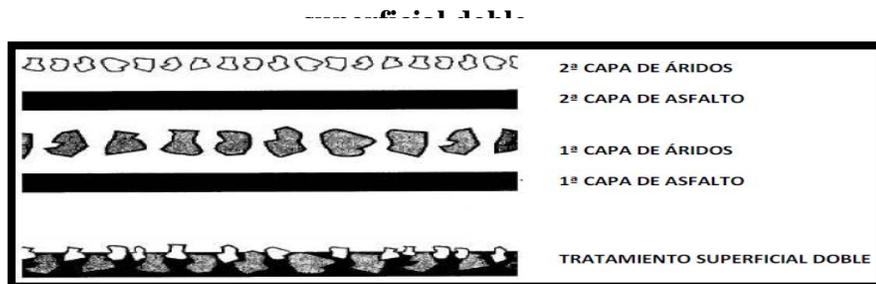
Fuente: “Diseño de Pavimento Flexible y Rígido”, Programa De Ingeniería Civil  
Facultad De Ingeniería Universidad Del Quindío (Armenia 2012).

#### 1.8.12.2. Tratamiento superficial doble.

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente.

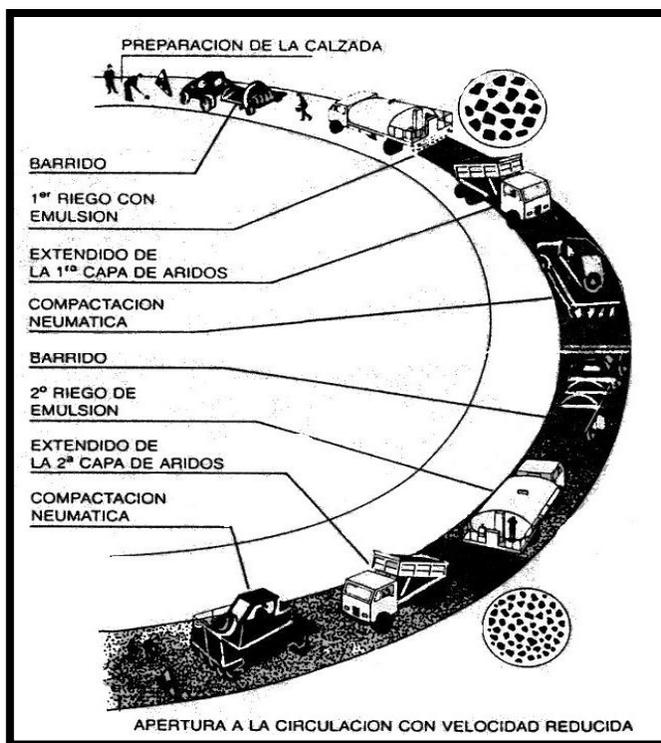
El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

**Figura 2: Esquema representativo de un tratamiento**



Fuente: “Diseño de pavimento flexible y rígido”, Programa de ingeniería Civil Ingeniería Universidad Del Quindío (Armenia 2012).

**Figura 3: Esquema de ejecución de un tratamiento superficial doble.**



Fuente: Diseño De Pavimento Flexible y Rígido” Programa De Ingeniería Civil Facultad De Ingeniería Universidad Del Quindío (Armenia 2012).

### **1.8.13. Sistema de clasificación funcional para diseño, demanda y características del tránsito.**

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 velocidades de proyecto 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.

### **1.8.14. Cómputos métricos.**

Son todas las actividades de medición que podemos realizar, estas nos brindan información acerca de: distancias, áreas, volúmenes, peso e inclusive tiempo.

La planilla de cómputos métricos del tramo en estudio se mostrara en los anexos (Cómputos y presupuestos).

### **1.8.15. Precio unitario y presupuesto.**

El análisis de precios unitarios para los diferentes ítems de construcción que se definirá en el proyecto, se desarrolla teniendo en cuenta tres componentes específicos: **Mano de obra, equipo y herramienta y materiales**. Para cada componente se consideraron los **gastos generales, utilidades e impuestos**, donde cada uno de estos rubros es analizado en forma particular.

### **1.8.16. Planos.**

Son la representación gráfica convencional, pero exacta de un objeto, hace referencia a la superficie geométrica que no posee volumen (bidimensional).

Los planos del proyecto (plano en planta, perfil longitudinal, perfil transversal, etc.) se ejecutarán con la ayuda del programa Civil 3D.

### **1.8.17. Preparación para la aplicación de instrumentos.**

- Winchas de 50 m.
- Jalones, libretas de campo, estacas, clavos y pintura.
- Cámara digital.
- Bastones con sus respectivos prismas.
- Estación total.

Se optó por este instrumento debido a:

- Menor tiempo de trabajo en campo.
- Precisión en el levantamiento topográfico.
- Procesamiento de datos en gabinete.

Para el trabajo en laboratorio:

- Equipos para realizar los límites de Atterberg (límite líquido (equipo Casagrande), límite plástico e índice plasticidad).
- Balanza electrónica.
- Proctor modificado T-180.
- Horno para el secado de muestras.
- Juego de tamices (granulometría).
- Fuentes, taras, espátula, etc.

### **1.9. Marco normativo.**

Este proyecto será realizado bajo la normatividad establecida por la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) y el “Manual de Diseño de Calles para Ciudades Bolivianas”, realizado por la “Cooperación Suiza en Bolivia”, en su proyecto “Aire Limpio”, ambas establecen los criterios de diseño para estructuras de pavimentos como son las siguientes:

- Manual de diseño geométrico, manuales técnicos volumen I.
- Manual de hidrología y drenaje, manuales técnicos volumen II.
- Manual de dispositivo de control de tránsito, manuales técnicos volumen III.
- Manual de ensayos y materiales de suelos, manuales técnicos volumen IV.
- Manual de diseño de conservación vial, manuales técnicos volumen V.
- Manual de planos de obras, manuales técnicos volumen VI.
- Manual de diseño de calles para las ciudades bolivianas.
- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (ASTM D2216).
- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88).
- Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318; AASHTO T89).
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318; AASHTO T90).
- Clasificación de los suelos, adoptando el sistema internacional AASHTO (American Association Of State Highway And Transportation Officials O Asociación Americana De Autoridades Estatales De Carreteras Y Transporte) y el sistema de clasificación unificado, SUCS.
- Relaciones de peso unitario – Humedad en los suelos – Método modificado (ASTM D422; AASHTO T180).
- Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883; AASHTO T193).

**1.9.1. Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (ASTM D2216).**

Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso.

Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Este método no da resultados verdaderamente representativos para materiales que contengan cantidades significativas de haloisita, montmorillonita, o minerales de yeso; suelos altamente orgánicos o materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos (como sales en el caso de depósitos marinos). Para los materiales antes mencionados, un método modificado de ensayo o el cálculo previo de algunos datos pueden ejecutarse para obtener resultados consistentes con el propósito de este método.

#### **1.9.2. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88).**

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra de suelo.

Nota 1: Para determinar la distribución por tamaños de la fracción bajo tamiz 0,075 mm (Nº 200), se puede utilizar el procedimiento de sedimentar esa fracción en un líquido conocido, generalmente agua destilada, basándose en la ley de Stokes, que establece que, en un fluido de densidad y viscosidad determinada, esferas de un mismo material adquieren una velocidad de sedimentación proporcional al cuadrado de sus diámetros. Este procedimiento se conoce como método del hidrómetro.

#### **1.9.3. Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318; AASHTO T89).**

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande. El límite líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeado, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas

separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

**1.9.4. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318; AASHTO T90).**

Este método establece el procedimiento para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. La humedad es expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5cm a 1cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

**1.9.5. Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos – método modificado (ASTM D422; AASHTO T180).**

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 Kg. en caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de  $2,67 \text{ J/cm}^3$  ( $27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$ ). En suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12 % de partículas menores que 0,08 mm (ASTM N° 200). Se debe determinar la densidad de acuerdo con el método para determinar la densidad relativa en suelos no cohesivos.

**1.9.6. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883; AASHTO T193).**

➤ Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como “Razón de Soporte de California” (CBR). El ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

**Nota 1:** La denominación CBR se deriva de "California Bearing Ratio".

- Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.
- No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ " (19 mm), el ensayo es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ").

**Nota 2:** Cuando el tamaño máximo absoluto del material en estudio sea superior a 19 mm ( $\frac{3}{4}$ "), el peso retenido en este tamiz se reemplazará por uno equivalente de material de la misma muestra que pasa por 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ") y es retenido en 4,75 mm (N° 4).

## **1.10. Marco referencial.**

### **1.10.1. Diseño geométrico.**

El diseño geométrico de carreteras es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad, de la vía.<sup>1</sup>

### **1.10.2. Diseño topográfico.**

La topografía del terreno, es un factor determinante en la elección de los valores de los diferentes parámetros que intervienen en el diseño de una vía. Cuando el terreno es bastante grande o existen obstáculos que impiden la visibilidad necesaria, se emplea el levantamiento de un terreno por medio de poligonales, que

---

<sup>1</sup> Comentario extraído de MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS ABC, VOLUMEN I: MANUALES TÉCNICOS.

consiste en trazar un polígono que siga aproximadamente los linderos del terreno y desde puntos sobre este polígono se toman detalles complementarios para la perfecta determinación del área que se desea conocer y de los accidentes u objetos que es necesario localizar.<sup>2</sup>

### **1.10.3. Diseño geotécnico.**

El estudio geotécnico debe contener todos los datos relevantes para la correcta construcción del proyecto, se elabora en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de proyecto para el que se solicita e incluirá recomendaciones propias para cada tipo de proyecto: balsas, caminos, edificaciones, etc.<sup>3</sup>

### **1.10.4. Estudio hidrológico.**

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

Para cumplir estos fines se requiere:

- Estimar la magnitud y frecuencia del escurrimiento producido por las tormentas.
- Conocer el drenaje superficial natural del terreno y restituir aquellos drenajes interceptados por el camino.
- Determinar las características del flujo de agua subterránea.
- Estudiar el efecto que la carretera tiene sobre los canales y cursos de agua existentes, cuyo trazado deba ser modificado.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Definición según Michael Enrique Macías Rivera. Diseño de Pavimento Rígido para la Vía: Baba - La Estrella, [TESIS DE GRADO]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2010-2011.

<sup>3</sup> Comentario según el Geólogo Fernando García Hermoso, ENTESCA, Escuela Politécnica Superior. Huesca, 17 de Enero de 2006.

<sup>4</sup> Comentario extraído de MANUAL DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE DE LA ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS ABC, VOLUMEN II: MANUALES TÉCNICOS.

#### **1.10.5. Estudio de tráfico.**

El objeto de un estudio de tráfico es el de poder proyectar la demanda que tendrá la carretera si es que se ejecuta el proyecto. Como parte del estudio se debe tipificar dicho tráfico en tráfico normal, tráfico generado y tráfico desviado.<sup>5</sup>

#### **1.10.6. Paquete estructural.**

Se define como paquete estructural o pavimento a la capa o conjunto de capas de materiales comprendidos entre el nivel superior de la sub-rasante y la superficie de rodamiento (base, sub-base, superficie de rodamiento), apropiados para resistir los efectos del tránsito, así como la acción del intemperismo y otros agentes que afectan su vida útil.

Dichas capas pueden ser de materiales seleccionados, sometidos a diversos tratamientos y la superficie de rodadura propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o un tratamiento superficial.<sup>6</sup>

#### **1.10.7. Pavimento rígido.**

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayor tensión en la sub-rasante, como se puede apreciar en la fig. 1.1.<sup>7</sup>

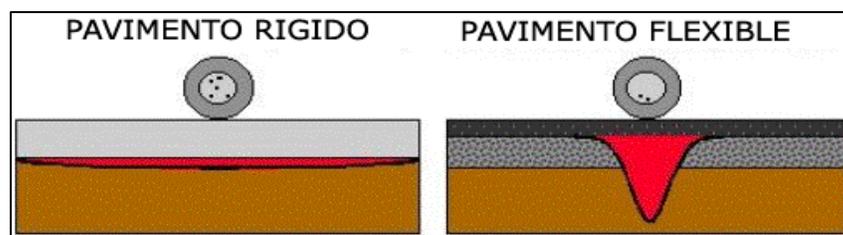
---

<sup>5</sup> Comentario extraído de MANUAL DE METODOLOGÍA DE EVALUACION DE PROYECTOS VIALES DE LA ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS ABC, VOLUMEN IX: MANUALES TÉCNICOS.

<sup>6</sup> Definición según López Pedraza Francisco. Aeropuertos. Tercera Edición. España: Paraninfo; 1970.

<sup>7</sup> Comentario extraído de MÉTODO AASTHO 93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

**Figura 4: Esquema del comportamiento del pavimento.**



**Fuente: Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.**

### **1.10.8. Pavimento flexible.**

Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están conformados por una serie de capas desde la plataforma de la subrasante hasta la superficie de rodadura. La distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de estructuración.<sup>8</sup>

### **1.10.9. Tratamientos superficiales.**

Se define un tratamiento superficial como una superficie asfáltica que resulta de una o más aplicaciones sucesivas y alternadas de ligante asfáltico y áridos sobre una base granular o sobre un pavimento existente de asfalto o de hormigón, teniendo por finalidad el mejorar o conservar las características físicas y mecánicas de las superficies así tratadas.

Según el número de aplicaciones de asfalto y áridos, estos reciben el nombre de tratamiento superficial simple, doble, triple o múltiple.

Estos distintos tipos de tratamientos, dependen de su uso pero principalmente de la disponibilidad y calidad de los materiales en la cercanía de ella.

Su función consiste en proteger la capa de base y proporcionarle una capa de desgaste sin polvo, sobre la que el tráfico pueda moverse cómoda y seguramente.

<sup>8</sup> Comentario extraído de MÉTODO AASTHO 93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Un tratamiento superficial por sí, no es considerado un pavimento, básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente en la calzada y resistencia abrasiva del tránsito. Algunas de las funciones más comunes son:

- ✓ Proveer una superficie económica y duradera para caminos con bases granulares que tienen tránsitos ligeros y de mediano volumen.
- ✓ Prevenir la penetración superficial de agua en bases granulares y pavimentos viejos que han comenzado a desintegrarse por el tiempo o a fisurarse.
- ✓ Renovar superficies y restaurar la resistencia al deslizamiento de pavimentos deteriorados por el tránsito y los agregados superficiales comienzan a pulirse.
- ✓ Restaurar capas de rodamientos afectadas por los agentes climáticos y dar nueva vida a superficies de pavimentos reseca.
- ✓ Proveer una cubierta temporaria en los casos de construcción de pavimentos incompletos y demorados o cuando se trata de una construcción por etapas.
- ✓ Asegurar la adherencia de las capas asfálticas superiores con las bases granulares (riego de imprimación).
- ✓ Asegurar la trabazón entre la superficie que está siendo pavimentada y la capa superior (riego de liga).<sup>9</sup>

#### 1.10.10. Diseño de drenajes.

El diseño de cunetas, alcantarillas de alivio y alcantarillas tipo cajón se realizara utilizando la fórmula racional.<sup>10</sup>

Ecuación racional:

**Ecuación 1: Ecuación racional para el caudal de diseño.**

$$Q_d = \frac{C * i * A}{360}$$

---

<sup>9</sup> Luis Fernando Amaya León. Estudio de Tratamiento Superficial para Conservación de Pavimentos Flexibles. Universidad Católica de Colombia.

<sup>10</sup> Comentario extraído del libro de Máximo Villón Bejar, Hidráulica de Canales.

Donde:

Q = Caudal ( $m^3/seg$ ).

I = Intensidad de precipitación en los 10 minutos de máxima concentración (mm/h).

C = Coeficiente de escorrentía (0,55 zona con vegetación media)

A = Área de aporte (Ha).

### **1.11. Análisis del aporte teórico hacia el trabajo de investigación.**

En el análisis del presente trabajo de investigación, “Diseño de Ingeniería, Tramo Ruta Antigua Yacuiba – Campo Grande” podemos destacar que el aporte obtenido es muy importante para el alcance de la justificación en el capítulo I, ya que nos permite conocer las características topográficas y su accesibilidad al terreno, su geografía, su condición actual, y la correcta elección de un plan vial que cumpla con las normas y parámetros de diseño establecidos en la NORMA BOLIVIANA DE LA ABC y el MANUAL DE DISEÑO DE CALLES PARA CIUDADES BOLIVIANAS.

También podemos mencionar que, gracias a la teoría estudiada en esta investigación, describimos los siguientes aportes:

- Al realizar un buen levantamiento topográfico, podemos aplicar de una mejor manera todo lo necesario para que nuestro diseño cumpla con las necesidades a satisfacer.
- El manual de diseño geométrico permite realizar un buen trazo de nuestra carretera siguiendo todas las normas como ser la pendiente, peralte, radio de curvaturas, distancias de visibilidad, anchos de carril, taluds, etc. para que estas tengan una buena aplicación y garanticen el éxito de nuestro trabajo.
- El estudio geotécnico y aplicación de las normas y manuales técnicos de suelos y materiales nos orientan a conocer las características y la calidad de los suelos,

es decir, a conocer el tipo de suelo a lo largo del trazado, su caracterización, clasificación y la determinación de sus propiedades físico-mecánicas para determinar la aptitud de los materiales que contribuyen la subrasante natural, y su capacidad soporte y estabilidad.

- El manual de hidrología y drenaje nos ayudará a identificar las subcuencas de nuestro proyecto, sus parámetros hidrológicos e hidráulicos y así encontrar el caudal máximo para el diseño de cada una de las obras de arte.
- El estudio de tránsito y muestreo del tráfico debe realizarse de manera responsable, los puntos de aforo deben estar ubicados en calles principales y con buena circulación, así se podrá realizar un diseño que garantice la libre transitabilidad y durabilidad de la vía.
- El diseño y estudio del paquete estructural, pavimento rígido, pavimento flexible, y los tratamientos superficiales, permitirá que determinemos la mejor alternativa de acuerdo al tránsito que circule por esta carretera.
- La introducción a los cálculos métricos y precios unitarios nos proporcionarán un estudio adecuado del presupuesto para la ejecución del mismo.

En cuanto a las tendencias no favorables para la presente investigación podemos mencionar lo siguiente:

- La norma boliviana de la ABC brinda estudios para todo tipo de vías, pero no plantea características de diseño netamente para tramos urbanos, y esto nos hace consultar bibliografía de apoyos internacionales, como son el MANUAL DE DISEÑO DE CALLES PARA CIUDADES BOLIVIANAS, documento realizado por la Cooperación Suiza, que toma en cuenta algunos parámetros donde prioriza la importancia del peatón, ciclista y la movilidad respectivamente; pero no indica parámetros de diseño para todo su estudio; por lo que se tuvo que trabajar con parámetros de diseño de la norma vigente de la ABC.

## **1.12. Diseño metodológico y relevamiento de la información.**

### **1.12.1. Criterios del diseño metodológico.**

#### **1.12.1.1. Unidad de estudio o muestra.**

Cada componente de un diseño de ingeniería.

#### **1.12.1.2. Población.**

Todos los componentes de diseño.

#### **1.12.1.3. Muestra.**

Los componentes de: topografía, suelos, hidrología, hidráulica y tráfico.

#### **1.12.1.4. Tamaño de muestra.**

Son los 5 componentes de diseño que se utilizaran para el diseño de ingeniería.

## **1.13. Control y validación interna.**

### **1.13.1. Ensayos de laboratorio.**

#### **1.13.1.1. Determinación de humedad natural del suelo.**

Basándonos para determinar el contenido de humedad de las diferentes muestras obtenidas en campo primero se pesó una muestra de suelo+ capsula para luego llevar la muestra al horno pasada las 24 horas se pesó la muestra obteniendo un peso seco, la diferencia entre el peso del suelo húmedo y el suelo seco es el peso del agua, después de obtener estos datos se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de agua contenida en la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

#### **1.13.1.2. Granulometría.**

La norma INV-123-13 propone llevar una pequeña porción al horno y una vez seco, se romperá un pequeño terrón aplicando fuerza con los dedos. Si en el proceso de desmoronamiento se observa con claridad que los finos se pulverizan, no habrá necesidad de hacer lavado. El proceso de lavado consiste en llevar el material sobre la malla No. 200 (0,075mm) y sometiéndola a corrientes continuas de aguas mientras esta es movida de un lado a otro con la mano.

#### **1.13.1.3. Límites de Atterberg.**

Teniendo en cuenta la norma INV E-106-13 Y 107-13 para la determinación de límite líquido se requiere material que pase el tamiz N°40 (425 µm). Para el cálculo de los límites debemos tomar en cuenta donde se presenta la plasticidad.

#### **1.13.1.4. Compactación.**

Para la compactación se utilizó el Proctor T-180 siguiendo la norma, tomamos 3 muestras de 35kg y se hizo pasar por los tamices  $\frac{3}{4}$ " y N° 4 para luego compensar con el retenido en el N° 4 y previo cálculo el contenido de humedad de las muestras para su compactación.

#### **1.13.1.5. C.B.R.**

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

**Observaciones.**

Al encontrarse nuestra zona de estudio en la ciudad de Yacuiba, se tomaron las previsiones para el traslado correcto de las muestras y que estas no se alteren en cuanto al tema de la humedad natural, todos los ensayos de laboratorio de suelos que se realizaron con las muestras de este proyecto; fueron manipuladas y realizado sus estudios tal cual lo indica la norma vigente en nuestro país.

**1.13.2. Hidrología e hidráulica.****1.13.2.1. Caracterización hidrográfica del área de estudio.**

Cuando efectuamos un estudio de escorrentía superficial en una cuenca, se necesita realizar el análisis de las características físicas de ella y los conceptos que de estas se derivan, ya que de estas características dependerá directamente la magnitud del caudal de diseño en su punto de evacuación.

**Observaciones.**

Para nuestra caracterización, nuestro estudio se dividió en micro cuencas y se analizó por separadas el aporte de cada una de ellas.

Los resultados dieron como resultado ocho microcuencas, mismas que se analizaron y determinaron sus valores para su diseño hidráulico.

**1.13.2.2. Recopilación de datos meteorológicos.**

Toda la información básica de las estaciones meteorológicas del país es recopilada por el “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología” (SENAMHI), institución encargada de administrar la red de medición a nivel nacional, aunque en algunos casos es posible obtener registros de algunas instituciones privadas. Cualquiera sea el caso, para los fines propuestos en el presente capítulo, es posible obtener, en la mayoría de los casos, datos de precipitación en dos categorías:

- Informe mensual y anual de datos pluviométricos y/o pluviográficos.
- Planilla de precipitación máxima diaria o de 24 horas.

**Observaciones.**

En nuestro caso, la única estación con un historial de datos confiable y dentro de la zona de emplazamiento del proyecto, es la estación meteorológica del aeropuerto. En este sentido, sólo se trabajó con esta estación y debido a la cantidad de datos obtenidos, son confiables para este trabajo.

**1.13.2.3. Diseño de alcantarillado pluvial.**

Esta norma establece disposiciones para las etapas de concepción, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y control de todas las obras, de tal manera que se garantice su efectividad, seguridad, estabilidad, durabilidad, calidad y sostenibilidad a lo largo de su vida útil.

**Observaciones:**

Debido a que nuestra zona de estudio se encuentra en el área urbana, el trazado de la red de drenaje de aguas pluviales debe seguir las calles de la localidad.

La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área de estudio debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración.

Entre las normas y trabajos y/o trabajos similares utilizados para la presente validación de este trabajo podemos mencionar los siguientes:

- MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO de la ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS ABC, VOLUMEN 1: MANUALES TÉCNICOS.
- Martínez Peducasse José Ramón Teodoro. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO BELLA VISTA - MISCAS CALDERA [Tesis de Grado]. Tarija, Bolivia: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO; 2009.

**Valoración:** Esta tesis presenta conceptos puntuales y ofrece una metodología bastante interesante para la posterior realización del siguiente trabajo.

- Erik Hernández. PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA MÉXICO – TUXPAN TRAMO TEJOCOTAL- NUEVO NECAXA [Tesis de Grado]. México D.F., México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA; 2005.

**Valoración:** Presenta conceptos puntuales y los representa en planillas sencillas que servirán para realizar este trabajo.

- PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DEL QUINDIO. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO. Armenia, Colombia: 2012.

**Valoración:** Este proyecto indica los ensayos necesarios para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos además emplea los métodos de la guía AASTHO y los desglosa de manera muy clara.

- “GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE (2002).

- EXPERIMENTO VIAL DE LA AASHO Y LAS GUÍAS DE DISEÑO AASHTO “MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES MÓDULO III, DISEÑO DE PAVIMENTOS I”.

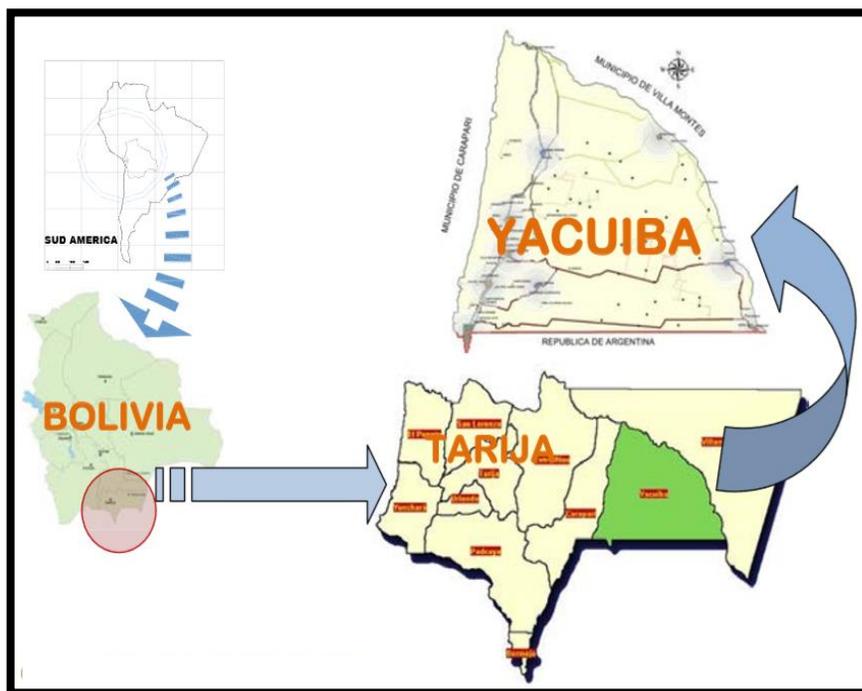
## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE INGENIERÍA, TRAMO RUTA ANTIGUA YACUIBA – CAMPO GRANDE

#### 2.1. Ubicación del proyecto.

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Yacuiba, primera sección de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, ubicado en el sub andino sur y la llanura del Chaco. Este municipio se encuentra distante a 543 km. de la ciudad de Santa Cruz por la ruta número 9 y hacia la ciudad de Tarija a 237 km.

