

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

### Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transportes

**Elaboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yuluc, desde la abscisa 5+500.00 hasta la cabecera parroquial de San Sebastián de Yuluc, ubicada en el cantón Saraguro de la provincia de Loja.**


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de de Magíster en Ingeniería en Vialidad y Transportes

Autor:

Sergio Gustavo Ortiz Coka

Director:

Pablo Andrés Carvallo Corral

ORCID:  0000-0002-2938-535X

Cuenca, Ecuador

2024-01-03

## Resumen

La empresa Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A., se encuentra ejecutando el proyecto eólico “Minas de Huascachaca”, ubicado en la parroquia San Sebastián de Yuluc, cantón Saraguro, provincia de Loja. Como compensación hacia la comunidad por dichos trabajos se ha previsto el mejoramiento a nivel de capa de rodadura de varias vías de la parroquia. En este marco, el presente trabajo de titulación busca la “ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA A LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN SEBASTIÁN DE YULUC DESDE LA ABCISA 5+500,00 HASTA LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN SEBASTIÁN DE YULUC, UBICADA EN EL CANTÓN SARAGURO DE LA PROVINCIA DE LOJA”. Llegando a obtenerse Informe técnico del estudio Topográfico, el Informe técnico del Diseño Geométrico Definitivo, y el Informe técnico de los Diseños de Pavimentos. El tramo en estudio posee una longitud de 3,571.00 m, para el diseño geométrico se ha tratado de ajustarse lo más posible a la infraestructura existente mediante la utilización de curvas espirales, generando un mínimo de corte y relleno. Para la estructura del pavimento se han planteado dos alternativas, la primera que contempla una capa de subbase de 25.00 cm, una capa de base de 12.00 cm de espesor y una capa de rodadura de hormigón asfáltico de 2.00 pulgadas. La segunda alternativa está compuesta por una capa de subbase de 30.00 cm, una capa de base estabilizada con cemento de 17.00 cm y una capa de rodadura de Doble Tratamiento Superficial Bituminoso.

*Palabras clave:* diseño geométrico de carreteras, estructura de pavimento, curvas espirales, doble tratamiento superficial bituminoso



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Abstract

The power-generator company of the Austro, ELECAUSTRO S.A. is executing the wind project "Minas de Huascachaca", located in the parish of San Sebastián de Yúluc, canton Saraguro, Loja province. Several roads in the parish have been planned to improve as compensation to the community for these works. In this context, the present project seeks the "ELABORATION OF ENGINEERING STUDIES FOR THE IMPROVEMENT OF THE ROAD TO THE PARISH HEADQUARTERS OF SAN SEBASTIÁN DE YULUC FROM THE ABCISA 5+500.00 TO THE PARISH HEADQUARTERS OF SAN SEBASTIÁN DE YULUC, LOCATED IN THE SARAGURO CANTON OF THE PROVINCE OF LOJA". Under these engineering studies, it is possible to obtain the Technical Report of the Topographic study, the Technical Report of the Definitive Geometric Design, and the Technical Report of the Pavement Designs. The road section under study has a length of 3,571.00 m. For the geometric design, it has been tried to adjust as much as possible to the existing infrastructure through spiral curves, generating a minimum of cut and fill. Two alternatives have been proposed for the structure of the pavement. The first contemplates a sub-base layer thickness of 25.00 cm, a base layer thickness of 12.00 cm and a 2.00-inch asphalt concrete wearing course. The second alternative comprises a 30.00 cm sub-base layer, a 17.00 cm cement-stabilized base layer, and a Double Bituminous Surface Treatment wearing course.

*Keywords:* geometric road design, pavement structure, spiral curves, double bituminous surface treatment



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

### Contenido

1. GENERALIDADES .....	10
1.1. <i>Introducción</i> .....	10
1.2. <i>Problemática</i> .....	10
1.3. <i>Objetivos</i> .....	11
2. ESTADO DEL ARTE.....	11
3. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	15
3.1. <i>Introducción</i> .....	15
3.2. <i>Metodología</i> .....	16
1.1. <i>Procesamiento de Información</i> .....	23
4. DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	27
4.1. <i>Estudio de Tráfico</i> .....	27
4.2. <i>Cargas del Tráfico</i> .....	33
4.3. <i>Geología Local y Caracterización de la Subrasante</i> .....	39
4.4. <i>Caracterización de Subrasante</i> .....	44
4.5. <i>Diseño de Pavimento Flexible Alternativa 1</i> .....	62
4.6. <i>Diseño de Pavimento Flexible Alternativa 2</i> .....	70
4.7. <i>Rehabilitación y Mantenimiento</i> .....	73
5. DISEÑO GEOMÉTRICO.....	76
5.1. <i>Evaluación del trazado actual</i> .....	77
5.2. <i>Diseño</i> .....	78
5.3. <i>Parámetros generales del diseño geométrico</i> .....	80
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100

## Índice de figuras

Ilustración 1 Gravado en Placa de Bronce .....	18
Ilustración 2 Posicionamiento Punto Base .....	18
<i>Ilustración 3 Posicionamiento vértices secundarios por RTK .....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4 Variación diaria vehicular conteo 24 horas en los dos sentidos.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 5 Variaciones horarias de tráfico para cada día de conteo.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 6: Variación de coeficiente a2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 7: Variación de coeficiente a3 con diferentes parámetros de resistencia de la subbase granular: .....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 8: Abaco para la obtención del coeficiente estructural a1.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 9: Esquema del procedimiento para la determinación de espesores.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 10: Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base Estabilizada con Cemento. ....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 11: Alineamiento Horizontal .....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 12: sección tipo del proyecto.....</i>	<i>79</i>
Ilustración 13: Transición del peralte.....	89
Ilustración 14: Vehículo tipo sobre anchos.....	93
Ilustración 15: Curvas Verticales .....	96
Ilustración 16: Volumen de corte y relleno.....	99
<i>Ilustración 17: Diagrama de Masa.....</i>	<i>100</i>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1</i> <i>Coordenadas del proyecto</i> .....	16
<i>Tabla 2</i> <i>Clasificación de valores PDOP</i> .....	20
<i>Tabla 3</i> <i>Hitos de referencia, Sistema de Proyección UTM-WGS84, zona 17 sur</i> .....	22
<i>Tabla 4</i> <i>Pendientes de Taludes</i> .....	24
<i>Tabla 5</i> <i>Categorías de Terreno según su Pendiente (MOP, 2003)</i> .....	25
<i>Tabla 6</i> <i>Resumen semanal, conteo 24 horas</i> .....	28
<i>Tabla 7</i> <i>Factor Semanal año 2021</i> .....	30
<i>Tabla 8</i> <i>Consumo de combustibles Petrocomercial sector automotriz 2019</i> .....	31
<i>Tabla 9</i> <i>Tasas de crecimiento</i> .....	32
<i>Tabla 10</i> <i>Proyección de la composición vehicular</i> .....	32
<i>Tabla 11:</i> <i>Pesos y dimensiones de vehículos de carga motorizados</i> .....	34
<i>Tabla 12:</i> <i>Cálculo del factor camión global y factor de equivalencia</i> .....	36
<i>Tabla 13:</i> <i>Cálculo del Factor Camión</i> .....	37
<i>Tabla 14:</i> <i>Factor de distribución por dirección FD</i> .....	38
<i>Tabla 15:</i> <i>Factor de distribución por carril FL</i> .....	38
<i>Tabla 16:</i> <i>Cálculo de ejes simples equivalentes de 8.2 Ton o 18 kips</i> .....	38
<i>Tabla 17:</i> <i>Coordenadas y abscisas de ubicación de las calicatas, sistema de proyección UTM GWS84, zona 17 sur</i> .....	45
<i>Tabla 18:</i> <i>Resumen de resultados de CBR de campo</i> .....	59
<i>Tabla 19:</i> <i>Resumen de ensayos de laboratorio</i> .....	60
<i>Tabla 20:</i> <i>Valores de CBR obtenidos</i> .....	61
<i>Tabla 21:</i> <i>Percentil para selección de CBR característico (AASHTO, 1993)</i> .....	61
<i>Tabla 22:</i> <i>CBR característico</i> .....	62
<i>Tabla 23:</i> <i>Selección de CBR de diseño</i> .....	63
<i>Tabla 24:</i> <i>Confiabilidad R</i> .....	65
<i>Tabla 25:</i> <i>Valores de desviación Estándar (So) (AASHTO, 1993)</i> .....	66
<i>Tabla 26:</i> <i>Calidad de drenaje</i> .....	66
<i>Tabla 27:</i> <i>Coefficiente de drenaje (Cd)</i> .....	67
<i>Tabla 28:</i> <i>Datos iniciales para la determinación de espesores de estructura de pavimento flexible alternativa 1</i> .....	69
<i>Tabla 29:</i> <i>Cálculo de espesores para estructura de pavimento flexible alternativa 1</i> .....	69
<i>Tabla 30:</i> <i>Datos iniciales para la determinación de espesores de estructura de pavimento flexible alternativa 2</i> .....	72
<i>Tabla 31:</i> <i>Cálculo de espesores para estructura de pavimento flexible alternativa 2</i> .....	72
<i>Tabla 32:</i> <i>Tipo de transito</i> .....	73
<i>Tabla 33:</i> <i>Estrategia de mantenimiento</i> .....	74
<i>Tabla 34:</i> <i>Estrategia de mantenimiento</i> .....	75
<i>Tabla 35:</i> <i>Valores de Diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos vecinales de construcción</i> .....	76
<i>Tabla 36:</i> <i>Relación Función, Clase MOP Y Trafico</i> .....	78
<i>Tabla 37:</i> <i>Distancias de visibilidad de parada</i> .....	81
<i>Tabla 38:</i> <i>Coefficientes de fricción transversal máximos</i> .....	82
<i>Tabla 39:</i> <i>Resultados del diseño geométrico horizontal</i> .....	84
<i>Tabla 40:</i> <i>Valores máximos y mínimos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada con respecto al eje</i> .....	87

Tabla 41: Longitud mínima de la espiral.....	88
Tabla 42: Gradiente en función de la velocidad en Km/h .....	90
<i>Tabla 43: Cálculo del peralte.....</i>	91
Tabla 44: Sobre anchos calculados .....	94
Tabla 45: Valores mínimos de diseño del coeficiente “k” convexas.....	97
Tabla 46: Valores mínimos de diseño del coeficiente “k” cóncavas.....	98
Tabla 47: Cálculos curvas verticales .....	98

## Agradecimiento

Mi reconocimiento:

A la Universidad de Cuenca y su Unidad de posgrados quienes a través de su trabajo permiten a los profesionales del país expandir sus conocimientos sin interrumpir su ejercicio profesional. A la empresa ELECAUSTRO S.A. encabezada por su gerente el Ing. Antonio Borrero por mantener siempre ese nexo entre la academia y los proyectos estratégicos del país y de especial manera al Ing. Gonzalo Clavijo quien materializó la ejecución del presente proyecto con gran tesón.

Finalmente, un respetuoso agradecimiento a mi director de tesis el Ing. Pablo Carvallo Msc. Quien me supo guiar en cada etapa de este proyecto brindándome su tiempo y conocimientos para la correcta ejecución del mismo.



## Dedicatoria

En primer lugar, a Dios por permitirme avanzar en mi vida profesional siempre con una visión de servicio a la comunidad. A mi esposa Amanda Bustamante por todo el apoyo durante este largo camino recorrido. A mis hijos que son el motor de mi vida y a mi padre por el apoyo incondicional brindado.

A todos y cada uno mil gracias porque sin su ayuda no hubiera llegado a esta instancia.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. *Introducción*

La empresa Electro Generadora del Austro (ELECAUSTRO), dedicada a la generación de energía eléctrica renovable y diversificada, ha ejecutado el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH), el cual se encuentra ya en perfecta operación y con su producción máxima supera la generación prevista de 50 MW, a través de 15 aerogeneradores de una potencia unitaria del orden de 3,3 MW y una producción bruta media anual esperada de 132,9 GW.h (ELECAUSTRO, 2022). El PEMH se localiza en la provincia de Loja, cantón Saraguro, parroquia San Sebastián Yúluc; razón por la cual la empresa ha generado diversos proyectos de compensación dentro de la zona de influencia del proyecto.

En una primera fase de compensación se firmó el convenio para elaborar los **“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LAS VÍAS A LA CABECERA PARROQUIAL DE YÚLUC, UCHUCAY-SUMAYPAMBAPLAYAS DE SUMAYPAMBA, VÍA A YÚNQUIL Y VÍAS DE LAS URBANIZACIÓN DE LOS PRECARISTAS, DEL CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA”**. Dentro del cual como aporte de la Universidad de Cuenca se han generado diferentes trabajos de titulación para las vías en estudio. En específico para la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc, se han generado dos trabajos de titulación el primero consistente en la **“Elaboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc desde la abscisa 0+000 a 5+500, ubicada en el cantón Saraguro de la Provincia de Loja”**, (Vanegas, 2022) y el presente para la **“Elaboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc desde la abscisa 5+500.00 hasta la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc, ubicada en el cantón Saraguro de la provincia de Loja”**. Siendo los mismos complementos de una consultoría integral que busca el mejoramiento a nivel de capa de rodadura de la vía en mención. Es así que se podrá encontrar en el presente trabajo información levantada correspondiente a la totalidad de la vía y que por su naturaleza no puede ser dividida, tal es el caso del levantamiento topográfico, conteo vehicular, calicatas, etc.

### 1.2. *Problemática*

La vía actual se encuentra a nivel de material de mejoramiento seleccionado con un ancho básico promedio de 5.60 m, existiendo anchos mínimos que alcanzan los 4.60 m que no permiten la circulación de vehículos en ambos sentidos de manera continua. Las cunetas existentes no se encuentran revestidas y los pasos de agua existentes no abastecen el caudal

necesario en invierno evidenciándose cárcavas de escorrentía a lo largo de la vía. Esta información fue recabada durante las diferentes inspecciones realizadas en campo, los taludes se presentan estables con cortes perpendiculares sin presencia de deslizamiento de tierra considerables.

El trazado actual de la vía interfiere con la implantación de los aerogeneradores previstos en el PEMH, de acuerdo a la información proporcionada por ELECAUSTRO S.A. mediante acta entrega-recepción del 18/06/2021, de manera específica con el aerogenerador A12, razón por la cual se ha modificado el trazado del eje vial 3.

El 82.25% de la Población Económicamente Activa (PEA) se encuentra dedicada a la agricultura, siendo la vía actual en estudio la única disponible para su conexión con los demás centros poblados, (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020). Siendo un anhelo de la población el mejoramiento de la vía de acceso a la cabecera parroquial, priorizando este proyecto en todas las asambleas participativas.

### **1.3. Objetivos**

- Realizar el levantamiento de una franja topográfica de hasta 30 metros de ancho, tomando como punto medio el eje de la vía actual, 15 m a cada lado del eje de la vía mismo que contendrá información planimétrica y taquimétrica, mediante el empleo de instrumentos topográficos.
- Diseñar el proyecto geométrico horizontal y vertical considerando el perfil de la rasante actual, así como los niveles de obras de arte, de infraestructura hidrosanitaria, telefónica y eléctrica, así como los niveles de construcciones o viviendas adyacentes a la vía.
- Ejecutar el diseño de pavimentos, en donde se determinará la estructura del paquete vial en pavimento flexible, se presentará una estructura, para un horizonte de diseño de 20 años.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

A diferencia de otras actividades, el mejoramiento vial tiene un impacto posiblemente más notable a nivel local que en el ámbito nacional. Generación de empleo, directo e indirecto; disminución en los costos de transporte; dinamización de la economía por la utilización de bienes y servicios locales y por el aumento de usuarios de las vías; reducción en los tiempos de desplazamiento; apoyo a proyectos productivos para aquellas personas que dependen económicamente de los usuarios; restablecimiento de derechos para la población vulnerable

con mejor acceso a servicios públicos (salud, educación, seguridad, legal, etc.), son de los mejores ejemplos que conlleva la construcción de carreteras modernas.

Dichas carreteras modernas deberían ser diseñadas empleando los últimos avances del conocimiento con la finalidad de generar un verdadero desarrollo sostenible, es decir satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro de satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987). En nuestro caso en específico esto se refleja en disminuir el movimiento de tierras, materiales de préstamo, explotación y procesamiento de áridos, etc.

Se han revisado diversas fuentes relacionadas al mejoramiento vial tanto a nivel nacional (Ramos L. Alba, 2023), (Bravo A., 2022), (Cando M., 2022), como a nivel regional (Monsalve L., 2022). Sin embargo, en todas ellas para el diseño de la estructura del pavimento se aplica el método empírico desarrollado por la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO por sus siglas en inglés) y que fue publicado en el año 1993 (AASHTO, 1993). En el caso de los métodos empíricos se correlaciona el comportamiento de los pavimentos in situ, a través de observaciones y mediciones de campo, con los factores que causan los mecanismos de degradación en estas estructuras.

Dos son los mecanismos principales de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas (y también en las mecanicistas): fatiga y exceso de deformación permanente. La fatiga ocurre en las capas ligadas, y para el caso de estructuras flexibles, se presenta cuando se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica. Este tipo de deformación es asociado a la respuesta resiliente que presenta la estructura cuando se mueven las cargas vehiculares. La deformación permanente es la deformación vertical residual que se va acumulando debido al paso de los vehículos la cual puede generar fallas estructurales o funcionales en el pavimento.

En el caso de las estructuras flexibles, la deformación permanente total es la suma de la deformación producida en cada una de las capas del pavimento, pero actualmente los métodos empíricos suponen que tal deformación se genera solo en la capa subrasante y esto crea una de sus principales limitaciones. La anterior suposición se basa en que la subrasante es la capa más susceptible a la deformación debido a su más baja rigidez (en comparación con las otras capas del pavimento) y a una mayor probabilidad de presentar altos contenidos de agua (lo cual disminuiría su capacidad portante). Es decir, las metodologías empíricas no tienen en cuenta que:

- En las capas de rodadura y base asfáltica (compuestas por mezclas asfálticas de comportamiento viscoso) un incremento de temperatura genera disminución de la rigidez y por lo tanto un incremento en la deformación del pavimento.
- Las capas granulares juegan un papel importante en la generación de la deformación permanente cuando se dimensionan estructuras flexibles para vías de bajo tráfico. En este tipo de pavimentos las capas asfálticas no tienen una función estructural (por lo general se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez) y las capas granulares (base y subbase) soportan casi en su totalidad las cargas rodantes (Rondon H., 2007).

Actualmente la guía de diseño de pavimentos AASHTO está razonablemente de acuerdo que no puede hacer todas las consideraciones y reconoce que es necesario complementar con un nuevo método "Mecanicista" basándose en propiedades mecánicas de los materiales bajo solicitaciones cuyo resultado es una respuesta del pavimento representado por esfuerzos y deformaciones, calculando el nivel de daño esperado en el periodo de diseño para los diferentes tipos de daños esperados. A partir del año 2002 la AASHTO propone el nuevo método y que actualmente se lo reconoce como "Empírico – Mecanicista" para diseño de pavimentos. Ya que es una mezcla de conceptos empíricos para relacionar las respuestas de los pavimentos con su funcionamiento y conceptos mecanicistas para determinar la respuesta del pavimento después de ser sometida a cargas, mediante modelos matemáticos.

Actualmente se ha venido desarrollando una nueva metodología para el estudio y análisis de pavimentos la cual emplea programas de elementos finitos para la determinación de esfuerzos y deformaciones. Estos programas emplean ecuaciones constitutivas para el cálculo de esfuerzos y deformaciones las cuales suponen que el material es un continuo (no se tiene en cuenta el comportamiento individual de los componentes del material, sino su comportamiento global a nivel macro mecánico).

Para el caso de los pavimentos, algunas de las ventajas del empleo de programas de elementos finitos radican en que pueden llegar a tener en cuenta que los materiales granulares no tratados que conforman pavimentos exhiben un comportamiento no lineal, dependiente de la condición de esfuerzos, y comportamiento viscoso en las capas asfálticas y en la subrasante. Son capaces de modelar diferentes geometrías, condiciones de frontera, criterios de falla y carga cíclica.

En el mercado existen diversos programas de elementos finitos como el Abaqus, Plaxys y Ansys, pero algunos que se especializan en pavimentos son el SENOL (University of Nottingham), FENLAP (University of Nottingham), ILLI-PAVE (University of Illinois), GT-PAVE (Georgia Institute of Technology) y el NOEL (Université de Nantes), y códigos como el DIANA (Delft University of technology) y el CESAR (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Como se ha descrito, desde el año 1993 ha existido un avance considerable en el diseño de pavimentos, pero a nivel de Sudamérica se sigue manteniendo el método desarrollado por la AASHTO en este año. En el caso de Ecuador esto se debe a que las normativas vigentes para el diseño y construcción de infraestructura vial son las NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO (MOP, 2003) y las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES (MOP, 2002) publicado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOP) el cual el 15 de enero de 2007, mediante Decreto Ejecutivo 053, paso a ser el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Mismos que no han sido actualizados a la fecha por lo que legalmente los profesionales estamos obligados a seguir sus lineamientos, es decir utilizar la metodología de (AASHTO, 1993).

En cuanto a los avances en topografía, actualmente en nuestro medio se ha generalizado el uso de RTK (del inglés *Real Time Kinematic*) o navegación cinética satelital en tiempo real. El RTK es una técnica utilizada para mejorar la exactitud de un receptor GNSS autónomo. Los receptores GNSS tradicionales, como el de un smartphone, solo pueden determinar la posición con una exactitud de 2 a 4 metros. El RTK puede proporcionar una precisión centimétrica. Los receptores GNSS miden el tiempo que tarda una señal en viajar desde un satélite hasta el receptor. Las señales transmitidas viajan a través de la ionosfera y la atmósfera y se ven ralentizadas y distorsionadas en el camino. Por ejemplo, el tiempo de viaje podría diferir si hay un día nublado o si hay condiciones de cielo despejado. Por eso es difícil para un receptor autónomo determinar con exactitud su posición. El RTK es una tecnología que resuelve este problema (Quintanilla I., 2004).

En el RTK se utilizan dos receptores. Uno de ellos está inmóvil, el otro se mueve libremente. La misión de la base es permanecer en un lugar y enviar correcciones a un receptor en movimiento. El receptor en movimiento utiliza esos datos para obtener una posición de precisión centimétrica (Alvarez Lopez, 2021).

A grandes rasgos, existen dos tipos de receptores: mono banda (L1) y multibanda (L1/L2 o más). Sus diferencias provienen de la cantidad de datos que pueden recibir de los satélites.

El código de adquisición de datos en bruto GPS (C/A) transmitidos en señal L1 cambia fase a 1.023 megaciclos (MHz), pero el portador L1 por sí mismo es de 1575.42 MHz, más de mil veces más rápido. Esta frecuencia corresponde a una longitud de onda de 19 cm para la señal L1. De esta manera un error de  $\pm 1\%$  en la medición de fase del portador L1 corresponde a un error de  $\pm 1.9$  mm en la estimación base (Terán Limaico, 2022). Es por ello que en el presente trabajo de titulación se ha utilizado esta tecnología.

### 3. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

#### 3.1. *Introducción*

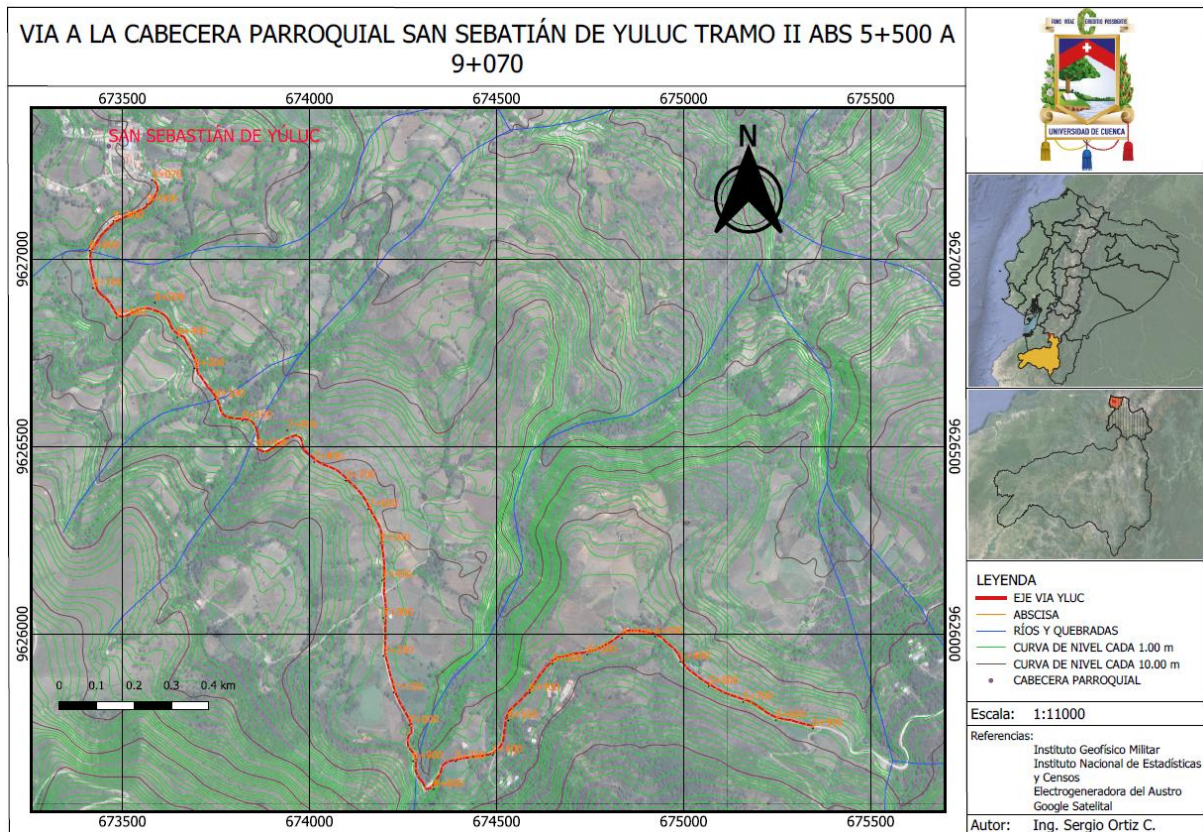
Para la planeación del estudio topográfico, se utilizó la información brindada por ELECAUSTRO en cuanto al trazado de la red vial del Complejo Eólico Minas de Huascachaca, así como de la ubicación y áreas de los Aerogeneradores. Misma que fue complementada con la información de libre acceso disponible en el Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM), como son curvas de nivel, ríos, lagos, centros poblados, etc. (Instituto Geografico Militar, 2020).