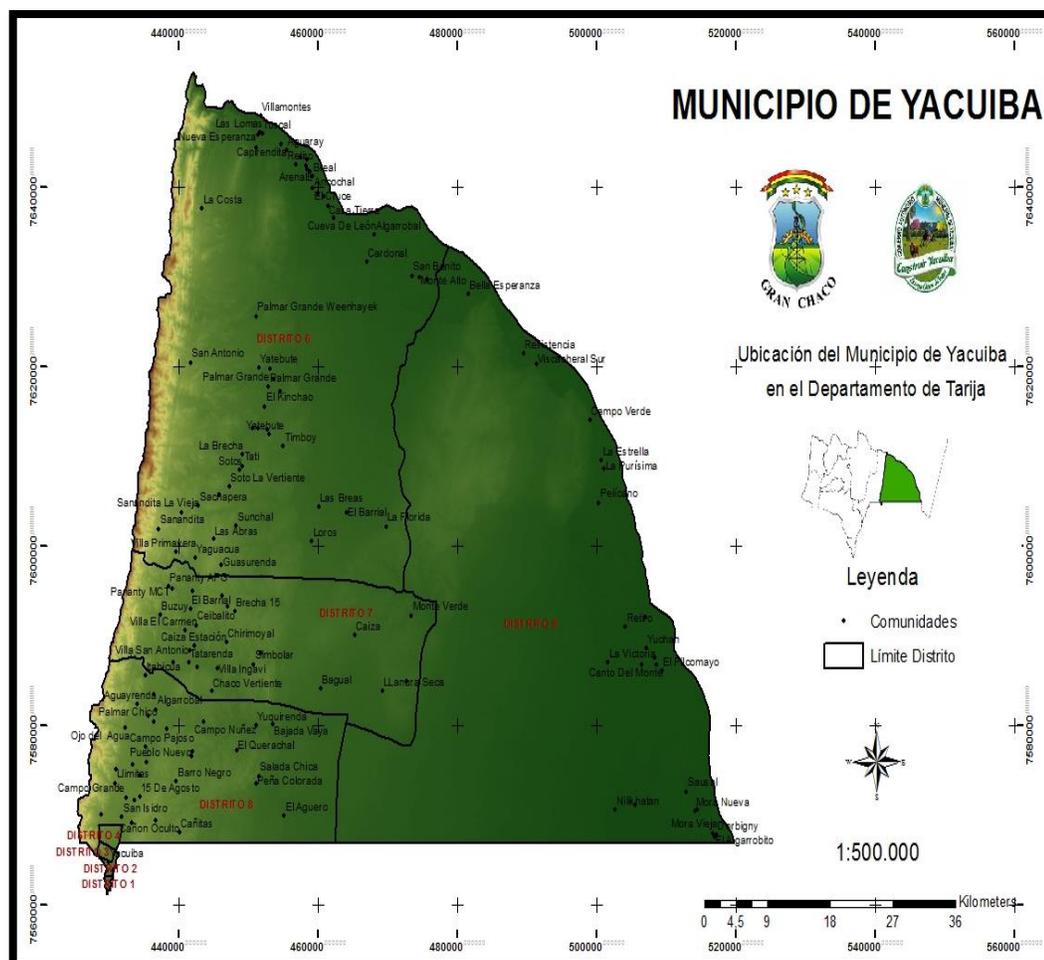
**Figura 5: Mapa de ubicación del lugar de proyecto.**



**Fuente: Elaboración propia.**

<b>País:</b>	Bolivia.
<b>Departamento:</b>	Tarija.
<b>Provincia:</b>	Gran Chaco.
<b>Municipio:</b>	Yacuiba.
<b>Distritos:</b>	N° 4 y N° 8.

**Figura 6: Mapa de la ciudad de Yacuiba con sus límites de distritos.**



**Fuente: PDTI Yacuiba 2016-2020.**

### 2.1.1. Ubicación geográfica.

El tramo de la ruta Yacuiba – Campo Grande se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

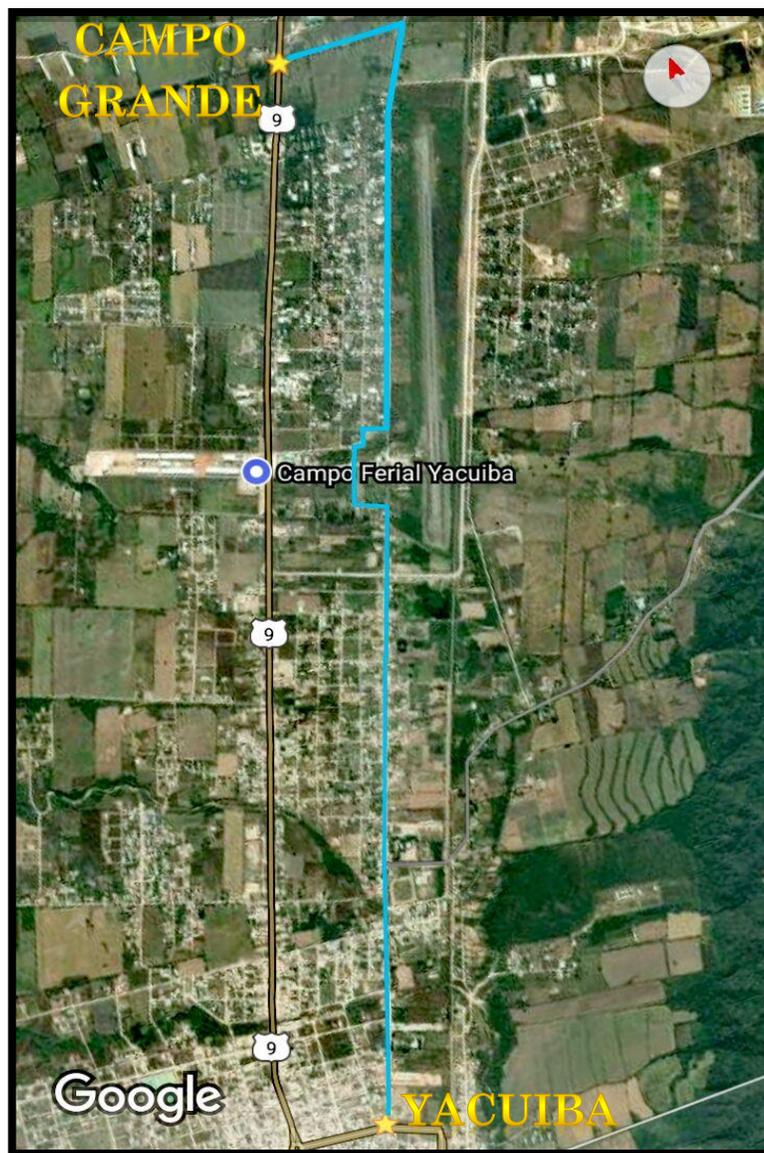
#### Coordenadas geográficas:

Yacuiba: 21°59'42.67"S 63°40'8.46"O  
 Campo Grande: 21°56'46.66"S 63°39'10.81"O

#### Coordenadas UTM:

Yacuiba: Este (X) 430940 m. Norte (Y): 7567548 m.  
 Campo Grande: Este (X) 432570 m. Norte (Y): 7572967 m.

Figura 7: Imagen satelital: Ubicación del tramo vial en estudio.

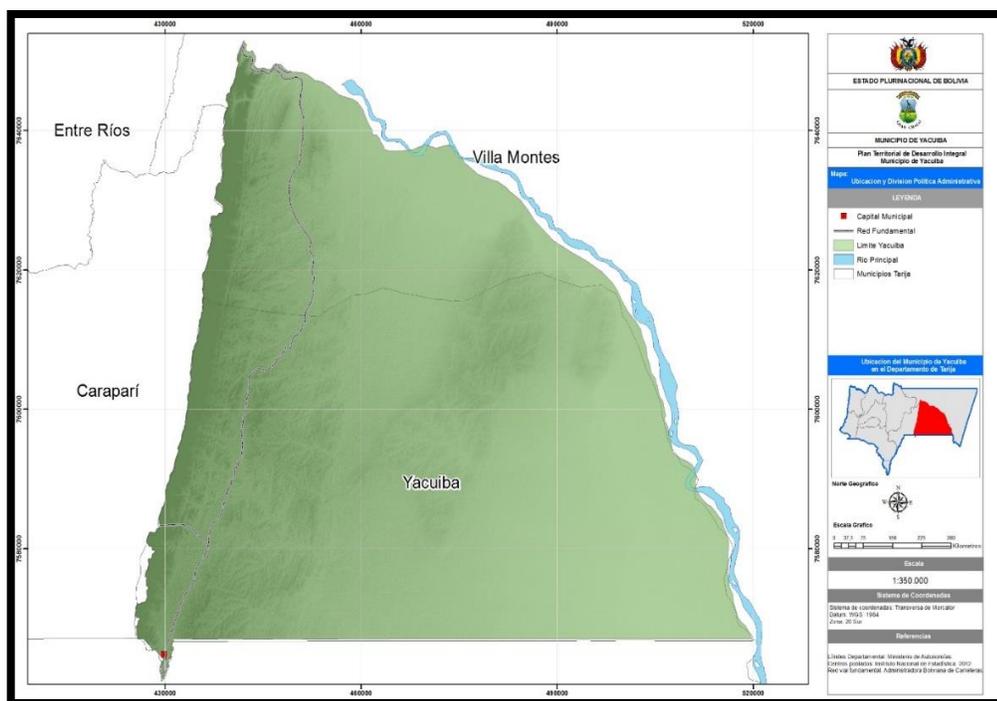


Fuente: Google Maps.

### 2.1.2. Límites territoriales.

Yacuiba, primera sección municipal de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, limita al este, norte y oeste con el municipio Villamontes, a través del río Pilcomayo, al oeste con el municipio de Caraparí, a través de la serranía del Aguaragüe y al sur con la República Argentina, en una extensión de 220 kilómetros.

**Figura 8: Mapa de la ciudad de Yacuiba con sus límites territoriales.**



**Fuente: PDTI Yacuiba 2016-2020.**

## **2.2.Características generales del área de proyecto.**

### **2.2.1.1.Altura.**

Su altura varía entre los 620 y 680 m.s.n.m.

### **2.2.1.2.Superficie.**

La primera sección de la provincia Gran Chaco cuenta con una superficie de 6500 km<sup>2</sup>, lo que representa el 37% del total del territorio de la provincia.

### **2.2.1.3.Clima.**

La mayor parte de la microrregión es llano chaqueño; en su parte occidental presenta un clima templado mesotermal, con veranos muy calurosos; y en la parte oriental un clima semiárido, con temperaturas que oscilan entre los 43°C y los -7°C.

#### **2.2.1.4.Precipitaciones pluviales.**

La precipitación media anual alcanza un valor de 1.136,6 mm/año, de igual manera existe déficit hídrico en invierno. Por otro lado, el período húmedo comprende los meses de Noviembre – Abril, concentrándose el 88% de la precipitación anual.

#### **2.2.1.5.Hidrografía.**

La principal subcuenca con la que cuenta la sección es la del río Pilcomayo, la misma que pertenece a la cuenca del Plata, el mismo que no cuenta con tributarios de importancia y no se registra ningún curso permanente que llegue a su lecho por su carácter temporal.

Los principales recursos hídricos del municipio son los ríos Pilcomayo, Palos Blancos, Isiri, Caipipendi, Huacaya, Iguiraro, Camatindi, Macharetí.

#### **2.2.1.6.Recursos naturales.**

La región cuenta con riquezas forestales de fauna y vida silvestre y con recursos hidrocarbúricos, con estructuras como el pozo Iñiguacito, el Campo San Alberto, con reserva gasífera de importancia y pozos sin explotar, y el gasoducto Santa Cruz - Pocitos - Argentina que constituyen un potencial fundamental para el desarrollo de la región.

#### **2.2.1.7.Actividades económicas.**

Las principales actividades económicas que se desarrollan en el municipio Yacuiba son la comercial y la de servicios; en tanto que en el área rural son importantes los rubros agrícola y pecuario, la explotación forestal y, en menor proporción, la artesanía y la pesca.

La producción agrícola cuenta con cultivos de maíz, soya, maní y cítricos. La producción de maíz es destinada a la alimentación humana, al engorde de ganado porcino y aves de corral, y a la industrialización, la misma que es comercializada en los mercados de Tarija y Santa Cruz.

La soya es destinada a la agroindustria concentrada en Santa Cruz. El maní, en parte, es destinado al consumo doméstico, y el excedente a los mercados del interior del país. Y los cítricos, con variedades mejoradas, son comercializados en Tarija. La actividad pecuaria, con la cría de ganado bovino, porcino y equino, abastece a los mercados de Yacuiba, Tarija y Santa Cruz, además de Cochabamba y La Paz.

Sus recursos forestales son diversos, con especies como quebracho colorado, lapacho, palo blanco, perilla, cedro, mora, etc., que son trasladados como troncas a Yacuiba y convertidos allí en tablones. Asimismo, se realiza la pesca tradicional de especies como sábalo, dorado, surubí, pacú, bagre, boga y dentón, que en su mayoría son destinados al consumo en las comunidades originarias, y los excedentes son comercializados en los mercados urbanos.

## **2.3. Estudios preliminares.**

### **2.3.1. Estudio topográfico.**

#### **2.3.1.1. Trabajo de campo.**

Para un estudio topográfico, dentro de las actividades a realizar en el trabajo de campo, mencionamos las siguientes actividades:

- Reconocimiento de Campo.
- Georreferenciación.
- Levantamiento topográfico.

##### **2.3.1.1.1. Reconocimiento de campo.**

Para el levantamiento topográfico lo primero que se realizó fue un reconocimiento de la zona en coche, midiendo la longitud relativa del tramo en estudio.

Durante la inspección previa de la zona de proyecto, se pudo evidenciar que el terreno carece de accidentabilidad, ya que el mismo es casi en su totalidad plano y existe vegetación moderada en algunos tramos.

Seguidamente se realizó un reconocimiento a pie, fotografiando parte del recorrido y visualizando posibles ubicaciones de los puntos estación, además de las posibles afectaciones de terrenos colindantes, servicios, etc.

El presente proyecto se encuentra en una zona urbana, el mismo es una vía recta en la mayor parte del tramo y por ende tenemos puntos obligados para el diseño en estudio.

A continuación, se presentan imágenes registradas durante el reconocimiento del área de proyecto.

**Figura 9: Zona de estudio altura inicio del tramo (Yacuiba).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 10: Zona de estudio altura inicio del tramo (Lapachal Bajo).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 11: Zona de estudio altura ingreso del aeropuerto.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Esta actividad de campo fue realizada mediante el recorrido por eje vial existente, lo que nos permitió determinar los posibles puntos de control (BMs), así mismo se realizó las mediciones previas para la determinación de pendientes mayores de la vía establecidos en el manual, curvas, anchos mínimos y deducir el método más apropiado para llevar óptimamente el trabajo de campo.

#### **2.3.1.1.2. Georreferenciación.**

Para la georreferenciación de la poligonal básica, se monumentaron un total 23 puntos geodésicos (puntos de control) medidos con GPS diferencial ubicados a lo largo del tramo en estudio.

Las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), fueron obtenidas por la conversión de coordenadas geográficas al Sistema de Coordenadas WGS84.

Con el uso del GPS en este proyecto, dimos coordenadas al primer punto estación de referencia y a partir de este punto, fuimos midiendo cada punto en modo estático.

A continuación, se muestra la planilla resumen de puntos estación utilizados como BM de la topografía que fueron determinados mediante de un GPS.

**Tabla 1: Planilla BMs (Puntos estación).**

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
1	7567546,848	430939,875	660,154	Est 1
2	7567889,108	431092,541	661,695	Est 2
3	7568095,639	431181,791	663,772	Est 3
4	7568173,675	431205,323	663,033	Est 4
5	7568241,703	431216,035	664,488	Est 5
6	7568308,629	431251,564	664,376	Est 6
7	7568474,511	431307,501	663,792	Est 7
8	7568685,692	431384,413	667,439	Est 8
9	7569124,717	431565,264	668,06	Est 9
10	7569683,69	431783,912	668,039	Est 10
11	7570183,741	431986,142	667,999	Est 11
12	7570490,83	432120,85	668,786	Est 12
13	7570607,809	432168,117	669,108	Est 13
14	7570752,695	432046,681	671,505	Est 14
15	7570956,341	432141,328	671,093	Est 15
16	7571019,288	432208,78	669,785	Est 16
17	7570974,581	432317,831	667,195	Est 17
18	7571365,503	432468,752	669,224	Est 18
19	7572221,408	432817,781	671,546	Est 19
20	7572585,649	432981,118	672,438	Est 20
21	7572803,441	433102,252	674,487	Est 21
22	7572935,548	433185,484	671,994	Est 22
23	7572978,719	432606,677	681,239	Est 23

**Fuente: Elaboración propia.**

El primer BM (Est. 1) o punto de control, se encuentra en el inicio de la vía a diseñar, en la intersección de las calles: Av. Santa Cruz y Av. Fortín Boquerón, como punto de referencia, tenemos que a 2,5 metros se encuentra un poste de luz.

Este BM se encuentra en las coordenadas:  $21^{\circ}59'41.91''\text{S}$  y  $63^{\circ}40'8.36''\text{O}$ .

El último BM (Est. 23), se encuentra al final de la vía a diseñar, en la intersección de la Ruta N° 9 y el ingreso a ZOFRY como también a la planta separadora de líquidos. Como referencia de este punto tenemos que se encuentra a 40 metros del ingreso Campus Universitario de la U.A.J.M.S.

Este BM se encuentra en las coordenadas:  $21^{\circ}56'45.49''\text{S}$  y  $63^{\circ}39'9.43''\text{O}$ .

### **2.3.1.1.3. Levantamiento topográfico.**

Para el levantamiento topográfico del tramo, se utilizó los puntos levantados con GPS para orientar la estación total y poder comenzar el levantamiento.

Una vez instalada y orientada la Estación Total con las coordenadas obtenidas con el GPS mencionado, se procede a la medición (disparos a prismas) de distintos puntos relevantes o de importancia topográfica.

El proceso del levantamiento topográfico fue realizado mediante el método de poligonal abierto, con puntos de rellenos de radiación simple.

De esta manera los puntos donde se estaciona el equipo se convierten en los vértices de la poligonal base; que son debidamente estaqueados y referenciados colocando estacas pintadas con la inicial y referencia del punto de localización.

El levantamiento se realizó con un ancho de franja de 20 metros, 10 a cada lado de un eje tentativo del trabajo topográfico, franja que posibilitara plantear las mejores posibilidades de colocar el trazo y analizar sus variantes, para lo cual se empleó el equipo de estación total antes indicado.

Los puntos estación que se utilizaron para este levantamiento tienen una dirección y una distancia entre ellos, la misma que utilizamos para realizar el cambio de estación; estos datos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Planilla de dirección entre puntos base o de estación.**

<b>Punto</b>	<b>Línea</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Dirección</b>
Est. 1			
	L 1	374,77	N 24° 02' 22,30" E
Est. 2			
	L 2	224,95	N 23° 02' 22,30" E
Est. 3			
	L 3	81,51	N 16° 46' 51,13" E
Est. 4			
	L 4	68,87	N 8° 56' 54,80" E
Est. 5			
	L 5	75,77	N 27° 57' 44,92" E
Est. 6			
	L 6	175,06	N 18° 38' 04,55" E
Est. 7			
	L 7	224,75	N 20° 00' 41,78" E
Est. 8			
	L 8	474,82	N 22° 23' 19,00" E
Est. 9			
	L 9	600,21	N 21° 21' 48,45" E
Est. 10			
	L 10	539,4	N 22° 01' 09,60" E
Est. 11			
	L 11	335,34	N 23° 41' 06,69" E
Est. 12			
	L 12	126,17	N 22° 00' 06,73" E
Est. 13			
	L 13	189,05	N 39° 58' 04,88" E
Est. 14			
	L 14	224,57	N 24° 55' 38,05" E
Est. 15			
	L 15	92,26	N 46° 58' 43,15" E
Est. 16			
	L 16	117,86	N 67° 42' 29,21" E
Est. 17			
	L 17	419,04	N 21° 06' 35,23" E
Est. 18			
	L 18	924,33	N 22° 11' 06,42" E
Est. 19			
	L 19	399,19	N 24° 09' 10,62" E
Est. 20			
	L 20	249,21	N 29° 04' 56,74" E
Est. 21			
	L 21	156,14	N 32° 12' 44,47" E
Est. 22			
	L 22	580,41	N 65° 44' 03,93" E
Est. 23			

**Fuente: Elaboración propia.**

Como operador de la estación total, nos situamos en un lugar estratégico donde tengamos una visual adecuada para observar la mayor cantidad de puntos en la franja del levantamiento.

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

Paralelo al trabajo digital con los equipos, se elaboran diagramas y croquis a mano alzada de los sectores levantados, para su posterior interpretación y mejor elaboración del modelo del terreno.

En estos croquis debemos anotar referencias que nos permitan identificar con mayor facilidad los puntos estación para cualquier tipo de corrección o replanteo del levantamiento. Estas referencias fueron registradas de la siguiente manera:

**Tabla 3: Referencias para identificar cada punto estación.**

Punto	Referencia
Est. 1	Inicio del tramo a diseñar, diagonal a la estación de servicio Van Gas.
Est. 2	Av. Santa Cruz y Calle Froilán Tejerina, frente a la fábrica de ladrillos cerámicos "El Lapacho".
Est. 3	Inicio del cruce: quebrada Terán, extremo izquierdo.
Est. 4	Fin del cruce de la quebrada Terán, extremo derecho.
Est. 5	Primera intersección, pasando la quebrada Terán. Inicio del canal de desagüe hacia la quebrada San Isidro.
Est. 6	Frente a la chatarrería Don Juan, altura del puente peatonal construido sobre el canal de desagüe.
Est. 7	Ingreso asfaltado, diagonal al puente vehicular de ingreso al barrio Guadalupe.
Est. 8	Altura del puente San Isidro, fin del canal de desagüe que une la quebrada San Isidro y la quebrada Terán.
Est. 9	Ingreso asfaltado, que une con las comunidades de San Isidro, Cañón Oculto y otros.
Est. 10	Parada de taxi trufis y diagonal al ex colegio primario 2 de Agosto.
Est. 11	Ingreso asfaltado a la planta separadora de líquidos.
Est. 12	Altura del inicio de la pista de aterrizaje del aeropuerto de Yacuiba.
Est. 13	Fin del tramo recto y primer giro, frente a la infraestructura del aeropuerto.
Est. 14	Segundo giro, salida al ingreso del aeropuerto de Yacuiba.
Est. 15	Ingreso al Aeropuerto de Yacuiba.
Est. 16	Primer intersección, pasando el ingreso al aeropuerto.
Est. 17	Cuarta curva del tramo y regreso a la vía recta de la ruta antigua, frente al portón detrás del aeropuerto.
Est. 18	Altura de la estación de Servicio Tero Tero, pasando 30 m de la cabaña CapeTITO's,
Est. 19	A dos cuadras del colegio Campo Grande y el puesto policial de la comunidad..
Est. 20	Frente al cementerio de Campo Grande y altura del Fin de la pista del Aeropuerto de Yacuiba,
Est. 21	Ingreso de terracería a la planta separadora de líquidos.
Est. 22	Intersección entre Zofry y desviación al ingreso de la planta separadora de líquidos.
Est. 23	Fin del tramo a diseñar, a la altura de la Ruta N° 9, ingreso a Zofry y la planta separadora de líquidos.

**Fuente: Elaboración propia.**

A lo largo de la carretera se logró la lectura de 2631 puntos topográficos, con esta área interna se busca que se representen de la mejor manera la superficie del área de estudio, la misma que nos permitió determinar la configuración del relieve del terreno, ubicación precisa de las obras de arte existente, zonas críticas.

**Figura 12: Levantamiento con la estación total.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 13: Levantamiento con la estación total en una intersección.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### **2.3.1.2. Equipo utilizado.**

El equipo empleado para la realización del levantamiento se enmarca dentro de los requerimientos más estrictos en la ejecución de este trabajo.

Estos son los siguientes:

- Equipo navegador GPS.
- Estación total Sokkia.
- 2 prismas de reflexión infrarrojo.
- Cinta métrica, estacas, pinturas, libretas y otros.

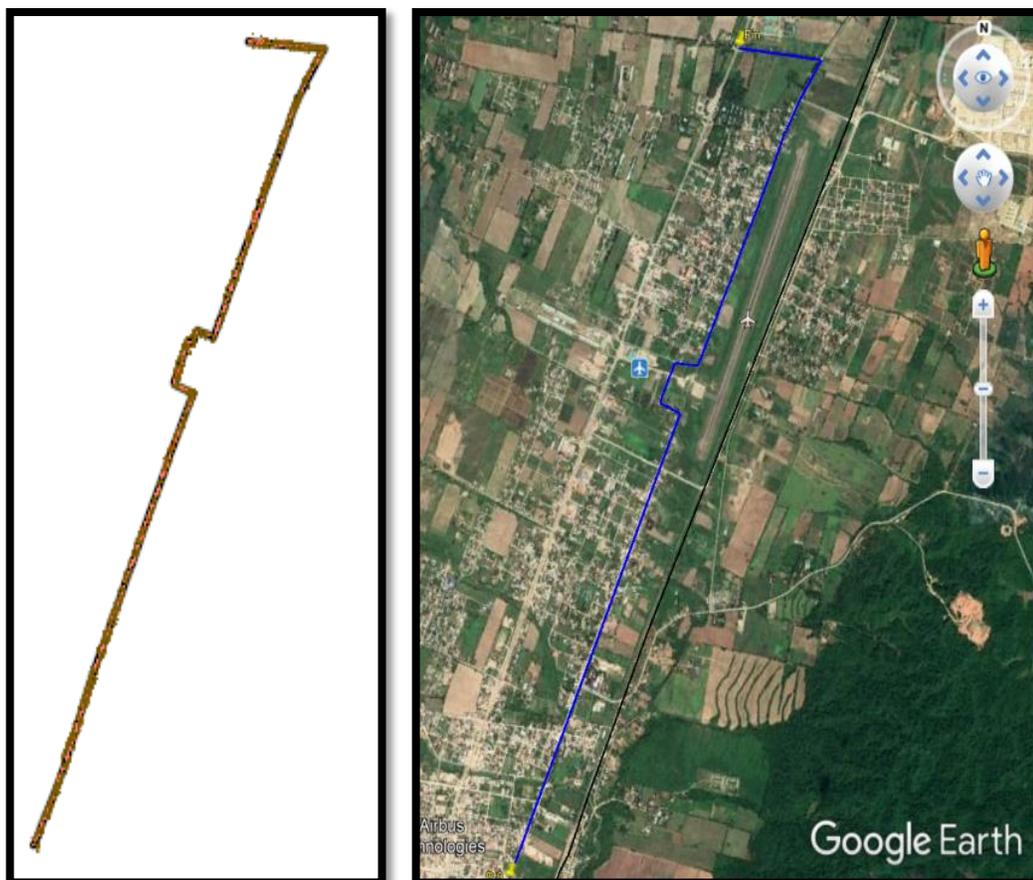
### **2.3.1.3. Trabajo de gabinete.**

Una vez concluido el trabajo, toda la información en el campo fue almacenada en la memoria de la estación total, para después descargar los datos a nuestra computadora a través del software Topo Link; esta información ha sido procesada en la misma memoria de la estación por coordenadas, para adecuación de la información en el uso de los programas de diseño asistido por computadora se realizó una hoja de cálculo que permitió tener la información para luego emplear los software topográficos y con esto se procede a la modelación del terreno levantado en una computadora, para esto, los datos recogidos de campo fueron procesados utilizando el software AUTOCAD CIVIL 3D.

El primer paso es vaciar los datos de la estación total al ordenador en forma de coordenadas cartesianas (X, Y, Z); (Este, Norte, Elevación); cada punto en el espacio servirá como dato para que el ordenador pueda modelar la superficie virtual, construyendo un mapa gráfico donde se observe a mayor detalle la superficie de la zona.

A continuación, se observan imágenes representativas de los planos de curvas de nivel y trazo en el programa Google Earth, estos planos se podrán apreciar de mejor manera en los anexos correspondientes y con la escala indicada.

**Figura 14: Imagen de curvas de nivel e imagen satelital de la zona.**



**Fuente: AutoCAD Civil 3D y Google Earth.**

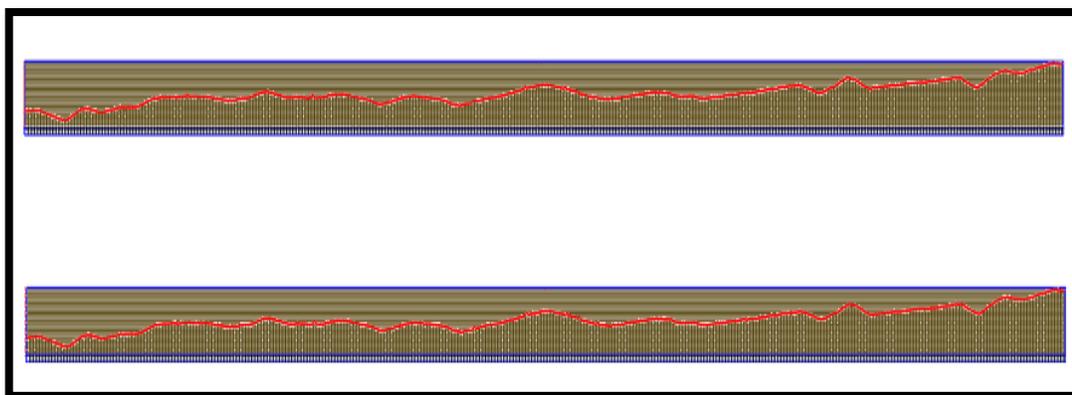
El eje del camino, en planta y perfil, se adecuará al terreno en forma muy estricta y a las características actuales de la vía.

Se dispondrá de planos de planta y perfil, así como planos de obras de arte.

Cada sección del camino mostrará el ancho de la plataforma y los taludes, tanto de corte como de relleno.

A continuación, mostramos el perfil longitudinal del trazo de la vía en estudio.

**Figura 15: Perfil longitudinal del eje del tramo a diseñar.**



**Fuente: AutoCAD Civil 3D.**

#### **2.3.1.4. Planilla de coordenadas.**

La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la estación total creados en varios trabajos (JOB'S), deben ser ordenados y clasificados en Microsoft Excel para la correcta modelación.

Es donde se representan todos los puntos del levantamiento topográfico (N, X, Y, Z, D,) con las cuales se grafica en el terreno, con la ayuda del programa AUTOCAD CIVIL 3D.

La planilla completa de todo el levantamiento topográfico con la estación total, se mostrará en el “Anexo 1: Levantamiento topográfico”.

#### **2.3.1.5. Corrección de la poligonal.**

Para la corrección de la poligonal, debemos contar con dos puntos georreferenciados, con los mismos que procederemos a verificar los ángulos y distancias de los puntos BMs seleccionados para llevar adelante el levantamiento topográfico.

A continuación, mostramos la planilla utilizada para realizar los cálculos y comprobación de esta corrección de la poligonal:

Tabla 4: Corrección de la poligonal abierta.

LADO		DIST.	COORDENADAS SIN AJUSTAR		ELEVACIÓN TRIGONOMÉTRICA	PROYECCIONES POR CUADRÍCULA		CORRECCIONES POR CUADRÍCULA		CORRECCIONES ACUMULADAS		COORDENADAS AJUSTADAS			OBSERVACIONES
EST.	P.V.		X'	Y'	Z'	Abs(DX)	Abs(DY)	X'	Y'	ACUM X	ACUM Y	ESTE	NORTE	ELEVACION GEOMÉTRICA	
	GPS A		430929,49	7567532,24	661,452							430929,49	7567532,24	661,45	GPS
GPS B			430945,89	7567559,99	660,102							430945,89	7567559,99	660,10	GPS
EST. 1		14,45	430939,87	7567546,84	660,154	6,019	13,143	0,0863	0,4928	0,0863	0,4928	430939,96	7567547,34	660,17	POLIGONAL
EST. 2		374,76	431092,54	7567889,10	661,695	152,666	342,260	2,1881	12,8320	2,2744	13,324	431094,81	7567902,43	661,70	POLIGONAL
EST. 3		224,99	431181,79	7568095,63	663,772	89,250	206,531	1,2792	7,7432	3,5536	21,0680	431185,34	7568116,70	663,788	POLIGONAL
EST. 4		81,50	431205,32	7568173,67	663,033	23,532	78,036	0,3373	2,9257	3,8908	23,9937	431209,21	7568197,66	663,051	POLIGONAL
EST. 5		68,86	431216,03	7568241,70	664,488	10,712	68,028	0,1535	2,5505	4,0444	26,5442	431220,07	7568268,24	664,504	POLIGONAL
EST. 6		75,77	431251,56	7568308,62	664,376	35,529	66,926	0,5092	2,5092	4,5536	29,0533	431256,11	7568337,68	664,392	POLIGONAL
EST. 7		175,05	431307,50	7568474,51	663,792	55,937	165,882	0,8017	6,2192	5,3553	35,2726	431312,85	7568509,78	663,808	POLIGONAL
EST. 8		224,75	431384,41	7568685,69	667,439	76,912	211,181	1,1024	7,9176	6,4577	43,1901	431390,87	7568728,88	667,456	POLIGONAL
EST. 9		474,81	431565,26	7569124,71	668,06	180,851	439,025	2,5921	16,4599	9,0498	59,6500	431574,31	7569184,36	668,076	POLIGONAL
EST. 10		600,21	431783,91	7569683,69	668,039	218,648	558,973	3,1338	20,9569	12,1836	80,6069	431796,09	7569764,29	668,051	POLIGONAL
EST. 11		539,39	431986,14	7570183,74	667,999	202,230	500,051	2,8985	18,7478	15,0821	99,3548	432001,22	7570283,09	668,015	POLIGONAL
EST. 12		335,33	432120,85	7570490,83	668,786	134,708	307,089	1,9307	11,5133	17,0128	110,8681	432137,86	7570601,69	668,802	POLIGONAL
EST. 13		126,16	432168,11	7570607,80	669,108	47,267	116,979	0,6775	4,3858	17,6902	115,2539	432185,80	7570723,06	669,124	POLIGONAL
EST. 14		189,04	432046,68	7570752,69	671,505	121,436	144,886	1,7405	5,4320	19,4307	120,6859	432066,11	7570873,38	671,521	POLIGONAL
EST. 15		224,56	432141,32	7570956,34	671,093	94,647	203,646	1,3565	7,6351	20,7873	128,3210	432162,11	7571084,66	671,119	POLIGONAL
EST. 16		92,26	432208,78	7571019,28	669,785	67,452	62,947	0,9668	2,3600	21,7540	130,6810	432230,53	7571149,96	669,801	POLIGONAL
EST. 17		117,85	432317,83	7570974,58	667,195	109,051	44,707	1,5630	1,6761	23,3170	132,3571	432341,14	7571106,93	667,211	POLIGONAL
EST. 18		419,04	432468,75	7571365,50	669,224	150,921	390,922	2,1631	14,6564	25,4801	147,0135	432494,23	7571512,51	669,240	POLIGONAL
EST. 19		924,33	432817,78	7572221,40	671,546	349,029	855,905	5,0025	32,0895	30,4826	179,1030	432848,26	7572400,51	671,562	POLIGONAL
EST. 20		399,18	432981,11	7572585,64	672,438	163,337	364,241	2,3411	13,6561	32,8237	192,7591	433013,94	7572778,40	672,454	POLIGONAL
EST. 21		249,21	433102,25	7572803,44	674,487	121,134	217,792	1,7362	8,1654	34,5599	200,9245	433136,81	7573004,36	674,503	POLIGONAL
EST. 22		156,140	433185,48	7572935,54	671,994	83,232	132,107	1,1929	4,9529	35,7528	205,8775	433221,23	7573141,42	672,010	POLIGONAL
	EST. 23	580,415	432606,67	7572978,71	681,239	578,807	43,171	8,2958	1,6186	44,0486	207,4960	432650,72	7573186,21	681,255	POLIGONAL
GPS C			432620,24	7573007,11	680,519									680,519	GPS
SUMAS		6668,16			17373,320	946,510	757,311	13,566	28,393					17373,695	
			Error en X	Error en Y	Error en Z	DIST. X m	DIST. Y m								
FACTORES DE CORRECCION			13,566	28,393	-0,720	0,0143327	0,0374919								

Fuente: Elaboración propia.

### **2.3.2. Estudio hidrológico.**

El análisis hidrológico nos permite definir los niveles de agua para determinar los caudales de manejo para el desagüe pluvial de la zona de proyecto.

No habiendo la disponibilidad en las instituciones correspondientes de información sobre caudales que escurren sobre las actuales vías de la zona, el análisis a continuación tiene carácter estimativo, no determinístico, se efectúa con métodos empíricos y semi empíricos, con complemento estadístico, tratando de acercarnos, lo más posible, a lo real para determinar los parámetros de diseño para el drenaje pluvial del proyecto de la ruta antigua Yacuiba - Campo Grande.

#### **2.3.2.1. Características generales de la cuenca.**

De acuerdo a la carta IGM, son 8 las subcuencas de emplazamiento que se presentan en el ubicadas en la zona de emplazamiento del proyecto en la ciudad de Yacuiba, más propiamente en las áreas de aporte hacia el tramo de la ruta antigua.

#### **2.3.2.2. Afluentes.**

Las presentes quebradas son de pocos afluentes dado que pertenecen a una cuenca relativamente pequeña, propias de quebradas nacientes de montañas que se caracterizan ser pequeñas y torrenteras generadas por los establecimientos humanos actuales. Uno de los cauces principales de las quebradas afluentes en estas subcuencas tiene una longitud de 7,06 km.

La máxima elevación de cabecera de la subcuenca, es de 1373 m.s.n.m. y en la parte inferior tiene una altura de 661 m.s.n.m.

#### **2.3.2.3. Definición de símbolos, magnitudes y unidades.**

La relación de símbolos, magnitudes y unidades empleadas es la siguiente:

**Tabla 5: Símbolos, magnitud y unidad.**

<b>Símbolo</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
A	Área de la cuenca	[Km <sup>2</sup> ]
L	Longitud media del curso principal	[Km]
S	Pendiente media del curso principal	[m/m]
S	Pendiente %	[m/m]
T	Período de retorno	[Años]
x	Media aritmética	[mm]
$\sigma_x$	Desviación típica	-
$e_n$	Moda	-
$k_m$	Característica	-
$T_c$	Tiempo de concentración	[Hrs]
Pte	Precipitación correspondiente, a un período de retorno T	[mm]
Pd	Precipitación máxima diaria para un período de retorno T	[mm]
$T_r$	Tiempo de retardo	[Hrs]
Pd	Precipitación máxima, diaria, para T=50 años.	[mm]
$P_e$	Precipitación efectiva	[mm]
de	Duración de la precipitación efectiva	[Hrs]
V	Velocidad media del cauce	[m/s]
dex	Duración en exceso	[Hrs]
P ó h	Precipitación total	[mm]
$P_e$	Precipitación efectiva	[mm]
Q	Caudal máximo de diseño, para T años de período de retorno	[m <sup>3</sup> /s]
n	Coefficiente de rugosidad de Manning	Adim.
RH	Radio hidráulico	[m]
AH	Área hidráulica de la sección transversal	[m <sup>2</sup> ]
PH	Perímetro mojado de la sección transversal	[m]
Y	Tirante hidráulico de la sección transversal	[m]
$Y_n$	Tirante de diseño	[m]
$h_{olas}$	Altura de olas	[m]
NAME	Nivel de aguas máximo extraordinario	[m]

**Fuente: Elaboración propia.**

#### **2.3.2.4. Estimación de crecidas.**

A fin de estimar los caudales máximos, probables, se procede a emplear diferentes métodos que nos permitan su comparación y evaluación, de manera tal que la estimación del caudal correspondiente a la creciente del proyecto sea lo más realista posible.

Para este efecto, por norma, nos recomienda emplear un período de retorno entre 2 y 5 años para drenaje pluvial urbano:

$$T = \text{Período de retorno} = 5 \text{ años.}$$

### 2.3.2.5. Información hidrológica disponible.

La zona de emplazamiento de las calles se caracteriza por tener un clima caluroso con precipitaciones máximas diarias del orden de 180 mm y temperatura media 35°C.

La estimación de crecidas se basa en el estudio de las precipitaciones máximas de corta duración y gran intensidad, definidas en función a los datos de las precipitaciones máximas diarias.

AASANA cuenta con una estación en la zona del aeropuerto que los datos son procesados por el SENAMHI, que se encuentra a 4 km aproximadamente del centro de Yacuiba sobre la carretera hacia Villamontes, como una alternativa de datos pluviométricos con la cual se pretende diseñar los drenajes pluviales, es estación más cercana para la presente evaluación hidrológica.

En dicha estación se tienen registros de 60 años de observación, correspondientes a las siguientes características geodésicas:

**Tabla 6: Características geodésicas.**

Característica geodésica	Magnitud
Latitud S	22° 56' 58''
Longitud W	63° 38' 53''
Altitud (m.s.n.m.)	645

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2.6. Precipitaciones máximas.

Existe información en la estación Yacuiba, sobre la base de datos históricos de lluvias máximas diarias registradas en esta estación pluviométrica.

La información fue facilitada por el SENAMHI - TARIJA que es una institución de carácter nacional y está encargada del registro meteorológico e hidrológico de Bolivia.

En la tabla 12 se detalla los valores de las precipitaciones máximas diarias a partir del año 1979 al 2018, para la estación Yacuiba. En el anexo se adjuntan todos los datos proporcionados por SENAMHI.

**Tabla 7: Precipitaciones máximas diarias.**

<b>Año hidrológico</b>	<b>Estación Yacuiba [mm]</b>	<b>Año hidrológico</b>	<b>Estación Yacuiba [mm]</b>
1979 - 1980	230,00	1999 - 2000	48,00
1980 - 1981	104,00	2000 - 2001	115,30
1981 - 1982	144,00	2001 - 2002	45,20
1982 - 1983	108,00	2002 - 2003	88,60
1983 - 1984	110,00	2003 - 2004	102,80
1984 - 1985	212,50	2004 - 2005	138,90
1985 - 1986	178,00	2005 - 2006	137,30
1986 - 1987	154,00	2006 - 2007	136,70
1987 - 1988	91,00	2007 - 2008	120,80
1988 - 1989	130,00	2008 - 2009	57,00
1989 - 1990	81,00	2009 - 2010	106,00
1990 - 1991	99,00	2010 - 2011	142,00
1991 - 1992	106,00	2011 - 2012	93,20
1992 - 1993	71,80	2012 - 2012	133,20
1993 - 1994	104,00	2013 - 2013	235,10
1994 - 1995	95,50	2014 - 2015	160,40
1995 - 1996	140,00	2015 - 2016	87,30
1996 - 1997	119,30	2016 - 2017	69,50
1997 - 1998	76,00	2017 - 2018	147,00
1998 - 1999	50,20	2018 - 2019	57,00

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2.7. Distribución de probabilidades.

Las lluvias máximas registradas en una estación, se distribuyen de acuerdo a una ley y el mejor ajuste se consigue al aplicar la ley de Gumbell, por lo tanto, se han calculado los parámetros respectivos que siguen:

**Tabla 8: Parámetros de Gumbell.**

Estación Yacuiba	Resultados
N° de Datos	60,00
Media (hd)	102,61
Desv. (Sd)	42,67
Moda (Ed)	83,41
Característica(kd)	0,92

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2.8. Altura de lluvia máxima diaria para un determinado período de retorno.

De donde se obtiene la ecuación de Gumbell modificado para lluvias máximas diarias:

**Ecuación 2: Altura de lluvia máxima diaria.**

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

Donde:

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

ED = Moda (mm).

KD = Característica de la distribución.

T = Período de retorno (años).

**Tabla 9: Altura de lluvia máxima diaria para diferentes períodos de retorno.**

T (años)	hdT (mm)
2	106.44
5	136.87
10	159.89
20	182.92
50	213.36
100	236.38

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2.9. Altura de lluvias máximas inferiores a 24 hrs. y mayores a 2 hrs.

**Ecuación 3: Altura de lluvias máximas.**

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

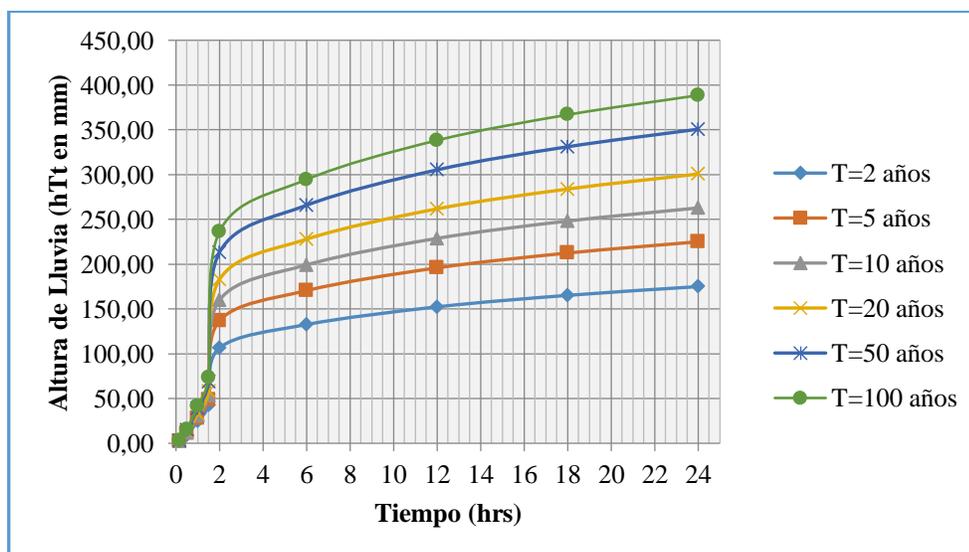
Adoptando:  $\alpha = 2,0$   $\beta = 0,2$

**Tabla 10: Altura de lluvias inferiores a las 24hrs y mayores a 2hrs.**

Período de retorno	Períodos de duración de lluvias en horas (t)								
	10 min	30 min	60 min	90 min	120 min	360 min	720 min	1080 min	1440 min
	0,16	0,5	1	1,5	2	6	12	18	24
2	2,09	9,70	24,69	42,65	106,43	132,59	152,31	165,17	174,95
5	2,36	11,00	28,07	48,56	136,87	170,51	195,86	212,40	224,98
10	2,48	11,83	30,60	53,35	159,90	199,19	228,81	248,14	262,83
20	2,64	12,73	33,12	57,96	182,92	227,87	261,76	283,87	300,68
50	3,01	14,77	38,91	68,56	213,36	265,79	305,31	331,10	350,71
100	3,16	15,64	41,39	73,14	236,38	294,47	338,26	366,83	388,56

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 16: Curvas precipitación - Intensidad – Frecuencia.**

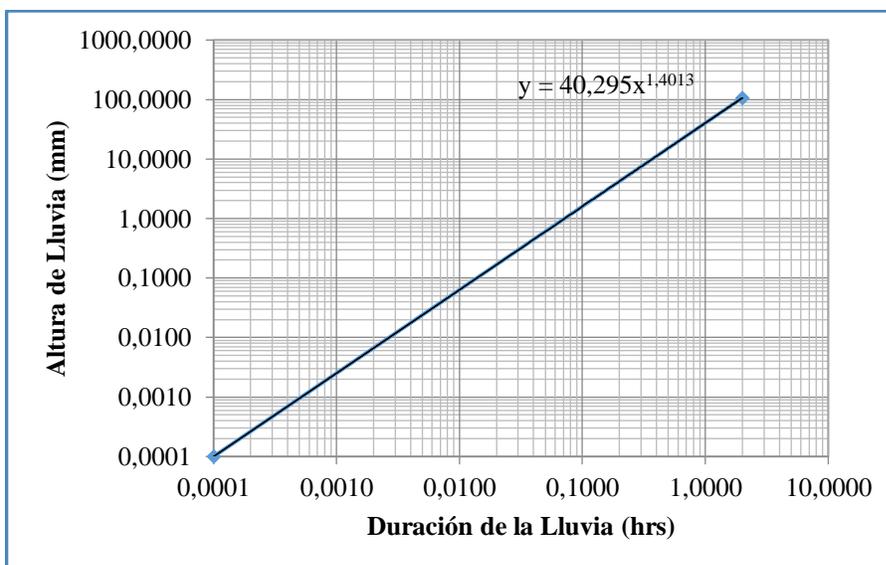


Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2.10. Método gráfico de lluvia menores a 2 horas.

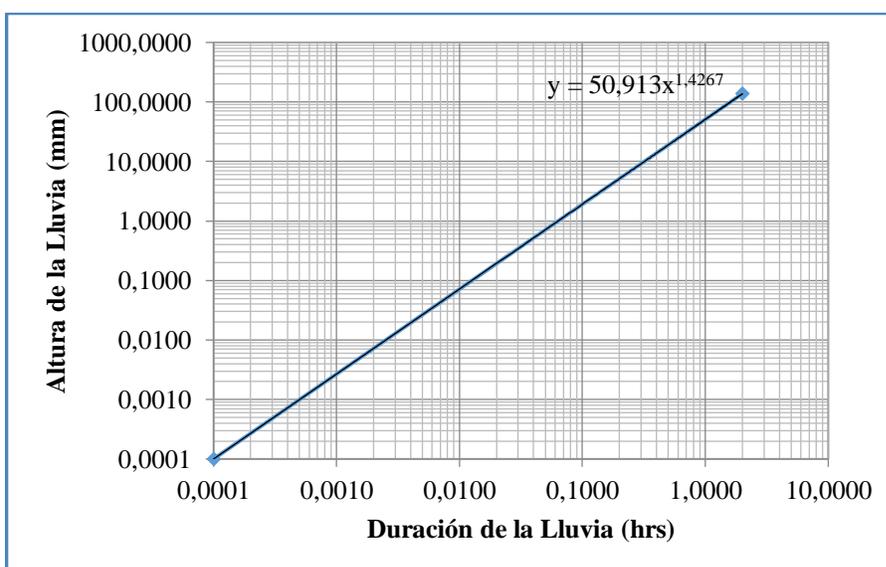
Para lluvias menores a 2 horas y para distintos períodos de retorno se empleó el método gráfico.