Con esta información se realizaron los recorridos de exploración en conjunto con el personal de ELECAUSTRO y del Gobierno Provincial de Loja. Durante el recorrido se solicitó a los técnicos de las instituciones mencionadas la red IGM del proyecto, sin embargo, los mismos supieron manifestar que no se dispone de dicha información por lo que, se solicitó partir con un punto base obtenido mediante el método Estático-Rápido (Fast-Static). El levantamiento Estático-Rápido se basa en el método estático que es la forma de trabajar en campo, disminuyendo el tiempo de observación por sesión a solo unos minutos, obteniendo precisiones idénticas al levantamiento estático. Esto es posible utilizando receptores de doble frecuencia y con capacidad de utilizar el código P.

Luego del análisis de varias alternativas de trazado presentadas a los diversos administradores del convenio interinstitucional, finalmente se optó por una variante de la vía actual existente de tal manera que el mismo empiece desde el eje vial 3 del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca hasta la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc con una longitud total de 9.070 km. Por lo que el tramo de estudio del presente trabajo de titulación abarca desde la abscisa (ABS) 5+500.00 hasta la 9+070.52 con una longitud de 3,570.52 m. Todo el proyecto se encuentra geolocalizado en base al elipsoide WGS-84, proyección UTM, zona 17 sur, datum vertical a nivel medio del mar.

A continuación, se presenta el tramo de vía correspondiente al presente trabajo de titulación.

Mapa 1 Tramo a ser diseñado Vía Acceso a San Sebastián de Yuluc 5+500 a 9+070.52



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

A continuación, se presentan las coordenadas de inicio y fin del proyecto.

Tabla 1 Coordenadas del proyecto

Descripción	Abscisa	Este	Norte	Cota
Inicio	5+500.00	675341.88	9625756.15	1543.50
Fin	9+070.52	673585.58	9627210.58	1495.50

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

### 3.2. Metodología

Como resultado de los recorridos realizados y las reuniones mantenidas se optó por la siguiente metodología:

- Levantar un punto base por el método Estático-Rápido (hito con placa de bronce)
- Levantar vértices secundarios por el método RTK (2 hitos con placa de bronce y 13 hitos con cilindro de hormigón)



- Levantar la nube de puntos del proyecto con estación total

Para lo cual se empleó el siguiente equipo:

- 1 GPS Navegador
- 1 GPS CHCNAV i90Pro de alta precisión y doble frecuencia (L<sub>1</sub>/L<sub>2</sub>)
- Placas de Bronce
- 1 Estación Total Trimble S3 2"
- Herramienta menor (Pintura, clavos, combos, machetes, etc)
- Equipos de protección y primeros auxilios
- 1 Vehículo tipo camioneta doble cabina 4x4
- 1 Cámara fotográfica digital
- 2 computadoras portátiles

Para la Geo referenciación del proyecto se utilizó un GPS Diferencial Marca CHCNAV i90Pro, posicionando las coordenadas de la placa base mediante el método Estático-Rápido con un tiempo de obtención de coordenadas de 40 min en el cual se colocó una placa de bronce sobre un monolito trapezoidal de hormigón con la siguiente leyenda:



*Ilustración 1 Gravado en Placa de Bronce  
Fuente: Ing. Sergio Ortiz*



*Ilustración 2 Posicionamiento Punto Base  
Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

A partir del punto base se ubicaron los vértices secundarios del proyecto con el método RTK de tal manera que tengan una visual adecuada al eje de la vía, sean de difícil acceso para su protección y no superen un distanciamiento entre ellos superior a los 500.00 m. Obteniendo de esta forma las coordenadas de los 15 hitos en Retícula UTM y Datúm WGS 84, de los cuales en 2 se colocaron placas de bronce sobre una pirámide truncada de hormigón y en los 13 restantes se construyó cilindros de hormigón con varilla de acero embebida. El tiempo de lectura promedio en cada punto fue de 3 minutos hasta que el equipo obtenga un parámetro PDOP con valores de 1.0 a 2.0.



*Ilustración 3 Posicionamiento vértices secundarios por RTK  
Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

Teniendo en consideración los valores de clasificación del PDOP establecidos por el Instituto Geográfico Militar (ver Tabla 2) los resultados obtenidos se clasifican como excelente.

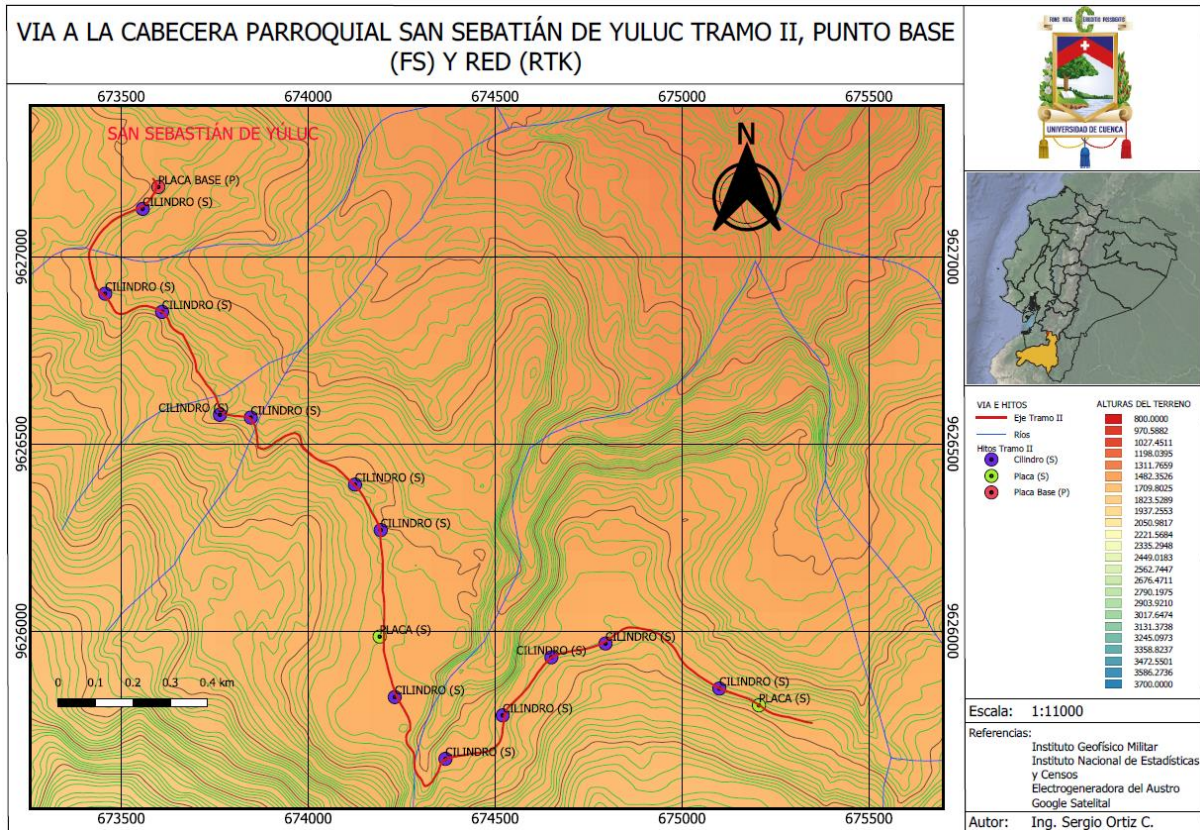
Tabla 2 Clasificación de valores PDOP

Valor DOP	Clasificación	Descripción
1	Ideal	Este es el más alto nivel de confianza puede ser usado para aplicaciones que exigen la máxima precisión posible en todo momento.
1-2	Excelente	En este nivel de confianza, las mediciones de posición se consideran lo suficientemente precisas para cumplir con todos, pero las aplicaciones son más sensibles.
2-5	Bueno	Representa un nivel que marca el mínimo adecuado para la toma de decisiones empresariales. Mediciones posicional pueden ser usadas para hacerla confiable en ruta sugerencias de navegación para el usuario.
5-10	Moderado	Mediciones posicional puede ser usado para los cálculos, pero la calidad para fijar aún puede mejorarse. Una visión más abierta del cielo se recomienda.
10-20	Feria	Representa un nivel de confianza bajo, mediciones posicionales deben ser desechados o ser utilizados para indicar una estimación muy aproximada de la ubicación actual.
>20	Pobre	En este nivel, las mediciones no son exactos hasta en 300 metros con un dispositivo de 6 metros exactos (50 DOPx6 metros) y debe ser desechado.

*Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2020)*

Como puede observarse en [Mapa 2](#) , la marca en color rojo representa el punto base geolocalizado por el método Estático-Rápido (placas de bronce), mientras que las marcas en color verde y púrpura representan los puntos de control obtenidos por el método RTK implantados con placa de bronce y cilindro de hormigón respectivamente. Para el tramo de estudio se tienen un total de 15 hitos de control, 13 con cilindro de hormigón y 2 con placa de bronce. Las coordenadas de todos los hitos levantados a lo largo de la vía se presentan en detalle en la [Tabla 3](#).

Mapa 2 Punto Base y red RTK



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

Tabla 3 Hitos de referencia, Sistema de Proyección UTM-WGS84, zona 17 sur

Punto	Norte	Este	Cota	Descripción	Tipo
001	9627186.39	673599.28	1512.00	VYUL06	PLACA BASE (P)
002	9627128.13	673557.57	1503.00	V22	CILINDRO (S)
003	9626901.38	673457.02	1505.00	V23	CILINDRO (S)
004	9626852.81	673609.32	1506.00	V24	CILINDRO (S)
005	9626577.80	673764.00	1500.00	V25	CILINDRO (S)
006	9626570.48	673846.69	1509.00	V26	CILINDRO (S)
007	9626391.34	674125.38	1530.00	V27	CILINDRO (S)
008	9626269.72	674194.22	1518.00	V28	CILINDRO (S)
009	9625985.18	674191.27	1526.00	VYUL05	PLACA (S)
010	9625823.54	674231.67	1520.00	V29	CILINDRO (S)
011	9625658.61	674367.38	1528.00	V30	CILINDRO (S)
012	9625774.76	674520.48	1542.00	V31	CILINDRO (S)
013	9625929.85	674650.72	1547.00	V32	CILINDRO (S)
014	9625966.67	674795.51	1547.00	V33	CILINDRO (S)
015	9625846.41	675100.10	1543.00	V34	CILINDRO (S)
016	9625801.60	675205.93	1542.00	VYUL04	PLACA (S)

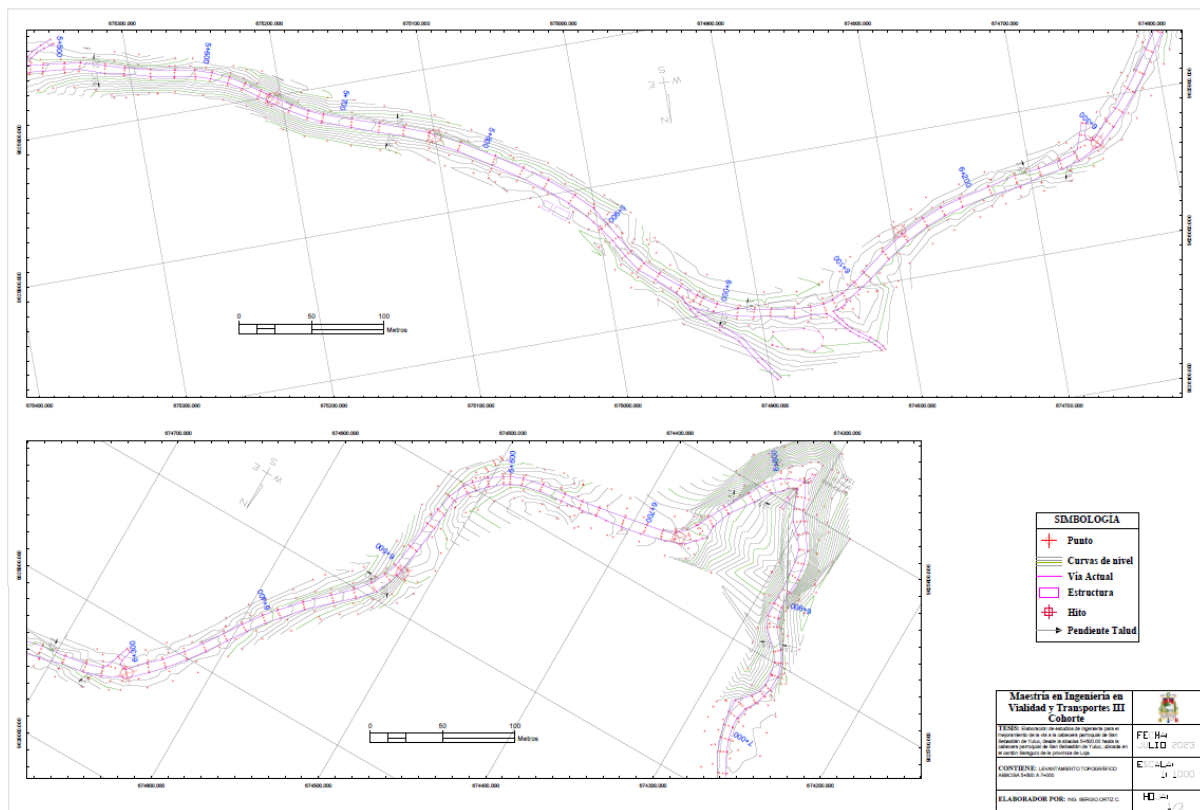
*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

Una vez establecida la red de hitos, con la ayuda de la estación total Trimble S3 de 2", se procedió a levantar la nube de puntos. Se levantaron perfiles transversales de la vía con una longitud de 30.00 m tomando como centro el eje actual de la vía, también se levantaron puntos de interés como construcciones existentes, estructuras visibles, postes, alcantarillas, canales, reservorios y cualquier elemento que pueda afectar al diseño de la vía. En las quebradas dependiendo de sus características se ha incrementado en una franja el levantamiento hasta 100.00 m, 50.00 m aguas arriba y 50.00 m aguas abajo. En total se obtuvo una nube de 3280 puntos en una superficie de 18.44 ha, es decir 178 puntos/ha.

## 1.1. Procesamiento de Información

Con la finalidad de obtener un modelo digital del terreno adecuado, los puntos obtenidos con el método Estático Rápido, RTK y la Estación Total se procesaron en el software AutoCAD Civil 3D 2019, teniendo la precaución de revisar manualmente la triangulación, generando líneas de quiebre y verificando que los resultados representen de manera adecuada a la realidad del terreno con recorridos adicionales. Una vez obtenida la triangulación, se generaron las curvas de nivel cada metro. A continuación, se presentan los resultados del levantamiento topográfico. El juego completo de Planos en A1 se adjuntan en el Anexo 1

Plano 1 Levantamiento Topográfico



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

Con las curvas de nivel a través del utilitario de Civil CAD 3D, para medición de pendientes en taludes, se calculó las mismas cada 250.00 m aproximadamente a cada lado de la vía. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

*Tabla 4 Pendientes de Taludes*

Abscisa	Lado	Pendiente Talud	Pendiente Talud (%)
5+523.65	I	1.50	66.67%
5+526.17	D	1.80	55.56%
5+740.64	I	1.60	62.50%
5+735.27	D	1.90	52.63%
6+018.34	I	3.40	29.41%
6+001.69	D	1.80	55.56%
6+240.25	I	2.60	38.46%
6+269.13	D	3.10	32.26%
6+482.53	I	1.80	55.56%
6+481.13	D	2.00	50.00%
6+767.46	I	1.40	71.43%
6+782.52	D	2.60	38.46%
6+929.96	I	1.60	62.50%
6+928.69	D	1.40	71.43%
7+229.10	I	8.50	11.76%
7+257.95	D	5.60	17.86%
7+534.26	I	2.00	50.00%
7+546.69	D	1.80	55.56%
7+771.78	I	4.30	23.26%
7+764.31	D	3.00	33.33%
8+021.94	I	1.50	66.67%
8+011.95	D	1.70	58.82%
8+260.88	I	5.40	18.52%



8+245.85	D	1.40	71.43%
8+497.43	I	1.30	76.92%
8+495.23	D	2.40	41.67%
8+750.56	I	3.50	28.57%
8+756.32	D	10.10	9.90%
8+991.10	I	1.80	55.56%
9+000.60	D	4.90	20.41%
<b>Pendiente Promedio (%):</b>			<b>46.09%</b>

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

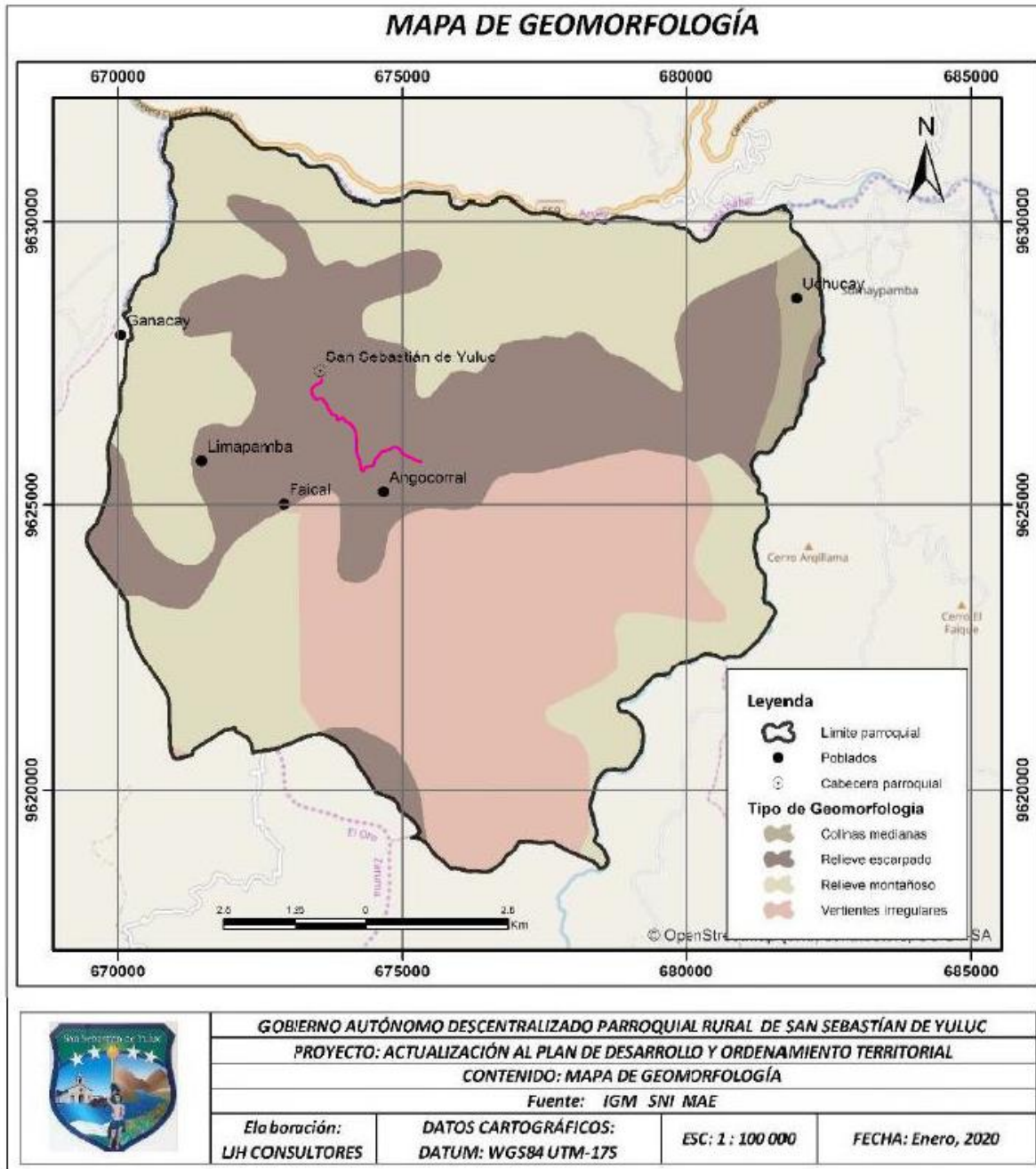
Por lo que se concluye que el terreno tiene una pendiente promedio del 46.09%. Siendo esta una pendiente muy pronunciada y determinando así la clasificación del terreno como Montañoso y Escarpado según la Normativa (MOP, 2003) presentada en la Tabla 5. Lo cual dentro del diseño geométrico nos indica que la gradiente longitudinal será entre 6% y 8% o que pudiera llegar a tener más del 8% como gradiente longitudinal. Estos resultados son ratificados de acuerdo al Mapa Geomorfológico proporcionado por el GADP de San Sebastián de Yúluc (ver Mapa 3).

*Tabla 5 Categorías de Terreno según su Pendiente (MOP, 2003)*

<b>Categoría</b>	<b>Pendiente Transversal</b>	<b>Movimiento de Tierra</b>	<b>Gradiente Longitudinal</b>
Terreno Plano	PT≤5%	Mínimo movimiento de tierras	Menor al 3%
Terreno Ondulado	5%≤PT≤12%	Moderado movimiento de tierras	Del 3% al 6%
Terreno Montañoso	12%≤PT≤40%	Grandes movimientos de tierras	Del 6% al 8% son comunes
Terreno Escarpado	PT≥40%	Máximo movimiento de tierras	Mayor al 8%

*Fuente: (MOP, 2003)*

Mapa 3 Geomorfología San Sebastián de Yuluc (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)



Fuente: (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)

En tal sentido, y recogiendo las recomendaciones de los técnicos del Gobierno Provincial de Loja (GPL), se ha optado para el diseño horizontal mantener al máximo posible el trazado horizontal, en curvas cerradas emplear espirales y en caso de variantes utilizar cortes y no rellenos.

## 4. DISEÑO DE PAVIMENTOS

### 4.1. Estudio de Tráfico

A través del estudio de campo se busca recabar la mayor cantidad de información que permita determinar de manera adecuada la demanda de tráfico actual y futura de la vía, las variaciones del tráfico a lo largo del día y de la semana, así como la composición vehicular del mismo. Obteniéndose como principal resultado el TPDA para el periodo de diseño.

Luego de varias reuniones e inspecciones de campo con los miembros administradores del convenio se acordó establecer una única estación de conteo vehicular que servirá para la totalidad de la vía, esto es, para el tramo 1 y 2. La estación se ubica en la ABS 4+720.00 correspondiente a la entrada de la urbanización “Los Precaristas”.

La información fue levantada mediante una cámara de video-vigilancia ubicada de tal forma que permita una vista panorámica de la vía en los dos sentidos. A través de esta metodología se obtuvo información consecutiva las 24 horas del día durante 7 días. El conteo se realizó del 12 al 18 de julio de 2021. Los videos fueron procesados en escritorio a través de hojas de encuesta. Obteniendo datos manualmente cortando en forma estratégica en subperíodos de una hora. Las fichas preimpresas para la captura de datos no solamente que tenían columnas para identificar la clase de vehículos, sino que posee una gráfica del vehículo representativo de esa clase (MOP, 2003), cuya descripción es:

- Liviano. -Todo vehículo con dos ejes y el eje posterior de llanta simple.
  - Particulares
  - Taxis
- Buses. -Todo vehículo destinado al transporte de pasajeros
- Camiones. -Todo vehículo destinado al transporte de carga y pueden ser de:
  - 2 ejes y el eje posterior de llanta doble
  - 3 ejes (mulas)

En el Anexo 2, se adjunta las encuestas de tráfico, y en la [Tabla 6](#), se presenta el resumen semanal de los conteos realizados durante las 24 horas en los dos sentidos.