**Figura 17: Método gráfico para un período de retorno de 2 años.**



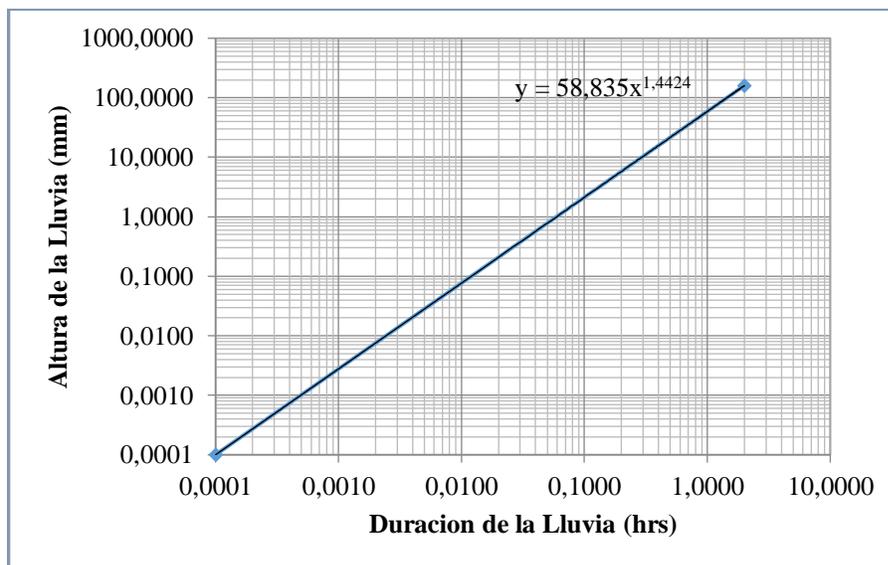
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 18: Método gráfico para un período de retorno de 5 años.**



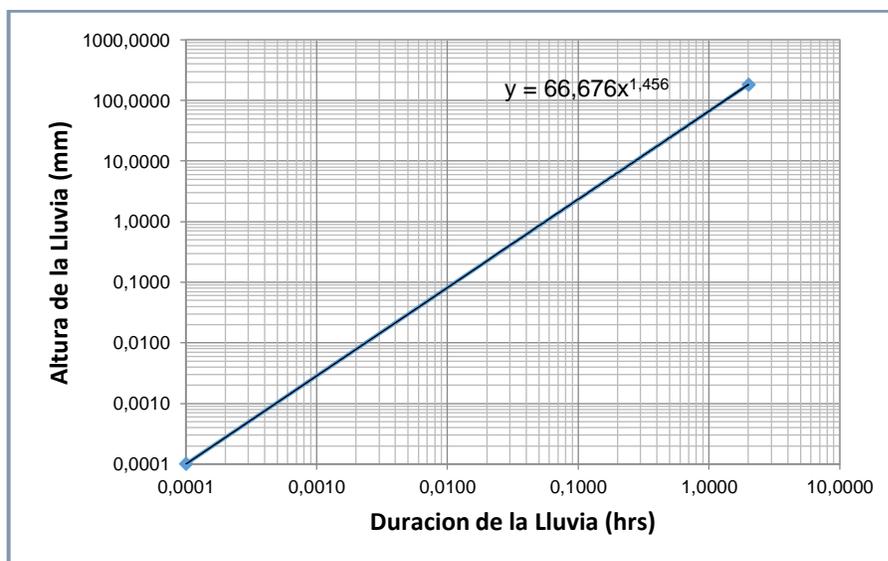
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 19: Método gráfico para un período de retorno de 10 años.**



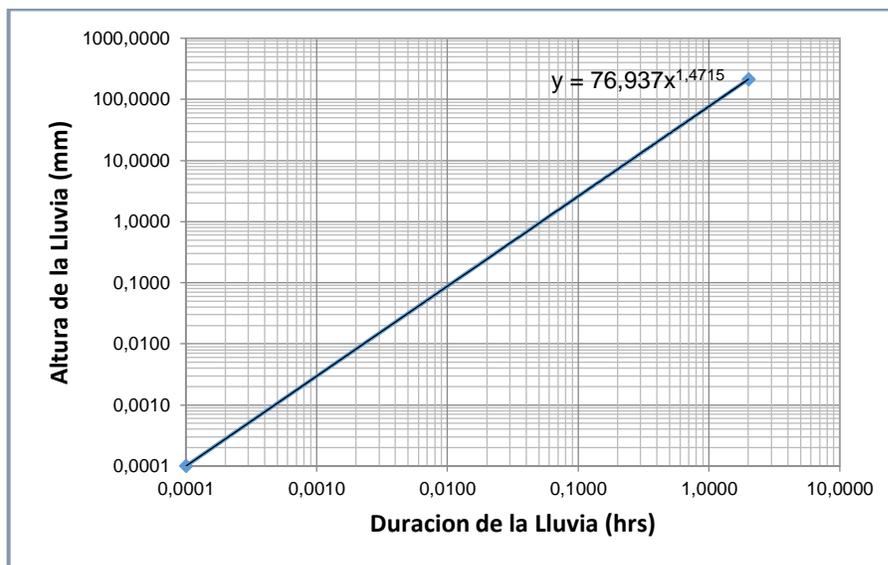
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 20: Método gráfico para un período de retorno de 20 años.**



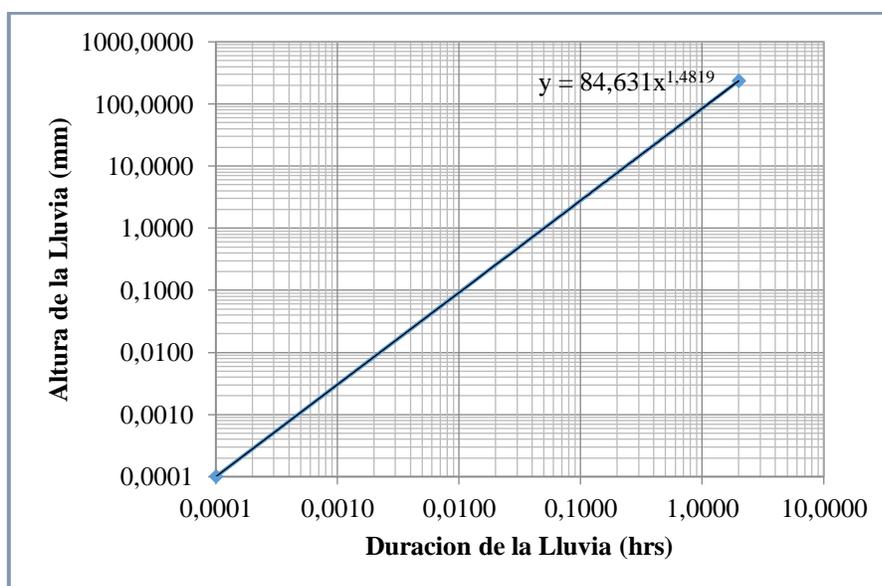
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 21: Método gráfico para un período de retorno de 50 años.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 22: Método gráfico para un período de retorno de 100 años.**



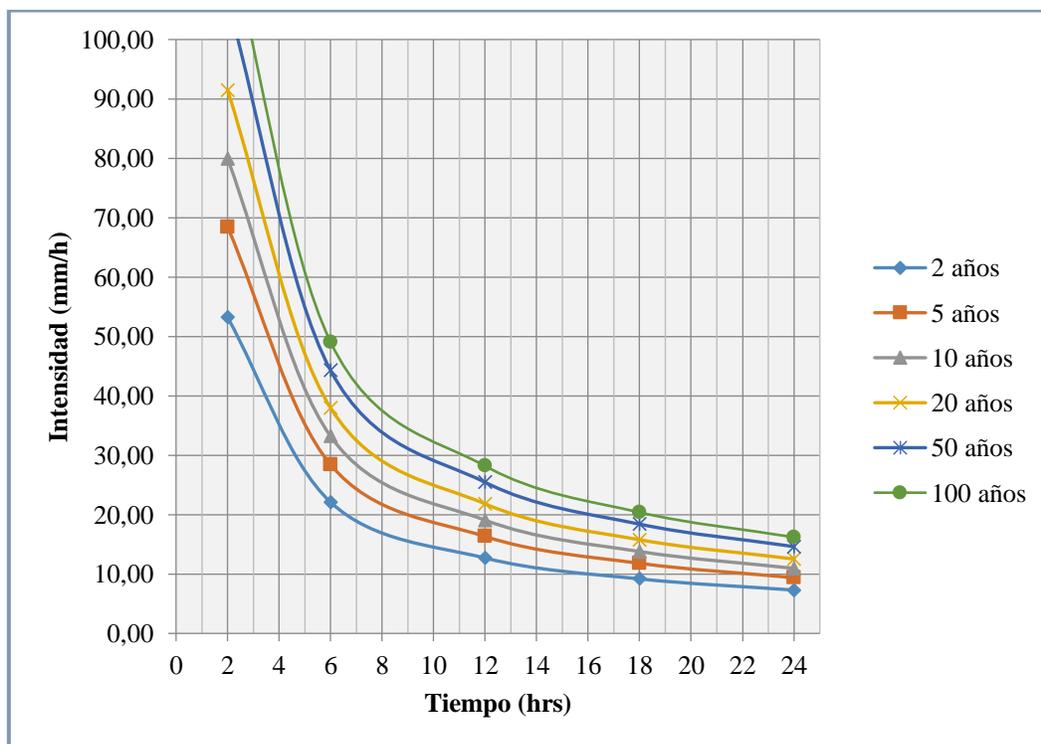
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 11: Intensidades máximas para períodos de duración menores a 24 horas.**

Período de retorno (años)	Intensidades de lluvias								
	0,16	0,5	1	1,5	2	6	12	18	24
2	13,05	19,40	24,69	28,43	53,22	22,10	12,69	9,18	7,29
5	14,73	21,99	28,07	32,38	68,44	28,42	16,32	11,80	9,37
10	15,50	23,66	30,60	35,57	79,95	33,20	19,07	13,79	10,95
20	16,51	25,45	33,12	38,64	91,46	37,98	21,81	15,77	12,53
50	18,80	29,55	38,91	45,71	106,68	44,30	25,44	18,39	14,61
100	19,74	31,28	41,39	48,76	118,19	49,08	28,19	20,38	16,19

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23: Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia.**



Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2.11. Tiempo de concentración.

Para la determinación del tiempo de concentración de la cuenca se utilizaron las siguientes características de la cuenca:

**Tabla 12: Datos de las cuencas.**

Cuenca	Área	Curso principal	Desnivel	Pendiente
	[km <sup>2</sup> ]	[ km ]	Delta H [ m ]	[ % ]
<b>C1</b>	10,41	6,72	702,00	10,45
<b>C2</b>	8,63	7,06	703,00	9,96
<b>C3</b>	4,16	3,62	275,00	7,60
<b>C4</b>	0,33	0,75	22,00	2,93
<b>C5</b>	8,50	6,66	636,00	9,55
<b>C6</b>	1,09	3,00	95,00	3,17
<b>C7</b>	0,46	1,16	31,00	2,67
<b>C8</b>	0,18	0,50	30,00	6,00

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.3.2.11.1. Tiempo de concentración para la cuenca.

**Ecuación 3: Tiempo de concentración según Kirpich.**

$$t_c = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385}$$

**Ecuación 4: Tiempo de concentración según Témez.**

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.35}}\right)^{0.76}$$

**Ecuación 5: Tiempo de concentración según Chereque.**

$$t_c = \left[0.871 * \frac{L^3}{H}\right]^{0.385}$$

**Ecuación 6: Tiempo de concentración según Giandotti.**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * S * L}$$

**Ecuación 7: Tiempo de concentración según California.**

$$t_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$$

**Ecuación 8: Tiempo de concentración según Ventura y Heras.**

$$t_c = 0,05 \sqrt{\frac{A}{S}}$$

**Tabla 13: Tiempo de concentración**

Cuencas	Kirpich (min) ABC	J.R. Temez	Chereque	California highway & Public Work (min) ABC	Ventura Heras 0,05<a<0,5	Promedio Tc (hrs)
C1	0,6828	2,1563	0,6832	0,6893	0,6698	0,9943
C2	0,7225	2,2592	0,7229	0,7293	0,4866	1,0326
C3	0,4794	1,4316	0,4797	0,4840	0,4703	0,7282
C4	0,2058	0,5185	0,2059	0,2077	0,2019	0,3753
C5	0,7020	2,1785	0,7024	0,7086	0,6886	1,0089
C6	0,5810	1,4656	0,5813	0,5865	0,5700	0,8162
C7	0,2984	0,7352	0,2986	0,3012	0,2927	0,4876
C8	0,1143	0,3326	0,1144	0,1154	0,1120	0,2245

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla14: Altura máxima de lluvia**

Cuencas	Tc (hrs)	Altura de lluvia (mm) para los período de retorno					
		2	5	10	20	50	100
<b>Cuenca 1</b>	0,99	12,72	10,49	11,91	13,31	15,08	16,40
<b>Cuenca 2</b>	1,03	13,41	11,27	12,81	14,33	16,24	17,67
<b>Cuenca 3</b>	0,73	8,69	6,22	7,02	7,81	8,80	9,53
<b>Cuenca 4</b>	0,38	5,90	3,66	4,11	4,55	5,10	5,50
<b>Cuenca 5</b>	1,01	13,89	11,84	13,46	15,07	17,09	18,60
<b>Cuenca 6</b>	0,82	10,07	7,61	8,61	9,60	10,84	11,75
<b>Cuenca 7</b>	0,49	5,03	2,94	3,30	3,64	4,07	4,38
<b>Cuenca 8</b>	0,22	1,95	0,80	0,88	0,96	1,06	1,13

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2.12. Intensidad máxima.

Intensidad de precipitación máxima en los 10 min;

$$t = 0,16667 \text{ hrs.}$$

**Ecuación 9: Intensidad máxima.**

$$i = \frac{h_{tT}}{t}$$

**Tabla 15: Intensidad máxima**

Cuenca	Tc (hrs)	Intensidad máxima (mm/hr) para los período de retorno					
		2	5	10	20	50	100
Cuenca 1	0,99	38,49	31,74	36,05	40,29	45,64	49,63
Cuenca 2	1,03	40,57	34,11	38,77	43,37	49,16	53,49
Cuenca 3	0,73	26,29	18,83	21,26	23,65	26,63	28,85
Cuenca 4	0,38	17,86	11,09	12,45	13,77	15,43	16,65
Cuenca 5	1.01	42,05	35,83	40,75	45,60	51,72	56,29
Cuenca 6	0,82	30,46	23,04	26,07	29,05	32,79	35,58
Cuenca 7	0,49	15,23	8,91	9,98	11,02	12,31	13,26
Cuenca 8	0,22	5,89	2,42	2,68	2,92	3,22	3,43

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.3. Estudio geotécnico.

El estudio geotécnico es realizado para obtener la información necesaria para poder identificar las características y propiedades de los materiales que constituyen los suelos existentes en la zona de influencia y en las distintas arterias a ser intervenidas en el proyecto.

Por otro lado, la parte de la investigación geotécnica está orientada a la determinación y conocimiento de los parámetros geotécnicos que serán utilizados como nivel de referencia en el diseño del paquete estructural de los pavimentos.

La metodología adoptada para éste estudio fue el que se utiliza regularmente para la elaboración de los ensayos necesarios, y se empezó realizando un sondeo en suelo nivel de sub rasante de las distintas calles del proyecto.

### 2.3.3.1.Muestreo.

Se procedió a ejecutar calicatas entre 0,3 y 1,0 metros de profundidad, que variaron según las características de la carretera, donde se obtuvo las muestras cada 500 m aproximadamente, o de donde se observó un cambio sustancial en las características de suelo de la carretera, esto hasta el final del tramo a diseñarse.

**Figura 24: Imagen satelital de los puntos de extracción de muestras de suelos.**



**Fuente: Google Earth.**

El plano a detalle y en escala se podrá observar en los anexos correspondientes a este capítulo.

**Tabla 16: Puntos de ubicación de extracción de muestras.**

<b>N° de muestra</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Coordenadas</b>	
M1	0+000	21°59'42.89''S	63°40'08.49''O
M2	0+550	21°59'26.35''S	63°40'00.62''O
M3	1+030	21°59'11.70''S	63°39'55.08''O
M4	1+520	21°58'56.80''S	63°39'48.73''O
M5	2+040	21°58'40.42''S	63°39'41.49''O
M6	2+540	21°58'25.38''S	63°39'34.99''O
M7	3+050	21°58'10.07''S	63°39'28.21''O
M8	3+550	21°57'57.77''S	63°39'29.03''O
M9	4+050	21°57'48.67''S	63°39'18.56''O
M10	4+550	21°57'33.66''S	63°39'11.88''O
M11	5+000	21°57'20.09''S	63°39'06.06''O
M12	5+550	21°57'3.54''S	63°38'58.78''O
M13	6+090	21°56'48.37''S	63°38'49.74''O
M14	6+700	21°56'46.67''S	63°39'11.03''O

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 25: Fotografía de un punto de extracción de suelos.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 26: Fotografía de un punto de extracción de suelos.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Con la finalidad de preservar las condiciones propias de cada muestra, se estableció un procedimiento sencillo, pero muy útil para obtener la forma correcta de guardado y conservación de estas.

Todas las muestras obtenidas en campo fueron guardadas en bolsas; una fracción de ella se guardó en bolsa plástica, para así determinar su contenido de humedad natural y para los demás ensayos fueron colocados en bolsas de yute, todas estas bolsas fueron previamente identificadas con su respectivo rótulo indicando el nombre del tramo de proyecto, número de muestra y la progresiva de las misma.

Estas muestras fueron trasladadas desde Yacuiba hasta el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S. vía terrestre.

#### **2.3.3.2. Trabajo de laboratorio.**

Para obtener las características físico-mecánicas de las muestras extraídas se realizaron siguientes ensayos:

- Granulometría de las partículas sólidas que constituyen el suelo, mediante la vía del tamizado según (ASTM D422; AASHTO T88).
- Determinación de los límites de consistencia o los límites de Atterberg: límite líquido; límite plástico, e índice de plasticidad (ASTM D4318; AASHTO T89) y (ASTM D4318; AASHTO T90) respectivamente.
- Determinación de los suelos, adoptando el sistema internacional AASHTO (American Association Of State Highway And Transportation Officials O Asociación Americana De Autoridades Estatales De Carreteras Y Transporte) y el sistema de clasificación unificado, SUCS.
- Determinación del grado de compactación mediante la prueba Proctor T-180, para determinar las relaciones: densidad máxima, humedad óptima; según (ASTM D422; AASHTO T180).
- Determinación de la capacidad soporte C.B.R. utilizando: (CBR de laboratorio) (ASTM D1883; AASHTO T193).

### 2.3.3.2.1. Granulometría.

La granulometría es obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman un suelo. Para ello se utilizó un juego de tamices que tienen un tamaño de abertura graduado establecidos por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtuvo los pesos retenidos en cada tamiz para luego realizar los cálculos en gabinete y obtener su curva granulométrica.

Primeramente, se pesa una muestra de 5000gr, luego se le resta el peso del agua para posteriormente hacer pasar por los diferentes tamices y pesar lo retenido en cada tamiz, seguidamente obtenemos el peso retenido acumulado y posteriormente sacamos el porcentaje que pasa de cada tamiz y con esto graficar la curva granulométrica.

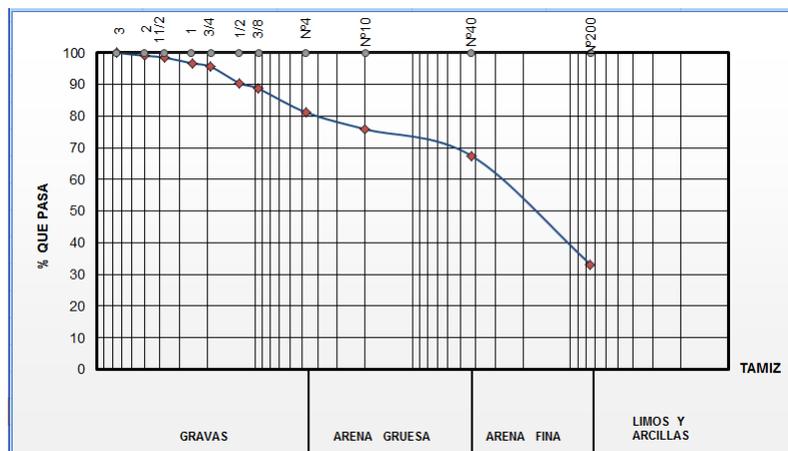
A continuación, mostramos una tabla que se utilizó para la granulométrica correspondiente a un suelo A-2-4(0) que es uno de los tipos de suelos del tramo en estudio (ver anexo 3)

**Tabla 17: Ensayo de granulometría.**

Peso Total (gr.)			5000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
2"	50	45.00	45.00	0.90	<b>99.10</b>
1 1/2"	37.50	29.70	74.70	1.49	<b>98.51</b>
1"	25.00	89.60	164.30	3.29	<b>96.71</b>
3/4"	19.00	57.50	221.80	4.44	<b>95.56</b>
1/2"	12.50	258.20	480.00	9.60	<b>90.40</b>
3/8"	9.50	85.00	565.00	11.30	<b>88.70</b>
Nº4	4.75	374.10	939.10	18.78	<b>81.22</b>
Nº10	2.00	268.00	1207.10	24.14	<b>75.86</b>
Nº40	0.425	97.50	97.50	32.50	<b>67.50</b>
Nº200	0.075	102.90	200.40	66.80	<b>33.20</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

A continuación, mostramos una curva granulométrica correspondiente a un suelo A-2-4(0) que es uno de los tipos de suelos del tramo en estudio (ver anexo 3).

**Figura 27: Curva granulométrica.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.3.2.2. Límites de Atterberg.

#### 2.3.3.2.2.1. Límite Líquido.

Para el cálculo del límite líquido primero se tamizo una muestra en el tamiz N°40 que posteriormente se procedió a humedecer hasta que esta tenga una contextura de mantequilla, luego se coloca al aparato casa grande y se hace una ranulación para proceder con los 25 golpes hasta que la ranura se cerró, luego se saca una porción y se procede a pesar para posteriormente dejar en el horno por 24 horas. Cumplido este periodo volvemos a pesar para obtener el peso seco.

A continuación, se muestra un cuadro del cálculo del límite líquido de una muestra de suelo del tramo en estudio. (Muestra N° 2).

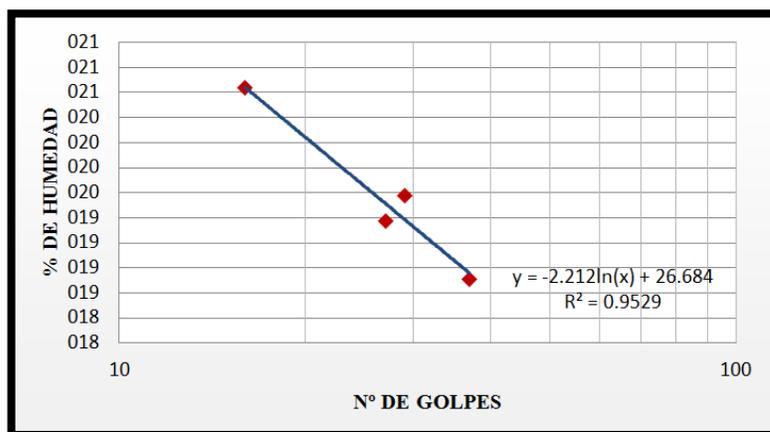
**Tabla 18: Límite líquido.**

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	16	29	37	27
Suelo Húmedo + Cápsula	40.00	38.80	51.13	43.31
Suelo Seco + Cápsula	35.56	34.81	45.37	38.58
Peso del agua	4.44	3.99	5.76	4.73
Peso de la Cápsula	13.95	14.32	14.46	13.97
Peso Suelo seco	21.61	20.49	30.91	24.61
Porcentaje de Humedad	20.55	19.47	18.63	19.22

**Fuente: Elaboración propia.**

Luego, graficamos **% Humedad vs Número de golpes**, para después sacar el límite líquido reemplazando los 25 golpes en la ecuación.

**Figura 28: Limite liquido.**



**Fuente: Elaboración propia.**

#### 2.3.3.2.2.Limite Plástico.

Para el límite plástico se utilizó una base de vidrio para hacer los rollos de 3mm, donde ésta empiece a agrietarse; se corta, se pesa y colocamos al horno por 24hrs para su secado y posteriormente pesar y obtener el peso seco.

A continuación, se muestra un cuadro del cálculo del límite líquido de una muestra de suelo del tramo en estudio. (Muestra N° 2).

**Tabla 19: Limite plástico.**

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	22.97	23.16	23.07
Peso de suelo seco + Cápsula	21.71	21.90	21.81
Peso de cápsula	14.18	14.08	14.13
Peso de suelo seco	7.53	7.82	7.68
Peso del agua	1.26	1.26	1.26
Contenido de humedad	16.73	16.11	16.41

**Fuente: Elaboración propia.**

Ya calculado el límite plástico se procede a calcular el índice de plasticidad que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = 3,15.$$

### 2.3.3.2.2.3. Índice de grupo.

El índice de grupo no es propiamente una especificación más para la clasificación de suelos, sino que es un índice de su calidad como material de un camino y su comportamiento.

Para esto utilizamos la siguiente fórmula general:

$$IG = (F - 25) * (0,2 + 0,005 * (LL - 40)) + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

Donde:

F= Porcentaje que pasa el tamiz N°200.

LL= Límite líquido.

IP= Índice de plasticidad.

El IG para la muestra de suelo del tramo en estudio. (Muestra N° 2) es:

$$IG = 0.$$

### 2.3.3.2.3. Clasificación de suelos.

Ya obtenido el índice de plasticidad y la granulometría se procede a clasificar el suelo según AASHTO y SUCS.

**Tabla 20: Clasificación de suelos.**

Clasificación del suelo		Descripción
SUCS:	SM	Suelo limoso, con partículas gruesas con finos (suelo sucio).
AASHTO:	A-2-4(0)	

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.3.2.4. Compactación.

Para la compactación se utilizó el proctor T-180; para el cual se tomaron 3 muestras de 35kg y se hizo pasar por los tamices  $\frac{3}{4}$  y N° 4, luego se compensa con el retenido en el tamiz N° 4.

Primeramente, se calculó el contenido de humedad de las muestras, esto para saber cuánto de agua se agregará al suelo, luego se fue incrementando un pequeño porcentaje de agua a cada muestra para ir cambiando su densidad de acuerdo a sus cambios de humedad.

A continuación, se mostrará una tabla de compactación de un tipo de suelo A-2-4, encontrado en el tramo donde se detalla los pasos que se sigue para obtener la densidad del suelo seco y el contenido de humedad óptimo que posteriormente nos servirá para calcular los CBR para los diferentes tipos de suelos dispuestos en el tramo.

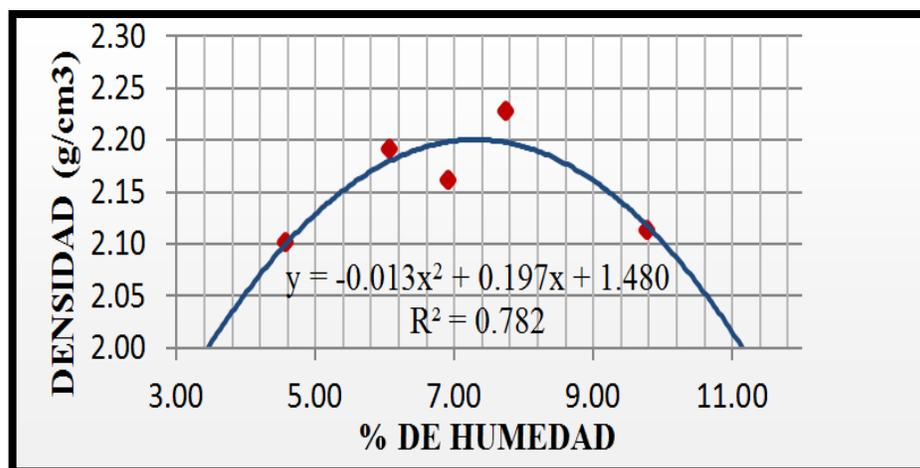
**Tabla 21: Compactación.**

<b>Muestra: Única</b>		<b>Volumen:</b>	<b>922.0</b>	<b>cm3</b>	
<b>Nº de capas</b>	5	5	5	5	5
<b>Nº de golpes por capa</b>	25	25	25	25	25
<b>Peso suelo húmedo + molde</b>	4723.00	4840.00	4910.00	4835.00	4827.00
<b>Peso del molde</b>	2697.00	2697.00	2697.00	2697.00	2697.00
<b>Peso suelo húmedo</b>	2026.00	2143.00	2213.00	2138.00	2130.00
<b>Volumen de la muestra</b>	922.00	922.00	922.00	922.00	922.00
<b>Densidad suelo húmedo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.20	2.32	2.40	2.32	2.31
<b>Cápsula Nº</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
<b>Peso suelo húmedo + capsula</b>	684.40	613.20	617.90	614.30	632.40
<b>Peso suelo seco + cápsula</b>	658.10	582.80	579.90	567.70	597.10
<b>Peso del agua</b>	26.30	30.40	38.00	46.60	35.30
<b>Peso de la cápsula</b>	82.80	82.60	89.60	91.70	86.60
<b>Peso suelo seco</b>	575.30	500.20	490.30	476.00	510.50
<b>Contenido de humedad (%h)</b>	4.57	6.08	7.75	9.79	6.91
<b>Densidad suelo seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.10	2.19	2.23	2.11	2.16

**Fuente: Elaboración propia.**

Con la densidad del suelo seco y el contenido de humedad obtenemos la siguiente grafica donde se obtiene la humedad óptima del suelo y la densidad máxima del suelo seco.

**Figura 29: Limite liquido.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Densidad máxima = 2,20 gr/cm<sup>3</sup>.**

**Humedad óptima = 7,30 %.**

#### 2.3.3.2.5. CBR.

Para el cálculo del CBR se confeccionaron 3 probetas, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 12 golpes).

El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50mm. y quede retenido en el tamiz de 20mm.

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

A continuación, se mostrará una tabla de CBR de un tipo de suelo A-2-4 encontrado en el tramo donde se detalla los pasos que se sigue para obtener el CBR del suelo.