Tabla 6 Resumen semanal, conteo 24 horas

DÍAS DE LA SEMANA	LIVIANOS		CAMIONES					BUSES	TOTAL VEHICULOS
	AUTOS	TAXIS	2 EJES	3 EJES	2S2	3S2	3S3	2 EJES	
LUNES	46	18	8	0	0	0	0	0	72
MARTES	62	6	13	4	0	0	0	0	85
MIÉRCOLES	55	9	9	1	0	0	0	0	74
JUEVES	68	7	17	0	2	0	0	0	94
VIERNES	61	10	26	0	0	0	0	0	97
SÁBADO	61	19	9	0	0	0	0	0	89
DOMINGO	70	18	7	0	0	0	0	0	95
<b>SUBTOTAL</b>	<b>423</b>	<b>87</b>	<b>89</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>606</b>
<b>TOTAL</b>	<b>510</b>		<b>96</b>					<b>0</b>	<b>606</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>84.16%</b>		<b>15.84%</b>					<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>
<b>TPO</b>	<b>73</b>		<b>14</b>					<b>0</b>	<b>87</b>

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

Como puede observarse en la [Tabla 6](#), no existe una frecuencia de buses que preste su servicio a la comunidad de San Sebastián de Yúluc y la gestión de la misma se encuentra entre los objetivos de su PDOT, (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020). La variación entre los días de la semana es mínima con un incremento muy pequeño (9.74% respecto a la media diaria) para el fin de semana, pero con un pico para el día domingo teniendo en consideración que es el día de feria y de mayor movimiento.

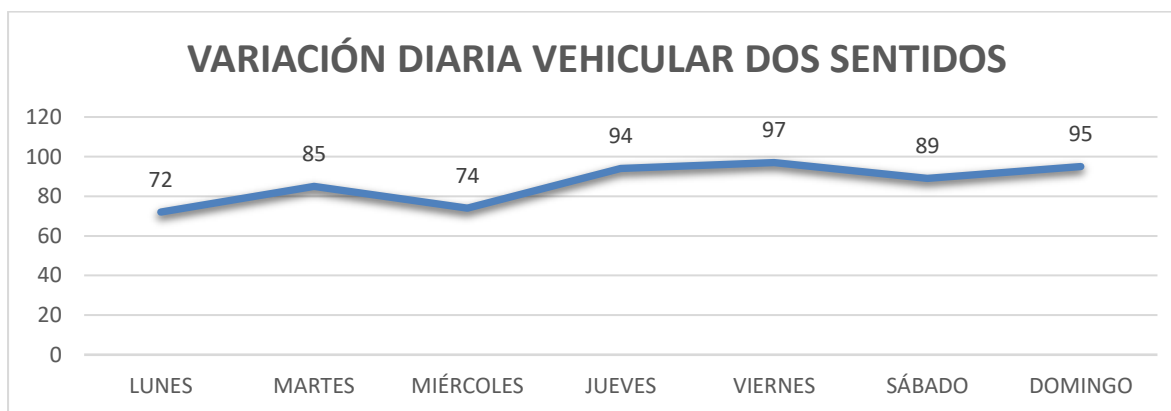
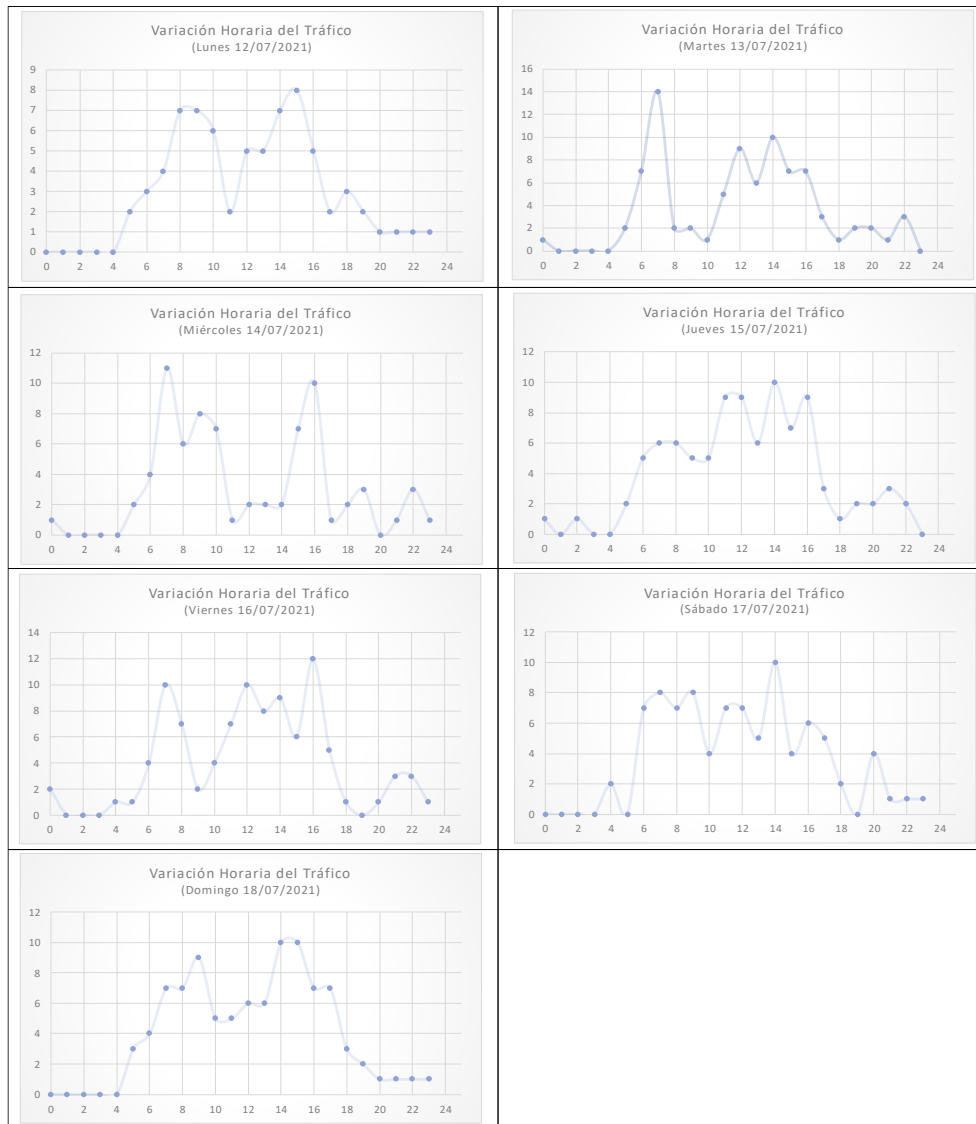


Ilustración 4 Variación diaria vehicular conteo 24 horas en los dos sentidos

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

A continuación, se presentan las variaciones horarias del tráfico para cada día de conteo:



*Ilustración 5 Variaciones horarias de tráfico para cada día de conteo  
Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

En la vía se puede observar picos alrededor de la 07:00, y a las 16:00 lo cual corresponde a las horas de inicio y fin de jornada laboral. Durante el fin de semana se mantiene un flujo relativamente continuo entre las 6:00 y 16:00. Para la determinación del TPDA, se consideran los tránsitos promedios de los períodos de conteo TPO (Tránsito Promedio Observado), el mismo que es amplificado mediante factores de variación estacional:

$$TPDA = TPO \times F_s \times F_m$$

En donde:

*TPO* =Tránsito promedio Observado

$F_s$  = Factor Semanal

$F_m$  =Factor Mensual

Para la determinación del TPO, se parte de la ENCUESTA VOLUMETRICA DEL TRÁFICO, estas encuestas se planificaron no solamente para determinar los volúmenes de tráfico, sino para conocer su composición y las variaciones horarias y diarias que tienen durante los días de la semana de encuesta. Se determinó el TPO como el promedio de los siete días de conteo por cada estación de aforo.

Para el cálculo del Factor Semanal  $F_s$  del año 2021, se considera el número de semanas que contiene cada mes, de manera que para el mes de febrero es 1, y para el resto de meses depende si es de 30 o 31 días cada uno (ver *Tabla 7*). Como el conteo se realizó en el mes de julio, el factor semanal será  $F_s=1.069$

*Tabla 7 Factor Semanal año 2021*

Meses	Días	Semanas	$F_s$
Enero	31	4.429	1.069
Febrero	29	4.143	1.000
Marzo	31	4.429	1.069
Abril	30	4.286	1.034
Mayo	31	4.429	1.069
Junio	30	4.286	1.034
Julio	<b>31</b>	<b>4.429</b>	<b>1.069</b>
Agosto	31	4.429	1.069
Septiembre	30	4.286	1.034
Octubre	31	4.429	1.069
Noviembre	30	4.286	1.034
Diciembre	31	4.429	1.069
	<b>FS</b>		<b>1.069</b>

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

Para el cálculo del Factor mensual  $Fm$ , se utilizará el consumo de combustibles del año más próximo al año que contiene el mes de conteo previo al inicio de la pandemia, para este caso los datos del consumo de combustibles del 2019, proporcionada por Petrocomercial.

$$Fm = \frac{CPM}{Cc} \quad CPM = \frac{CCA}{12}$$

Donde:  $Fm$ : Factor mensual  
 $CPM$ : Consumo de combustible promedio mensual  
 $Cc$ : Consumo de combustible en el mes del conteo  
 $CCA$ : Consumo de combustible total durante el año

*Tabla 8 Consumo de combustibles Petrocomercial sector automotriz 2019*

Meses	Diesel 2	Diesel Premium	Súper	Extra	Ecopais	Total
Enero	54081	1827421	225156	1050995	1167285	4324938
Febrero	53740	1674170	221169	990126	1072134	4011339
Marzo	56629	1773927	254614	1105979	1171525	4362674
Abril	55676	1807167	248107	1074169	1159266	4344385
Mayo	54448	1906812	248057	1109729	1226096	4545142
Junio	54938	1828269	215085	1053701	1165245	4317238
Julio	<b>57833</b>	<b>1992918</b>	<b>215232</b>	<b>1114724</b>	<b>1247014</b>	<b>4627721</b>
Agosto	55738	2023077	236217	1130949	1285283	4731264
Septiembre	56093	1920412	198499	1058770	1188604	4422378
Octubre	44836	1752819	193837	967581	1142663	4101736
Noviembre	57926	1950317	215275	1075563	1200297	4499378
Diciembre	61002	2009442	236738	1167443	1322673	4797298
TOTAL	662940	22466751	2707986	12899729	14348085	53085491

Consumo Promedio Mensual 2019 ( $CPM_{2019}$ ): **4423790.92**

Consumo Mes de Julio ( $C_{C2019}$ ): **4627721.00**

FM: **0.956**

*Fuente: (Petrocomercial, 2019)*

Para la estimación de las tasas de crecimiento de los vehículos, se utilizaron las tasas de crecimiento proporcionadas por la Coordinación de Factibilidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, para la Provincia de Loja y tomando las recomendaciones del capítulo 3 literal f) de la Norma de Diseño de Carreteras (2003), cabe señalar que se ha considerado como año de inicio del proyecto el 2023.

*Tabla 9 Tasas de crecimiento*  
TASAS DE CREMIENTO MTOP LOJA

PERIODO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2010-2015	4,47	2,22	2,18
2016-2020	3,97	1,97	1,94
2021-2025	3,57	1,78	1,74
2026-2043	3,25	1,62	1,58

*Fuente: (MOP, 2003)*

*Tabla 10 Proyección de la composición vehicular*  
TPDA

AÑO	LIVIANOS	CAMIONES			TOTAL
		2 EJES	3 EJES	2S2	
2021	75	14	2	2	93
2023	81	15	3	3	102
2023+10%	90	17	4	4	115
2043	<b>182</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>219</b>

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*



## **4.2. Cargas del Tráfico**

Para la determinación de las cargas del tránsito, específicamente el número de ejes equivalente 18 kips o ESALs, por sus siglas en inglés, se parte de la información generada en el estudio de tráfico del presente proyecto, del cual se obtiene lo siguiente:

- Un TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) para el año 2021 de 93 vehículos.
- Un TPDA 2023 para el año de construcción, considerando dos años después, de 102 vehículos.
- Un TPDA 2023 con tráfico atraído del 10% por las mejoras en la vía, de 115 vehículos.
- De los 115 vehículos diarios (TPDA) se tiene una distribución de 90 vehículos livianos, 17 camiones de dos ejes, 4 camiones de tres ejes, y 4 camiones cuatro ejes.

El periodo de análisis (PA) utilizado para el diseño de la estructura de pavimentos es de 20 años, que se encuentra dentro del rango de periodo de diseño para pavimentos flexibles (hasta 20 años). Con este periodo se proyectará el tráfico del año 2023 más tráfico atraído (115 vehículos) con la ecuación de la AASHTO, dentro de la obtención de los ESALs.

La clasificación de vehículos obtenida en el estudio de tráfico es general, sin embargo, se deben considerar los vehículos tipo establecidos por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) para determinar las cargas de tránsito. La nomenclatura de los vehículos según el MTOP se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 11: Pesos y dimensiones de vehículos de carga motorizados

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2D			7.00	5.50	2.60	3.00
2DA			10.00	7.50	2.60	3.50
2DB			18.00	12.20	2.60	4.10
3-A			27.00	12.20	2.60	4.10
4-C			31.00	12.20	2.60	4.10

Fuente: (MOP, 2003)

Con la nomenclatura presentada se considera; a los camiones de dos ejes, 50% al tipo 2DA (camión pequeño) y 50% al camión mediano (2DB); a los camiones de tres ejes como tipo 3A; y a los camiones de cuatro ejes como tipo 4C. En función de los pesos y características de estos vehículos tipo se calculará el factor de equivalencia de carga.

Se estiman las cargas del tránsito en el pavimento a través del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (N) que circularan por el carril de diseño, durante el periodo de diseño El cálculo del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (N) se realiza empleando la siguiente relación propuesta por la metodología (AASHTO, 1993):

$$N = TPD * 365 * \frac{FD}{100} * \frac{FL}{100} * FP * FCG$$

Donde:

$$FP = \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)}$$

TPD: Tráfico promedio diario por categoría de vehículo

FD: Factor de dirección

FL: Factor de distribución

FP: Factor de proyección (AASHTO, 1993)

r: Tasa de crecimiento vehicular general o por tipo de vehículo.

n: Período de diseño

FCG: Factor camión global

A continuación, se describen todos los parámetros que influyen en el cálculo del número de ejes equivalentes:

El pavimento es afectado por las cargas de los vehículos detallados en la *Tabla 11*, sin embargo, las cargas son diversas con distintas cargas y configuraciones de ejes (simple, tándem, trídem), por lo cual, es necesario homogenizar las cargas al vehículo de diseño de la AASHTO, que es un tipo de eje simple de 18 kips. El factor que se requiere para homogenizar las cargas se conoce como factor de equivalencia de carga, y la suma de los distintos factores de equivalencia en un determinado camión se le conoce como factor camión global. Para el cálculo de los factores de equivalencia se emplea la siguiente formulación (AASHTO, 1993):

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[ \frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right]^{4.79} \left[ \frac{10^{G/B_x}}{10^{G/B_{18}}} \right] (L_{2x})^{4.33}$$

$$G = \log \left( \frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$B_x = 1.00 + \left[ \frac{3.63(L_x + L_{2x})^{5.20}}{(D + 1)^{8.46} L_{2x}^{3.52}} \right]$$

Donde:

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \text{aplicación de carga, inverso al factor de equivalencia } Fe = \frac{W_{18}}{W_x}$$

$L_x$  = carga del eje evaluado (kips) (según la tabla de pesos del (MOP, 2003)).

$L_{18}$  = carga del eje estándar (18 kips=8.2 Ton).

$L_{2x}$  = código de configuración del eje, 1=eje simple, 2=eje tándem, 3=eje trídem, s= eje simple (1), x= tipo de eje siendo evaluado.

$L_{2s} = 1$ , por eje simple

G: factor en función del índice de servicio final.

$B_{18}$  = factor calculado para carga del eje estándar (18 kips=8.2 Ton)

$B_x$  = factor en función de la carga por eje y el espesor estimado de losa

$p_t$  = índice de servicio final.

$D$  = espesor estimado de losa.

Para el cálculo de factor de equivalencia se considera un número estructural SN de toda la capa de pavimento de 4 (adimensional) y un índice de servicio final de 2.2 (adimensional). A continuación, se presentan los cálculos de eje equivalente y factor camión global.

*Tabla 12: Cálculo del factor camión global y factor de equivalencia*

Tipo de eje a ser evaluado			simple	simple	simple	simple	simple	tándem	tándem	tridem
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Peso	w	tonelada	2.00	3.00	4.00	7.00	11.00	14.00	20.00	24.00
		kips	4.40	6.60	8.80	15.40	24.20	30.80	44.00	52.80
Aplicación de carga inverso al Factor de equivalencia	Wx/W18		311.13	61.51	18.73	1.87	0.31	1.36	0.33	0.66
Carga eje evaluado	Lx	kips	4.40	6.60	8.80	15.40	24.20	30.80	44.00	52.80
Código de configuración tipo de eje evaluado	L2x		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00
	G		-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13
	Bx		0.40	0.41	0.43	0.56	1.04	0.56	0.88	0.64
	B18		0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Factor de equivalencia de carga	<b>Fec</b>		<b>0.003</b>	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.54</b>	<b>3.27</b>	<b>0.74</b>	<b>3.06</b>	<b>1.52</b>

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

*Tabla 13: Cálculo del Factor Camión*  
**CÁLCULO DEL FACTOR CAMIÓN**

Tipo de Vehículo	Tipo de Eje	Factor de Equivalencia
2db	Eje simple 7 ton	0.54
	Eje simple 11 ton	3.27
	Factor Camión	3.80
2da	Eje simple 7 ton	0.02
	Eje simple 11 ton	0.54
	Factor Camión	0.55
3A	Eje simple 7 ton	0.54
	Eje tándem 20 ton	3.06
	Factor Camión	3.60
Liviano**	Eje simple 2 ton	0.003
	Eje simple 2 ton	0.003
	Factor Camión	0.006
4C	Eje simple 7 ton	0.54
	Eje trídem 24 ton	1.52
	Factor Camión	2.05

*Fuente: Sergio Ortiz*

\*\* Para los vehículos livianos se considera un factor camión de 0.01, redondeando el 0.006 obtenido.

El cálculo de las Tasas de Crecimiento por tipo de vehículo se basa en factores demográficos, productivos y además en base a las expectativas de inversión en la zona que se generarían por la construcción del proyecto. El MTOP recomienda las tasas presentadas en la [Tabla 9](#). Para el factor de distribución por dirección se debe asumir un valor de FD = 50%, dado que, la vía es de dos direcciones.

*Tabla 14: Factor de distribución por dirección FD*

Número de carriles en ambas direcciones	% de vehículos pesados en el carril de diseño
2	<b>50</b>
4	45
6 o más	40

*Fuente: (AASHTO, 1993)*

El factor de distribución por carril se asume 100%, dado que existe un carril por cada dirección.

*Tabla 15: Factor de distribución por carril FL*

Número de carriles en cada dirección	% de vehículos pesados en el carril de diseño
1	<b>100</b>
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

*Fuente: (AASHTO, 1993)*

Con todos los parámetros señalados se procede al cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton o 18 kips (N).

*Tabla 16: Cálculo de ejes simples equivalentes de 8.2 Ton o 18 kips*

**CÁLCULO DE N**

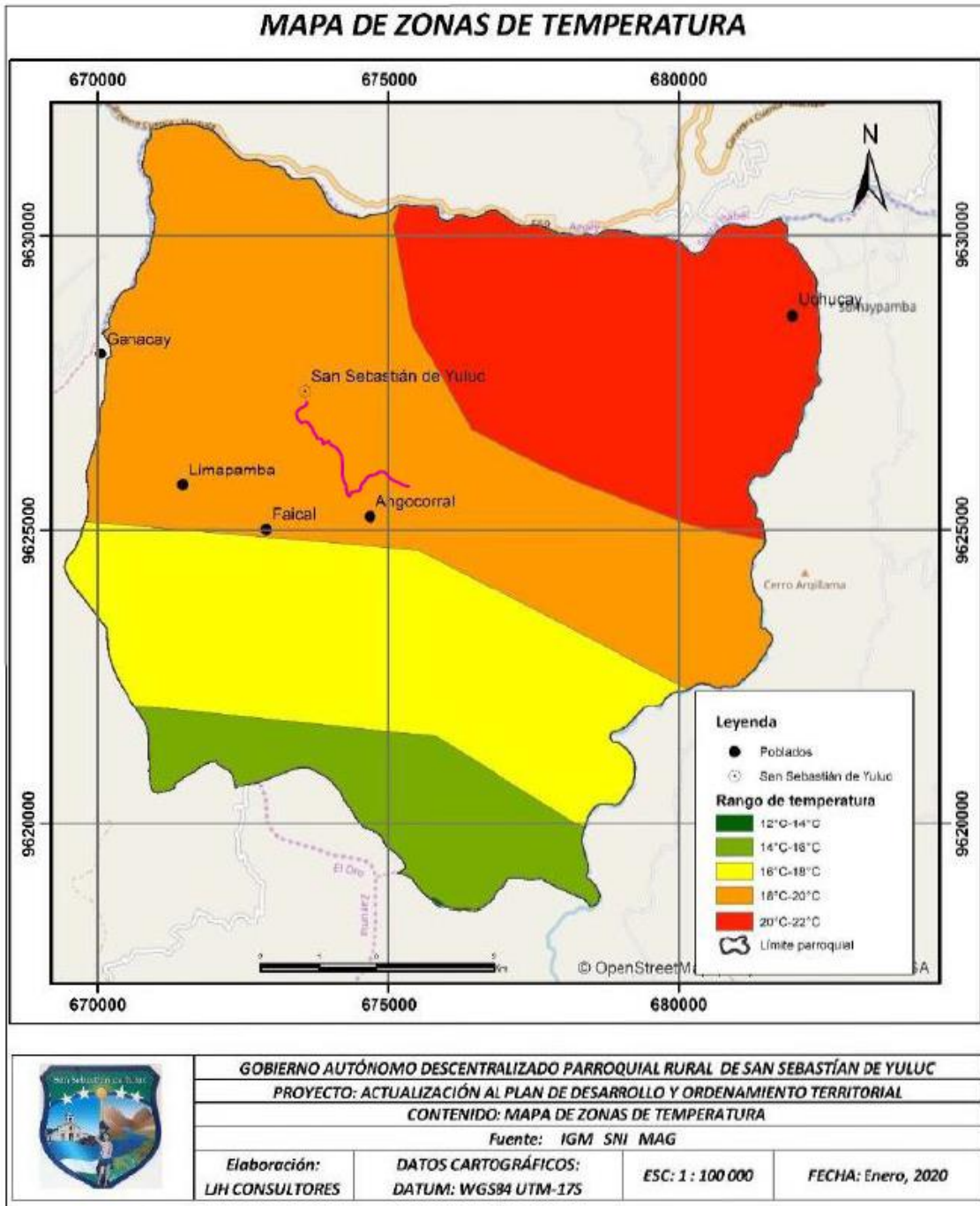
Tipo de vehículo	TPDA 2023+10% atraído	Número de días por año	FP	FCG	FD	FL	N
Liviano	90	365	27.33	0.01	50%	100%	2885
Camión 2DA	8	365	25.92	0.55	50%	100%	20859
Camión 2DB	9	365	25.92	3.8	50%	100%	161942
Camión 3A	4	365	25.92	3.6	50%	100%	68087
Camión 4C	4	365	25.92	2.05	50%	100%	38792
						<b>Total (ESALs)</b>	<b>292566</b>

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

### **4.3. Geología Local y Caracterización de la Subrasante**

La parroquia de San Sebastián de Yúluc posee un clima variado desde frío hasta el cálido tropical, por lo tanto, se hace factible el cultivo de diversos productos que alimentan a los mercados de Saraguro, El Oro y Azuay. La pluviosidad de la parroquia esta entre los valores de 50-600 mm la época de lluvia va desde noviembre a mayo, la época de fuertes vientos está entro los meses de junio a septiembre y heladas en los meses de diciembre a enero, la humedad relativa oscila de 80 a 88%. El rango altitudinal se ubica aproximadamente entre 920 - 3.200 msnm, los valores anuales de temperatura media fluctúa entre los 12°C (sur) 3.200 msnm, el más alto de parroquia 22°C (el norte), (GADP, San Sebastin de Yuluc, 2020).