Tabla 22: Capacidad soporte CBR

Muestra	LL	IP	Clasific.	H. Opt.	D. Máx
1	19.56	3.15	A-2-4(0)	7.30	2.20

## Contenido de humedad y peso unitario

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	56			25			12		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	11172		11299	11295		11343	10900		11154
Peso Molde	6596		6596	6848		6848	6660		6660
Peso muestra húmeda	4576		4703	4447		4495	4240		4494
Volumen de la muestra	2121		2121	2110		2110	2123		2123
Peso Unit. Muestra Húm.	2.157		2.217	2.108		2.130	1.997		2.117
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	492.6	498.1	503.6	483.9	528.6	573.2	544.3	521.5	498.7
Peso muestra seca + tara	467.7	471.8	475.9	465.5	422.2	378.8	452.3	475.6	498.8
Peso del agua	24.9	26.3	27.7	18.4	106.4	194.4	92	45.95	-0.1
Peso de tara	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6
Peso de la muestra seca	345.1	349.2	353.3	342.9	299.6	256.2	329.7	353	376.2
Contenido humedad %	7.22	7.53	7.84	5.37	35.52	75.88	27.90	13.02	-0.03
Promedio cont. Humedad	7.37		7.8404	20.44		75.878	20.46		-0.027
Peso Unit. muestra seca	2.009		2.0561	1.750		1.2113	1.658		2.1174

## Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
20-may	10:50	1	101			135			137		
21-may	10:30	2	146			190			198		
22-may	11:00	3	159			199			205		
23-may	8:00	4	176		0,1	200		0,2	210		0,3

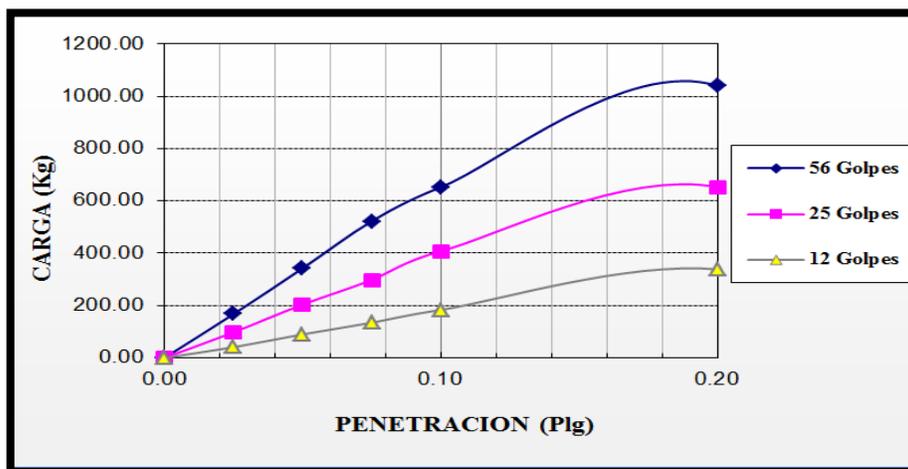
## CBR

Penetración		Carga Normal	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			Carga Ensayo		C.B.R. Corregido		Carga Ensayo		C.B.R. Corregido		Carga Ensayo		C.B.R. Corregido	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	0,64		167,30	167,30			97,90	97,90			40,80	40,80		
0,05	1,27		342,70	342,70			204,00	204,00			89,80	89,80		
0,075	1,91		522,20	522,20			297,80	297,80			134,60	134,60		
0,1	2,54	1360	652,80	652,80		48,00	408,00	408,00		30,00	183,60	183,60		13,50
0,2	5,1	2040	1040,4	1040,40		51,00	652,80	652,80		32,00	338,60	338,60		16,60
0,3	7,6		0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		

Fuente: Elaboración propia.

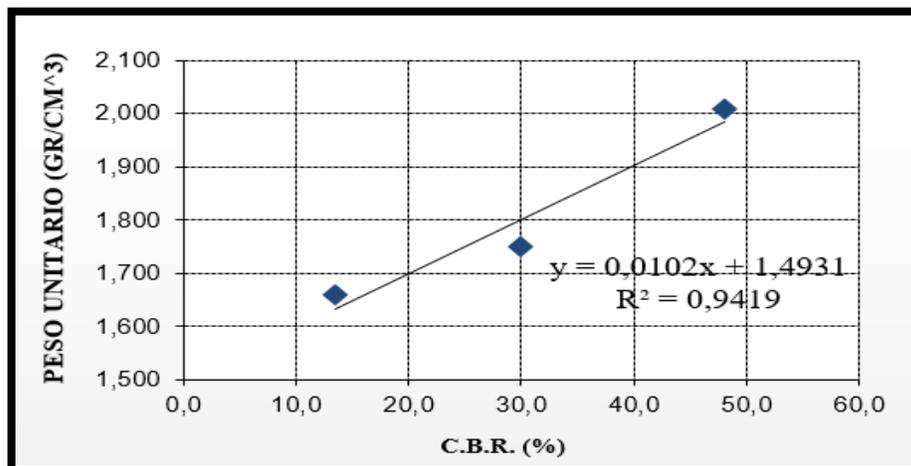
Luego hacemos la relación carga vs penetración que se hace a los 56 a los 25 y a los 12 golpes.

**Figura 30: Curva: Carga – Penetración.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 31: Relación: CBR – Peso unitario.**



Fuente: Elaboración propia.

De donde sacamos los siguientes resultados.

**Al 100% C.B.R. = 48%.**

**Al 95% C.B.R. = 25%.**

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de cada ensayo para cada tipo de suelo.

**Tabla 23: Planilla resumen de control tecnológico de materiales.**

ESTUDIO GEOTÉCNICO RESUMEN DE CONTROL TECNOLÓGICO DE MATERIALES DISEÑO DE INGENIERÍA "RUTA ANTIGUA, TRAMO YACUIBA - CAMPO GRANDE"																							
Nº	Material			Granulometría										Límites			Clasificación		Proctor		C.B.R.		
	Origen		Destino	(Porcentaje pasa Tamiz)										Atterberg			AASHTO	S.U.C.S.	D <sub>max</sub>	%H <sub>p</sub>	100%	95%	
	Progresiva	Profundidad (m)		3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	LP							IP
1	0+000	1,00	Estudio	100,00	95,40	90,90	76,31	71,50	66,70	62,30	53,70	45,89	38,00	23,40	24,98	18,25	6,73	A-1-b(0)	GC-GM	1,94	8,12	29,00	17,00
2	0+550	1,00	Estudio	100,00	99,10	98,51	96,71	95,56	90,40	88,70	81,22	75,86	67,50	33,20	19,56	16,42	3,15	A-2-4(0)	SM	2,20	7,30	48,00	25,00
3	1+030	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,41	86,60	24,73	17,27	0,00	N. P.	A-2-4(0)	SM	2,11	8,24	24,00	16,00
4	1+520	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,40	94,17	35,70	16,56	0,00	N. P.	A-4(0)	SM	2,11	8,63	75,00	29,00
5	2+040	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,73	83,60	33,93	20,59	15,73	4,86	A-2-4(0)	SC-SM	2,10	9,15	47,00	20,00
6	2+540	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,30	84,40	29,73	16,44	0,00	N. P.	A-2-4(0)	SM	2,11	7,41	28,00	21,00
7	3+050	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,50	85,73	31,23	18,47	14,31	4,16	A-2-4(0)	SC-SM	2,06	9,98	64,00	29,00
8	3+550	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,10	84,10	37,10	18,14	13,88	4,26	A-4(0)	SC-SM	2,12	9,34	27,00	17,00
9	4+050	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,98	89,37	55,70	24,04	17,06	6,98	A-4(4)	CL	2,06	9,98	7,00	5,00
10	4+550	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,38	87,60	36,37	17,52	13,33	4,18	A-4(0)	SM	2,19	7,81	48,00	29,00
11	5+000	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,22	91,63	48,28	21,73	15,81	5,92	A-4(3)	SC-SM	2,02	9,72	24,00	13,00
12	5+500	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	86,30	42,00	20,15	14,85	5,30	A-4(1)	SC	2,14	10,00	17,00	11,00
13	6+090	1,00	Estudio	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,10	85,80	31,30	16,88	13,13	3,75	A-2-4(0)	SC	2,15	8,58	69,00	37,00
14	6+500	1,00	Estudio	100,00	96,89	96,06	92,58	91,82	87,55	86,10	79,22	69,22	51,43	18,50	16,53	0,00	N.P.	A-2-4(0)	SM	2,09	7,65	57,00	34,00

RESUMEN ESTADÍSTICO DE RESULTADOS																								
NÚMERO DE ENSAYOS	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	10					14	14	14	14	
VALOR MÁXIMO	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,17	55,70	24,98	18,25	6,98					2,20	10,00	75,00	37,00
VALOR MÍNIMO	100,00	95,40	90,90	76,31	71,50	66,70	62,30	53,70	45,89	38,00	18,50	16,44	0,00	3,15							1,94	7,30	7,00	5,00
VALOR PROMEDIO	100,00	99,38	98,96	97,54	97,06	96,05	95,51	93,87	90,72	79,73	34,37	19,20	10,91	4,93							2,10	8,71	40,29	21,43
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,00	1,42	2,57	6,46	7,74	9,35	10,60	13,59	15,97	16,21	9,72	2,79	7,30	1,28							0,07	0,99	20,89	8,99

Fuente: Elaboración propia.

### **2.3.3.3.Descripción de los suelos identificados.**

Los suelos identificados y que constituyen el perfil natural de la zona en estudio son resumidos en tres grupos que presentan combinaciones variables en proporción, permitiendo a su vez distinguir subgrupos menores, los cuales son descriptos a continuación:

Suelos granulares (gravas y arenas).

A-1 Gravas y arenas.

A-2 Gravas y arenas limosas y arcillosas.

Suelos finos (limos y arcillas).

A-4 Limos inorgánicos.

#### **2.3.3.3.1. Gravas y arenas (A-1).**

Estos suelos investigados en forma particular de los sondeos, están tomados por mezclas generalmente bien graduadas de fragmentos o clastos de rocas, gravas y arenas en una matriz más fina, con o sin ligante.

Su comportamiento como material de sub rasante es variable desde bueno a muy bueno, de la misma manera su utilización como material para sub-base o en la construcción de terraplenes en general, es muy aceptable desde bueno a muy bueno.

No registran variaciones o cambios de volumen muy acentuados y su permeabilidad es variable.

Generalmente los asentamientos (si es que se producen), son muy pequeños, especialmente cuando su grado de compacidad es alto y la magnitud de los esfuerzos es reducida.

Por lo general poseen una muy buena resistencia al corte, sus ángulos de fricción son elevados, y su grado de cohesión es variable, dependiendo de la naturaleza de su composición y del grado de compacidad.

### **2.3.3.3.2. Gravas y arenas limosas y arcillosas (A-2).**

Estos suelos de relativa participación en el área del proyecto, están constituidos por una mezcla de gravas y arenas en una matriz limosa y/o arcillosas cuya proporción y gradación son variables.

La influencia de las partículas de limo sobre los suelos gravosos y arenosos, referentes al comportamiento esfuerzo- deformación es de suma importancia, de manera especial si éstos suelos son expuestos a saturaciones.

La infiltración de aguas en éstos suelos, sumada a un flujo de naturaleza turbulenta eventualmente determina el lavado y arrastre de las partículas de limo, lo que origina un reacomodamiento de sus componentes granulares que muchas veces se traducen en fenómenos de erosión y asentamientos, cuyas magnitudes son generalmente impredecibles y difíciles de cuantificar.

Estos asentamientos modifican a su vez el sistema de esfuerzos internos de los materiales, iniciando un proceso gradual de deformación, llegando inclusive a colapsar el suelo.

Por otra parte, es muy acentuado el efecto que producen las partículas de limo, reacomodándose entre los intersticios de los materiales arenosos y los materiales más granulares representados por gravas y fragmentos de rocas, llegando a disminuir la permeabilidad propia y característica de estos suelos, haciendo más sensibles a la acción de cargas de tipo no drenado, es decir, a cargas rápidas que no permiten la disipación de excesos de poros inducidos por los mismos.

Estos suelos cuando están saturados sufren cambios de volumen debido a las variaciones térmicas producidas por el efecto cíclico de las heladas.

#### **2.3.3.3.3. Limos inorgánicos (A-4).**

Estos suelos son preponderantes en el área del proyecto, están representados por una mezcla de limos inorgánicos con arenas muy finas, generalmente de baja plasticidad.

Por su naturaleza granulométrica y su baja plasticidad, éstos suelos son muy sensibles a las cargas rápidas, es decir a las cargas del tipo no drenado, especialmente cuando están saturados.

Por otra parte, son muy conocidos los efectos de saturación extrema, produciendo la licuefacción, la que puede ser inducida mediante sollicitaciones de tipo dinámico.

Estos suelos en general son muy sensibles a la acción de aguas con flujo turbulento, lo que origina un arrastre de las partículas, dando inicio a los procesos erosivos, cuyo resultado es la formación de cárcavas, canales, huecos y tubos.

Por éste motivo debe evitarse en lo posible el contacto con las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

#### **2.3.3.3.4. Análisis de los resultados.**

Para el análisis de los resultados se realiza la clasificación de los materiales encontrados en los distintos pozos de exploración realizados y se determina según su C.B.R. la clasificación del mismo.

Para ello presentamos a continuación, una tabla representativa de acuerdo a cada muestra según su CBR obtenido con los ensayos, clasificada de acuerdo a la guía AASHTO:

**Tabla 24: Clasificación de las subrasantes según CBR.**

<b>Muestra según su CBR</b>	<b>Clasificación</b>
	Subrasante muy mala
M-9.	Subrasante mala
M-12.	Subrasante regular a buena
M-1, M-3, M-6, M-8, M-11.	Subrasante muy buena
M-2, M-5, M-10.	Subbase buena
M-4, M-7, M-13, M14.	Base buena
	Base muy buena

**Fuente: Guía AASHTO.**

#### **2.3.4. Estudio de tráfico.**

El presente estudio tiene por objeto establecer los parámetros para el diseño del pavimento de la zona norte en el tramo Yacuiba - Campo Grande, en base a una proyección del tipo de vehículos que transitan las actuales vías de la zona norte, para establecer el tipo de vehículo de diseño y adoptar como parámetro de cálculo de los pavimentos. Para la selección de los tramos o intersecciones del presente estudio de tránsito, se observó los puntos con mayor transitabilidad, es decir, los puntos por donde actualmente son los más utilizados para el traslado o ingreso a otras comunidades circundantes.

##### **2.3.4.1. Trabajo de campo.**

###### **2.3.4.1.1. Clasificación y conteo de tránsito.**

Para el trabajo de conteo de tránsito, se tomó en cuenta los cuadros de clasificación del Servicio Nacional de Caminos.

**Tabla 25: Clasificación de vehículos por tipo.**

<b>Vehículos livianos:</b>	Automóviles, jeeps, vagonetas, camionetas y camiones con cap. hasta 5 ton.
<b>Vehículos semipesados:</b>	Microbuses, volquetas pequeñas, buses medianos y camiones medianos.
<b>Vehículos pesados:</b>	Volquetas grandes, buses grandes y camiones grandes.
<b>Vehículos tráiler:</b>	Tráiler o camiones con acoplados.

**Fuente: Servicio Nacional de Caminos.**

La metodología para la determinación de los volúmenes de tráfico se basa fundamentalmente en la realización de aforos de tráfico; para este proyecto se utilizó el método de muestreo de aforo manual, realizando el conteo de tráfico actual en los puntos seleccionados, al ser estos un punto de paso fundamental para el ingreso o salida de barrios de mucho movimiento.

Se realizó conteos de vehículos por una semana y durante las 24hrs. del día en arterias representativas de la zona de diseño.

Se evidenció que el tráfico más intenso se produce alrededor de las 6 de la mañana, al medio día y al atardecer, ya que son horarios en los que se ingresa o sale de los colegios, oficinas, salida de buses de viaje, etc.

La actual situación de las vías no refleja el tráfico real que circulará una vez sean pavimentadas como la función que tendrán estas vías.

#### **2.3.4.2. Para la demanda de tráfico.**

Los estudios realizados para la demanda de tráfico tienen la importancia de representar el soporte para tomar decisiones sobre aspectos específicos del proyecto.

##### **2.3.4.2.1. Aforos clasificados.**

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles respecto al tiempo y espacio, las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía.

### 2.3.4.2.2. Tráfico generado y atraído.

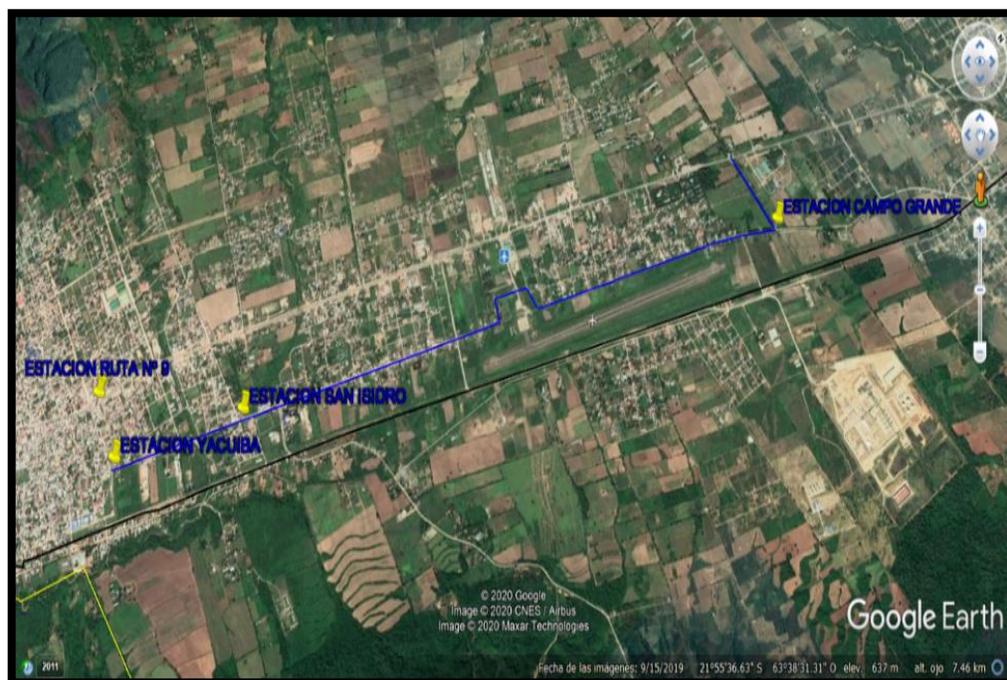
El tráfico generado es aquel que circulará en el tramo en función de las mejoras de las condiciones de transporte, en mejoras a las condiciones de producción agropecuaria e industrial si existiese.

El tráfico atraído es aquel que llegará a la vía en vista de las mejoras que le proporcionará la intervención; este tráfico se desviará de otras vías para utilizar las mejoras, ya sea por asuntos de confort, de menores costos de operación, de mejores condiciones geométricas, de mejoras en la seguridad vial, por reducción de distancias de viaje, etc.

### 2.3.4.2.3. Coordenadas geográficas de los puntos de aforo.

<b>Estación Yacuiba:</b>	21°59'40.04"S	63°40'24.00"O
<b>Estación San Isidro:</b>	21°59'11.20"S	63°39'54.60"O
<b>Estación Campo Grande</b>	21°56'48.28"S	63°38'49.56"O
<b>Estación ruta N° 9:</b>	21°59'40.04"S	63°40'24.00"O

**Figura 32: Imagen satelital con los puntos de aforo.**



**Fuente: Google Earth.**

**Tabla 26: Planilla resumen de aforo vehicular en “Estación Yacuiba”.**

<b>Día</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semi pesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos trailer</b>	<b>Totales</b>
<b>Lunes</b>	119	2	8	0	129
<b>Martes</b>	91	3	6	0	100
<b>Miércoles</b>	77	4	7	0	88
<b>Jueves</b>	95	4	10	0	109
<b>Viernes</b>	106	1	7	0	114
<b>Sábado</b>	82	2	9	0	93
<b>Domingo</b>	68	4	1	0	73
<b>Promedio</b>	<b>91</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>101</b>
<b>%</b>	<b>90,37</b>	<b>2,83</b>	<b>6,80</b>	<b>0,00</b>	<b>100,00</b>

**Fuente Elaboración propia.**

**Tabla 27: Planilla resumen de aforo vehicular en “Estación San Isidro”.**

<b>Día</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semi pesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos trailer</b>	<b>Totales</b>
<b>Lunes</b>	368	17	8	2	395
<b>Martes</b>	310	18	10	0	338
<b>Miércoles</b>	309	3	7	1	320
<b>Jueves</b>	298	5	11	1	315
<b>Viernes</b>	358	6	8	4	376
<b>Sábado</b>	336	0	4	0	340
<b>Domingo</b>	268	0	0	2	270
<b>Promedio</b>	<b>321</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>336</b>
<b>%</b>	<b>95,45</b>	<b>2,08</b>	<b>2,04</b>	<b>0,42</b>	<b>100,00</b>

**Fuente Elaboración propia.**

**Tabla 28: Planilla resumen de aforo vehicular en “Estación Campo Grande”.**

<b>Día</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semi pesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos trailer</b>	<b>Totales</b>
<b>Lunes</b>	220	82	18	6	326
<b>Martes</b>	203	83	19	9	314
<b>Miércoles</b>	209	79	15	12	315
<b>Jueves</b>	236	69	18	11	334
<b>Viernes</b>	243	84	16	13	356
<b>Sábado</b>	220	86	13	4	323
<b>Domingo</b>	232	87	15	0	334
<b>Promedio</b>	<b>223</b>	<b>81</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>329</b>
<b>%</b>	<b>67,90</b>	<b>24,76</b>	<b>4,95</b>	<b>2,39</b>	<b>100,00</b>

**Fuente Elaboración propia.**

**Tabla 29: Planilla resumen de aforo vehicular en “Estación ruta N° 9”.**

Día	Vehículos livianos	Vehículos semi pesados	Vehículos pesados	Vehículos trailer	Totales
Lunes	2463	282	116	88	2948
Martes	1828	195	61	38	2122
Miércoles	2019	163	81	41	2304
Jueves	1503	130	106	31	1770
Viernes	1406	272	90	49	1817
Sábado	1050	123	56	44	1273
Domingo	888	201	68	71	1227
<b>Promedio</b>	<b>1594</b>	<b>195</b>	<b>83</b>	<b>52</b>	<b>1923</b>
<b>%</b>	<b>82,88</b>	<b>10,14</b>	<b>4,30</b>	<b>2,68</b>	<b>100,00</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

El tráfico en consecuencia, afecta directamente a las características de diseño geométrico. La información sobre tráfico debe comprender la determinación del tráfico actual (volúmenes y tipos de vehículos), en base a conteos y de tráfico futuro utilizando pronósticos.

En nuestro caso, al ser un diseño de vía alternativa a una ruta internacional, procedimos a trabajar incrementando el 25% del tráfico de la misma a los datos de aforos realizados en la zona de estudio.

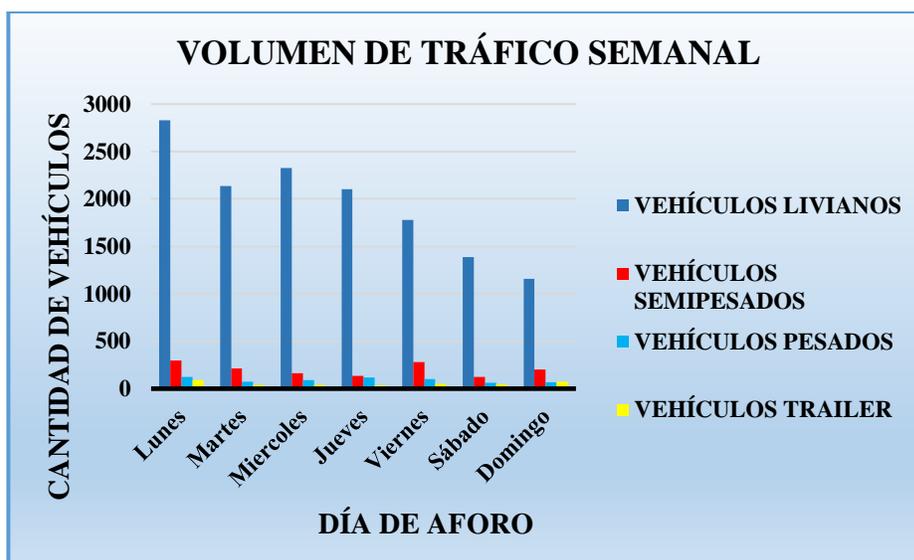
**Tabla 30: Tráfico diario vehicular.**

Días	Vehículos livianos	Vehículos semipesados	Vehículos pesados	Vehículos tráiler	Total de vehículos
Lunes	2831	299	126	90	3345
Martes	2138	213	71	38	2460
Miércoles	2328	166	88	42	2624
Jueves	2101	135	117	33	2386
Viernes	1776	278	101	53	2208
Sábado	1386	123	60	44	1613
Domingo	1156	201	68	73	1497
<b>Total</b>	<b>13715</b>	<b>1414</b>	<b>632</b>	<b>372</b>	<b>16133</b>
<b>TPD</b>	<b>1959,32</b>	<b>202,00</b>	<b>90,31</b>	<b>53,13</b>	<b>2304,62</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

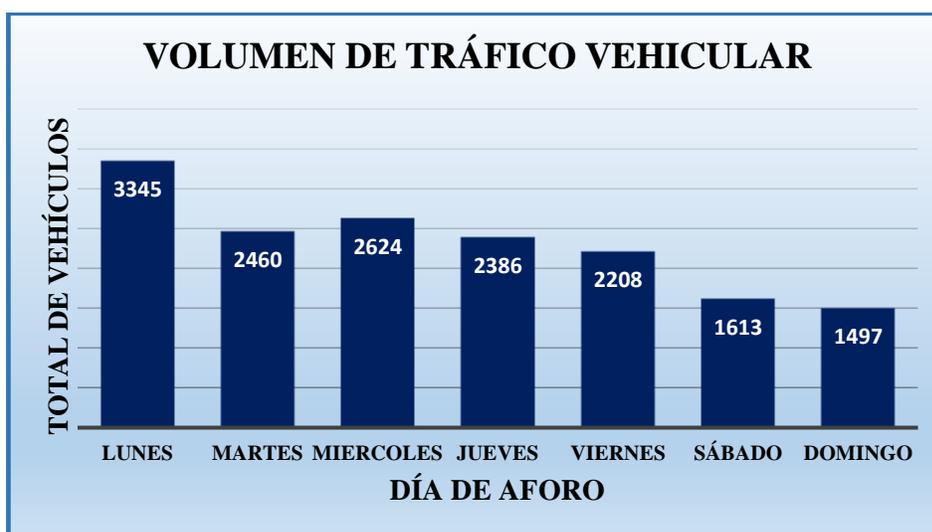
Desviación estándar (muestra):	626,50	Veh./día
Trafico promedio diario semanal (TPDS):	2305,00	Veh./día
( $\sigma$ ) Desviación estimada para un año:	234,84	Adimensional
Nivel de confiabilidad al 95% (k):	1,96	(de tabla)
Tráfico promedio diario anual (TPDA):	2765,00	Veh./día.