Mapa 4 Zonas de Temperatura San Sebastián de Yuluc (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)

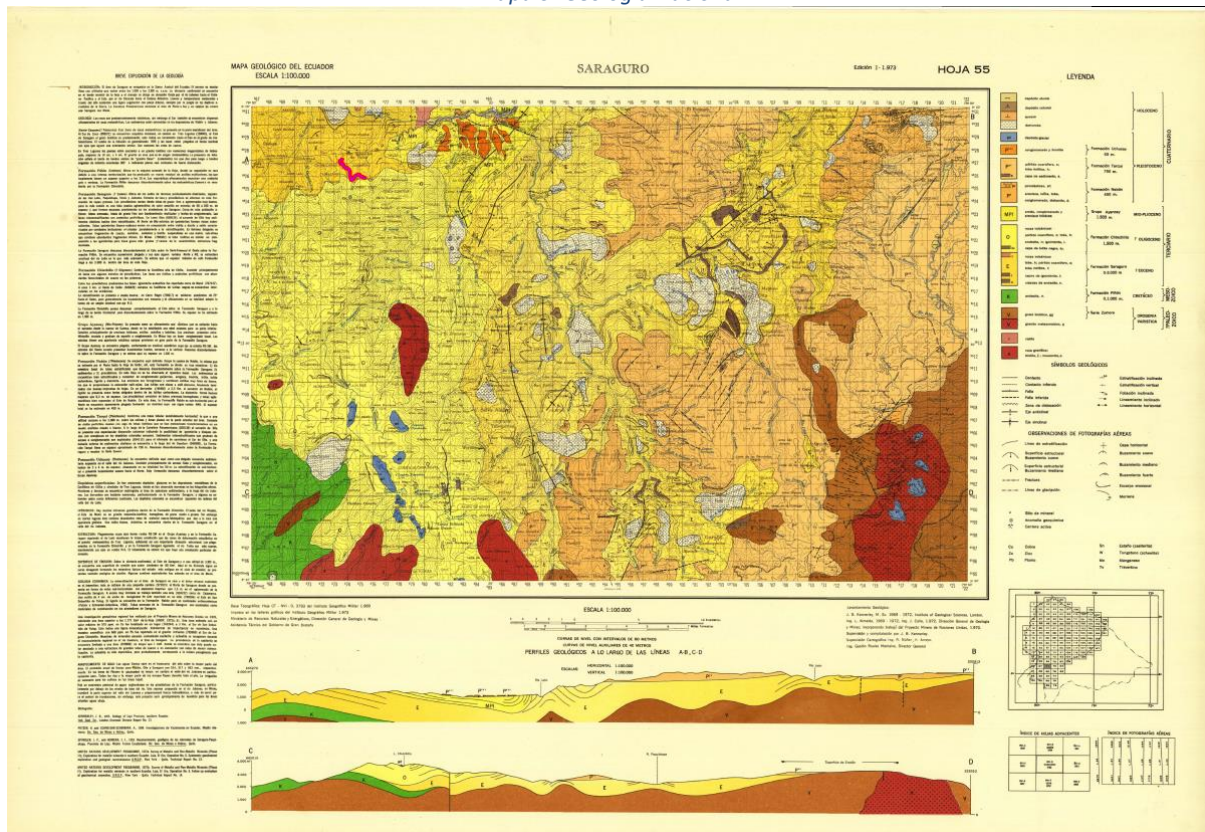


Fuente: (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)

Tanto de las observaciones de campo como de la investigación bibliográfica realizadas se desprende que la base de la secuencia lito-estratigráfica de los sitios estudiados corresponde a las formaciones Ayancay, Chinchillo y Saraguro como se observa en el Mapa 5 y en el Mapa 6.

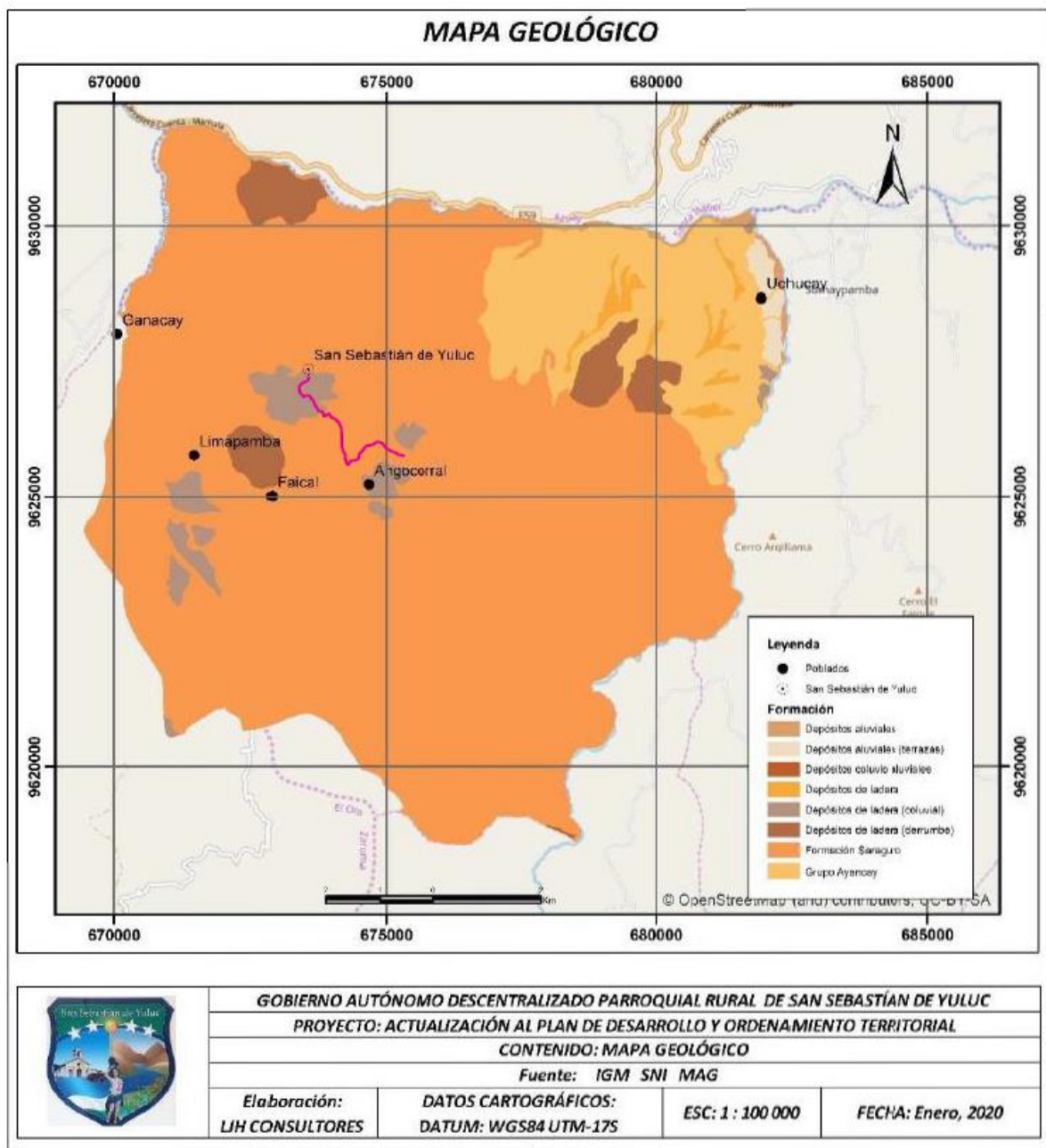


Mapa 5: Geología Nacional



Fuente: (Instituto Geografico Militar, 1973)

Mapa 6: Geología San Sebastián de Yuluc (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

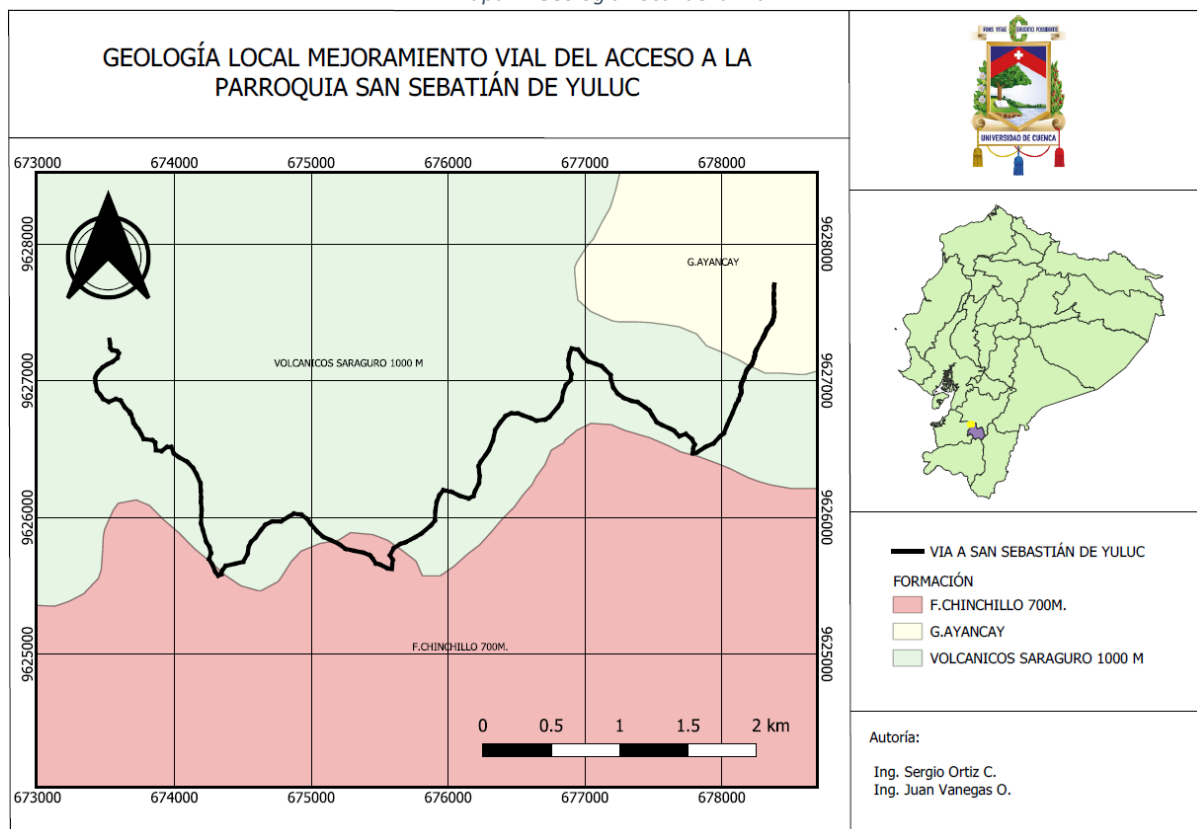
**Grupo Ayancay (MPI):** Consiste principalmente de areniscas tobáceas, arcillas castañas y lodolitas. Las areniscas presentan estratificación cruzada y gradúan de asperón a conglomerado. (Instituto Geografico Militar, 1973)

**Grupo Chinchillo (O):** Consiste principalmente de lavas con algunos estratos de piroclásticos. Las lavas son riolitas y andesitas porfíricas con abundantes fenocristales de

cuarzo en las primeras. Entre los piroclásticos predominan las tobas. (Instituto Geografico Militar, 1973)

**Grupo Saraguro (E):** Estratos de lava y piroclásticos se alternan en esta formación de capas gruesas. Los piroclásticos varían desde tobas de grano fino a aglomerados muy bastos, pero lo más común es una toba masiva aglomerática de color amarillo en estratos de 50 a 100 m, de espesor y que forman escarpas. Presenta afloramientos de tobas arenosas, tobas de grano fino con bandeamiento multicolor y lentes de conglomerado. Las lavas interestratificadas son andesitas porfiriticas. (Instituto Geografico Militar, 1973). A continuación, se presenta finalmente la geología local de la vía.

Mapa 7: Geología Local de la Vía



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

La geomorfología estudia la relación entre las formas de la superficie terrestre, los materiales naturales su disposición estructural y los procesos que las originaron. De esta manera, se constituye en una herramienta para evaluar y proyectar el comportamiento de los suelos, enfocado al análisis de las amenazas naturales. La geomorfología (ver Mapa 3) de la parroquia San Sebastián de Yúluc, está subdividida en cuatro categorías las colinas medianas

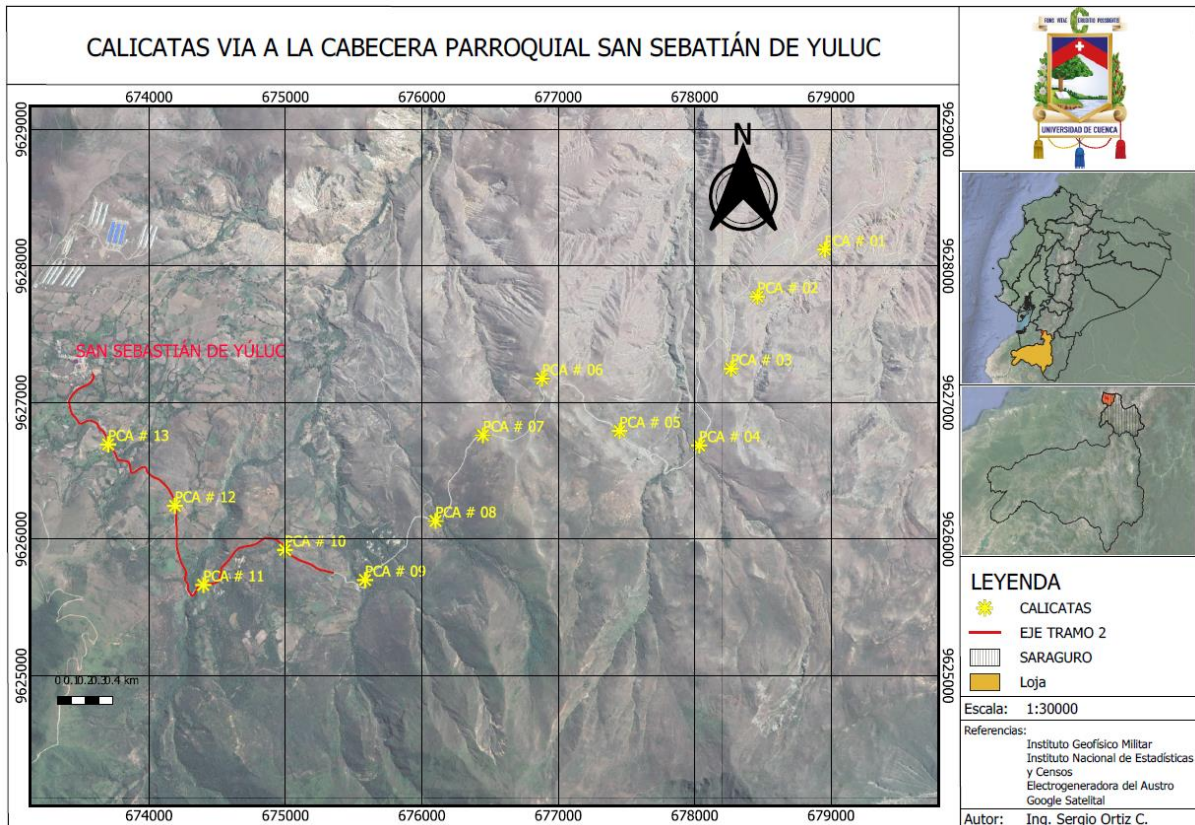
representan el 1,71% (198,23 Ha), el relieve escarpado representa un 31.05% (3.592,82 Ha), el relieve montañoso representa el 38,79% (4.487,14 Ha) y finalmente las vertientes irregulares representan el 28,43% (3.289,42 Ha). La Vía atraviesa terrenos considerados entre relieve montañoso 27.53 % (2.478 km) y relieve escarpado 72.47%, el trazado de la vía recorre entre los 1336.00 a 1583.00 msnm. (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)

La tectónica se refiere a las estructuras geológicas que afectan a las rocas. En la zona de estudio, durante los recorridos de campo no se observaron evidencias de los efectos de alguna falla de carácter regional. En la primera parte de la vía correspondiente al grupo Ayancay se pudo observar estratificaciones mientras que en la formación Saraguro que conforma la mayor parte de la vía se evidenció estratificación y buzamientos suaves abscisa 8+220 a 8+8+300. (GADP, San Sebastián de Yuluc, 2020)

#### **4.4. Caracterización de Subrasante**

El estudio presentado a continuación se realizó para la totalidad de la vía con la finalidad de obtener un solo diseño de la estructura del pavimento. Las exploraciones se realizan por medio de 13 calicatas, ubicadas a lo largo del eje de la vía existente, y a partir de las cuales se realizaron ensayos de campo para obtener el CBR del sitio, y se extrajeron muestras para ensayos de clasificación y CBR en laboratorio. A continuación, se presenta un esquema y tabla de la ubicación de las calicatas, además de una breve descripción de los materiales encontrados en las mismas, sin embargo, para mayor detalle remitirse al Anexo 3 de monografía de calicatas.

Mapa 8: Calicatas Vía San Sebastián de Yuluc



Fuente: Ing. Sergio Ortiz

Tabla 17: Coordenadas y abscisas de ubicación de las calicatas, sistema de proyección UTM GWS84, zona 17 sur

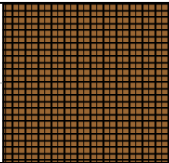


ID	Abscisa de referencia	Coordenadas		Cotas (m s.n.m.)
		Este (m)	Norte (m)	
PCA # 01	0+800	678955	9628120	1227
PCA # 02	1+600	678461	9627776	1322
PCA # 03	2+400	678267	9627248	1390
PCA # 04	3+200	678034	9626686	1451
PCA # 05	4+000	677450	9626792	1510
PCA # 06	4+800	676882	9627176	1561
PCA # 07	5+600	676449	9626761	1577
PCA # 08	6+200	676100	9626133	1560
PCA # 09	7+000	675584	9625701	1543
PCA # 10	7+800	674996	9625921	1541
PCA # 11	8+600	674398	9625665	1516
PCA # 12	9+400	674190	9626244	1514
PCA # 13	10+200	673700	9626694	1499

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

- **Calicata C#01**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Grava arcillosa de color café con pintas anaranjadas con una compacidad densa, y plasticidad baja en su fracción fina. Presenta un contenido alto de arenas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

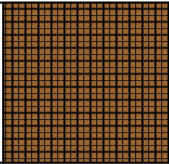


Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 1: Calicata C#01

- **Calicata C#02**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Grava arcillosa de color mostaza con pintas rojizas, tiene una compacidad media, y plasticidad alta en su fracción fina. Presenta un contenido medio de arenas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

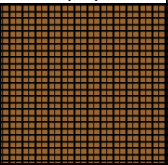



Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 2: Calicata C#02

- **Calicata C#03**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arena con limos de color café claro, tiene una compacidad media, y plasticidad alta en su fracción fina. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

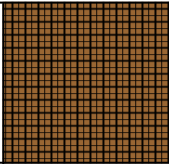


*Fotografía 3: Calicata C#03*



- **Calicata C#04**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arena con limos de color café claro, tiene una compacidad densa, y plasticidad baja en su fracción fina. Tiene un contenido medio de gravas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

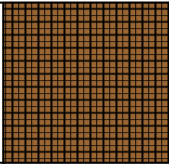



Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 4: Calicata C#04

- **Calicata C#05**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Gravas mal graduadas con limos de color café claro, tiene una compacidad media, y plasticidad alta en su fracción fina. Tiene un contenido medio a alto de arenas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

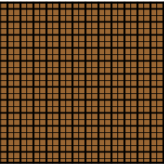


Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

*Fotografía 5: Calicata C#05*

- **Calicata C#06**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arena con limos de color café, tiene una compacidad suelta, y plasticidad baja en su fracción fina. Tiene un contenido medio a alto de gravas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

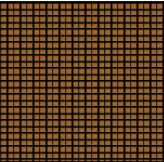


Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

*Fotografía 6: Calicata C#06*

- **Calicata C#07**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Gravas con limos de color café con tonalidad anaranjada, tiene una compacidad densa a dura, y plasticidad alta en su fracción fina. Tiene un contenido medio a alto de arenas. Corresponde a una roca degradada. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

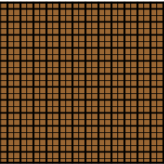


Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

*Fotografía 7: Calicata C#07*

- **Calicata C#08**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arena arcillosa de color café, tiene una compacidad densa, y plasticidad baja en su fracción fina. Tiene un contenido bajo de gravas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

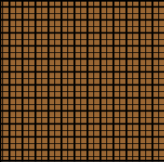


Profundidad (m)		Fosa de Exploración
0.00		
0.30		
1.50		

*Fotografía 8: Calicata C#08*

- **Calicata C#09**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arcilla de color café, tiene una consistencia media, y plasticidad alta. Tiene un contenido medio de arenas y bajo de gravas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

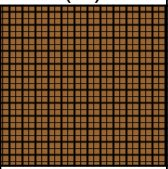


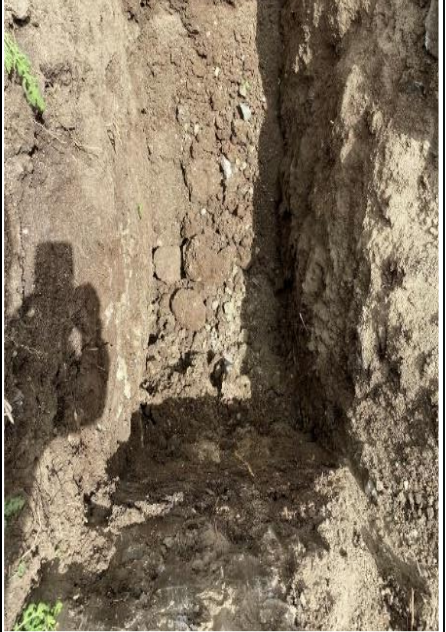
Profundidad (m)		Fosa de Exploración
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 9: Calicata C#09

- **Calicata C#10**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arcilla de color café, tiene una consistencia baja, y plasticidad alta. Tiene un contenido medio de arenas y bajo de gravas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

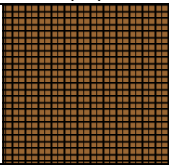



Profundidad (m)		Fosa de Exploración
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 10: Calicata C#10

- **Calicata C#11**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Arcilla de color negro, tiene una consistencia dura, y plasticidad alta. Tiene un contenido medio de arenas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 11: Calicata C#11

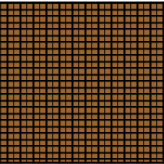





- **Calicata C#12**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Suelo fino de color negro. Se observa desde los 0.30 a los 1.10 m.

**Material 3:** Arena con arcilla de color café, tiene una consistencia dura, y plasticidad media en su fracción fina. Se observa desde los 1.10 a los 1.50 m.

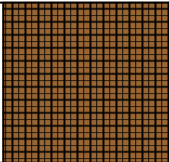


Profundidad (m)		Fosa de Exploración
0.00		
0.30		
1.10		
1.50		

Fotografía 12: Calicata C#12

- **Calicata C#13**

**Material 1:** Capa de rodadura existente, caracterizada como material granular (lastre). En promedio tiene un espesor de 30 cm.

**Material 2:** Grava arcillosa de color café, tiene una compacidad densa, y plasticidad alta en su fracción fina. Presenta un contenido medio de arenas. Se observa desde los 0.30 a los 1.50 m.

Profundidad (m)	Fosa de Exploración	
0.00		
0.30		
1.50		

Fotografía 13: Calicata C#13

El ensayo de cono dinámico de penetración, DCP por sus siglas en inglés, es regido por la normativa ASTM D 6951, y los resultados pueden ser correlacionados con valores de CBR de campo a partir de la siguiente expresión propuesta por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EEUU:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$$

En la fórmula presentada el término DCP, se refiere al número de golpes del ensayo para una profundidad de penetración dada. El ensayo fue realizado en las calicatas donde no se extrajeron muestras para ensayos de CBR de laboratorio.

*Tabla 18: Resumen de resultados de CBR de campo*

RESUMEN DE ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS		CBR	
DATOS DE EXPLORACIÓN		Campo	
ID	MUESTRA	DCP (mm/golpe)	CBR %
C # 02	C # 02 -M1	27.00	7.28
C # 03	C # 03 -M1	23.33	8.58
C # 05	C # 05 -M1	36.67	5.17
C # 08	C # 08 -M1	9.09	24.65
C # 09	C # 09 -M1	33.33	5.17
C # 11	C # 11 -M1	11.11	19.68
C # 12	C # 12 -M1	22.00	9.16

*Fuente: Ing. Sergio Ortiz*

En la tabla anterior se presenta el resumen o resultados del CBR de campo, para mayor detalle de los valores obtenidos en cada ensayo, revisar el Anexo 3.

En el laboratorio particular GEOLAB se realizó ensayos de Clasificación de Suelos (ASTM D 2487), Proctor Modificado (ASTM D 1557 AASHTO T-180) y CBR (ASTM D 1883) a las muestras obtenidas en la exploración geotécnica. Los ensayos de CBR y Proctor Modificado se realizaron a las calicatas C#1, C#4, C#10, y C#13, y los ensayos para la clasificación de suelos, en todas las calicatas. A continuación, se presentan una tabla de resumen de los resultados, sin embargo, los reportes de laboratorio, se presentan en el Anexo 3 de ensayos de laboratorio.

Tabla 19: Resumen de ensayos de laboratorio

RESUMEN DE ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS											
DATOS DE EXPLORACIÓN			GRADACIÓN			LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN	
ID	MUESTRA	PROF.	Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP	Humedad	SUCS	AASHTO
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
C # 01	C # 01 -M1	0.30-1.50	40%	39%	21%	38.8%	22.3%	16.5%	9.8%	GC	A-2-6
C # 02	C # 02 -M1	0.30-1.50	60%	24%	15%	65.4%	29.1%	36.3%	12.7%	GC	A-2-7
C # 03	C # 03 -M1	0.30-1.50	60%	24%	15%	N.P.	N.P.	N.P.	20.1%	SM	A-2-4
C # 04	C # 04 -M1	0.30-1.50	27%	49%	25%	39.5%	22.3%	17.2%	6.1%	SM	A-2-6
C # 05	C # 05 -M1	0.30-1.50	59%	34%	7%	50.8%	30.5%	20.3%	9.9%	GP-GM	A-2-7
C # 06	C # 06 -M1	0.30-1.50	37%	46%	17%	N.P.	N.P.	N.P.	15.5%	SM	A-1-b
C # 07	C # 07-M1	0.30-1.50	52%	35%	13%	65.3%	34.8%	30.5%	20.5%	GM	A-2-7
C # 08	C # 08 -M1	0.30-1.50	10%	55%	35%	38.3%	23.3%	15.0%	10.4%	SC	A-2-6
C # 09	C # 09 -M1	0.30-1.50	2%	35%	63%	57.0%	29.6%	27.4%	22.6%	CH	A-7-6
C # 10	C # 10 -M1	0.30-1.50	5%	36%	59%	60.4%	29.9%	30.5%	18.3%	CH	A-7-6
C # 11	C # 11 -M1	0.30-1.50	0%	38%	62%	60.0%	28.5%	31.5%	24.2%	CH	A-7-6
C # 12	C # 12 -M1	0.10-1.50	1%	67%	32%	40.2%	23.3%	16.9%	10.1%	SC	A-2-7
C # 13	C # 13 -M1	0.30-1.51	59%	34%	8%	57.8%	31.0%	26.8%	13.9%	GP-GM	A-2-7

DATOS DE EXPLORACIÓN					CLASIFICACIÓN		Proctor Modificado		CBR
ID	MUESTRA	PROF.	SUCS	AASHTO	Humedad Optima	Densidad Seca Máxima	Laboratorio		
		(m)						(%)	kg/m <sup>3</sup>
C # 01	C # 01 -M1	0.30-1.50	GC	A-2-6	10.9	1964	7.00		
C # 02	C # 02 -M1	0.30-1.50	GC	A-2-7	----	----	----		
C # 03	C # 03 -M1	0.30-1.50	SM	A-2-4	----	----	----		
C # 04	C # 04 -M1	0.30-1.50	SM	A-2-6	11.1	1964	11.00		
C # 05	C # 05 -M1	0.30-1.50	GP-GM	A-2-7	----	----	----		
C # 06	C # 06 -M1	0.30-1.50	SM	A-1-b	15.4	1722	3.75		
C # 07	C # 07-M1	0.30-1.50	GM	A-2-7	----	----	----		
C # 08	C # 08 -M1	0.30-1.50	SC	A-2-6	----	----	----		
C # 09	C # 09 -M1	0.30-1.50	CH	A-7-6	----	----	----		
C # 10	C # 10 -M1	0.30-1.50	CH	A-7-6	15.4	1740	1.95		
C # 11	C # 11 -M1	0.30-1.50	CH	A-7-6	----	----	----		
C # 12	C # 12 -M1	0.10-1.50	SC	A-2-7	----	----	----		
C # 13	C # 13 -M1	0.30-1.51	GP-GM	A-2-7	13.8	1888	12.00		

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

De acuerdo con el análisis de las exploraciones geotécnicas, y los ensayos de laboratorio, se puede determinar que en la vía en estudio mayoritariamente se presentan suelos caracterizados como gravas y arenas mezclada con suelos finos tipo arcillosos y limosos, y en menor presencia arcillas de alta plasticidad, localizándose un afloramiento de estas en una zona localizada entre las abscisas 7+000 y 8+600. De todos los materiales se obtuvieron valores de CBR, ya sea de campo o laboratorio, exceptuando la PCA-07 donde el material corresponde a una roca degradada y no se pudo aplicar ninguna de las dos metodologías (DCP o CBR de laboratorio). Los valores obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 20: Valores de CBR obtenidos

DATOS DE EXPLORACIÓN			CBR		
ID	MUESTRA	PROF.	Laboratorio	Campo	
		(m)		DCP	CBR
			%	(mm/golpe)	%
C # 01	C # 01 -M1	0.30-1.50	7.00	----	----
C # 02	C # 02 -M1	0.30-1.50	----	27.00	7.28
C # 03	C # 03 -M1	0.30-1.50	----	23.33	8.58
C # 04	C # 04 -M1	0.30-1.50	11.00	----	----
C # 05	C # 05 -M1	0.30-1.50	----	36.67	5.17
C # 06	C # 06 -M1	0.30-1.50	3.75	----	----
C # 07	C # 07-M1	0.30-1.50	----	----	---
C # 08	C # 08 -M1	0.30-1.50	----	9.09	24.65
C # 09	C # 09 -M1	0.30-1.50	----	33.33	5.17
C # 10	C # 10 -M1	0.30-1.50	1.95	----	----
C # 11	C # 11 -M1	0.30-1.50	----	11.11	19.68
C # 12	C # 12 -M1	0.10-1.50	----	22.00	9.16
C # 13	C # 13 -M1	0.30-1.51	12.00	----	----

Fuente: Sergio Ortiz

De los valores de CBR de campo y laboratorio se obtendrá el CBR característico la vía en estudio, para el diseño de estructura de pavimentos. La normativa AASHTO recomienda para la determinación del CBR característico ordenar los valores obtenidos y del rango ordenado, obtener el CBR característico para un determinado percentil que se asumirá en función de los ESALs o número de ejes equivalentes (Tabla 21):

Tabla 21: Percentil para selección de CBR característico (AASHTO, 1993)

Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño		Percentil para seleccionar la resistencia
0.00E+00	1.00E+04	60
1.00E+04	1.00E+06	75
1.00E+06	1.00E+14	87.5

Fuente: (AASHTO, 1993)

De acuerdo con la Tabla 21 y el número de ESALs obtenido para el presente proyecto de 292566 (2.93E+05), se recomienda utilizar el percentil 75 de los CBR encontrados y ordenados. A continuación, se presentan los cálculos del CBR característico:

Tabla 22: CBR característico

CBR (%)	CBR ordenado (%)	Valores mayores o iguales	Valores sin repetir	% de valores mayores
<b>7.00</b>	1.95	12	12	100.00
<b>7.28</b>	3.75	11	11	91.67
<b>8.58</b>	5.17	10	10	83.33
<b>11.00</b>	5.17	10	9	75.00
<b>5.17</b>	7.00	9	8	66.67
<b>3.75</b>	7.28	8	7	58.33
<b>24.65</b>	8.58	7	6	50.00
<b>5.17</b>	9.16	6	5	41.67
<b>1.95</b>	11.00	5	4	33.33
<b>19.68</b>	12.00	4	3	25.00
<b>9.16</b>	19.68	3	2	16.67
<b>12.00</b>	24.65	2		

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

De la tabla anterior se obtiene un CBR característico de 5.17 % para el percentil 75, y que se asumirá para el diseño de pavimentos.

#### 4.5. Diseño de Pavimento Flexible Alternativa 1

Para la vía en estudio se ha planificado una estructura de pavimento flexible, dada sus características de bajo costo inicial, y al tipo de metodologías constructivas utilizadas en la zona. El periodo estructural ha sido determinado para 20 años, con la consideración de mantenimiento rutinario y de una rehabilitación en el año 10. Para la alternativa 1 se planifica una capa de rodadura de carpeta asfáltica sobre una base y subbase tipo II, y en el presente capítulo se describe el diseño de los espesores bajo la metodología de la (AASHTO, 1993).

Las cargas de tránsito fueron obtenidas con anterioridad en la sección 3.2, del cual, se obtuvo un valor de 292566 ESALs. Para la estimación del módulo resiliente de la subrasante necesario para el diseño por (AASHTO, 1993), se utiliza la siguiente correlación, donde se emplea un CBR del 5.17% asumido para el diseño.

$$M_R = 1500 * CBR$$

Dónde:

$M_R$  = Módulo elástico o resiliente (psi)

$CBR$  = Valor de Soporte del Suelo (%).

En función de la expresión se obtiene un módulo resiliente de 7755 psi o lb/pulg<sup>2</sup>. Para la presente alternativa se planifica una capa de base y capa de subbase bajo una capa de rodadura de hormigón asfáltico. El C.B.R. de los materiales de base y subbase considerado para el cálculo, se basa en las especificaciones del (MOP, 2003), con los siguientes valores:

Tabla 23: Selección de CBR de diseño

Calicata/Muestra	CBR especificación MTOP %
<b>BASE</b>	80
<b>SUBBASE</b>	30

Fuente: (MOP, 2003)

En base a los CBR asumidos, se obtiene el módulo resiliente de los materiales en función de los ábacos presentados en la *Ilustración 6* y *Ilustración 7* (presentadas más adelante), con valores de 14900 psi y 28000 psi para la subbase y base respectivamente. Para estos mismos materiales en función de las figuras se obtienen coeficientes estructurales  $a_2$  y  $a_3$  de 0.13 y 0.11 para la base y subbase respectivamente.

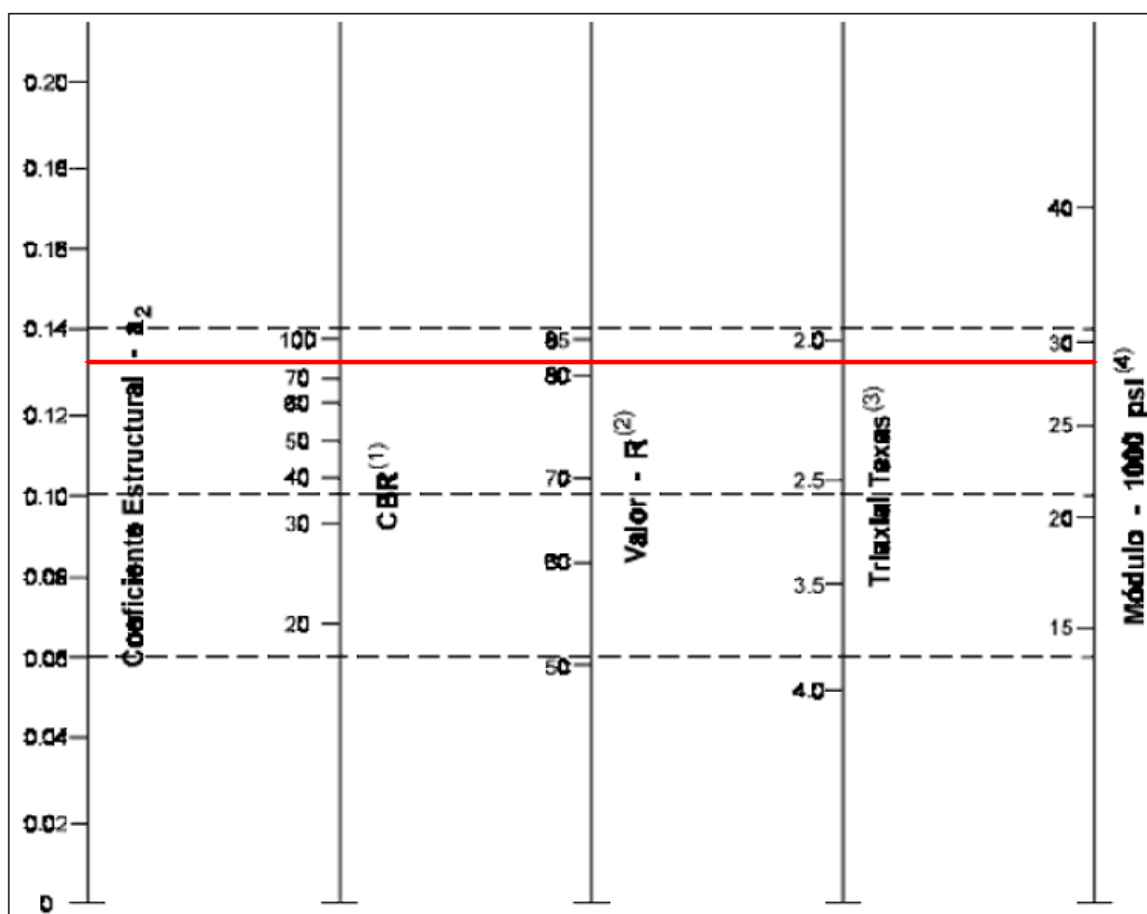


Ilustración 6: Variación de coeficiente  $a_2$  con diferentes parámetros de resistencia de la base granular

Fuente: (AASHTO, 1993)

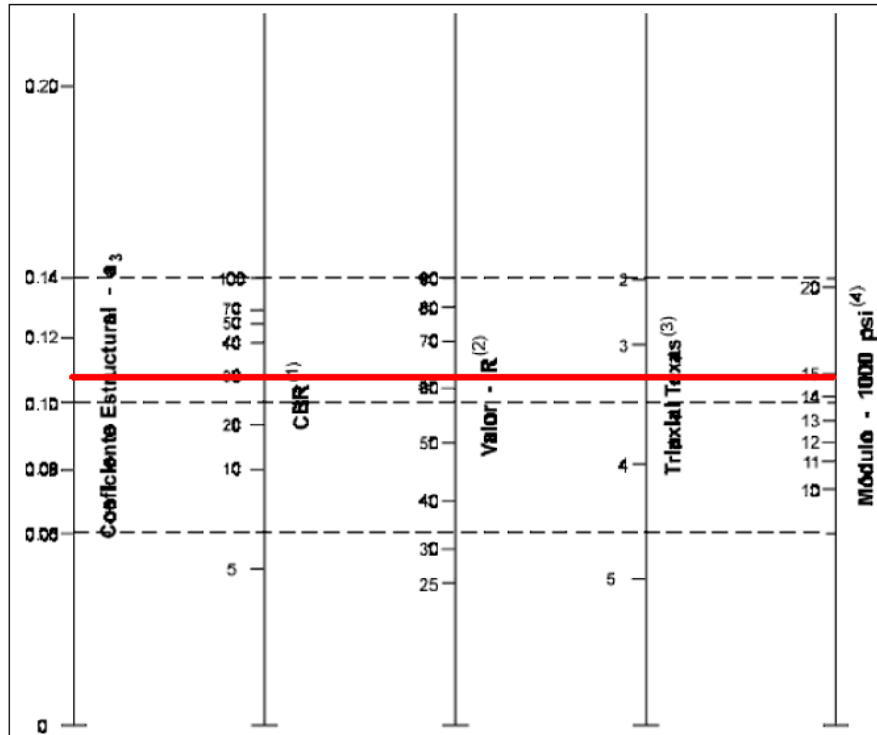


Ilustración 7: Variación de coeficiente  $a_3$  con diferentes parámetros de resistencia de la subbase granular:  
Fuente: (AASHTO, 1993)

Se establece el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a partir del siguiente ábaco:

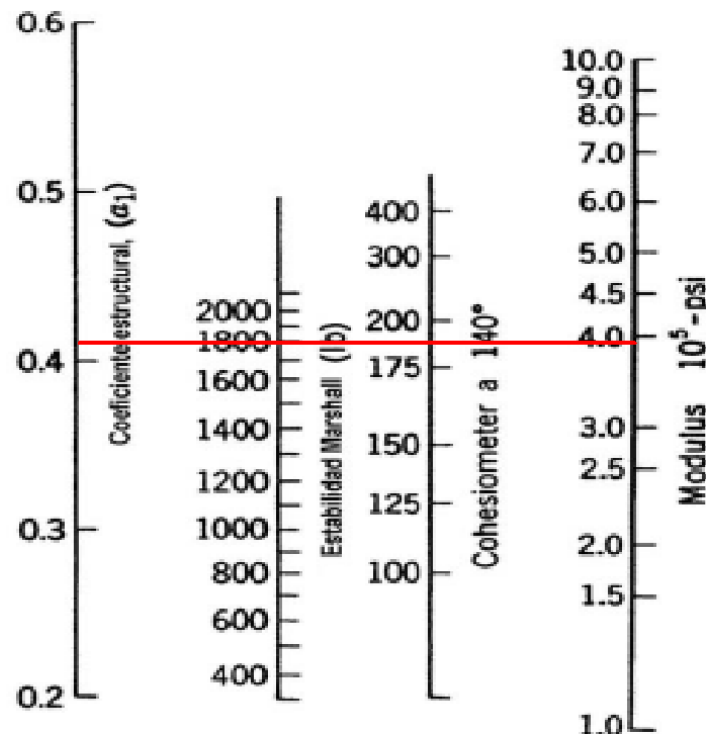


Ilustración 8: Abaco para la obtención del coeficiente estructural  $a_1$   
Fuente: (AASHTO, 1993)



Entonces, partiendo de una estabilidad Marshall de 1800 lb, valor recomendado como mínimo por el MTOP y la literatura específica en el tema, se obtiene un coeficiente estructural a1 de 0.42. En cuanto a la pérdida de serviciabilidad, este valor está determinado por el índice de servicio inicial y final, y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta Psi = P_o - P_t$$

Dónde:

Po: Nivel Inicial

Pt: Nivel Final

$\Delta Psi$  : Perdida de serviciabilidad

Los valores que son empleados para representar la condición del pavimento para el final del período de diseño, son los siguientes:

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico, pt = 3,0
- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas, pt = 2,5
- Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas, se toma un valor de pt = 2,0

Para el presente estudio se consideró un valor de pt= 2.0 debido a que la vía es de cuarto orden o tipo IV de acuerdo con la clasificación del MTOP.

La confiabilidad “R”, se puede considerar como un factor de seguridad que garantiza que los elementos de la estructura de pavimento duren como mínimo el período de diseño. La confiabilidad dependerá del tipo de carretera y el sector, si es urbana o rural, para esto se utiliza la tabla a continuación:

Tabla 24: Confiabilidad R

Tipos de carretera	Niveles de confiabilidad	
	Urbana	Rural
<b>Autopista y carreteras importantes</b>	85 -99.9%	85 -99.9%
<b>Arterias principales</b>	80 – 90%	75 – 95%
<b>Colectoras</b>	<b>80 – 95%</b>	<b>75 – 95%</b>
<b>Locales</b>	50 – 80%	50 – 80%

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para el presente proyecto se considera un tipo de carretera local de tipo rural, y se asume para el diseño un valor de 80%, valor máximo del rango de confiabilidad del 50% al 80%, como medida para precautelar el adecuado funcionamiento de la estructura en el periodo de diseño. Para la desviación estándar  $S_o$ , en este caso particular, el valor asumido para el pavimento flexible de 0.49 para considerar posibles variaciones en la predicción del tráfico.

*Tabla 25: Valores de desviación Estándar ( $S_o$ ) (AASHTO, 1993)*

<b>Condición de Diseño</b>	<b>Desvío Estándar</b>
<b>Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito</b>	0,34 (pav. Rígido) 0,44 (pav. Flexibles)
<b>Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito</b>	0,39 (pav. Rígido) 0,49(pav. Flexibles)

*Fuente: (AASHTO, 1993)*

Para el presente estudio se considera un coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) de **1.05** para la capa de base y subbase basado en las condiciones de drenaje y pluviosidad en la zona. Se considera una calidad de drenaje buena considerando un tiempo de remoción del agua de 1 día, dado que en una vía con una capa de rodadura la infiltración será mínima, y por lo tanto, el tiempo de remoción alto; sin embargo, por seguridad se asume un día y calidad de drenaje bueno.

*Tabla 26: Calidad de drenaje*

<b>Calidad de drenaje</b>	<b>Término para remoción del agua</b>
<b>Excelente</b>	2 horas
<b>Buena</b>	1 día
<b>Aceptable</b>	1 semana
<b>Pobre</b>	1 mes
<b>Muy pobre</b>	El agua no drena

*Fuente: (AASHTO, 1993)*

Se asume un porcentaje de exposición a la saturación del 25% dado que el tiempo de lluvias intensas en las distintas zonas del país es de al menos 3 meses que corresponde al 25% del año.

Tabla 27: Coeficiente de drenaje (Cd)

Calidad del Drenaje	Porcentaje de tiempo en el que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximo a la saturación			
	Menos del 1%	1 % - 5%	5 % - 25%	Más del 25%
<b>Excelente</b>	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
<b>Bueno</b>	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
<b>Mediano</b>	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
<b>Malo</b>	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
<b>Muy Alto</b>	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: (AASHTO, 1993)

La estructura del pavimento es calcula en base a los números estructurales, coeficientes estructurales, y coeficiente de drenaje de capa:

$$SN_T = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Donde:

$SN_T = SN_3$  es el número estructural con un soporte MR de subrasante.

$SN_2$  es el número estructural con un soporte MR de subbase.

$SN_1$  es el número estructural con un soporte MR de base.

$m_i$  es el coeficiente de drenaje para cada capa.

$D_i$  es el espesor de las diferentes capas.

Con lo expuesto con anterioridad se tiene también que:

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$SN_2 = a_1 D_1 + a_2 m_1 D_2$$

$$SN_3 = a_1 D_1 + a_2 m_1 D_2 + a_3 m_2 D_3$$

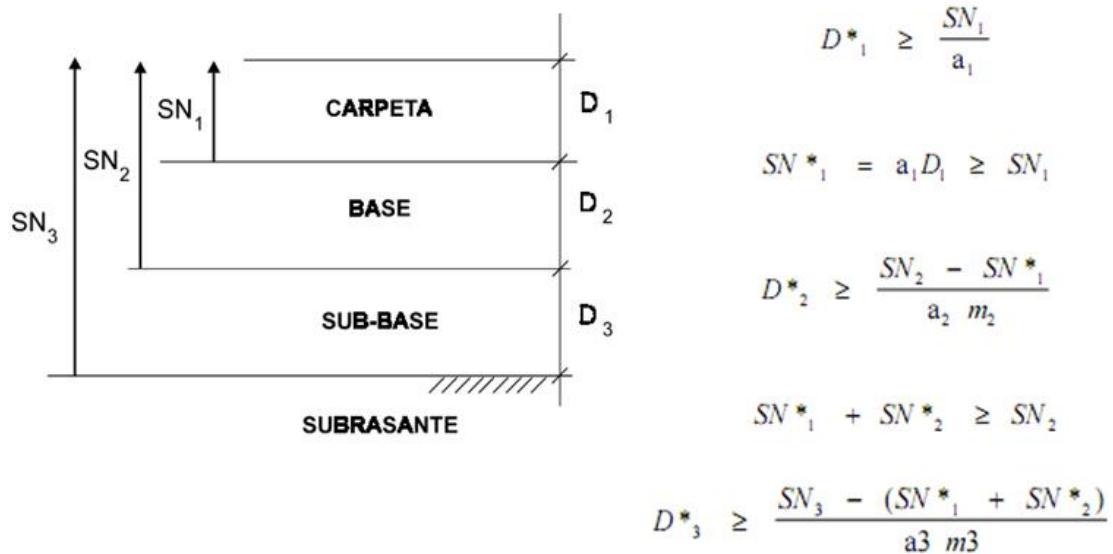


Ilustración 9: Esquema del procedimiento para la determinación de espesores  
Fuente: (AASHTO, 1993)

Con la ecuación siguiente y los parámetros como número de ejes equivalentes de 18 kips W18, modulo resiliente MR, variación de índice de serviciabilidad DPSI, desviación estándar normal ZR, error estándar So, se determinarán los tres diferentes números estructurales SN, variando los módulos resilientes de cada capa. Es así que, para obtener el número estructural requerido sobre la subrasante SN<sub>3</sub> se utilizará el módulo resiliente de la subrasante. Para lo requerido sobre la subbase SN<sub>2</sub> se utilizará el módulo resiliente de la subbase, y para el requerido sobre la base SN<sub>1</sub> se utilizará el módulo resiliente de la base.

$$\log_{10}(W_{18}) = z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07$$

En base a los números estructurales establecidos y las fórmulas presentadas en la Ilustración 9, se realiza el cálculo de los distintos espesores. A continuación, se presentan los cálculos de estructura de pavimento.

Tabla 28: Datos iniciales para la determinación de espesores de estructura de pavimento flexible alternativa 1

Cargas de tránsito			
Número de ESALs W18	N	292566	Esals
Parámetros de suelo			
CBR subrasante	CBR1	5.17	%
Módulo resiliente de la subrasante	MR1	7755	psi
CBR subbase	CBR2	30	%
Módulo resiliente de la subbase	MR2	14900	
CBR base	CBR3	80	%
Módulo resiliente de la base	MR3	29000	
Parámetros de diseño			
Error estándar	So	0.45	
Índice de servicio inicial	Po	4.2	
Índice de servicio final	Pt	2.2	
Perdida de serviciabilidad	ΔPSI	2	
Confiabilidad		80.0%	
Desviación Estándar normal	ZR	-0.84	
Coefficiente de drenaje Base	m1	1.00	
Coefficiente de drenaje Subbase	m2	1.00	
Estabilidad Marshall del concreto asfáltico	1800	lb	
Números Estructurales (Ecuación AASHTO)			
Número Estructural sobre la subrasante	SN3	2.558	
Número Estructural sobre la subbase	SN2	2.000	
Número Estructural sobre la base	SN1	1.532	
Coefficientes estructurales			
Coefficiente de la carpeta	a1	0.44	gráfica
Coefficiente de la base	a2	0.13	gráfica
Coefficiente de la subbase	a3	0.11	gráfica

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

Tabla 29: Cálculo de espesores para estructura de pavimento flexible alternativa 1

Cálculo de espesores			
Descripción	Símbolo	Valor	unidad
Espesor calculado carpeta	D1	3.49	pulg
Espesor asumido carpeta	<b>D1'</b>	<b>2</b>	<b>pulg</b>
Número Estructural sobre la base corregido	SN1'	0.87884	
SN (base granular)	SNb	1.12	
Espesor calculado base	D2	8.65	pulg
Espesor asumido base	D2'	4.72	pulg
	<b>D2'</b>	<b>12.00</b>	<b>cm</b>
SN (base granular( corregido	SN2'	0.61	
SN (subbase)	SNSb	0.82	
Espesor calculado subbase	D3	7.50	pulg
Espesor asumido subbase	D3'	9.84	pulg
	<b>D3'</b>	<b>25.00</b>	<b>cm</b>
SN (subbase) corregido	SN3'	1.08	pulg

Fuente: Ing. Sergio Ortiz

De los cálculos se ha obtenido una estructura de pavimento caracterizada por:

- **Capa de rodadura de hormigón asfáltico, mezcla en caliente de planta, con una estabilidad Marshall mayor a 1800 lb. Espesor: 2 pulgadas.**
- **Capa de base granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>80%. Espesor: 12 cm.**
- **Capa de subbase granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>30%. Espesor: 25 cm.**

#### **4.6. *Diseño de Pavimento Flexible Alternativa 2***

Para la alternativa 2 se planifica una capa de rodadura de doble tratamiento sobre una base estabilizada con cemento y subbase tipo II, y en el presente capítulo se describe el diseño de los espesores bajo la metodología de la (AASHTO, 1993). Las consideraciones de diseño son las mismas adoptadas para la alternativa 1, con la diferencia de las características de la base, coeficiente estructural de capa  $a_2$  y módulo resiliente cambian, así como las características de la capa de rodadura que ahora será un doble tratamiento bituminoso.