**Figura 33: Volumen de tráfico vehicular diario.**



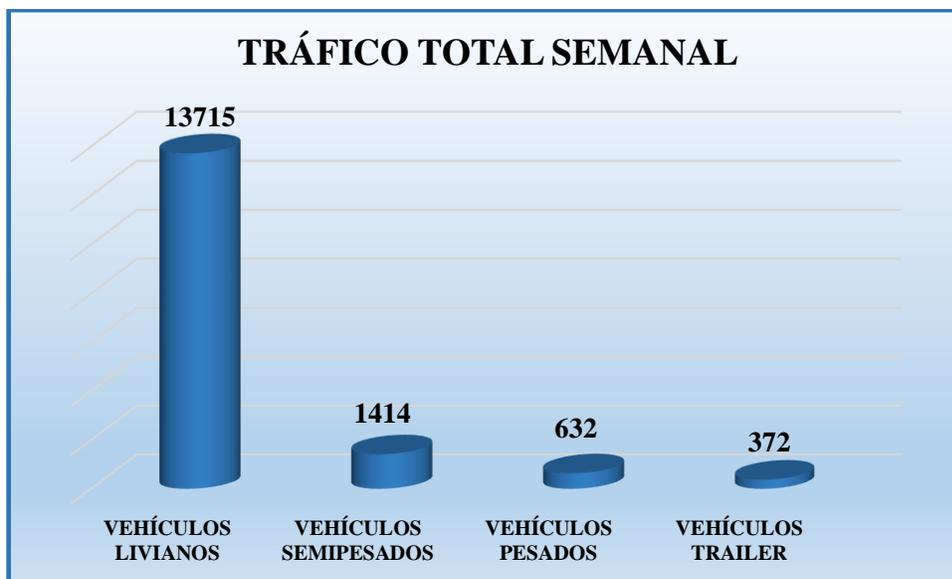
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34: Volumen total de tráfico vehicular diario.**



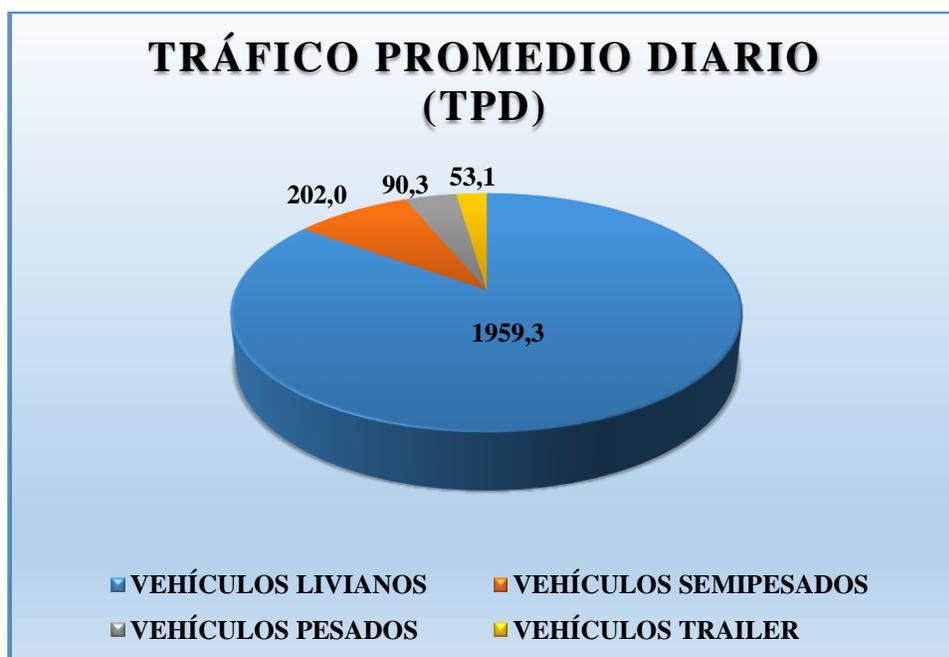
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35: Volumen total de tráfico vehicular semanal.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 36: Volumen tráfico promedio diario vehicular.**



Fuente: Elaboración propia.

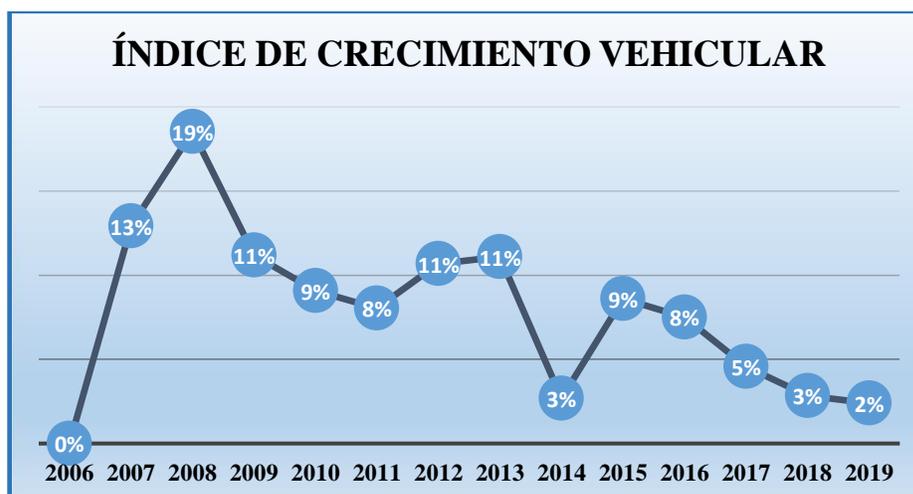
### 2.3.4.3. Índice de crecimiento vehicular.

Tabla 31: Tasa de crecimiento del parque automotor de la ciudad de Yacuiba.

Año	Cantidad de vehículos	Cantidad de incremento	% de incremento
2006	5375		
2007	6172	797	13%
2008	7576	1404	19%
2009	8529	953	11%
2010	9380	851	9%
2011	10201	821	8%
2012	11420	1219	11%
2013	12843	1423	11%
2014	13195	352	3%
2015	14438	1243	9%
2016	15610	1172	8%
2017	16358	748	5%
2018	16837	479	3%
2019	17249	412	2%
<b>Promedio de crecimiento:</b>			8%
<b>Tasa de crecimiento asumida:</b>			5%

Fuente: Dirección de Ingresos – Honorable Alcaldía Municipal de Yacuiba.

Figura 37: Índice de crecimiento del parque automotor de la ciudad de Yacuiba.



Fuente: Dirección de Ingresos – Honorable Alcaldía Municipal de Yacuiba.

#### 2.3.4.4. Tráfico proyectado.

Para las proyecciones de tráfico, anteriormente ya mencionamos la definición de los tipos de tráfico que circulan por la vía, en este caso se tendrá:

#### 2.3.4.5. Tráfico normal.

Es el tráfico que crece de forma natural conforme crece la economía nacional y del lugar de estudio. Para este estudio y de acuerdo al crecimiento vehicular de Yacuiba, asumimos un crecimiento del 5%.

**Tabla 22: Tráfico normal.**

<b>Tráfico normal</b>					
<b>Año</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semipesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos tráiler</b>	<b>Total de vehículos</b>
<b>2020</b>	1959	202	90	53	2305
<b>2021</b>	1960	202	90	53	2306
<b>2022</b>	1961	202	90	53	2307
<b>2023</b>	1962	202	90	53	2308
<b>2024</b>	1963	202	90	53	2309
<b>2025</b>	1964	203	90	53	2310
<b>2026</b>	1965	203	91	53	2312
<b>2027</b>	1966	203	91	53	2313
<b>2028</b>	1967	203	91	53	2314
<b>2029</b>	1968	203	91	53	2315
<b>2030</b>	1969	203	91	53	2316
<b>2031</b>	1970	203	91	53	2317
<b>2032</b>	1971	203	91	53	2319
<b>2033</b>	1972	203	91	53	2320
<b>2034</b>	1973	203	91	54	2321
<b>2035</b>	1974	204	91	54	2322
<b>2036</b>	1975	204	91	54	2323
<b>2037</b>	1976	204	91	54	2324
<b>2038</b>	1977	204	91	54	2325
<b>2039</b>	1978	204	91	54	2327

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.4.6. Tráfico generado.

Es aquel tráfico que generaría la vía por influencia del mejoramiento de la vía y no es mayor al 20% del TPDAs actual. En este diseño se utilizará un 3% de tráfico generado.

**Tabla 33: Tráfico generado.**

<b>Tráfico generado</b>					
<b>Año</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semipesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos tráiler</b>	<b>Total de vehículos</b>
<b>2020</b>	59	6	3	2	69
<b>2021</b>	59	6	3	2	69
<b>2022</b>	59	6	3	2	69
<b>2023</b>	59	6	3	2	69
<b>2024</b>	59	6	3	2	69
<b>2025</b>	59	6	3	2	69
<b>2026</b>	59	6	3	2	69
<b>2027</b>	59	6	3	2	69
<b>2028</b>	59	6	3	2	69
<b>2029</b>	59	6	3	2	69
<b>2030</b>	59	6	3	2	69
<b>2031</b>	59	6	3	2	70
<b>2032</b>	59	6	3	2	70
<b>2033</b>	59	6	3	2	70
<b>2034</b>	59	6	3	2	70
<b>2035</b>	59	6	3	2	70
<b>2036</b>	59	6	3	2	70
<b>2037</b>	59	6	3	2	70
<b>2038</b>	59	6	3	2	70
<b>2039</b>	59	6	3	2	70

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.4.7. Tráfico atraído.

Es el tráfico desviado o atraído que circula una vez que la vía se encuentre en servicio y mejorada, debido a ahorros de tiempo, distancia o costo. En este caso asumimos un incremento del 7%.

**Tabla 3: Tráfico Atraído.**

Tráfico atraído					
Año	Vehículos livianos	Vehículos semipesados	Vehículos pesados	Vehículos tráiler	Total de vehículos
2020	137	14	6	4	161
2021	137	14	6	4	161
2022	137	14	6	4	161
2023	137	14	6	4	162
2024	137	14	6	4	162
2025	137	14	6	4	162
2026	138	14	6	4	162
2027	138	14	6	4	162
2028	138	14	6	4	162
2029	138	14	6	4	162
2030	138	14	6	4	162
2031	138	14	6	4	162
2032	138	14	6	4	162
2033	138	14	6	4	162
2034	138	14	6	4	162
2035	138	14	6	4	163
2036	138	14	6	4	163
2037	138	14	6	4	163
2038	138	14	6	4	163
2039	138	14	6	4	163

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tráfico proyectado.****Tabla 35: Tráfico proyectado.**

<b>Tráfico proyectado</b>					
<b>Año</b>	<b>Vehículos livianos</b>	<b>Vehículos semipesados</b>	<b>Vehículos pesados</b>	<b>Vehículos tráiler</b>	<b>Total de vehículos</b>
<b>2020</b>	2155	222	99	58	2535
<b>2021</b>	2156	222	99	58	2536
<b>2022</b>	2157	222	99	59	2538
<b>2023</b>	2158	223	99	59	2539
<b>2024</b>	2159	223	99	59	2540
<b>2025</b>	2161	223	100	59	2541
<b>2026</b>	2162	223	100	59	2543
<b>2027</b>	2163	223	100	59	2544
<b>2028</b>	2164	223	100	59	2545
<b>2029</b>	2165	223	100	59	2547
<b>2030</b>	2166	223	100	59	2548
<b>2031</b>	2167	223	100	59	2549
<b>2032</b>	2168	224	100	59	2550
<b>2033</b>	2169	224	100	59	2552
<b>2034</b>	2170	224	100	59	2553
<b>2035</b>	2171	224	100	59	2554
<b>2036</b>	2172	224	100	59	2555
<b>2037</b>	2174	224	100	59	2557
<b>2038</b>	2175	224	100	59	2558
<b>2039</b>	2176	224	100	59	2559

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 39: Tráfico promedio anual de tráfico proyectado.**



**Fuente: Elaboración propia.**

## 2.4. Diseño de ingeniería.

### 2.4.1.1. Diseño geométrico.

#### 2.4.1.1.1. Categorización de la vía.

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

**Tabla 36: Clasificación funcional para diseño carreteras y caminos rurales.**

Categoría		Sección transversal		Velocidades de proyecto (km/h)	Código tipo
		Nº de carriles	Nº de calzadas		
<b>Autopista</b>	(O)	4 ó + UD	2	120 - 100 - 80	A (n) - xx
<b>Autoruta</b>	(I.A)	4 ó + UD	2	100 - 90 - 80	AR (n) - xx
<b>Primario</b>	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 - 90 - 80	P (n) - xx
		2 BD	1	100 - 90 - 80	P (2) - xx
<b>Colector</b>	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 - 70 - 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 - 70 - 60	C (2) - xx
<b>Local</b>	(III)	2 BD	1	70 - 60 - 50 - 40	L (2) - xx
<b>Desarrollo</b>		2 BD	1	50 - 40 - 30*	D - xx

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

Nuestro camino se encuentra clasificado según su categoría como camino de desarrollo.

#### 2.4.1.2. Velocidad de proyecto.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

**Tabla 37: Velocidad de diseño (km/h)**

Tipo de terreno	Velocidad (km/h)
Terreno llano a ondulado medio	50 y 40
Terreno ondulado fuerte a montañoso	30

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

La velocidad de proyecto adoptada para nuestro diseño es de 40km/h.

#### 2.4.1.3. Distancia de visibilidad y maniobras asociadas.

##### 2.4.1.3.1. Distancia mínima de visibilidad de frenado (m).

**Ecuación 10: Distancia de Frenado.**

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

Donde:

Df = Distancia de Frenado (m).

V = Vp o V\*

t = Tiempo de Percepción + Reacción (s).

f<sub>1</sub> = Coeficiente de Roce Rodante, Pavimento Húmedo.

i = Pendiente Longitudinal (m/m).

+i subidas respecto sentido de circulación.

-i bajadas respecto sentido de circulación.

**Tabla 38: Distancia de frenado.**

<b>Vp (km/h)</b>	<b>Distancia mínima de frenado (m)</b>
30	25
40	38
50	52
60	70
70	90
80	115
90	145
100	175

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

Para la distancia mínima de frenado se tomó el valor de 38 m.

#### **2.4.1.3.2. Distancia mínima de visibilidad de adelantamiento (m).**

**Tabla 39: Distancia de adelantamiento.**

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

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

Para la distancia mínima de adelantamiento se tomó 240 m.

#### 2.4.1.4. Alineamiento horizontal.

##### 2.4.1.4.1. Longitud máxima en rectas.

Se procurará evitar longitudes en rectas superiores a:

**Ecuación 11:**  $Lr (m) = 20 * Vp$

Dónde:

$Lr$  = Largo en m de la alineación recta.

$Vp$  = Velocidad de proyecto de la carretera (Km/h).

$$Lr (m) = 20 * Vp$$

$$Lr (m) = 20 * 40$$

$$Lr (m) = 800 m.$$

La longitud máxima en rectas será de 800m.

##### 2.4.1.4.2. Longitud mínima en recta.

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

###### 2.4.1.4.2.1. Curvas en S.

**Tabla 40: L Rmin entre curvas de diferente sentido.**

<b>Vp (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>ka (m)</b>	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

**Ecuación 12:**  $Lr \text{ min} = 1,4 Vp$   
 $Lr \text{ min} = 1,4 * 40$   
 $Lr \text{ min} = 56 m.$

#### 2.4.1.4.2.2. Tramos rectos entre curvas del mismo sentido.

Los valores indicados corresponden a deseables y mínimos.

Para longitudes de la recta intermedia menores o iguales que los mínimos deseables se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo que le corresponde a la carretera o camino (2 - 2,5 o 3 %).

**Tabla 41: L Rmin entre curvas del mismo sentido.**

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno llano y ondulado	-	110/55	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Terreno montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90				

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

#### 2.4.1.4.3. Curvas circulares.

##### 2.4.1.4.3.1. Elementos de la curva circular.

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

$$\Delta = \text{Ángulo de deflexión} \quad \Delta = 180 - I$$

$$I = \text{Ángulo de intersección.}$$

$$R = \text{Radio de curvatura.}$$

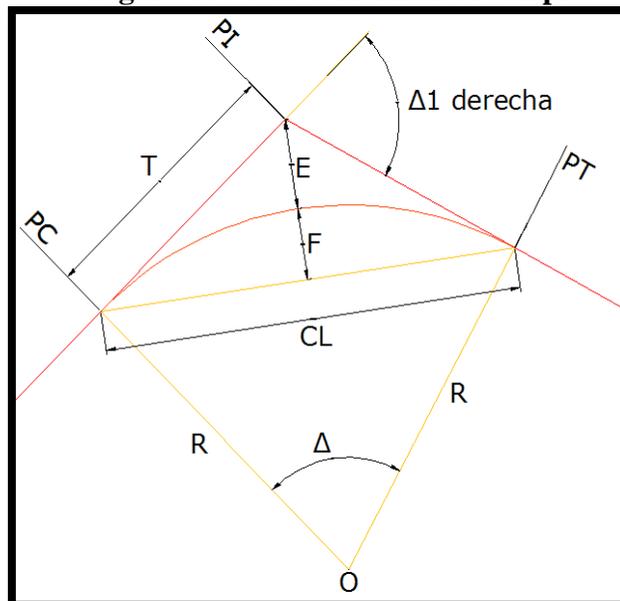
$$\text{Tangente: } T = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$\text{Externa: } S = R \cdot \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right)$$

$$\text{Flecha: } Mc = R \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right)$$

$$\text{Desarrollo de la curva: } D = \frac{\pi \cdot R \cdot \Delta}{180}$$

$$\text{Longitud de la curva: } L = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

**Figura 39: Curva Horizontal Simple.**

Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.

#### 2.4.1.4.3.2. Radios mínimos.

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están calculados en la siguiente tabla:

**Tabla 42: Radios mínimos en curvas horizontales.**

<b>Caminos colectores – locales - desarrollo</b>			
<b>V<sub>p</sub></b>	<b>e<sub>max</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
<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 de diseño geométrico de la ABC.

El radio mínimo que se utilizó en las curvas circulares de acuerdo a nuestra velocidad de proyecto es de 50 m.

#### 2.4.1.4.3.3. Coeficiente de fricción transversal máximo admisible.

**Ecuación 13:**

$$f = 0,196 - 0,0007 * Vp$$

$$f = 0,196 - 0,0007 * 30$$

$$f = 0,02$$

Los valores máximos admisibles adoptados, se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 43: Coeficientes de fricción transversal máximo admisible.**

Velocidad Directriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
f	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

A continuación, mostramos solo un ejemplo del reporte de curvas horizontales obtenidos con el programa AutoCAD Civil 3D.

**Tabla 44: Reporte de alineamiento horizontal.**

<u>Datos de la tangente</u>			
Descripción	PT Estación	Norte	Este
Inicio:	5+61.857	7568073,197	431168,04
Fin:	6+35.327	7568141,566	431194,938
<u>Datos de la tangente</u>			
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Longitud::	73,47	Dirección:	N 21° 28' 32.2951" E
<u>Datos de puntos de la curva</u>			
Descripción	Estación	Norte	Este
PC:	6+35.327	7568141,566	431194,938
RP:		7568170,855	431120,492
PT:	6+53.015	7568158,606	431199,549
<u>Datos de la curva circular</u>			
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Delta:	12° 40' 06.3347"	Tipo:	Izquierda
Radio:	80		
Longitud::	17,688	Tangente:	8,88
Mediados de Ord:	0,488	Externa:	0,491
Acorde:	17,652	Dirección:	N 15° 08' 29.1278" E

**Fuente: AutoCAD Civil 3D.**

El reporte completo de todas las curvas horizontales del diseño geométrico se encuentra en el anexo 3.

#### 2.4.1.5. Alineamiento vertical.

##### 2.4.1.5.1. Pendientes máximas de la rasante.

**Tabla 45: Pendientes máximas de la rasante.**

Categoría	Velocidad de proyecto (km/h)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	(-1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

Para la pendiente máxima de la rasante se consideró de (9 – 10) %.

##### 2.4.1.5.2. Curvas verticales.

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan queda definido por la expresión:

**Ecuación 14:**  $\theta \text{ radianes} = (i_1 - i_2)$   
 $\theta \text{ radianes} = (-1,02 - 4,14) = 5,16$

Bajo las circunstancias descritas el desarrollo de la curva vertical de enlace queda dado por:

**Ecuación 15:**  $L_v = R * \theta = R * (i_1 - i_2)$   
 $L_v = 5,81 * 5,16$   
 $L_v = 30\text{m.}$

#### 2.4.1.5.2.1. Parámetros mínimos por visibilidad de frenado.

El valor  $k$  en curvas convexas y curvas cóncavas (m) de acuerdo a la velocidad de proyecto es el siguiente:

**Tabla 46: Parámetros mínimos en curvas verticales por criterios de visibilidad de frenado.**

Velocidad de proyecto $V_p = (\text{km/h})$	Curvas convexas $K_v$	Curvas cóncavas $K_c$
30	300	400
40	400	500
50	700	1000
60	1200	1400
70	1800	1900
80	3000	2600
90	4700	3400
100	6850	4200

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

Para las curvas convexas se tomó el valor de 400 m.

Para las curvas cóncavas se tomó el valor de 500 m.

#### 2.4.1.5.2.2. Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento.

**Tabla 47: Parámetros mínimos en curvas verticales convexas para asegurar visibilidad de adelantamiento.**

Velocidad (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$k_a$ (m)	3500	630	980	14900	21000	27200	33900	39100	45900

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

### 2.4.1.5.2.3. Curvas verticales convexas.

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

**Ecuación 16:** 
$$K = \frac{Df^2}{4.12} \text{ (Condiciones diurnas); } K = \frac{Df^2}{2.7} \text{ (Condiciones nocturnas)}$$

### 2.4.1.5.2.4. Curvas verticales cóncavas.

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

**Ecuación 17:** 
$$K = \frac{2 * Df}{J} - \frac{1.2 + 0.035 * Df}{J^2} \text{ (L < Df) ; } K = \frac{Df^2}{1.2 + 0.035 * Df} \text{ (L > Df)}$$

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

**Tabla 48: Reporte de alineamiento vertical.**

Información de la curva vertical: (curva cóncava)			
PVC Estación:	0+494.60	Elevación:	662.674m
PVI Estación:	0+519.60	Elevación:	662.799m
PVT Estación:	0+544.60	Elevación:	663.389m
Punto bajo:	0+494.60	Elevación:	662.674m
Inclinación de rasante T.E.:	0,50%	Inclinación de rasante T.S.:	2,36%
Cambiar:	1,86%	K:	26.877m
Longitud de la curva:	50.000m	Radio de curvatura	2,687.727m
Distancia de iluminación:	2,147.247m		
Información de la curva vertical: (curva convexa)			
PVC Estación:	0+587.86	Elevación:	664.410m
PVI Estación:	0+612.86	Elevación:	665.000m
PVT Estación:	0+637.86	Elevación:	665.000m
Punto alto:	0+637.86	Elevación:	665.000m
Inclinación de rasante T.E.:	2,36%	Inclinación de rasante T.S.:	0,00%
Cambiar:	2,36%	K:	21.184m
Longitud de la curva:	50.000m	Radio de curvatura	2,118.367m
Distancia de adelantamiento:	680.153m	Distancia de frenado:	306.563m

**Fuente: AutoCAD Civil 3D.**

### 2.4.1.6. Sección transversal.

#### 2.4.1.6.1. Calzada.

**Tabla 49: Anchos de calzada según categorías y Vp.**

Número de calzadas y categoría			Velocidad de proyecto (km/h)	Ancho de calzada "a" (m)		
Calzadas unidireccionales	Autopista	Colector	120	3,5		
			100	3,5		
			80	3,5		
	Primario o Autoruta		100	3,5		
			90	3,5		
			80	3,5		
	Calzadas Bidireccionales		Primario	Local	80	3,5
					70	3,5
					60	3,5
Colector		100	3,5			
		80	3,5			
		80	3,5			
Desarrollo		70	3,5			
		60	3			
		50	3			
		40	3			

**Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.**

## 2.4.1.6.2. Pendiente transversal o bombeo.

Tabla 50: Bombeo de calzada.

Superficie	Pendiente transversal	
	$(I'_{10}) \leq 15 \text{ mm/h}^{(1)}$	$(I'_{10}) > 15 \text{ mm/h}^{(1)}$
Pav. de hormigón o asfalto	2,0	2,5
Tratamiento superficial	3,0 <sup>(2)</sup>	3,5
Tierra, grava, chancado	3,0 - 3,5 <sup>(2)</sup>	3,5 - 4,0

Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.

## 2.4.1.6.3. Bermas.

Tabla 51: Anchos de bermas según categorías y Vp.

Número de calzadas y categoría			Velocidad de proyecto (km/h)	Ancho de berma	
				“bi” interior (m)	“bi” exterior (m)
Calzadas unidireccionales	Autopista	Colector	120	1,2	2,5
			100	1,0	2,5
			80	1,0	2,5
	Primario o Autoruta		100	1,0	2,5
			90	1,0	2,5
			80	1,0	2,0
	Colector		80	1,0	2,0
			70	0,6 - 0,7	1,5
			60	0,6 - 0,7	1,0
Calzadas Bidireccionales	Primario	Local	100	-	2,5
			80	-	2,0
			80	-	1,5
	Colector		70	-	1,0 - 1,5 <sup>(2)</sup>
			60	-	0,5 - 1,0 <sup>(2)</sup>
			50	-	0,5 - 1,0 <sup>(2)</sup>
	Desarrollo		40	-	0,0 - 0,5 <sup>(2)</sup>
			30	-	0,0 - 0,5 <sup>(2)</sup>

Fuente: Manual de diseño geométrico de la ABC.

#### 2.4.1.6.4. Resumen de parámetros.

**Tabla 52: Parámetros de diseño asumidas en proyecto.**

CARACTERÍSTICA	PARAMETRO
Categoría de la carretera	Desarrollo
Calzada	6.0 m
Carril	Simple 3.00 m
Topografía	Terreno llano
Velocidad de proyecto (km. /hr.)	40.0
Radio mínimo (m)	50.0
Pendiente máxima en rectas (%)	10-9
Distancia mínima de visibilidad frenado(m)	180.0
Valor de k en curvas convexas (m)	300.0
Valor de k en curvas cóncavas (m)	400.0

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 2.4.1.7. Intersecciones.

La AASHTO define una intersección como el área general donde dos o más caminos se unen o cruzan, incluyendo la calzada y las instalaciones de borde del camino para los movimientos de tránsito. Su objetivo es facilitar la comodidad y la disposición con que las personas transitan por la intersección y a la vez realizar un eficiente movimiento de vehículos.

El diseño de las intersecciones se realiza con base en los criterios de diseño geométrico del INVIAS teniendo en cuenta características como: tipo de vía, velocidad de diseño, ancho de carril, categorías de vías a conectar, y uno de los aspectos más importantes que es el vehículo de diseño.

A continuación, se presenta el cálculo y diseño de una intersección presentada en el proyecto.

**Tabla 53: Cálculos y diseño de intersección (calle principal)**

**Cálculo de intersecciones.**

<b>Calle principal:</b>	<b>Calle Santa Cruz</b>	
<b>Datos:</b>	<b>Sur</b>	<b>Norte</b>
	<b>Lado (a)</b>	<b>Lado (b)</b>
<b>DISTANCIA (m):</b>	20	20
<b>DESVIAJE (m):</b>	0	0
<b>Pendiente (%):</b>	0,25	0,8
<b>Pendiente transversal (%):</b>	2	2
<b>ANCHO DE CARRIL (m):</b>	3	3

**Lado izquierdo del eje de vía.**

<b>Cota cuneta (msnm):</b>	660,25	660,49
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,36	660,39

**Sobre el eje de vía.**

<b>Cota superior (msnm):</b>	660,31	660,55
<b>Cota desnivel (msnm):</b>	0,05	0,16
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,36	660,39

**Lado derecho del eje de vía.**

<b>Cota cuneta (msnm):</b>	660,25	660,49
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,36	660,39

**Cálculo de cotas intermedias.**

<b>Lado (a)</b>	<b>Lado izq.</b>	<b>Sobre el eje</b>	<b>Lado der.</b>
<b>Δ cota desnivel:</b>	-0,11	-0,05	-0,11
<b>A 5 m de la intersección:</b>	660,33	660,35	660,33
<b>A 10 m de la intersección:</b>	660,31	660,34	660,31
<b>A 15 m de la intersección:</b>	660,28	660,32	660,28
<b>A 20 m de la intersección:</b>	660,25	660,31	660,25

<b>Lado (b)</b>	<b>Lado izq.</b>	<b>Sobre el eje</b>	<b>Lado der.</b>
<b>Δ cota desnivel:</b>	-0,10	-0,16	-0,10
<b>A 5 m de la intersección:</b>	660,42	660,43	660,42
<b>A 10 m de la intersección:</b>	660,44	660,47	660,44
<b>A 15 m de la intersección:</b>	660,47	660,51	660,47
<b>A 20 m de la intersección:</b>	660,49	660,55	660,49

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 54: Cálculos y diseño de intersección (calle secundaria)****Cálculo de intersecciones**

**Calle secundaria:** **Calle Subtte. Jesús León**

<b>Datos:</b>	<b>Este</b>
	<b>Lado (C)</b>
<b>Distancia (m):</b>	20
<b>Desviaje (m):</b>	0
<b>Pendiente (%):</b>	2,87
<b>Pendiente transversal (%):</b>	2
<b>Ancho de carril (m):</b>	3

**Lado izquierdo del eje de vía.**

<b>Cota cuneta (msnm):</b>	660,89
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,39

**Sobre el eje de vía.**

<b>Cota superior (msnm):</b>	660,95
<b>Cota desnivel (msnm):</b>	0,57
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,38

**Lado derecho del eje de vía.**

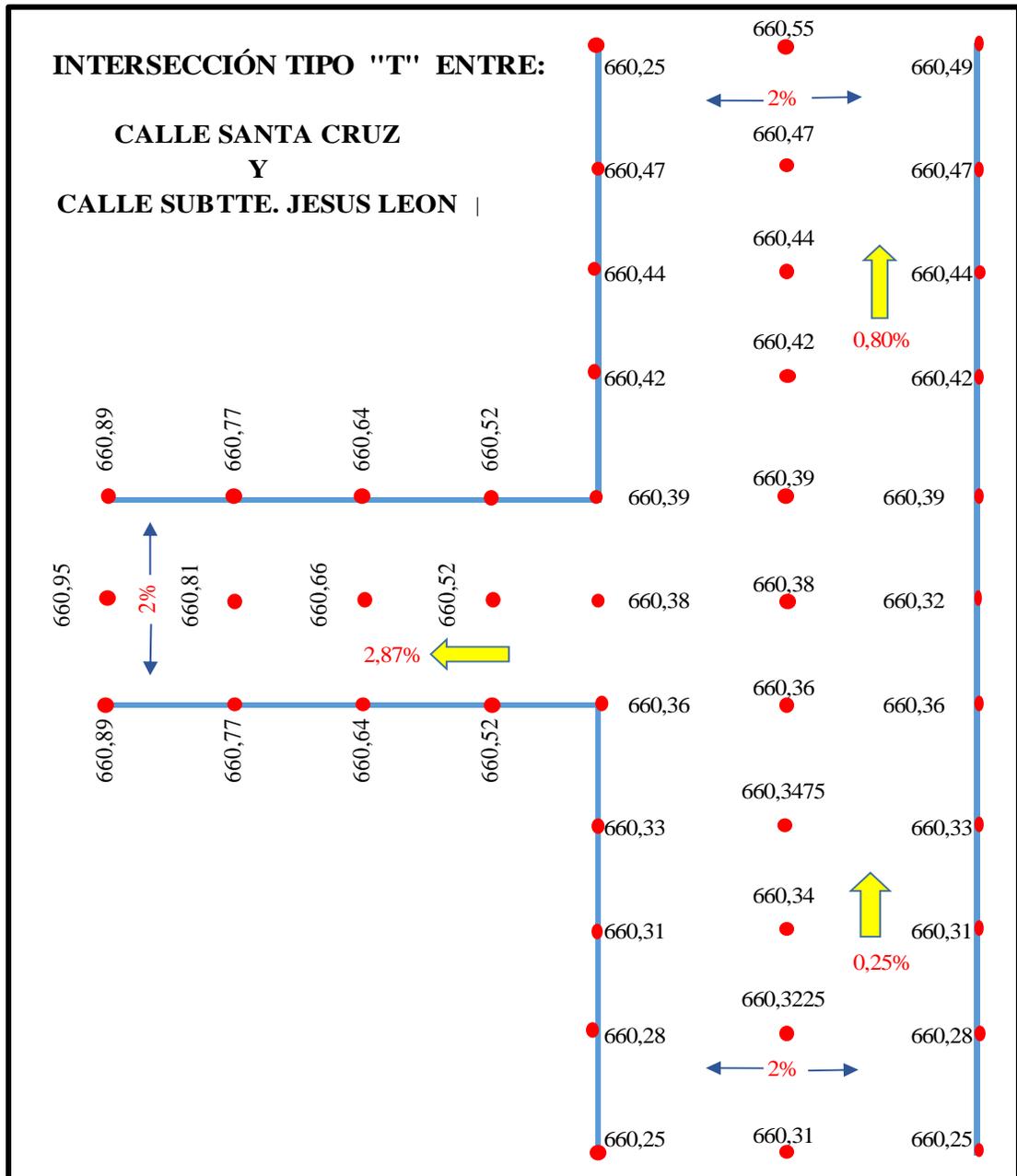
<b>Cota cuneta (msnm):</b>	660,89
<b>Cota intersección (msnm):</b>	660,36

**Cálculo de cotas intermedias.**

<b>Lado (c)</b>	<b>Lado izq.</b>	<b>Sobre el eje</b>	<b>Lado der.</b>
<b>Δ cota desnivel:</b>	0,50	0,57	0,53
<b>A 5 m de la intersección:</b>	660,52	660,52	660,49
<b>A 10 m de la intersección:</b>	660,64	660,66	660,63
<b>A 15 m de la intersección:</b>	660,77	660,81	660,76
<b>A 20 m de la intersección:</b>	660,89	660,95	660,89

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 40: Diseño de Intersección.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El detalle de cálculo de cada una de las intersecciones con su respectivo diseño se encuentran el anexo correspondiente.

### 2.4.1.8. Volúmenes de movimiento de tierras.

**Ecuación 18: Cálculo de los volúmenes de movimiento de tierras.**

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

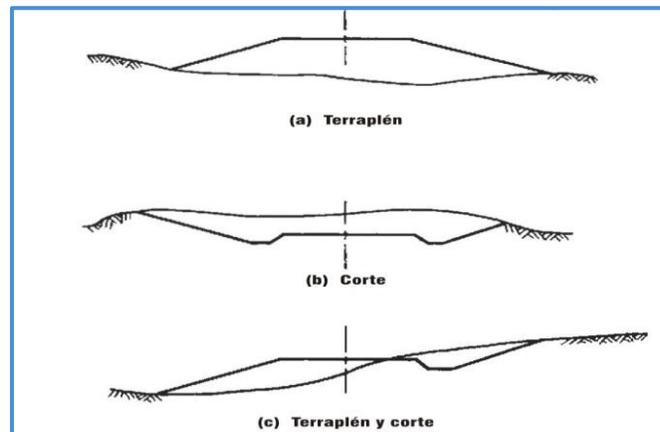
Dónde:

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

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

L = distancia entre las secciones transversales (m).

**Figura 42: Tipos de sección transversal.**



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

La planilla de movimientos de tierra y diagrama de masas, se encuentran en el anexo correspondiente “Movimiento de tierra”.

### 2.4.2. Diseño estructural.

#### 2.4.2.1. Cálculo del número de ejes equivalentes W18.

**Ecuación 19:**  $W_{18} = \sum (TPD)_i * (FC)_i * (FCE)_i * 365$

**Ecuación 20:**  $(FC)_i = \left[ 1 + \frac{(IC)_i}{100} \right]^{(N)}$

Donde:

- W18 = Número de ejes equivalentes .  
 (TPD)<sub>i</sub> = TPD del vehículo tipo i, en el primer año de circulación.  
 (FC)<sub>i</sub> = Factor de crecimiento del vehículo tipo i.  
 (IC)<sub>i</sub> = Índice de crecimiento del vehículo tipo i.  
 (N) = Número de años hasta el período de diseño: 1, 2, 3, 4,...20 años.  
 (FCE)<sub>i</sub> = Factor de carga equivalente del vehículo tipo i.

**N = 20 años (Para carpeta asfáltica)**

#### 2.4.2.2. Factor de carga equivalente (FCE).

Para el cálculo del factor de carga se tomó como referencia las tablas de **CAPITULO IV: Pavimentos de Concreto Asfáltico Método AASHTO-93 Pág. 153-454 de la UMSS. De la facultad de Ciencias y Tecnología.**

Las mismas se adjuntarán en anexo 4 - Estudio de tráfico.

**Tabla 55: Datos para el cálculo de ejes equivalentes.**

Tipo de vehículo	Tráfico prom. diario (TPD)	Porcentaje (%) TPD	Factor de crecimiento (FC)	Factor de carga equiv. (FCE)
<b>Livianos</b>	1959	85,00	33,07	0,0004
<b>Semi pesados</b>	202	8,85	33,07	0,5300
<b>Pesados</b>	90	3,93	33,07	3,9400
<b>Tráiler</b>	53	2,35	33,07	4,5100
<b>Total =</b>	<b>2304</b>	100,0		

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 56: Cálculo del número de ejes equivalentes por tipo de vehículo para concreto asfáltico (n = 20 años), vehículos livianos.**

Ubicación	T.P.D. [veh/día]	Índice de crecimiento (IC) <sub>i</sub> (%)	Factor de carga equiv. (FCE) <sub>i</sub>
Yacuiba	1958	5,00	0,0004

**Cálculo**

Año	Período	Factor de crecimiento	Nº de ejes equivalentes
2020	1	1,05	300,16
2021	2	1,10	315,17
2022	3	1,16	330,93
2023	4	1,22	347,47
2024	5	1,28	364,85
2025	6	1,34	383,09
2026	7	1,41	402,24
2027	8	1,48	422,36
2028	9	1,55	443,48
2029	10	1,63	465,65
2030	11	1,71	488,93
2031	12	1,80	513,38
2032	13	1,89	539,05
2033	14	1,98	566,00
2034	15	2,08	594,30
2035	16	2,18	624,01
2036	17	2,29	655,21
2037	18	2,41	687,98
2038	19	2,53	722,37
2039	20	2,65	758,49
<b>Total ejes equivalentes</b>			<b>9925,12</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 57: Cálculo del número de ejes equivalentes por tipo de vehículo para concreto asfáltico (n = 20 años), vehículos semi pesados.**

Ubicación	T.P.D. [veh/día]	Índice de crecimiento (IC) <sup>i</sup>	Factor de carga equiv. (FCE) <sup>i</sup>
Yacuiba	202	5,00	0,53

### Cálculo

Año	Período	Factor de crecimiento	N° de ejes equivalentes
2020	1	1,05	41030,75
2021	2	1,10	43082,28
2022	3	1,16	45236,40
2023	4	1,22	47498,22
2024	5	1,28	49873,13
2025	6	1,34	52366,78
2026	7	1,41	54985,12
2027	8	1,48	57734,38
2028	9	1,55	60621,10
2029	10	1,63	63652,15
2030	11	1,71	66834,76
2031	12	1,80	70176,50
2032	13	1,89	73685,32
2033	14	1,98	77369,59
2034	15	2,08	81238,07
2035	16	2,18	85299,97
2036	17	2,29	89564,97
2037	18	2,41	94043,22
2038	19	2,53	98745,38
2039	20	2,65	103682,65
<b>Total ejes equivalentes</b>			<b>1356720,73</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 58: Cálculo del número de ejes equivalentes por tipo de vehículo para concreto asfáltico (n = 20 años), vehículos pesados.**

Ubicación	T.P.D. [veh/día]	Índice de crecimiento (IC) <sup>i</sup>	Factor de carga equiv. (FCE) <sup>i</sup>
Yacuiba	89	5,00	3,94

**Cálculo**

Año	Período	Factor de crecimiento	Nº de ejes equivalentes
2020	1	1,05	134843,45
2021	2	1,10	141585,62
2022	3	1,16	148664,90
2023	4	1,22	156098,14
2024	5	1,28	163903,05
2025	6	1,34	172098,20
2026	7	1,41	180703,11
2027	8	1,48	189738,27
2028	9	1,55	199225,18
2029	10	1,63	209186,44
2030	11	1,71	219645,77
2031	12	1,80	230628,05
2032	13	1,89	242159,46
2033	14	1,98	254267,43
2034	15	2,08	266980,80
2035	16	2,18	280329,84
2036	17	2,29	294346,33
2037	18	2,41	309063,65
2038	19	2,53	324516,83
2039	20	2,65	340742,67
<b>Total ejes equivalentes</b>			<b>4458727,21</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 59: Cálculo del número de ejes equivalentes por tipo de vehículo para concreto asfáltico (n = 20 años), vehículos tráiler.**

Ubicación	T.P.D. [veh/día]	Índice de crecimiento (IC) <sup>i</sup>	Factor de carga equiv. (FCE) <sup>i</sup>
Yacuiba	52	5,00	4,51

**Cálculo**

Año	Período	Factor de crecimiento	Nº de ejes equivalentes
2020	1	1,05	90052,64
2021	2	1,10	94555,27
2022	3	1,16	99283,03
2023	4	1,22	104247,18
2024	5	1,28	109459,54
2025	6	1,34	114932,52
2026	7	1,41	120679,14
2027	8	1,48	126713,10
2028	9	1,55	133048,76
2029	10	1,63	139701,19
2030	11	1,71	146686,25
2031	12	1,80	154020,57
2032	13	1,89	161721,60
2033	14	1,98	169807,68
2034	15	2,08	178298,06
2035	16	2,18	187212,96
2036	17	2,29	196573,61
2037	18	2,41	206402,29
2038	19	2,53	216722,41
2039	20	2,65	227558,53
<b>Total ejes equivalentes</b>			<b>2977676,32</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 60: Elección del número de ejes equivalentes de diseño para concreto asfáltico (n = 20 años).**

Tipo de vehículo	Número de ejes equivalentes
Livianos	9925,12
Semipesados	1356720,73
Pesados	4458727,21
Tráiler	2977676,32
<b>Total ejes equivalentes</b>	<b>8803049,39</b>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

**Esal de Diseño:** 2 carriles; 2 direcciones

**Factor de carril (FC):** 0,5 ; **Factor de Direccion (FD):** 0,5

**Esal de diseño = FD \* FC \* Esals** → **Esal de diseño= 0,5\*0,5\*8803049,39**

**Número de ejes equivalentes de diseño W18= 2191166,03**

#### 2.4.2.3. Diseño estructural del pavimento, método AASHTO93.

El modelo básico del método AASHTO, se resume en la siguiente ecuación:

**Ecuación 21:**

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right\}}{0.40 + 1094} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

1ª Parte
2ª Parte

Donde:

W18= Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 KN) calculadas conforme al tránsito vehicular.

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

S0= Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI= Pérdida de serviciabilidad.

MR= Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN= Número estructural.

Datos:

W18= 2.191.166,03 Número de ejes equivalentes expresados en ESAL.

ZR= -0,841 Para una confiabilidad del 80 %

S0= 0,450 Para pavimentos flexibles

$\Delta$ PSI= 2,20  $\Delta$ PSI = Po - Pt

MR= 10.500 MR = 1500\* CBR diseño

P0= 4,20 Para pavimentos flexibles.

Pt= 2,00 Para vías secundarias.

CBR<sub>Diseño</sub>= 7,00 %

SN = 3,10

1ª Parte = 6,34 2ª Parte = 6,34

$$1^{\text{a}} \text{ Parte} - 2^{\text{a}} \text{ Parte} = 0$$

Diferencia entre 1ª Parte y 2ª Parte = **0,00.**

Como el número ESALs es menor de 50,000 se asume los espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular de acuerdo a la siguiente Tabla:

**Tabla 61: Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular (cm)**

Número ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.50 o TS	10,00
50,000 - 150,000	5,00	10,00
150,000 - 500,000	6,50	10,00
500,000 - 2,000,000	7,50	15,00
2,000,000 - 7,000,000	9,00	15,00
Más de 7,000,000	10,00	15,00

**Fuente: Diseño de Pavimento Método AASTHO 93 ICBH 2006**

Para el cálculo de los espesores se introducen estos datos al programa “**GUÍA AASTHO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (1993)**”. Por: Luis Ricardo Vásquez Varela: Ingeniero civil. Manizales. Colombia. 2005.

**Tabla 62: Datos de módulo y coeficientes.**

Capa	Módulo (psi)	a ( )	m ( )
1	4,35E+05	0,44	1,00
2	2,80E+04	0,13	0,80
3	1,50E+00	0,11	0,80

Fuente: Diseño de Pavimento Método AASTHO 93.

SN necesario: 3,11.

SN dispuesto: 3,35.

**Tabla 63: Tabla de espesores de diseño de pavimento.**

SN	D(plg)	D redon (plg)	D(plg)	SN
2,00	4,00	4,00	4,00	2,20
2,00	5,00	5,00	6,00	0,75
3,00	3,00	3,00	6,00	0,54

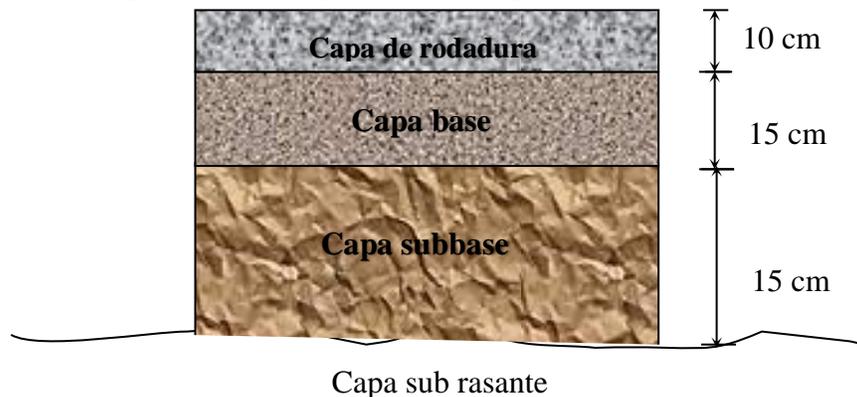
Fuente: Diseño de pavimento - Método AASTHO 93.

Entonces: Los resultados obtenidos para el diseño de la carpeta estructural de pavimento flexible serán los siguientes:

**Capa rodadura:** 4,00 plg. 10,00 cm.

**Capa base:** 6,00 plg. **se adopta:** 15,00 cm.

**Capa sub base:** 6,00 plg. 15,00 cm.

**Figura 43: Espesores de carpeta asfáltica para un CBR de 7,00 %.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.3. Diseño de drenaje.

El objetivo de este punto, es el establecer el caudal máximo probable para un determinado período de retorno de la cuenca en la que se encuentra la zona de estudio del tramo de Yacuiba, por medio de un análisis hidrológico en base a datos obtenidos de la zona concretamente de la estación más cercana al área del proyecto “Estación Yacuiba”, que se encuentra en el aeropuerto (Estación Yacuiba).

#### 2.4.3.1.Caudal máximo.

**Ecuación 22: Fórmula racional.**

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3.6}$$

Donde:

Q = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/seg)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

i = Intensidad de lluvia (mm/hr).

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

#### 2.4.3.2.Coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía depende, además, de la intensidad de lluvia, de las características del suelo, la vegetación y pendiente del suelo.

Para la cuenca en estudio adoptamos tablas, un valor asumido del estudio de macro drenaje para la ciudad de Yacuiba.

**Ecuación 23: Coeficiente de escorrentía.**

$$C = 0,065$$

Calculando los caudales máximos mediante la fórmula racional se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 64: Caudal máximo.**

Cuencas	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /seg) para los período de retorno					
		2	5	10	20	50	100
<b>Cuenca 1</b>	10,41	7,23	5,96	6,77	7,57	8,58	9,33
<b>Cuenca 2</b>	8,63	7,62	6,41	7,29	8,15	9,24	10,05
<b>Cuenca 3</b>	4,16	4,94	3,54	3,99	4,44	5,00	5,42
<b>Cuenca 4</b>	0,33	3,36	2,08	2,34	2,59	2,90	3,13
<b>Cuenca 5</b>	8,50	7,90	6,73	7,66	8,57	9,72	10,58
<b>Cuenca 6</b>	1,09	5,72	4,33	4,90	5,46	6,16	6,68
<b>Cuenca 7</b>	0,46	2,86	1,67	1,87	2,07	2,31	2,49
<b>Cuenca 8</b>	0,18	1,11	0,46	0,50	0,55	0,60	0,64

**Fuente: Elaboración propia.**

#### **2.4.3.3.Drenaje pluvial.**

Debido a que la zona de estudio se encuentra en el área urbana, se presenta como propuesta de diseño de drenaje pluvial, el mismo que fue realizado con la herramienta del AutoCAD Civil 3D.

Los reportes de cálculo se encuentran en anexos, diseño hidráulico y el detalle del mismo en anexo, planos, drenaje pluvial.

#### **2.4.4. Diseño de estructuras.**

##### **2.4.4.1.Alcantarilla de cruce.**

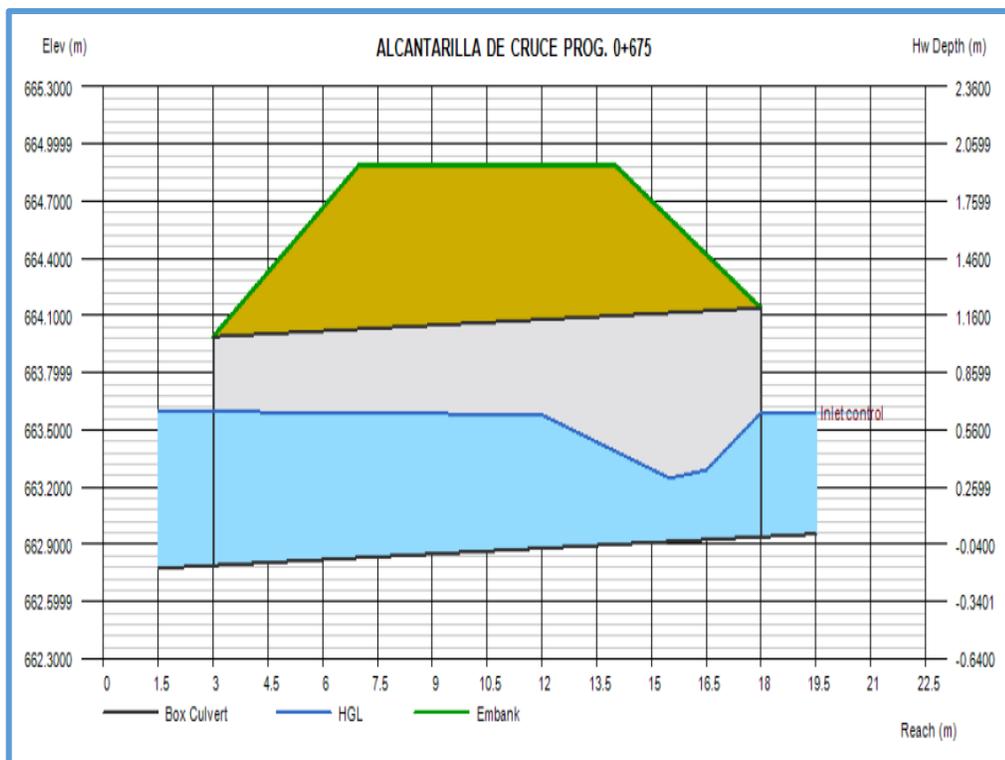
Para el diseño de la alcantarilla de cruce, se utilizará la herramienta del programa Autocad Civil 3d (Hidroflow Express). Los datos se obtienen del estudio hidrológico e hidráulico realizado en el capítulo III.

Tabla 65: Reporte del diseño hidráulico de alcantarilla de cruce.

Cota de inversión aguas abajo (m)	= 662,79	Cálculos	
Longitud de la tubería (m)	= 15	$Q_{\min}$ (cms)	= 0
Inclinación/pendiente (%)	= 1,0001	$Q_{\max}$ (cms)	= 5,96
Cota de inversión aguas Arriba (m)	= 662,94	Elevación de cola de Agua (m)	= $(dc+D)/2$
Altura (mm)	= 1200		
Forma	= Rectangular	Destacados	= 5.0000
Extensión (mm)	= 2000.0	$Q_{\text{total}}$ (cms)	
Número de filas	= 3	$Q_{\text{Tubo}}$ (cms)	= 5
Coefficiente de rugosidad (n)	= 0,012	Q sobre (cms)	= 0
Tipo de alcantarilla	= Cajón rect.	Velocidad baja (m/s)	= 1,0329
Entrada de alcantarilla	= 30D to 75D wingwall flares	Velocidad alta (m/s)	= 2,0145
Coefficiente. K,M,c,Y,k	= 0.026, 1, 0.0347, 0.81, 0.4	HGL baja (m)	= 663,5968
Terraplén		HGL alta (m)	= 663,3537
Elevación superior de terraplén (m)	= 664,89	Hw elevación (m)	= 663,5905
Ancho de terraplén (m)	= 7	Hw/ declinación (m)	= 0,5421
Ancho de la cresta (m)	= 20	Régimen de flujo	= Control de entrada.

Fuente: Hidraflow Express, Autocad Civil 3D.

**Figura 44: Diseño de alcantarilla de cruce.**



**Fuente: Hidraflow Express, Autocad Civil 3D.**

El plano a detalle del diseño de esta alcantarilla de cruce se presenta en anexos, planos, diseño geométrico – Obras de arte.

#### **2.4.5. Diseño de señalización.**

Nuestro país ha adoptado el sistema panamericano de dispositivos para regular, prevenir, dirigir y controlar la circulación vehicular y peatonal.

La señalización se divide en los siguientes tipos:

- Señalización vertical.
- Señalización horizontal.