Para la base estabilizada con cemento, el (MOP, 2003) recomienda una resistencia a la compresión a los 7 días de al menos  $30 \text{ kg/cm}^2$  o 426 psi. Con este valor se obtiene el coeficiente estructural de capa  $a_2$  de 0.16 y un módulo resiliente de 620000 psi, en función de la *Ilustración 10*, propuesta en la metodología (AASHTO, 1993), para bases estabilizadas con cemento, y en donde se obtienen los valores en función a la resistencia a la compresión.

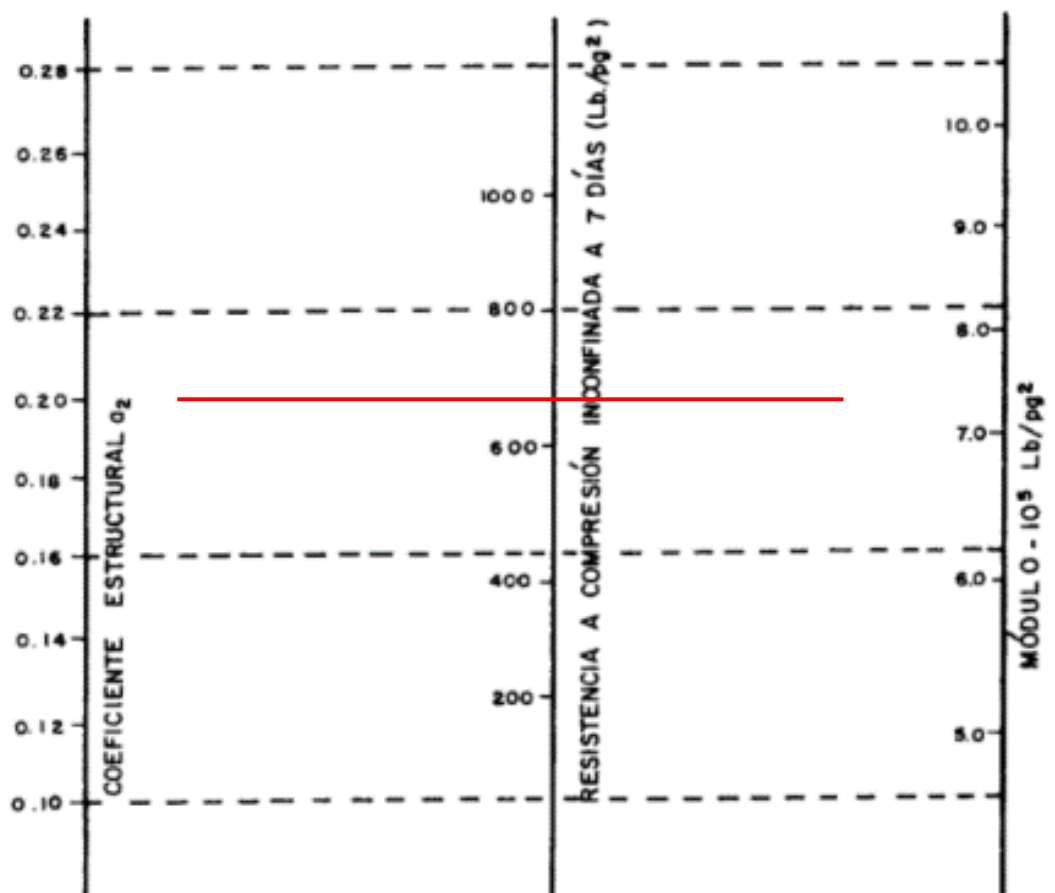


Ilustración 10: Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base Estabilizada con Cemento.

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para el tratamiento superficial no se utiliza la metodología de obtención de espesor de capa, sino que toma directamente un número estructural SN de 0.25, de acuerdo con la normativa (AASHTO, 1993). A continuación, se presentan los cálculos de la alternativa 2:

Tabla 30: Datos iniciales para la determinación de espesores de estructura de pavimento flexible alternativa 2

<b>Cargas de tránsito</b>				
Descripción	Símbolo	Cantidad	Valor	
Número de ESALs W18	N	292566	ESALs	
<b>Parámetros del suelo</b>				
CBR subrasante	CBR1	5.17	%	
Módulo resiliente de la subrasante	MR1	7755.00	PSI	
CBR subbase	CBR2	30.00	%	
Módulo resiliente de la subbase	MR2	14900.00	PSI	
Módulo resiliente de la base estabilizada con cemento	MR3	620000.00	PSI	
<b>Parámetros de diseño</b>				
Error estándar combinado	So	0.45		
Índice de servicio inicial	Po	4.2		
Índice de servicio final	Pt	2.2		
Pérdida de serviciabilidad	$\Delta$ PSI	2		
Confiabilidad	R	80%		
Desviación estándar normal	ZR	-0.84		
Coefficiente de drenaje de la base	m1	1.00		
Coefficiente de drenaje de la subbase	m2	1.00		
<b>Números Estructurales</b>				
Número Estructural sobre la subrasante	SN3	2.558		
Número Estructural sobre la subbase	SN2	2.000		
Número Estructural sobre la base (DTSB)	SN1	0.250		
<b>Coefficientes estructurales</b>				
Coefficiente de la base estabilizada con cemento	a2	0.160		
Coefficiente de la subbase	a3	0.110		

Fuente: Sergio Ortiz

Tabla 31: Cálculo de espesores para estructura de pavimento flexible alternativa 2

<b>Cálculo de espesores</b>				
Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad	
Número Estructural sobre la base corregido (DTSB)	SN1'	0.25		
SN (base granular)	SNb	1.75		
Espesor calculado base	S2	10.93	pulg	
Espesor asumido base	D2'	6.69	pulg	
	<b>D2'</b>	<b>17.00</b>	<b>cm</b>	
Número Estructural sobre la subbase corregido	SN2'	1.07		
SN (subbase)	SNsb	1.07		
Espesor calculado subbase	D3	9.75	pulg	
Espesor asumido subbase	D3'	11.81	pulg	
	<b>D3'</b>	<b>30.00</b>	<b>cm</b>	
Número Estructural sobre la subrasante corregido	SN3'	1.29	pulg	
SN total	SNt	2.61		

Fuente: Sergio Ortiz



De los cálculos se ha obtenido una estructura de pavimento caracterizada por:

- **Capa de rodadura de doble tratamiento superficial bituminoso.**
- **Capa de estabilizada con cemento, resistencia a la compresión a los 7 días mayor a 30 kg/cm<sup>2</sup>. Espesor 17 cm**
- **Capa de subbase granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>30%. Espesor: 30 cm.**

#### 4.7. *Rehabilitación y Mantenimiento*

Para el presente proyecto se ha planteado el diseño de una alternativa de pavimento flexible con una rehabilitación en 10 años, acompañado del mantenimiento rutinario. Para establecer el tipo de mantenimiento rutinario y rehabilitación se utiliza la metodología de diseño de pavimento asfáltico para bajos volúmenes de tráfico propuesto por (Montejo Fonseca, 2006), que se basa en los siguientes pasos:

- Definir el tipo de tránsito de acuerdo a la clasificación de la metodología de diseño, de acuerdo con el reporte del TPDA del estudio del tráfico se tiene un total de 25 camiones, que correspondería a un tráfico tipo II.


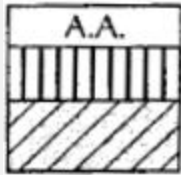
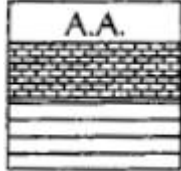
*Tabla 32: Tipo de tránsito*

<b>Clases de tránsito de diseño</b>	
<b>Clase de tránsito</b>	<b>Número diario de vehículos pesados al año inicial de servicio en el carril de diseño</b>
<b>T1</b>	1-10
<b>T2</b>	11-25
<b>T3</b>	26-50

*Fuente: (Montejo Fonseca, 2006)*

- El tipo de mantenimiento se establece en función del tipo de intervención y al nivel de tráfico, tal como se muestra en la *Tabla 33* y en la *Tabla 34*. Para el caso de la alternativa 1 con asfalto, base y subbase, se puede establecer una alternativa de CR + R3 o CR + R4, de acuerdo con la carta de diseño 2.1, y donde CR es la conservación rutinaria, R3 es una rehabilitación con riego de liga + 5 cm de mezcla asfáltica, y R4 es una rehabilitación con riego de liga + 6 cm de mezcla asfáltica. Dado el espesor que tiene la carpeta diseñada 2 pulgadas se puede utilizar una alternativa de riego de liga + 5 cm de mezcla asfáltica.

Tabla 33: Estrategia de mantenimiento

Carta de Diseño	Descripción de la Estructura Original	Nivel de Tránsito	
		T1 y T2	T3
2.1		ALT1: CR+R3 V.R.: 20% ALT2: CR+R5 V.R.: 50%	ALT1: CR+R4 V.R.: 20% ALT2: CR+R6 V.R.: 50%
2.2		ALT1: CR+R3 V.R.: 40% ALT2: CR+R5 V.R.: 50%	ALT1: CR+R4 V.R.: 40% ALT2: CR+R6 V.R.: 50%
2.3		ALT1: CR+R3 V.R.: 20% ALT2: CR+R5 V.R.: 50%	ALT1: CR+R4 V.R.: 20% ALT2: CR+R6 V.R.: 50%

<b>CARTA 2.1</b>
Arena asfalto
Base granular
Subbase granular
Subrasante mejorada

Fuente: (Montejo Fonseca, 2006)

- Para el caso de la alternativa 2 con doble tratamiento superficial, base estabilizada con cemento y subbase, se puede establecer una alternativa de CR + R1 o CR + R3, de acuerdo con la carta de diseño 1.1, y donde CR es la conservación rutinaria, R1 es una rehabilitación con escarificado + 15 cm de base granular no tratada y tratamiento superficial doble, y R3 es una rehabilitación con riego de liga + 5 cm de mezcla asfáltica. Sería adecuado utilizar la opción de tratamiento superficial doble dado que este material se consideró para esta alternativa.

Tabla 34: Estrategia de mantenimiento

Carta de Diseño	Descripción de la Estructura Original	Nivel de Tránsito	
		T1 y T2	T3
1.1		ALT1: CR+R1 V.R.: 35% ALT2: CR+R3 V.R.: 40%	ALT1: CR+R4 V.R.: 35% ALT2: CR+R4 V.R.: 40%
1.2		ALT1: CR+R1 V.R.: 35% ALT2: CR+R3 V.R.: 40%	ALT1: CR+R2 V.R.: 35% ALT2: CR+R4 V.R.: 40%
1.3		ALT1: CR+R3 V.R.: 30%	ALT1: CR+R4 V.R.: 35%
1.4		ALT1: CR+R3 V.R.: 30%	ALT1: CR+R4 V.R.: 35%

<b>CARTA 1.3</b>
T.S.D.
Base estabilizada con cemento
Subbase granular
Subrasante mejorada

Fuente: (Montejo Fonseca, 2006)

En conclusión, se recomienda que a los 10 años se realice: una rehabilitación con riego de liga, y 5 cm de carpeta asfáltica para la alternativa 1; y una rehabilitación con escarificado, 15 cm de base granular no tratada y tratamiento superficial doble, para el caso de la alternativa 2. Ambas rehabilitaciones acompañadas de conservación rutinaria. Es importante señalar que las rehabilitaciones son planteadas en función del tráfico y los elementos de la estructura, pero en el año 10 estas dependerán del estado que presente la vía en ese momento, medido a partir de la determinación del Índice de condición del pavimento, PCI por sus siglas en inglés.

## 5. DISEÑO GEOMÉTRICO

El estudio hace referencia al proceso de rehabilitación de la vía existente, en tal sentido el concepto fundamental es el de respetar el trazado actual. Por lo que, en base de los datos obtenidos luego de realizados los trabajos topográficos, es encontrar la relación entre el trazado actual y su correspondiente tipo de vía de acuerdo a lo establecido en los manuales de las Normas de Diseño Geométrico de carreteras (2003) para minimizar el movimiento de tierras. Adicionalmente es necesario realizar un análisis desde el punto de vista funcional de acuerdo al volumen de tráfico actual y su correspondiente cálculo de crecimiento de acuerdo a los parámetros establecidos para una adecuada proyección de tráfico. En el cuadro adjunto se presenta lo establecido por el Ministerio de Transporte y obras Públicas, de acuerdo al volumen de tráfico se establecen las características con referencia a pendientes máximas, radios mínimos de curvatura, velocidad de diseño, número de carriles por sentido, así como el ancho de la calzada. Sin embargo, como se mencionó anteriormente el estudio tiene como concepto el proceso de rehabilitación de la vía existente.

Tabla 35: Valores de Diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos vecinales de construcción



República del Ecuador  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

VALORES DE DISEÑO RECOMENDADOS PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES Y CAMINOS VECINALES DE CONSTRUCCIÓN

NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE III 300 – 1 000 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE IV 100 – 300 TPDA <sup>(1)</sup>						CLASE V MENOS DE 100 TPDA <sup>(1)</sup>											
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA								
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M			
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25 <sup>(5)</sup>	60	50	40	50	35	25 <sup>(5)</sup>	60	50	40	50	35	25 <sup>(5)</sup>
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 <sup>(5)</sup>	110	75	42	75	30	20 <sup>(5)</sup>
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25	70	55	40	55	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110	290	210	150	210	150	110
<b>Peralte</b>	MÁXIMO = 10%																		10% (Para V > 50 K.P.H.) 8% (Para V < 50 K.P.H.)																	
<b>Coefficiente "k" para:</b> <sup>(2)</sup>																																				
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2	12	7	4	7	3	2
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3	13	10	6	10	5	3
Gradiente longitudinal <sup>(3)</sup> máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14	5	6	8	6	8	14
Gradiente longitudinal <sup>(4)</sup> mínima (%)	0,5%																																			
Ancho de pavimento (m)	7,3			7,3			7,0			6,70			6,70			6,00			6,00						4,00 <sup>(6)</sup>											
Clase de pavimento	Carpeta Asfáltica y Hormigón						Carpeta Asfáltica						Carpeta Asfáltica o D.T.S.B.						D.T.S.B, Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado											
Ancho de espaldones <sup>(5)</sup> estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---											
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0						2,0						2,0						2,5 (C.V. Tipo 6 y 7) 4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						4,0											
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 <sup>(6)</sup> - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---											
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																			
<b>Puentes</b>	HS - 20 – 44; HS – MOP; HS - 25																																			
Ancho de la calzada (m)	SERA LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VIA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																																			
Ancho de Aceras (m) <sup>(7)</sup>	0,50 m mínimo a cada lado																																			
Mínimo derecho de vía (m)	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																																			
	LL = TERRENO PLANO 0 = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																			

- El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 – 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 7 000 en 10 años debe investigarse la necesidad de construir una autopista. (Las normas para esta serán parecidas a las de la Clase I, con velocidad de diseño de 10 K.P.H. más para clase de terreno – Ver secciones transversales típicas para más detalles. Para el diseño definitivo debe considerarse el número de vehículos equivalentes.
- Longitud de las curvas verticales:  $L = KA$ , en donde K = coeficiente respectivo y A = diferencia algebraica de gradientes, expresado en tanto por ciento. Longitud mínima de curvas verticales:  $L_{min} = 0,60 V$ , en donde V es la velocidad de diseño expresada en kilómetros por hora.
- En longitudes cortas menores a 500 m. se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 2% en terrenos montañosos, solamente para las carreteras de Clase I, II y III. Para Caminos Vecinales (Clase IV) se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 3% en terrenos montañosos, para longitudes menores a 750 m.
- Se puede adoptar una gradiente longitudinal de 0% en rellenos de 1 m. a 6 m. de altura, previo análisis y justificación.
- Espaldón pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía. (Ver Secciones Típicas en Normas). Se ensanchará la calzada 0,50 m más cuando se prevé la instalación de guarda caminos.
- Cuando el espaldón está pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía.
- En los casos en los que haya bastante tráfico de peatones, úsense dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar  $V_0 = 20$  Km/h y  $R = 15$  m siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y relieve difícil (escarpado).

**NOTA:** Las Normas anotadas "Recomendables" se emplearán cuando el TPDA es cerca al límite superior de las clases respectivas o cuando se puede implementar sin incurrir en costos de construcción. Se puede variar algo de las Normas Absolutas para una determinada clase, cuando se considere necesario el mejorar una carretera existente siguiendo generalmente el trazado actual.

2-R

Fuente: (MOP, 2003)

## 5.1. Evaluación del trazado actual

Como actividad previa a la elaboración de la propuesta de trazado geométrico se realizó un exhaustivo recorrido de la vía motivo del presente estudio, de esta manera se obtuvo un cabal conocimiento de su estado actual tanto en su trazado horizontal, trazado vertical, capa de rodadura y estabilidad de taludes, configurando un marco general para el desarrollo de los estudios de ingeniería. Las condiciones topográficas de la zona son las que caracterizan a todo el sector, que se ha denominado como Montañoso. La vía se encuentra emplazada desde los 1300 m a los 1500 m sobre el nivel del mar. En todo el trayecto de la vía actual se observa una mesa de calzada estable, no existen problemas con estabilidad de taludes pues el terreno no presenta problemas de saturación y por lo tanto no existe desprendimiento de material hacia la calzada.



*Fotografía 14: Estado Actual de la vía*

Actualmente, la capa de rodadura de la vía está conformada por una capa de lastre bien compactada, en varios sectores se encuentra en estado de deterioro debido a las condiciones climáticas y por complicaciones en la evacuación del caudal de aguas lluvias mediante las cunetas. La señalización es uno de los elementos que regulan el flujo vehicular, así como presenta las normas y prevenciones a lo largo de la misma evitando potenciales accidentes, sin embargo, luego de realizado los recorridos no presenta señalética, por lo que en el proceso de delineación de la vía será prioritario realizar un diseño de ubicación de señalización a lo largo de la misma.

## 5.2. Diseño

El diseño se efectuará bajo los parámetros técnicos que se establecen para una vía tipo colectora, CLASE IV, en terreno montañoso - ondulado, con un ancho de pavimento de 6m, en base al TPDA obtenido de 219 vehículos y de acuerdo a (MOP, 2003). Es necesario mencionar que, de acuerdo a lo establecido en el concepto del estudio, se realizará una rehabilitación de la vía actual y en tal sentido se mantendrá en la mayor parte el trazado actual.

Tabla 36: Relación Función, Clase MOP Y Trafico

Función	Clase de Carretera (según MOP)	TPDA (1) (Año final de diseño)
CORREDOR ARTERIAL	RI-RII (2)	>8000
	I	3000-8000
COLECTORA	II	1000-3000
	III	300-1000
VECINAL	IV	100-300
	V	<100

Notas: (1) De acuerdo al nivel de servicio aceptable al final de la vida útil.

(2) RI - RII - Autopistas.

Fuente: (MOP, 2003)

En la topografía se representará el alineamiento horizontal del diseño y los diferentes elementos de la siguiente manera:

- El eje de la vía con un abscisado cada 20,00 m.
- Curvas con un abscisado cada 10,00 m.
- Para cada curva se presentarán los valores de radio de curvatura, abscisas de PC, PT, ángulo de deflexión ( $\infty$ ), longitud de la tangente (T) y longitud de curva (L), external (e).
- En el perfil de la vía se mostrarán los valores de las longitudes de las curvas verticales, abscisas y cotas de los Piv, Pcv y Ptv.

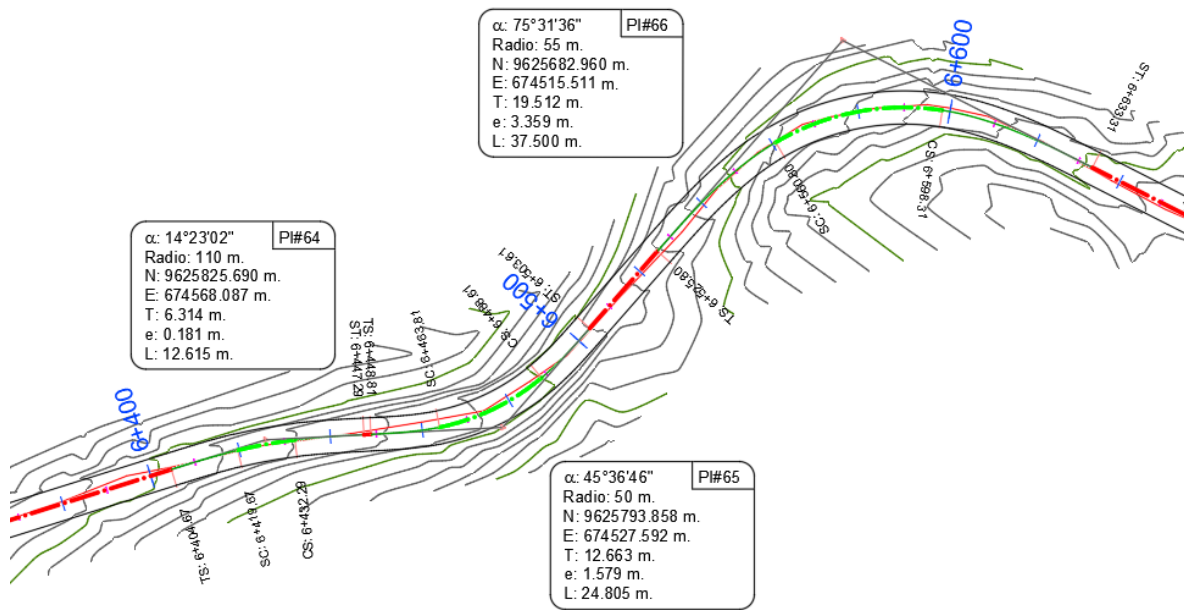


Ilustración 11: Alineamiento Horizontal

Fuente: Sergio Ortiz

La sección transversal tipo presenta dos carriles y sus dimensiones se muestran en la siguiente imagen:

## DETALLE SECCIÓN TIPO SAN SEBASTIÁN DE YÚLUC

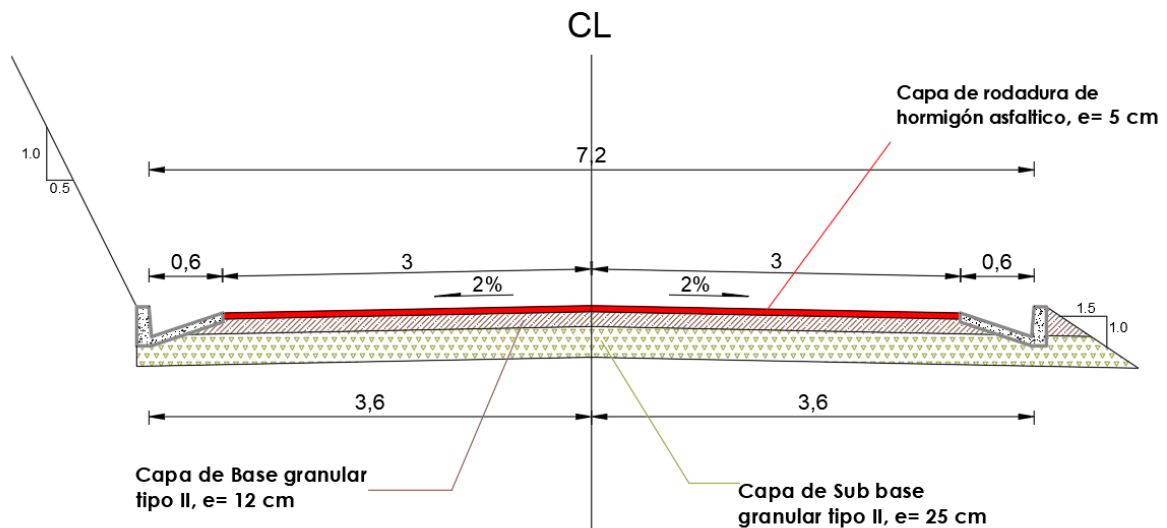


Ilustración 12: sección tipo del proyecto

Fuente: Sergio Ortiz

### 5.3. *Parámetros generales del diseño geométrico*

#### 5.3.1. *Velocidad de Diseño*

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes de tránsito, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos. De acuerdo a la Tabla 35, se asume una velocidad de diseño de 20km/h.

$$V_d = 20 \text{ km/h}$$
$$R_{\min} = 15.00 \text{ m}$$

#### 5.3.2. *Velocidad de Circulación*

Es la velocidad real de un vehículo a lo largo de una sección específica de carretera y es igual a la distancia recorrida dividida para el tiempo de circulación del vehículo. La relación que existe entre la velocidad de diseño y la de circulación viene dada por:

$$V_c = 0.8 V_d + 6.5 \text{ (TPDA} < 1000 \text{)}$$

Donde:

$V_c$  = velocidad de circulación (km/h)

$V_d$  = 22.5 (km/h)

#### 5.3.3. *Distancia de Visibilidad de Parada (D)*

Es la requerida para que el conductor detenga su vehículo ante la presencia de un obstáculo en su línea de circulación. Está constituida por la suma de dos distancias; una, la distancia recorrida ( $d_1$ ) por el vehículo desde el instante en que el conductor divisa un objeto en el camino hasta la distancia ( $d_2$ ) de frenado del vehículo, es decir, la distancia necesaria para que el vehículo pare completamente después de haber aplicado los frenos. Estas dos distancias corresponden al tiempo de percepción y reacción y al recorrido del vehículo durante el frenado, respectivamente, o sea:

$$d = d_1 + d_2$$

De acuerdo a varias pruebas realizadas por la AASHTO el tiempo de percepción equivale a 1.5 segundos y el tiempo de reacción es de 1 segundo, en consecuencia, el tiempo total de



percepción más reacción es de 2.5 segundos. Para el cálculo de los tiempos de percepción (d1) y reacción (d2), se emplean las siguientes ecuaciones:

$$d1=0.278 V*t$$

$$d2 = V^2/254 (f+G)$$

Donde:

d1 = distancia de reacción (m).

t= tiempo de reacción en segundos

V= velocidad del vehículo.

d2 = distancia de frenado del vehículo.

G= Pendiente longitudinal de la carretera.

f = coeficiente de fricción longitudinal.

La distancia de frenado se calcula utilizando la fórmula de la “carga dinámica” tomando en cuenta la fricción entre las llantas y la calzada, y expresando la velocidad en km/h. El coeficiente de fricción varía de acuerdo a la velocidad, tipo de llantas, humedad, tipo de pavimento etc., la AASHTO mediante pruebas realizadas ha dado la siguiente relación para el valor de f:

$$f = 1.15 / Vc^{0.3}$$

De acuerdo a la normativa aplicada MTOP 2003 y por razones de relieve escarpado se ocupará una distancia de parada asumida de 25m de acuerdo a la [Tabla 37](#).

*Tabla 37: Distancias de visibilidad de parada*

**Criterio de Diseño: Pavimentos Mojados**

Clase de Carretera				Valor Recomendable Absoluto			Valor			
				L	O	M	L	O	M	
<b>R-I</b>	o R-II	>	8000	TPDA	220	180	135	180	135	110
<b>I</b>		3000 a	8000		180	160	110	160	110	70
<b>II</b>		1000 a	3000		160	135	90	135	110	55
<b>III</b>		300 a	1000		135	110	70	110	70	40
<b>IV</b>		100 a	300		110	70	55	70	35	<b>25</b>
<b>V</b>	Menos	de	100		70	55	40	55	35	25

Fuente: (MOP, 2003)

### 5.3.4. Peralte

Al entrar en las curvas horizontales el vehículo es empujado radialmente hacia fuera por efecto de la fuerza centrífuga que se produce, esta fuerza debe ser contrarrestada por acción de las fuerzas del peso y fricción entre las llantas y calzada, para que dicha contraprestación sea más efectiva se realiza un peralte a la vía (MOP, 2003).

Para el cálculo del peralte se empleará la Tabla 35 que se encuentra en las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (2003) correspondiente a la velocidad de diseño. Se tomará un peralte máximo de 8% para velocidades menores a 50km/h.

### 5.3.5. Coeficiente de Fricción

Este coeficiente (f) es aquel a partir del cual se producirá el desplazamiento de los vehículos, los factores que más influyen en su valor son: la velocidad del vehículo, el tipo y condición de calzada y llantas. Por estudios realizados por (AASHTO, 2004), se tiene la siguiente tabla de coeficientes de fricción transversal máximos.

Tabla 38: Coeficientes de fricción transversal máximos

Velocidad de Diseño km/h	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Distancia mínima de visibilidad de rebasamiento (m)	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12

Fuente: (AASHTO, 2004)

Para nuestro caso el coeficiente de fricción lateral será:

$$f = 0.35$$

### 5.3.6. Radio mínimo de curvatura

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

El uso de radios menores a los mínimos provocaría peraltes mayores lo cual no es recomendable. El radio mínimo de curvatura para condiciones de seguridad puede calcularse con la siguiente expresión:

$$R_{min} = \frac{Vd^2}{127(e + f)}$$

en la cual se utilizan los valores máximos de e y f, donde:

R = radio de curvatura (m).

e = peralte máximo 8%.

Obteniendo como resultado un  $R_{min} = 7.32m$  por lo tanto asumimos un radio mínimo de 15m, ya que para caminos de clase IV y V se podrá utilizar una  $V=20Km/h$  y  $R=15m$ , siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y se tenga un relieve escarpado, condición que fue solicitada por el Gobierno Provincial de Loja.

### 5.3.7. Curvas circulares

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas (ejes de la vía), conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales, a continuación, se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo de las mismas (MOP, 2003):

$$LT = R * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$LC = R * \alpha * \frac{\pi}{180}$$

$$ext = R * \left[ \sec\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 \right]$$

$$C = 2 * R * \sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$PC = PI - LT$$

$$PT = PC + LC$$

En donde:

LT= Longitud de la tangente

LC= Longitud de la curva

Ext= External

A= ángulo de deflexión

R= Radio

C= Cuerda

PC= Punto de inicio de la curva

PT= Punto final de la curva

PI= Punto de inflexión de la curva

### 5.3.8. Curvas espirales

Son las curvas que unen al tramo de tangente con la curva circular en forma gradual, tanto para el desarrollo del peralte como para el del sobreancho, aumentando la seguridad ya que favorecen la maniobra de entrada en la curva y la estabilidad de los vehículos en su propio carril. En este tipo de curvas de transición la curvatura pasa bruscamente de cero en la recta a un valor constante  $1/R$  en la curva circular de radio  $R$  (MOP, 2003).

Para el diseño horizontal se rectificó el eje y se procedió a cumplir con todos los parámetros establecidos, para lo cual se comprobaron los valores de tangentes intermedias, distancias de visibilidad, radios mínimos, solapes en las transiciones del peralte. En el presente diseño hemos aplicado curvas horizontales circulares y espirales cumpliendo con los parámetros de diseño, salvo en curvas en donde por razones de relieve escarpado y por mantener la infraestructura actual se ocuparon radios menores al mínimo. Para lo cual se adjunta la siguiente tabla.

*Tabla 39: Resultados del diseño geométrico horizontal*

PI #	Curva	Long. Espiral Entrada	Radio Curva Circular (m.)	Long. Espiral Salida	Angulo Incluido del Pi	Angulo de Deflexión entre tangentes	Longitud de Curva Circular (m.)	Tangente Intermedia (m.)	TE	PC / EC	PT / CE	ET
57	ESPIRAL	15.00	85.00	15.00	157.59	22.41	18.25		5+584.014	5+599.014	5+617.259	5+632.259
								24.98				
58	CIRCULAR	0.00	200.00	0.00	165.48	14.52	50.67		5+657.236	5+657.236	5+707.904	5+707.904
								32.11				
59	CIRCULAR	0.00	200.00	0.00	167.51	12.49	43.59		5+740.011	5+740.011	5+783.596	5+783.596
								59.35				
60	ESPIRAL	13.00	75.00	13.00	159.81	20.19	13.43		5+842.949	5+855.949	5+869.379	5+882.379
								68.00				
61	CIRCULAR	0.00	105.00	0.00	93.18	86.82	159.10		5+950.377	5+950.377	6+109.478	6+109.478
								17.42				
62	CIRCULAR	0.00	200.00	0.00	156.22	23.78	83.01		6+126.898	6+126.898	6+209.910	6+209.910
								40.81				
63	ESPIRAL	20.00	80.00	20.00	138.06	41.94	38.55		6+250.717	6+270.717	6+309.270	6+329.270
								75.40				
64	ESPIRAL	15.00	110.00	15.00	165.62	14.38	12.62		6+404.672	6+419.672	6+432.287	6+447.287
								1.52				
65	ESPIRAL	15.00	50.00	15.00	134.39	45.61	24.81		6+448.807	6+463.807	6+488.612	6+503.612
								22.19				

66	ESPIRAL	35.00	55.00	35.00	104.47	75.53	37.50	6+525.805	6+560.805	6+598.305	6+633.305
56.74											
67	ESPIRAL	22.00	45.00	22.00	123.97	56.03	22.01	6+690.045	6+712.045	6+734.051	6+756.051
23.88											
68	ESPIRAL	21.50	20.00	21.50	45.28	134.72	25.53	6+779.928	6+801.428	6+826.956	6+848.456
3.74											
69	ESPIRAL	12.00	65.00	12.00	164.33	15.67	5.78	6+852.195	6+864.195	6+869.973	6+881.973
0.24											
70	ESPIRAL	13.00	70.00	13.00	156.24	23.76	16.03	6+882.213	6+895.213	6+911.244	6+924.244
8.00											
71	ESPIRAL	17.00	35.00	17.00	133.32	46.68	11.52	6+932.245	6+949.245	6+960.760	6+977.760
1.00											
72	ESPIRAL	17.00	38.00	17.00	130.81	49.19	15.62	6+978.756	6+995.756	7+011.380	7+028.380
33.45											
73	CIRCULAR	0.00	200.00	0.00	164.48	15.52	54.19	7+061.834	7+061.834	7+116.021	7+116.021
68.97											
74	ESPIRAL	15.00	110.00	15.00	164.93	15.07	13.94	7+184.987	7+199.987	7+213.926	7+228.926
104.35											
75	CIRCULAR	0.00	920.00	0.00	175.95	4.05	65.04	7+333.279	7+333.279	7+398.322	7+398.322
111.62											
76	CIRCULAR	0.00	120.00	0.00	156.61	23.39	49.00	7+509.945	7+509.945	7+558.941	7+558.941
47.43											
77	CIRCULAR	0.00	200.00	0.00	160.62	19.38	67.63	7+606.367	7+606.367	7+673.999	7+673.999
42.90											
78	ESPIRAL	12.00	80.00	12.00	155.27	24.73	22.53	7+716.898	7+728.898	7+751.425	7+763.425
2.72											
79	ESPIRAL	25.00	80.00	25.00	133.91	46.09	39.35	7+766.148	7+791.148	7+830.496	7+855.496
0.47											
80	ESPIRAL	22.00	20.00	22.00	78.62	101.38	13.39	7+855.967	7+877.967	7+891.355	7+913.355
40.16											
81	ESPIRAL	22.00	20.00	22.00	62.40	117.60	19.05	7+953.513	7+975.513	7+994.563	8+016.563
24.76											
82	ESPIRAL	20.00	30.00	20.00	101.88	78.12	20.90	8+041.325	8+061.325	8+082.226	8+102.226
15.71											
83	ESPIRAL	20.00	35.00	20.00	107.71	72.29	24.16	8+117.939	8+137.939	8+162.098	8+182.098
6.57											
84	ESPIRAL	16.00	70.00	16.00	153.68	26.32	16.15	8+188.666	8+204.666	8+220.818	8+236.818
20.73											
85	ESPIRAL	18.00	75.00	18.00	152.15	27.85	18.46	8+257.552	8+275.552	8+294.013	8+312.013
2.80											
86	ESPIRAL	25.00	90.00	25.00	143.96	36.04	31.61	8+314.816	8+339.816	8+371.428	8+396.428
1.88											
87	ESPIRAL	11.00	90.00	11.00	165.21	14.79	12.24	8+398.303	8+409.303	8+421.542	8+432.542
12.19											
88	ESPIRAL	30.00	60.00	30.00	94.42	85.58	59.62	8+444.734	8+474.734	8+534.350	8+564.350

								3.21				
89	ESPIRAL	21.50	20.00	21.50	86.75	93.25	11.05		8+567.562	8+589.062	8+600.113	8+621.613
								0.56				
90	ESPIRAL	15.00	55.00	15.00	152.08	27.92	11.81		8+622.177	8+637.177	8+648.983	8+663.983
								0.35				
91	ESPIRAL	15.50	40.00	15.50	138.48	41.52	13.49		8+664.333	8+679.833	8+693.321	8+708.821
								29.90				
92	CIRCULAR	0.00	120.00	0.00	113.99	66.01	138.26		8+738.718	8+738.718	8+876.978	8+876.978
								26.50				
93	ESPIRAL	14.00	100.00	14.00	164.94	15.06	12.29		8+903.476	8+917.476	8+929.767	8+943.767
								30.13				
94	ESPIRAL	16.00	55.00	16.00	145.87	34.13	16.77		8+973.892	8+989.892	9+006.659	9+022.659
								2.07				
95	ESPIRAL	18.00	30.00	18.00	118.98	61.02	13.95		9+024.731	9+042.731	9+056.680	9+074.680
								1.30				9+075.983

Fuente: Sergio Ortiz

### 5.3.9. Comprobaciones curvas espirales

En función de la longitud mínima de la espiral de acuerdo a la transición de peralte:

$$L_e \geq \frac{a * e_c}{m}$$

En donde:

a = ancho del carril

m = gradiente de transición del peralte

ec = peralte máximo de la curva circular

Para una velocidad de 20km/h la pendiente relativa de los bordes respecto al eje de la vía m, es de máximo 1.35% y mínimo 0.3% de acuerdo a la siguiente tabla.

*Tabla 40: Valores máximos y mínimos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada con respecto al eje*  
**Valores máximos y mínimos de la pendiente relativa de los bordes de calzada respecto al eje**

Velocidad Especifica Vch (km/h)	Pendiente relativa de los bordes con respecto al eje de la vía <i>m</i>	
	Máxima %	Mínima %
20	1.35	0.10 (carril)
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.35	

*Fuente: (Instituto Nacional de Vias, 2008)*

### 5.3.10. Cálculos longitud mínima de la espiral de acuerdo a la transición de peralte

Tabla 41: Longitud mínima de la espiral

PI #	Curva	Long. Espiral Entrada	Radio Curva Circular (m.)	Long. Espiral Salida	Peralte calculado	Peralte Asumido	LONGITUD MIN. ESPIRAL EN FUNCION (TRANSICIÓN DEL PERALTE)		
							Con el valor máximo de m Le min	Comprobación	Con el valor mínimo de m Le max
67	ESPIRAL	22	45	22	4.44%	4.50%	14.44	CUMPLE	45.00
68	ESPIRAL	21.5	20	21.5	7.50%	7.50%	21.11	CUMPLE	75.00
69	ESPIRAL	12	65	12	3.27%	3.30%	11.78	CUMPLE	33.00
70	ESPIRAL	13	70	13	3.06%	3.50%	12.22	CUMPLE	35.00
71	ESPIRAL	17	35	17	5.39%	5.50%	16.67	CUMPLE	55.00
72	ESPIRAL	17	38	17	5.07%	5.50%	16.67	CUMPLE	55.00
74	ESPIRAL	15	110	15	2.03%	2.50%	10.00	CUMPLE	25.00
78	ESPIRAL	12	80	12	2.72%	3.00%	11.11	CUMPLE	30.00
79	ESPIRAL	25	80	25	2.72%	3.00%	11.11	CUMPLE	30.00
80	ESPIRAL	22	20	22	7.50%	7.50%	21.11	CUMPLE	75.00
81	ESPIRAL	22	20	22	7.50%	7.50%	21.11	CUMPLE	75.00
82	ESPIRAL	20	30	20	6.00%	6.00%	17.78	CUMPLE	60.00
83	ESPIRAL	20	35	20	5.39%	5.50%	16.67	CUMPLE	55.00
84	ESPIRAL	16	70	16	3.06%	3.50%	12.22	CUMPLE	35.00
85	ESPIRAL	18	75	18	2.88%	3.00%	11.11	CUMPLE	30.00
86	ESPIRAL	25	90	25	2.44%	2.50%	10.00	CUMPLE	25.00
87	ESPIRAL	11	90	11	2.44%	2.50%	10.00	CUMPLE	25.00
88	ESPIRAL	30	60	30	3.50%	3.50%	12.22	CUMPLE	35.00
89	ESPIRAL	21.5	20	21.5	7.50%	7.50%	21.11	CUMPLE	75.00
90	ESPIRAL	15	55	15	3.77%	4.00%	13.33	CUMPLE	40.00
91	ESPIRAL	15.5	40	15.5	4.88%	4.50%	14.44	CUMPLE	45.00
93	ESPIRAL	14	100	14	2.22%	2.50%	10.00	CUMPLE	25.00
94	ESPIRAL	16	55	16	3.77%	4.00%	13.33	CUMPLE	40.00
95	ESPIRAL	18	30	18	6.00%	6.00%	17.78	CUMPLE	60.00

Fuente: Sergio Ortiz

### 5.3.11. Transición del peralte

La sección transversal de la calzada sobre un alineamiento recto tiene una inclinación comúnmente llamada bombeo normal, el cual tiene por objeto facilitar el drenaje o escurrimiento de las aguas lluvias lateralmente hacia las cunetas. Para este caso, se toma el valor del bombeo 2%, pendiente transversal que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua. El punto en que el borde exterior de una curva comienza a levantarse desde su posición normal en recta (con bombeo) es donde empieza la longitud de transición;



esta longitud se extiende a lo largo de la tangente y el inicio de la curva, hasta que conforma del peralte total para cada curva, existiendo uno distinto para cada curva en función del radio.

Para pasar de una sección transversal con bombeo normal (2%) a otra con peralte, es necesario realizar un cambio de inclinación de la calzada. Este cambio debe ser realizado de una manera gradual, no se puede realizar bruscamente. Por lo tanto, se debe distribuir estas secciones a lo largo del cambio del peralte; a este tramo de vía se le llama transición de peraltado.

En nuestro caso se realizará el desarrollo del peralte haciendo girar la calzada alrededor de su eje, que es lo recomendado para terrenos montañosos según (MOP, 2003) y el mismo que produce un desarrollo más armónico a lo largo de la transición, ocupando el valor de la gradiente relativa longitudinal en función a la Tabla 40, siendo 1.35%. Con este valor y el ancho de carril de 3m y bombeo de vía del 2%, se calcularon los valores de nuestra longitud de aplanamiento (x) y longitud de transición (L), para lo que es necesario indicar que la longitud de aplanamiento en la transición del peralte se desarrollara 100% dentro de las espirales debido al tipo de terreno. A continuación, en la ilustración se muestra toda la transición en sus cuatro fases.

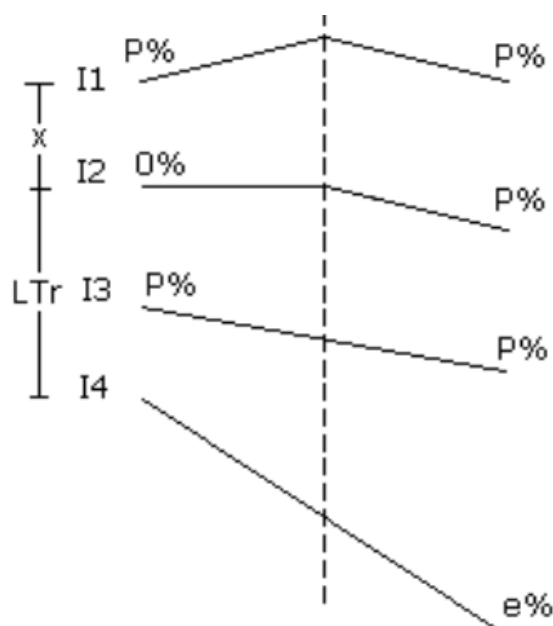


Ilustración 13: Transición del peralte  
Fuente: (MOP, 2003)

Para el cálculo del peralte se ha empleado la siguiente ecuación de la AASHTO (método 5):

$$e = e_{max} - e_{max} \left( \frac{R - R_{min}}{R} \right)^2$$

Para el cálculo del gradiente lo he tomado de la siguiente tabla de la AASHTO, en función de la velocidad de diseño.

*Tabla 42: Gradiente en función de la velocidad en Km/h*

<b>Velocidad de Diseño (km/h)</b>	<b>Gradientes Máximo (%)</b>
20	8
30	8
40	10
50	11
60	11
70	12

*Fuente: (AASHTO, 2004)*

Para una velocidad de 20 km/h, el gradiente  $i=0.8$

La mínima longitud de transición es:

$$L = 0.56 * Vd \text{ (MTOPI 2003)}$$

$$L = 0.56 * 20$$

$$L = 11.20 \text{ m}$$

Tabla 43: Cálculo del peralte

PI #	Peralte calculado	Peralte Asumido	x/N	L	Lt	Pe nd. de borde	I0/TE	I1	I2	I3/PC/EC	CC	I3'/PT/CE	I2'	I1'	I0'/I3
57	2.57%	3.00%	6.00	9.00	15.00	1.00%	5+584.014	5+590.014	5+596.014	5+599.014	5+608.137	5+617.259	5+620.259	5+626.259	5+632.259
58	1.16%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	5+657.236	5+657.236	5+657.236	5+657.236	5+682.570	5+707.904	5+707.904	5+707.904	5+707.904
59	1.16%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	5+740.011	5+740.011	5+740.011	5+740.011	5+761.804	5+783.596	5+783.596	5+783.596	5+783.596
60	2.88%	3.00%	5.20	7.80	13.00	1.15%	5+842.949	5+848.149	5+853.349	5+855.949	5+862.664	5+869.379	5+871.979	5+877.179	5+882.379
61	2.12%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	5+950.377	5+950.377	5+950.377	5+950.377	6+029.928	6+109.478	6+109.478	6+109.478	6+109.478
62	1.16%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	6+126.898	6+126.898	6+126.898	6+126.898	6+168.404	6+209.910	6+209.910	6+209.910	6+209.910
63	2.72%	3.00%	8.00	12.00	20.00	0.75%	6+250.717	6+258.717	6+266.717	6+270.717	6+289.994	6+309.270	6+313.270	6+321.270	6+329.270
64	2.03%	2.50%	6.67	8.33	15.00	0.90%	6+404.672	6+411.339	6+418.005	6+419.672	6+425.980	6+432.287	6+433.954	6+440.620	6+447.287
65	4.08%	4.50%	4.62	10.38	15.00	1.30%	6+448.807	6+453.422	6+458.038	6+463.807	6+476.210	6+488.612	6+494.381	6+498.997	6+503.612
66	3.77%	4.00%	11.67	23.33	35.00	0.51%	6+525.805	6+537.472	6+549.138	6+560.805	6+579.555	6+598.305	6+609.972	6+621.638	6+633.305
67	4.44%	4.50%	6.77	15.23	22.00	0.89%	6+690.045	6+696.814	6+703.583	6+712.045	6+723.048	6+734.051	6+742.513	6+749.282	6+756.051
68	7.50%	7.50%	4.53	16.97	21.50	1.33%	6+779.928	6+784.454	6+788.981	6+801.428	6+814.192	6+826.956	6+839.403	6+843.930	6+848.456
69	3.27%	3.30%	4.53	7.47	12.00	1.33%	6+852.195	6+856.723	6+861.252	6+864.195	6+867.084	6+869.973	6+872.916	6+877.445	6+881.973
70	3.06%	3.50%	4.73	8.27	13.00	1.27%	6+882.213	6+886.940	6+891.668	6+895.213	6+903.229	6+911.244	6+914.789	6+919.517	6+924.244
71	5.39%	5.50%	4.53	12.47	17.00	1.32%	6+932.245	6+936.778	6+941.312	6+949.245	6+955.003	6+960.760	6+968.693	6+973.227	6+977.760
72	5.07%	5.50%	4.53	12.47	17.00	1.32%	6+978.756	6+983.289	6+987.823	6+995.756	7+003.568	7+011.380	7+019.313	7+023.847	7+028.380
73	1.16%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	7+061.834	7+061.834	7+061.834	7+061.834	7+088.928	7+116.021	7+116.021	7+116.021	7+116.021
74	2.03%	2.50%	6.67	8.33	15.00	0.90%	7+184.987	7+191.654	7+198.320	7+199.987	7+206.957	7+213.926	7+215.593	7+222.259	7+228.926
75	0.26%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	7+333.279	7+333.279	7+333.279	7+333.279	7+365.801	7+398.322	7+398.322	7+398.322	7+398.322