##### **2.4.5.1. 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:

#### 2.4.5.1.1. Señales reguladoras o restrictivas.

Las señales reglamentarias o restrictivas indican la existencia de limitaciones y prohibiciones reglamentarias que el conductor debe obedecer y respetar. Estas señales están colocadas en el lugar donde “LA LIMITACION O PROHIBICION COMIENZA” y por lo tanto el conductor debe interpretar claramente lo que la señal obliga o prohíbe hacer.

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.

**Fig. 45: Ejemplos de Señales verticales preventivas.**



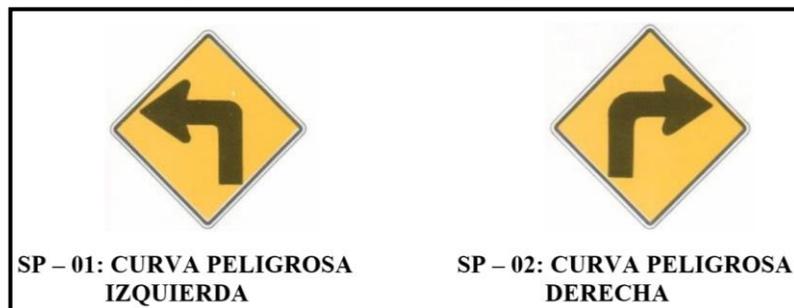
**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.1.2. Señales preventivas.

Las señales preventivas indican la existencia y naturaleza de un peligro próximo, y están colocadas mucho antes del lugar de peligro. El propósito de dichas señales es prevenir al conductor de un peligro cierto o posible, por lo que deberá concentrar su atención y disminuir la velocidad.

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 119 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.

**Fig. 46: Señales verticales preventivas.**



**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.1.3. Señales informativas o guías.

Las señales informativas son de enorme utilidad porque proporcionan al conductor una serie de informaciones a lo largo de su trayecto sobre direcciones y caminos como así también de servicios públicos existentes para que su viaje se realice sin mayores problemas y, si es que los hubiera, pueda solucionarlos rápidamente.

Las señales informativas están diseñadas para brindar información al usuario de la carretera, suministrando información necesaria que se refiere principalmente a la identificación de poblaciones, destinos, direcciones, intersecciones y cruzamientos, prestación de servicios, etc.

**Fig. 47: Señales verticales preventivas.**



**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

### **2.4.5.2. Señalización horizontal.**

La señalización horizontal está constituida por líneas, símbolos y letras pintadas sobre la superficie de la calzada, sirven para dirigir y orientar a los conductores y usuarios de las vías.

El color de las marcas es blanco o amarillo aplicándose este último para las líneas que separan distintos sentidos de circulación.

Se clasifican en longitudinales, transversales y otras marcas.

#### **2.4.5.2.1. Líneas longitudinales.**

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

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

Las zonas de No Adelantar deben ser establecidas, además de los lugares en que exista una distancia de visibilidad de adelantamiento menor a la distancia de adelantamiento mínima. Esta última distancia, es la necesaria para que el vehículo abandone su pista, pase al vehículo que lo precede y retome su pista en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo que está adelantado, ni la de otro que se desplace en sentido contrario por la pista utilizada para el adelantamiento.

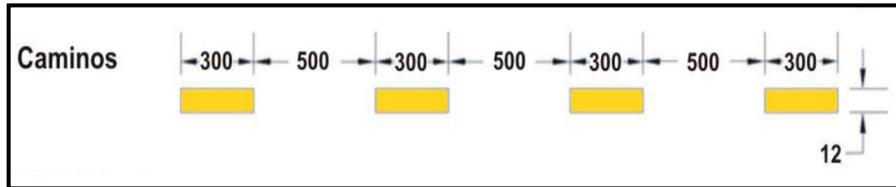
Las líneas de eje central se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar dónde se separan los flujos de circulación opuestos. Se ubican generalmente en el centro de dichas calzadas.

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

#### 2.4.5.2.1.1. Línea amarilla discontinua.

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

**Figura 48: Diseño de línea amarilla discontinua.**

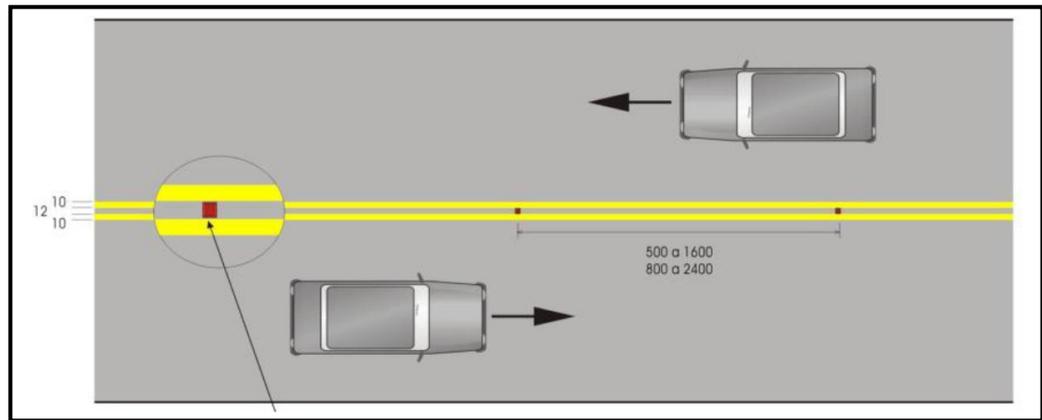


**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.2.1.2. Línea doble amarilla continua.

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

**Figura 49: Diseño de línea amarilla continua doble.**

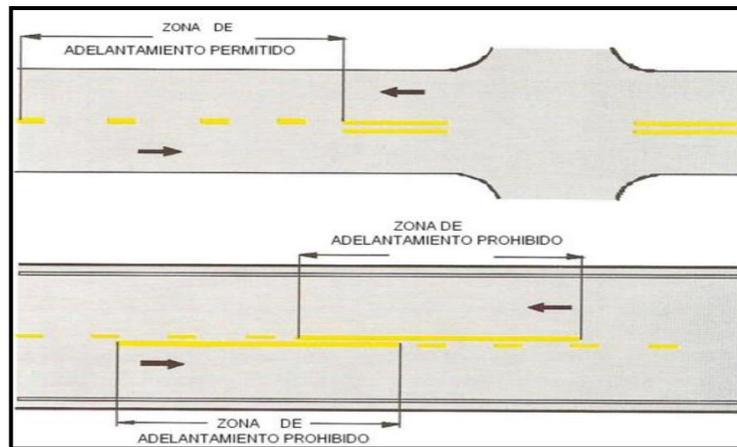


**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.2.1.3. Línea doble amarilla continua y discontinua.

Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde la maniobra de adelantamiento es permitida sólo para el tránsito adyacente a la línea de trazado discontinuo.

**Figura 50: Diseño de línea doble amarilla continua y discontinua.**



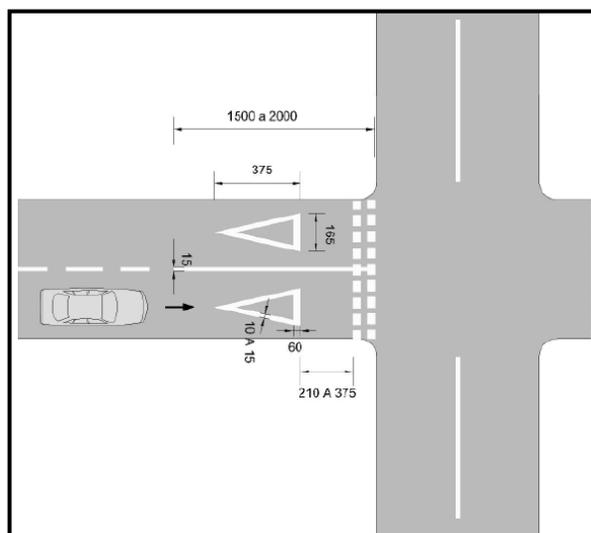
**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.2.2. Líneas transversales.

##### 2.4.5.2.2.1. Paso de peatones.

Indican la zona reservada al peatón, para cruzar la calzada y, generalmente, se encuentran en las intersecciones urbanas o donde es necesario destacar que aquel tiene prioridad de paso en el cruce.

**Figura 51: Diseño de línea doble amarilla continua y discontinua.**

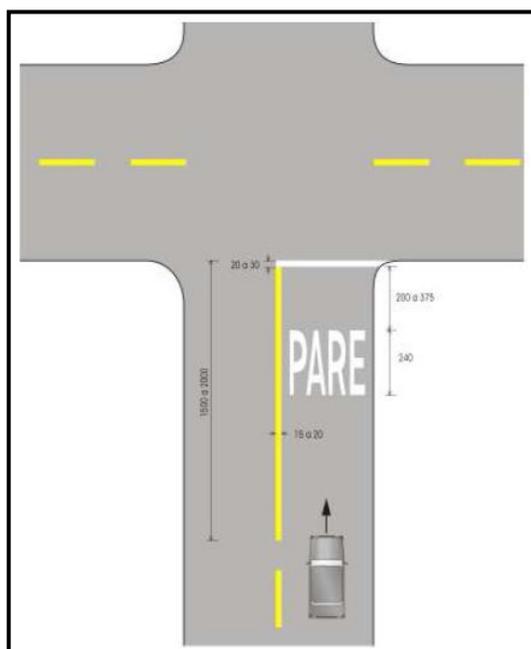


**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

#### 2.4.5.2.2. Línea de parada de vehículos.

Están ubicadas antes del paso peatonal, transversalmente con respecto a la circulación de tránsito, el conductor debe detener su vehículo antes de esa línea para no interferir el paso de los peatones que cruzan la calzada.

**Figura 52: Diseño de línea de parada de vehículos.**



**Fuente: Manual de dispositivo de control de tránsito de la ABC.**

## 2.5. Cubicaje, costos y presupuesto general.

### 2.5.1. Cómputos métricos.

La planilla de cómputos métricos del tramo en estudio se mostrará en el anexo 9 (Cómputos y presupuestos).

En la siguiente tabla se muestra la planilla de cómputos métricos del tramo en estudio Yacuiba – Campo Grande.

Tabla 66: Planilla de cómputos métricos.

PLANILLA DE COMPUTOS MÉTRICOS								
PROYECTO: "DISEÑO DE INGENIERIA, TRAMO RUTA ANTIGUA YACUIBA - CAMPO GRANDE"								
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Nº DE VECES	LARGO (Km-m)	ANCHO (m)- AREA (m2)	ALTO (m)	TOTAL PARCIAL	TOTAL
<b>1</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>							
<b>1,1</b>	<b>INSTALACIÓN DE FAENAS</b>	<b>glb</b>						<b>1,00</b>
			1				1,00	
<b>1,2</b>	<b>REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO</b>	<b>km</b>						<b>6,65</b>
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)		1	6,65			6,65	
<b>1,3</b>	<b>LIMPIEZA DE TERRENO Y DESHIERBE</b>	<b>ha</b>						<b>4,00</b>
							Conv. a Ha	
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)			6648,39	6,00		3,99	
	Tramo Puente San Isidro (Prog. 1+123,11+ 1+136,63)			13,52	6,00		0,01	
<b>1,4</b>	<b>PROVISIÓN Y COLOCADO LETRERO DE OBRAS</b>	<b>pza.</b>						<b>2,00</b>
							2,00	
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>							
<b>2,1</b>	<b>EXCAVACIÓN CLASIFICADA (SUELO ARCILLOSO)</b>	<b>m3</b>						<b>8.415,66</b>
	Total del volumen de excavación (ver anexos movimiento de tierras)						8415,66	
<b>2,2</b>	<b>CONFORMADO DE TERRAPLÉN</b>	<b>m3</b>						<b>23.738,03</b>
	Total del volumen de relleno (ver anexos de movimiento de tierras)						23738,03	
<b>2,3</b>	<b>ACARREO DE MATERIAL DE PRÉSTAMO</b>	<b>m3/km</b>						<b>15.322,37</b>
	Se considera el acarreo de todo el tramo (Prog 0+000 - 6+648,39)						Esto sale de la tabla de anexos volúmenes	15322,37
<b>3</b>	<b>CONFORMADO DE PAQUETE ESTRUCTURAL</b>							
<b>3,1</b>	<b>CONFORMACIÓN DE CAPA SUB BASE</b>	<b>m3</b>						<b>5.971,38</b>
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)		1	6648,39	6,00	0,15	5983,55	
	Tramo Puente San Isidro (Prog. 1+123,11+ 1+136,63)		1	13,52	6,00	0,15	12,17	
<b>3,2</b>	<b>CONFORMACIÓN DE CAPA BASE</b>	<b>m3</b>						<b>5.971,38</b>
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)		1	6648,39	6,00	0,15	5983,55	
	Tramo Puente San Isidro (Prog. 1+123,11+ 1+136,63)		1	13,52	6,00	0,15	12,17	
<b>3,3</b>	<b>IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA</b>	<b>m2</b>						<b>39.971,46</b>
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)		1	6648,39	6,00		39890,34	
	Tramo Puente San Isidro (Prog. 1+123,11+ 1+136,63)		1	13,52	6,00		81,12	
<b>3,4</b>	<b>CAPA DE RODADURA (PAVIMENTO FLEXIBLE ESP.= 10cm)</b>	<b>m3</b>						<b>39.971,46</b>
	Tramo Ruta Antigua Yacuiba - Campo Grande (0+000 - 6+648,39)		1	6648,39	6,00		39890,34	
	Tramo Puente San Isidro (Prog. 1+123,11+ 1+136,63)		1	13,52	6,00		81,12	

<b>4</b>	<b>SEÑALIZACIÓN</b>						
<b>4,1</b>	<b>SEÑAL PREVENTIVA, CUADRANGULAR 0,60x0,60m.</b>	<b>pza.</b>					<b>84,00</b>
	Total señalización preventiva cuadrangular 0,6x0,6 en todo el tramo		84				84,00
<b>4,2</b>	<b>SEÑAL RESTRICATIVA, RECTANGULAR 0,60x0,90m.</b>	<b>pza.</b>					<b>35,00</b>
	Total señalización restrictiva cuadrangular 0,6x0,9 en todo el tramo		35				35,00
<b>4,3</b>	<b>SEÑAL INFORMATIVA, RECTANGULAR 0,60x0,90m.</b>	<b>pza.</b>					<b>20,00</b>
	Total señalización informativa cuadrangular 0,6x0,9 en todo el tramo		20				20,00
<b>4,4</b>	<b>LÍNEAS DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (SIMPLES, ETC.)</b>	<b>m</b>					<b>66,00</b>
	(En este apartado se considera tanto líneas simples, dobles, segmentadas y demas consideradas en el diseño y todo el tramo)		1	66,00			66,00
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE: ALCANTARILLA DE CRUCE</b>						
<b>5,1</b>	<b>REPLANTEO / CONTROL OBRAS DE ARTE MENOR</b>	<b>pza.</b>					<b>1,00</b>
	(Alcantarillas de cruce)		1				1,00
<b>5,2</b>	<b>EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA C/MAQ P/OBRAS DE ARTE</b>	<b>m3</b>					<b>130,09</b>
	(Alcantarilla de cruce)		1	13,50	6,60	1,46	130,09
<b>5,3</b>	<b>EXCAVACIÓN MANUAL P/TUBERÍA DE DRENAJE PLUVIAL</b>	<b>m3</b>					<b>39,24</b>
	(De la longitud total, ver anexos planos de diseño de drenaje)		1	65,40	1,00	1,20	39,24
<b>5,4</b>	<b>H° C° P/ALCANTARILLAS DOSIF. 1:2:3 50% PD</b>	<b>m3</b>					<b>63,68</b>
	Cabezal Entrada	2	1,53	2,80	0,22	0,94	1,88
	Cabezal Salida	2	1,54	3,00	0,20	0,92	1,85
	Cuerpo de Alcantarilla	1	10	3,35	1,20	40,20	40,20
<b>5,5</b>	<b>HORMIGÓN ARMADO PARA LOSA</b>	<b>m3</b>					<b>7,25</b>
	(Alcantarilla de cruce)		1	10,00	2,90	0,25	7,25
<b>5,6</b>	<b>PISO DE CEMENTO + EMPEDRADO PARA ALCANTARILLA</b>	<b>m3</b>					<b>12,50</b>
			1	10,00	6,25	0,20	12,50
<b>5,7</b>	<b>COLOC. CAPA BASE ARENA SELECCIONADA COMPACTADA</b>	<b>m3</b>					<b>1,80</b>
		1	1	6,00	1,50	0,20	1,80
<b>5,8</b>	<b>PROV. Y COLOCADO DE TUBOS DE PVC D=100mm</b>	<b>ml</b>					<b>4.645,00</b>
		1	1	4645,00			4645,00
<b>5,9</b>	<b>RELLENO COMPACTADO MANUAL - S/MATERIAL RELLENO</b>	<b>m3</b>					<b>10,80</b>
	(Relleno para alcantarillas de cruce)		1	6,00	1,50	1,20	10,8
<b>6</b>	<b>ENTREGA DE OBRA</b>						
<b>6,1</b>	<b>LIMPIEZA GENERAL DE OBRA</b>	<b>glb</b>					<b>1,00</b>
	(Limpieza general de obra en todo el tramo de ejecución)		1				1,00
<b>6,2</b>	<b>PLACA DE ENTREGA DE OBRA</b>	<b>pza.</b>					<b>2,00</b>
	(Una placa al inicio del tramo y una al final del mismo)		2				2,00

**Fuente: Elaboración propia.**

## 2.5.2. Precio unitario y presupuesto.

### 2.5.2.1. Precios unitarios.

A continuación, se mostrará la tabla de presupuesto unitario de un ítem del proyecto, y todos los demás se encontrarán en el anexo correspondiente.

**Tabla 67: Presupuesto unitario de instalación de faenas.**

Ítem: Instalación de faenas		Unidad: glb				
Proyecto: DISEÑO DE INGENIERÍA		Fecha: 21/ago/2020				
Módulo: (M01) - OBRAS PRELIMINARES		Tipo de cambio: 6,96				
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				
1	-	Varios.mat.importados(i.faenas)	glb	1,00	4.500,00	4.500,00
2	-	Varios mat. nacional (i. faenas)	glb	1,00	45.000,00	45.000,00
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>49.500,00</b>
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Albañil	hr	4,50	20,50	92,25
2	-	Peón	hr	4,50	15,00	67,50
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>159,75</b>
	F	Cargas Sociales		55,00% de	(E) =	87,86
	O	Impuesto al Valor Agregado		14,94% de	(E+F) =	36,99
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>284,61</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
	H	Herramientas menores		5,00% de	(G) =	14,23
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>14,23</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>49.798,84</b>
	L	Gastos grales. y administrativ		10,00% de	(J) =	4.979,88
	M	Utilidad		10,00% de	(J+L) =	5.477,87
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>60.256,59</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3,09% de	(N) =	1.861,93
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>62.118,52</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>62.118,52</b>

Son: Sesenta y Dos Mil Ciento Dieciocho con 52/100 bolivianos.

**Fuente: Reporte, programa PRESCOM 2013.**

### 2.5.2.2.Presupuesto general.

El presupuesto general presupuestado para este proyecto se detalla a continuación separado por cada ítem que se desarrollara en la ejecución del mismo.

**Tabla 68: Presupuesto general por módulo.**

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
>	<b>M01 - OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>119.573,08</b>
1	Instalacion de faenas	glb	1,00	62.118,52	62.118,52
2	Replanteo y control topografico	km	6,65	2.872,80	19.104,12
3	Limpieza terreno y deshierbe	ha	4,00	8.144,82	32.579,28
4	Provisión y colocado letrero de obras	pza	2,00	2.885,58	5.771,16
>	<b>M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>1.976.138,05</b>
5	Excavacion clasificada (suelo arcilloso)	m³	8.415,66	23,56	198.272,95
6	Conformado terraplen con material de prestamo	m³	23.738,03	30,68	728.282,76
7	Acarreo de material de préstamo	m³	15.322,37	68,50	1.049.582,34
>	<b>M03 - CONFORMADO DE PAQUETE ESTRUCTURAL</b>				<b>3.339.259,54</b>
8	Conformacion capa sub base	m³	5.971,38	34,41	205.475,19
9	Conformacion capa base	m³	5.971,38	34,41	205.475,19
10	Imprimacion asfaltica	m²	39.971,46	7,50	299.785,95
11	Capa de rodadura (pavimento flexible) esp. =10cm	m²	39.971,46	65,76	2.628.523,21
>	<b>M04 - SEÑALIZACIÓN</b>				<b>767.720,96</b>
12	Señal preventiva cuadrangular 0.60x0.60 m	pza	94,00	1.998,42	187.851,48
13	Señalización restrictiva cuadrangular 0.60x0.90 m	pza	35,00	2.062,04	72.171,40
14	Señalización informativa cuadrangular 0.60x0.90 m	pza	26,00	2.062,04	53.613,04
15	Lineas de señalización horizontal (simples, etc.)	m	66.483,90	6,83	454.085,04
>	<b>M05 - OBRAS DE ARTE MENOR</b>				<b>1.956.474,78</b>
16	Replanteo/control obras de arte menor	pza	1,00	676,81	676,81
17	Excavacion no clasificada c/maq p/obras de arte	m³	130,09	14,34	1.865,49
18	Excavacion manual p/ tubería de drenaje pluvial	m³	39,20	122,50	4.802,00
19	H° c° p/alcantarillas dos. 1:2:3 50% pd	m³	63,68	1.453,92	92.585,63
20	Hormigon armado para losas	m³	7,25	4.099,43	29.720,87
21	Piso de cemento + empedrado p/alcantarillas	m³	12,50	204,29	2.553,63
22	Coloc capa base arena seleccionada	m³	1,80	124,62	224,32
23	Prov y coloc. tubos de pvc 100mm para alcantarillado pluvial	m	4.645,00	391,73	1.819.585,85
24	Relleno compactado manual-s/material relleno	m³	10,80	412,98	4.460,18
>	<b>M06 - ENTREGA DE OBRA</b>				<b>32.356,31</b>
25	Limpieza general de la obra	glb	1,00	31.903,57	31.903,57
26	Placa entrega de obras	pza	2,00	226,37	452,74
	<b>Total presupuesto:</b>				<b>8.191.522,72</b>

Son: Ocho Millon(es) Ciento Noventa y Un Mil Quinientos Veintidos con 72/100 Bolivianos

**Fuente: Reporte, programa PRESCOM 2013.**

### 2.6.Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas se encuentran detalladas en anexos.

## CAPÍTULO III

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones.

Entre las conclusiones a las que se pudo llegar con la realización de este trabajo, podemos mencionar lo siguiente:

- Se realizó el diseño de ingeniería para el tramo ruta antigua Yacuiba - Campo Grande; tomando en cuenta todas sus características actuales y esperando que una vez ejecutado, el mismo garantice una mejor circulación del tráfico y los habitantes de la zona.
- Se identificó las características de la zona de estudio y se realizó la recopilación de información y estudios necesarios para el tramo a diseñar.
- Se realizó el levantamiento topográfico de la zona con una franja de 20m aproximadamente a lo largo del tramo en estudio, utilizando herramientas y equipos como ser: un GPS satelital, estación total, prisma reflector, y otros instrumentos complementarios, con los que obtuvimos datos para representar las curvas de nivel necesarias para nuestro diseño de ingeniería.
- Se llevó adelante un estudio hidrológico en base a datos de la estación pluviométrica “Aeropuerto de Yacuiba”, siendo la más cercana y con mayor número de datos, de esta manera se obtuvo las intensidades máximas y determinamos los caudales de diseño de alcantarilla de cruce y drenaje pluvial.
- 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 obtuvieron cada 500m, y durante su análisis se logró identificar su caracterización, clasificación y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

De acuerdo a esto se ve que en la mayoría de las muestras se tienen suelos de tipo A-1-b, A-2-4 y A-4, con un porcentaje promedio de CBR igual a 40,29%.

- Se desarrolló un estudio de tráfico, mediante aforos vehiculares en puntos estratégicos 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 evaluaron a partir de información obtenida en la alcaldía de la ciudad de Yacuiba.

- El diseño geométrico se llevó a cabo tomando en cuenta la normativa vigente de la ABC y el manual de diseño de calles para ciudades bolivianas, llegando a determinar para este tramo los parámetros básicos de diseño como ser: según su clasificación: camino de desarrollo, velocidad de diseño de 40km/hr, radio mínimo de 50m, pendientes máximas en rectas (%) 10-9 y pendiente mínima (%) 0.5 una distancia mínima de visibilidad de frenado 180m, un ancho de calzada de 6,0 metros con dos carriles unidireccionales de 3m de ancho y una pendiente transversal (bombeo) de 2%.
- Para el diseño de obras de arte, se optó por una alcantarilla de cruce tipo cajón y un sistema de alcantarillado pluvial que servirá para el encausamiento y evacuación de los caudales obtenidos mediante el estudio hidrológico.
- Tomando en cuenta el diseño del paquete estructural, se utilizó el método AASHTO – 93, pavimento Flexible (carpeta) con espesores para la capa sub base de 15 cm, una base de 15 cm y una carpeta de rodadura de 10 cm.
- Se elaboró la señalización horizontal y vertical de todo el tramo, tomando en cuenta la normativa vigente del Manual de Señalización y Seguridad Vial de la ABC, señales preventivas, reglamentarias e informativas, líneas continuas y discontinuas para determinar los sectores donde es permitido el adelantamiento y donde es prohibido.
- Se realizaron los cálculos métricos de todos los ítems para determinar los volúmenes de obra.

- En el análisis de costos y precios unitarios realizados se llegó a un monto de presupuesto general de la obra de 8.191.522,72bs. Este valor está comprendido en todos los módulos que fueron identificados para la elaboración, como ser la infraestructura caminera, pavimento flexible, obras de drenaje, etc.
- Se elaboraron las especificaciones técnicas del proyecto donde se detalla la forma de ejecución, la forma de pago, el equipo necesario y el control técnico correspondiente tomando en cuenta las normas para realizar la construcción de cada ítem al momento de realizar la ejecución del proyecto.

### **3.2. Recomendaciones.**

Entre las recomendaciones podemos mencionar:

- Buscar la información bibliográfica necesaria antes de efectuar el diseño del proyecto, para así evitar inconvenientes al momento de la realización del mismo.
- Cuando se realicen croquis, o cualquier apunte manual, se observa que todos los datos deben estar bien escritos en forma clara y precisa en hojas o planillas anteriormente realizadas, además los planos reflejar en forma exacta los datos que se deducen en la fase de campo.
- Cuando se realice la extracción de muestras para el estudio de suelos se debe tener en cuenta que la misma debe ser representativa del terreno y al trasladarla al laboratorio, proteger la muestra para que no pierda su humedad y así al desarrollar los ensayos, no cometer errores de tener datos poco confiables.
- Cuando se trata de un diseño de tramo urbano, se deben desarrollar un análisis especial de las intersecciones que se presentan a lo largo del mismo y por ello la información recolectada debe ser a mayor detalle.
- El mayor problema que experimentan las vías urbanas son a causa del agua, es por eso que, al momento de realizar el diseño de obras de arte o drenajes pluviales, no se debe escatimar costos en la construcción de estas obras; garantizando su correcto funcionamiento y así evitar problemas en el paquete estructural.