76	1.88%	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7+509	7+509	7+509	7+509	7+534	7+558	7+558	7+558	7+558
			0	0	0	0	0%	.945	.945	.945	.945	.443	.941	.941	.941	.941
77	1.16%	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7+606	7+606	7+606	7+606	7+640	7+673	7+673	7+673	7+673
			0	0	0	0	0%	.367	.367	.367	.367	.183	.999	.999	.999	.999
78	2.72%	3.00%	4.8	7.2	12.00	1.2	5%	7+716	7+721	7+726	7+728	7+740	7+751	7+753	7+758	7+763
			0	0	00	5%	.898	.698	.498	.898	.162	.425	.825	.625	.625	.425
79	2.72%	3.00%	10.00	15.00	25.00	0.6	0%	7+766	7+776	7+786	7+791	7+810	7+830	7+835	7+845	7+855
			00	00	00	0%	.148	.148	.148	.148	.148	.822	.496	.496	.496	.496
80	7.50%	7.50%	4.6	17.37	22.00	1.3	0%	7+855	7+860	7+865	7+877	7+884	7+891	7+904	7+908	7+913
			3	37	00	0%	.967	.599	.230	.967	.661	.355	.092	.723	.355	
81	7.50%	7.50%	4.6	17.37	22.00	1.3	0%	7+953	7+958	7+962	7+975	7+985	7+994	8+007	8+011	8+016
			3	37	00	0%	.513	.145	.776	.513	.038	.563	.300	.931	.563	
82	6.00%	6.00%	5.0	15.00	20.00	1.2	0%	8+041	8+046	8+051	8+061	8+071	8+082	8+092	8+097	8+102
			0	00	00	0%	.325	.325	.325	.325	.776	.226	.226	.226	.226	.226
83	5.39%	5.50%	5.3	14.67	20.00	1.1	3%	8+117	8+123	8+128	8+137	8+150	8+162	8+171	8+176	8+182
			3	67	00	3%	.939	.272	.606	.939	.019	.098	.431	.765	.098	
84	3.06%	3.50%	5.8	10.18	16.00	1.0	3%	8+188	8+194	8+200	8+204	8+212	8+220	8+225	8+231	8+236
			2	18	00	3%	.666	.484	.302	.666	.742	.818	.182	.000	.818	
85	2.88%	3.00%	7.2	10.80	18.00	0.8	3%	8+257	8+264	8+271	8+275	8+284	8+294	8+297	8+304	8+312
			0	80	00	3%	.552	.752	.952	.552	.783	.013	.613	.813	.013	
86	2.44%	2.50%	11.11	13.89	25.00	0.5	4%	8+314	8+325	8+337	8+339	8+355	8+371	8+374	8+385	8+396
			11	89	00	4%	.816	.927	.038	.816	.622	.428	.206	.317	.428	
87	2.44%	2.50%	4.8	6.1	11.00	1.2	3%	8+398	8+403	8+408	8+409	8+415	8+421	8+422	8+427	8+432
			9	1	00	3%	.303	.192	.081	.303	.423	.542	.764	.653	.542	
88	3.50%	3.50%	10.91	19.09	30.00	0.5	5%	8+444	8+455	8+466	8+474	8+504	8+534	8+542	8+553	8+564
			91	09	00	5%	.734	.643	.552	.734	.542	.350	.532	.441	.350	
89	7.50%	7.50%	4.5	16.97	21.50	1.3	3%	8+567	8+572	8+576	8+589	8+594	8+600	8+612	8+617	8+621
			3	97	50	3%	.562	.088	.615	.062	.588	.113	.560	.087	.613	
90	3.77%	4.00%	5.0	10.00	15.00	1.2	0%	8+622	8+627	8+632	8+637	8+643	8+648	8+653	8+658	8+663
			0	00	00	0%	.177	.177	.177	.177	.080	.983	.983	.983	.983	
91	4.88%	4.50%	4.7	10.73	15.50	1.2	6%	8+664	8+669	8+673	8+679	8+686	8+693	8+699	8+704	8+708
			7	73	50	6%	.333	.102	.871	.833	.577	.321	.283	.052	.821	
92	1.88%	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0%	8+738	8+738	8+738	8+738	8+807	8+876	8+876	8+876	8+876
			0	0	0	0%	.718	.718	.718	.718	.848	.978	.978	.978	.978	
93	2.22%	2.50%	6.2	7.7	14.00	0.9	6%	8+903	8+909	8+915	8+917	8+923	8+929	8+931	8+937	8+943
			2	8	00	6%	.476	.698	.920	.476	.622	.767	.323	.545	.767	
94	3.77%	4.00%	5.3	10.67	16.00	1.1	3%	8+973	8+979	8+984	8+989	8+998	9+006	9+011	9+017	9+022
			3	67	00	3%	.892	.225	.559	.892	.276	.659	.992	.326	.659	
95	6.00%	6.00%	4.5	13.50	18.00	1.3	3%	9+024	9+029	9+033	9+042	9+049	9+056	9+065	9+070	9+074
			0	50	00	3%	.731	.231	.731	.731	.706	.680	.680	.180	.680	

Fuente: Sergio Ortiz

## 5.3.12. Sobreanchos

Los vehículos al ingresar a una curva ocupan un ancho superior al del carril de recorrido, debido a que las ruedas traseras no siguen la misma dirección de las delanteras, por lo que es de suma importancia la colocación de un ancho adicional al de la calzada, a este adicional se le llama sobre - ancho. Como se determinó en nuestro diseño que el vehículo tipo es un camión 2DB, similar a un SU9 de la norma AASHTO, se ha determinado el sobreancho con la siguiente ecuación de la norma MTOP 2003.

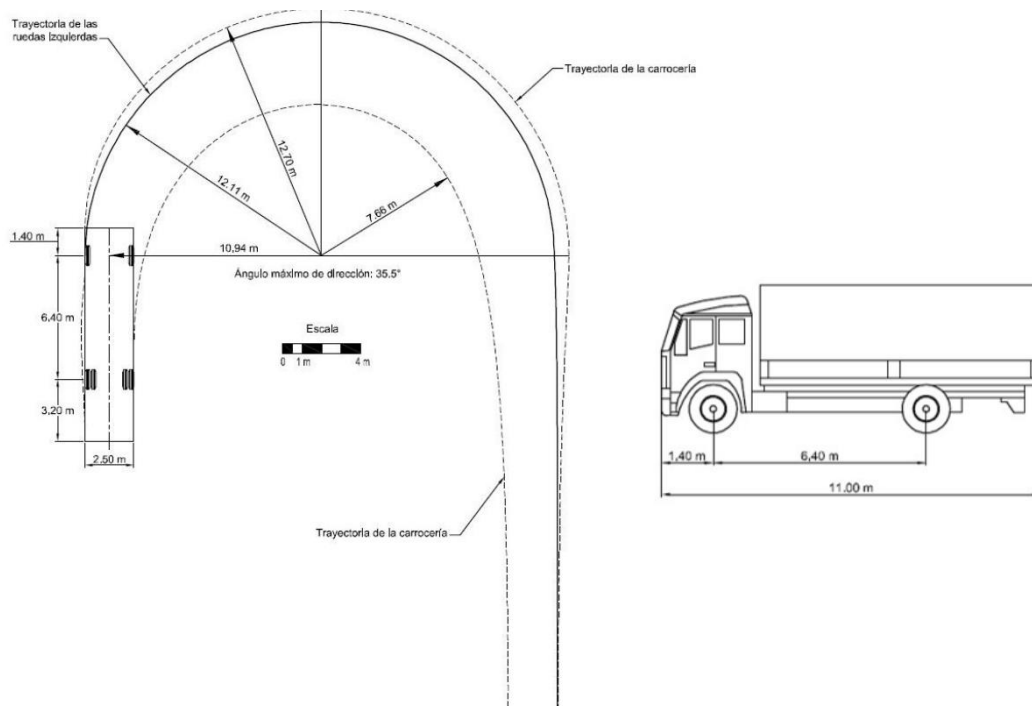


Ilustración 14: Vehículo tipo sobre anchos  
Fuente: (MOP, 2003)

$$S = R - \left( \sqrt{R^2 + L^2} \right)$$

Donde:

S= sobreancho (m)

R= radio de la curva (m)

V= velocidad de diseño (Km/h)

n= Número de carriles

A continuación, se presenta el cálculo de valores de sobreanchos en las diferentes curvas del trazado:

Tabla 44: Sobre anchos calculados  
**SOBREANCHOS CALCULADOS**

PI #	Curva	Radio	Sobreancho Calculado (m)	Sobreancho Asumido (m)
57	ESPIRAL	85.000	0.410	0.000
58	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
59	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
60	ESPIRAL	75.000	0.460	0.000
61	CIRCULAR	105.000	0.330	0.000
62	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
63	ESPIRAL	80.000	0.430	0.000
64	ESPIRAL	110.000	0.310	0.000
65	ESPIRAL	50.000	0.690	0.000
66	ESPIRAL	55.000	0.630	0.000
67	ESPIRAL	45.000	0.770	0.800
68	ESPIRAL	20.000	1.800	1.800
69	ESPIRAL	65.000	0.530	0.000
70	ESPIRAL	70.000	0.490	0.750
71	ESPIRAL	35.000	1.000	1.000
72	ESPIRAL	38.000	0.920	0.950
73	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
74	ESPIRAL	110.000	0.310	0.000
75	CIRCULAR	920.000	0.040	0.000
76	CIRCULAR	120.000	0.290	0.000
77	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
78	ESPIRAL	80.000	0.430	0.000
79	ESPIRAL	80.000	0.430	0.000
80	ESPIRAL	20.000	1.800	1.800
81	ESPIRAL	20.000	1.800	1.800
82	ESPIRAL	30.000	1.170	1.200
83	ESPIRAL	35.000	1.000	1.000
84	ESPIRAL	70.000	0.490	0.000
85	ESPIRAL	75.000	0.460	0.000
86	ESPIRAL	90.000	0.380	0.000
87	ESPIRAL	90.000	0.380	0.000
88	ESPIRAL	60.000	0.580	0.000
89	ESPIRAL	20.000	1.800	1.800
90	ESPIRAL	55.000	0.630	0.000
91	ESPIRAL	200.000	0.170	0.000
92	CIRCULAR	200.000	0.170	0.000
93	ESPIRAL	95.000	0.360	0.000
94	ESPIRAL	200.000	0.170	0.000
95	ESPIRAL	30.000	1.170	1.200

Fuente: Sergio Ortiz

### *5.3.13. Diseño Geométrico en Perfil*

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener un buen alineamiento horizontal (MOP, 2003).

### *5.3.14. Gradientes*

En general, las gradientes a adoptarse dependen directamente de la topografía del terreno y deben tener valores bajos en lo posible, a fin de permitir razonables velocidades de circulación y facilitar la operación de los vehículos.

La gradiente longitudinal mínima será de 0.5% por razones de drenaje y del 12% la gradiente longitudinal máxima, sin embargo, de acuerdo a la Tabla 35 para carreteras clase IV se puede aumentar el gradiente longitudinal en 3% para terrenos montañosos, para longitudes menores a 750m, por lo tanto, el máximo gradiente longitudinal adoptado en el proyecto es de 15%.

### *5.3.15. Curvas Verticales*

El cambio de pendiente que se debe realizar en la alineación de un proyecto vertical, provoca que se deba colocar curvas verticales, las cuales pueden ser cóncavas o convexas, sin embargo, para poder justificar el hecho de tomar los valores absolutos de la Tabla 45 y la Tabla 46 (Valores mínimos de diseño del coeficiente "k"), se debe a que los promotores del proyecto han solicitado que el nuevo diseño se apegue a la rasante existente.

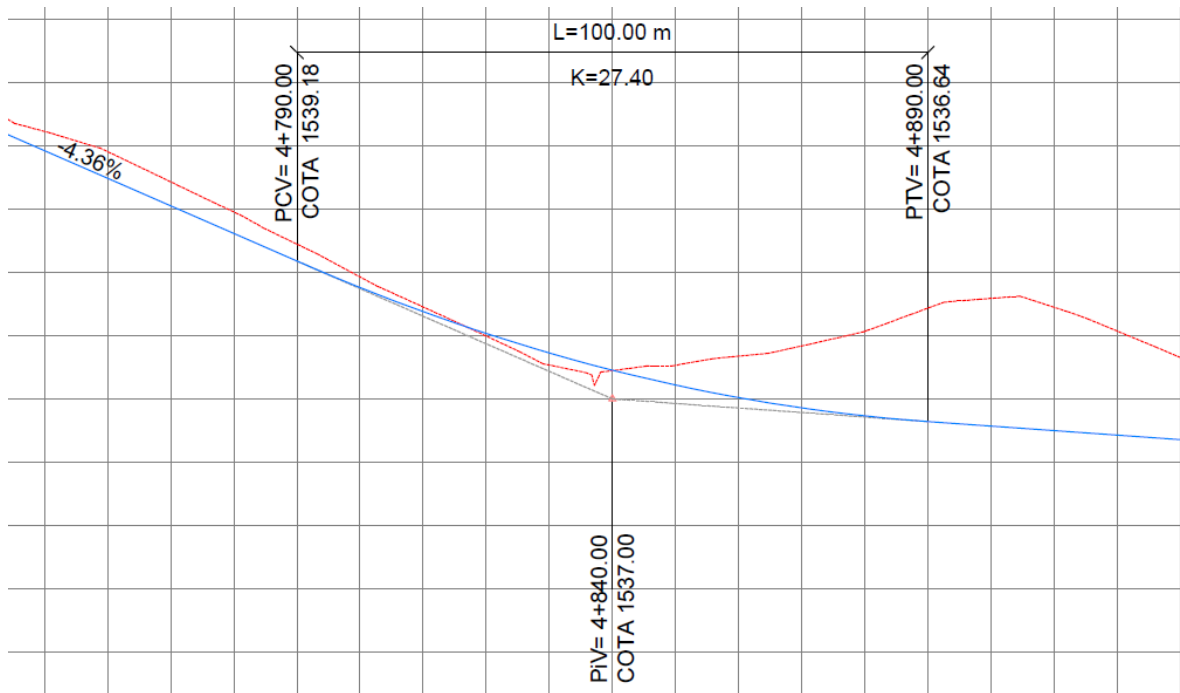


Ilustración 15: Curvas Verticales  
Fuente: Sergio Ortiz

### 5.3.16. Curvas verticales convexas

La longitud mínima de las curvas verticales se determina en base a los requerimientos de la distancia de visibilidad de parada de un vehículo, considerando una altura del ojo del conductor de 1.15 m y una altura del objeto que se divisa sobre la carretera igual a 0.15 m. Esta longitud está dada por:

$$L = \frac{A * S^2}{426}$$

Donde:

L = longitud de la curvatura vertical convexa (m).

A = diferencia algebraica de las gradientes (%).

S = distancia de visibilidad para la parada de un vehículo (m).

La longitud de la curva vertical convexa en su expresión más simple es:

$$L = K * A$$



Nuestro valor de distancia de parada mínimo obtenido fue de  $D_p = 25.00\text{m}$  por lo tanto nuestro  $K$  mínimo será de 1.46, lo cual se comprueba con la Tabla 45 donde se indica el valor de  $k$  mínimo a utilizar. De acuerdo a la Tabla 35 los coeficientes  $k$  para curvas verticales convexas determina lo siguiente.

Tabla 45: Valores mínimos de diseño del coeficiente "k" convexas.

R---lo	Clase de carretera				Valor Recomendable			Valor Absoluto		
	R---II	>		TPDA	L	O	M	L	O	M
I	3000	a	8000	TPDA	115	80	43	80	43	28
II	1000	a	3000	TPDA	80	60	28	60	28	12
III	300	a	1000	TPDA	60	43	19	43	28	7
IV	100	a	300	TPDA	43	28	12	28	12	4
V	Menos	de	100	TPDA	28	12	7	12	3	2
					12	7	4	7	3	2

Fuente: (MOP, 2003)

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales convexas viene dada por:

$$L_{min} = 0.60Vd.$$

### 5.3.17. Curvas verticales cóncavas

La longitud mínima de las curvas cóncavas se determina en base a la seguridad de la vía ya que es necesario que las curvas verticales cóncavas sean lo suficientemente largas, de modo que la longitud de los rayos de los faros de un vehículo sea aproximadamente igual a la distancia de visibilidad necesaria para la parada de un vehículo. Esta longitud está dada por:

$$L = \frac{A * S^2}{(122 + 3.50 * S)}$$

En la que la altura de los faros se estima en 60 cm. Si expresamos la longitud con el uso del factor  $K$  tenemos:

$$L = K * A$$

Como nuestro valor de distancia de parada mínimo obtenido fue de  $D_p = 25.00\text{ m}$ . nuestro  $K$  mínimo será de 2.98 lo cual se comprueba en la Tabla 46 dónde se indican el valor mínimo de "K" a utilizar, De acuerdo a la Tabla 35 los coeficientes  $k$  para curvas verticales cóncavas determina lo siguiente.

Tabla 46: Valores mínimos de diseño del coeficiente "k" cóncavas.

Clase de carretera					Valor Recomendable			Valor Absoluto		
					L	O	M	L	O	M
R---lo	R---II	>	8000	TPDA	115	80	43	80	43	28
I	3000	a	8000	TPDA	80	60	28	60	28	12
II	1000	a	3000	TPDA	60	43	19	43	28	7
III	300	a	1000	TPDA	43	28	12	28	12	4
IV	100	a	300	TPDA	28	12	7	12	3	2
V	Menos	de	100	TPDA	12	7	4	7	3	2

Fuente: (MOP, 2003)

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales convexas viene dada por:

$$L_{min} = 0.60Vd.$$

Tabla 47: Cálculos curvas verticales

Nº	P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T.E.	Inclinación de rasante T.S.	A (Cambio de pendiente)	Tipo de curva de perfil	Valor de K	Longitud de curva de perfil
17	5+890.00m	1531.000m	-3.31%	2.22%	5.53%	Cóncavo	21.685	120.000m
18	6+025.00m	1534.000m	2.22%	-2.56%	4.79%	Convexo	16.714	80.000m
19	6+220.00m	1529.000m	-2.56%	5.33%	7.90%	Cóncavo	5.065	40.000m
20	6+295.00m	1533.000m	5.33%	-1.33%	6.67%	Convexo	6	40.000m
21	6+370.00m	1532.000m	-1.33%	-6.53%	5.20%	Convexo	7.696	40.000m
22	6+615.00m	1516.000m	-6.53%	-7.05%	0.51%	Convexo	77.694	40.000m
23	6+835.00m	1500.500m	-7.05%	10.36%	17.40%	Cóncavo	3.448	60.000m
24	6+975.00m	1515.000m	10.36%	-1.95%	12.31%	Convexo	9.749	120.000m
25	7+180.00m	1511.000m	-1.95%	5.00%	6.95%	Cóncavo	5.754	40.000m
26	7+260.00m	1515.000m	5.00%	-1.54%	6.54%	Convexo	6.118	40.000m
27	7+390.00m	1513.000m	-1.54%	4.33%	5.87%	Cóncavo	6.816	40.000m
28	7+445.00m	1515.381m	4.33%	-4.58%	8.91%	Convexo	4.489	40.000m
29	7+505.00m	1512.632m	-4.58%	1.05%	5.63%	Cóncavo	7.1	40.000m
30	7+635.00m	1514.000m	1.05%	-2.76%	3.81%	Convexo	15.746	60.000m
31	7+780.00m	1510.000m	-2.76%	-6.03%	3.27%	Convexo	39.799	130.000m
32	7+985.00m	1497.649m	-6.03%	-1.86%	4.16%	Cóncavo	21.619	90.000m
33	8+170.00m	1494.204m	-1.86%	1.08%	2.94%	Cóncavo	20.422	60.000m
34	8+315.00m	1495.764m	1.08%	-9.66%	10.74%	Convexo	3.725	40.000m
35	8+385.00m	1489.000m	-9.66%	-1.07%	8.60%	Cóncavo	6.98	60.000m
36	8+595.00m	1486.760m	-1.07%	3.18%	4.24%	Cóncavo	14.144	60.000m
37	8+760.00m	1492.000m	3.18%	2.25%	0.93%	Convexo	64.49	60.000m
38	8+880.00m	1494.694m	2.25%	0.55%	1.70%	Convexo	47.141	80.000m
39	9+070.00m	1495.736m	0.55%					

Fuente: Sergio Ortiz

### 5.3.18. Movimiento de Tierras

El movimiento de tierras es uno de los principales rubros a considerar para la elaboración del presupuesto vial, para lo cual es necesario determinar las cantidades de corte, relleno y las distancias de acarreo que existen en nuestro proyecto.

El cálculo de volúmenes consiste en la división del área de la sección en formas geométricas simples como triángulos y trapecios coincidentes con los puntos de inflexión del terreno, y la obtención del semi ancho del camino de los puntos de la lateral, por medio de las cuales se calcula el área y posteriormente el volumen (Método de Gauss). Para calcular los volúmenes se utiliza la formula prismoidal:

$$V = \frac{L}{6} (F_1 + 4F_M + F_2)$$

Dónde:

V = Volumen del prisma

L = Distancia entre dos áreas de secciones transversales paralelas entre sí.

F1,F2 = Áreas de secciones transversales paralelas entre sí.

Fm = Área de sección media

El área de corte y relleno correspondiente a la vía en estudio para toda su longitud se puede visualizar en la siguiente imagen tomada del programa computacional Civil 3D.

Volumen de Corte: 52430 m<sup>3</sup>

Volumen de Relleno: 6415 m<sup>3</sup>



Ilustración 16: Volumen de corte y relleno  
Fuente: Sergio Ortiz

En la Ilustración 17 se presenta el Diagrama de Masa correspondiente al tramo en estudio (5+500.00 a 9+076.00), para el cuál se ha considerado una longitud de acarreo libre de 500.00 m. El área en color rojo representa el volumen a ser cancelado con acarreo, mientras que el área en color verde representa el volumen con acarreo libre. Para el diagrama de masas se ha medido distancias desde el punto de equilibrio sin embargo podrá ser el fiscalizador o el ente contratante quien pudiera minimizar los costos de acarreo estableciendo estratégicamente las escombreras.

Como puede observarse en el diagrama de masas no existe el típico punto de inflexión que se da generalmente en una apertura vial. Esto se debe a que el proyecto presentado representa un mejoramiento vial en el cual el principal movimiento de tierras corresponde a un ensanchamiento de la calzada y una corrección del proyecto vertical. Esto siempre tendiendo al corte para disminuir la construcción de muros de contención y aprovechar las propiedades del terreno natural que permite taludes con ángulos superiores a los 60°.

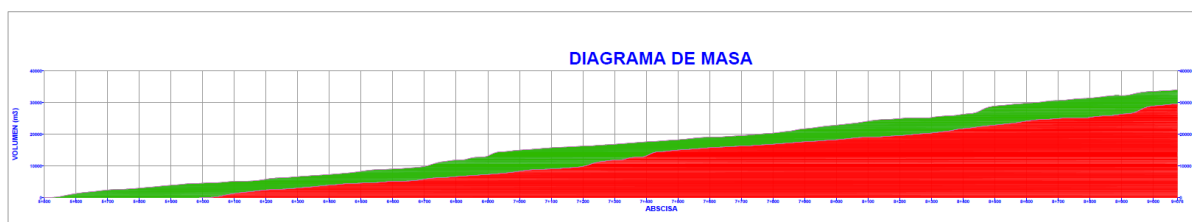


Ilustración 17: Diagrama de Masa  
Fuente: Sergio Ortiz

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La topografía de la zona de estudio se encuentra en una zona montañosa en dónde el eje de la vía actual ha servido como referencia para delimitar la franja topográfica de 30m de ancho. Se obtuvo de manera adecuada un modelo digital del terreno generando curvas de nivel por cada metro. El levantamiento topográfico se encuentra adecuadamente geo referenciado y enlazado a los puntos del IGM. Se han colocado puntos fijos (placas de bronce) y de referencia (cilindros de hormigón). Finalmente, una vez aprobado el diseño, se ha procedido a realizar el replanteo del eje de la vía.
- En base al aforo vehicular se obtuvo una carga de 292.566 ESALs. El CBR característico de la sub rasante es de 5,17 %. En base a estos resultados, se han planteado dos alternativas de diseño. La alternativa 1 se ha obtenido una estructura de pavimento flexible caracterizada por:

- Capa de rodadura de hormigón asfáltico, mezcla en caliente de planta, con una estabilidad Marshall mayor a 1.800 lb. Espesor: 5 cm.
- Capa de base granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>80%. Espesor: 12 cm.
- Capa de subbase granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>30%. Espesor: 25 cm.

De los cálculos de la alternativa 2 se ha obtenido una estructura de pavimento caracterizada por:

- Capa de rodadura de doble tratamiento superficial bituminoso.
- Capa de estabilizada con cemento, resistencia a la compresión a los 7 días mayor a 30 kg/cm<sup>2</sup>. Espesor 17 cm.
- Capa de subbase granular tipo II, compactada al 100% del Proctor Modificado, CBR>30%. Espesor: 30 cm.

En cuanto al mantenimiento y rehabilitación, se recomienda que a los 10 años se realice: una rehabilitación con riego de liga, y 5 cm de carpeta asfáltica para la alternativa 1; y una rehabilitación con escarificado, 15 cm de base granular no tratada y tratamiento superficial doble, para el caso de la alternativa 2. Ambas rehabilitaciones acompañadas de conservación rutinaria. Es importante señalar que las rehabilitaciones son planteadas en función del tráfico y los elementos de la estructura, pero en el año 10 estas dependerán del estado que presente la vía en ese momento, medido a partir de determinar el Índice de condición del pavimento, PCI por sus siglas en inglés.

En cuanto al diseño geométrico, se ha tratado de respetar al máximo posible el trazado existente, sin embargo, en lugares donde no ha sido posible se ha tenido en consideración realizar cortes y no rellenos, esto aprovechando la estabilidad del terreno existente. El proyecto tiene un ancho básico de 7.20 m permitiendo una circulación simultánea en dos carriles, se han utilizado curvas circulares para radios iguales o superiores a 200.00 m y curvas espirales para radios inferiores. En el tramo comprendido desde la 5+500.00 hasta la 9+075.98, se tiene una pendiente vertical máxima del 10.36%, y un total de 38 curvas.

## Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide For Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2004). *O Guide For Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Alvarez Lopez, J. S. (12 de 06 de 2021). Planeación topográfica para rectificación de linderos a través DE LEVANTAMIENTOS RTK, NTRIP Y VUELOS RPAS. *TRABAJO DE GRADO MODALIDAD DE MONOGRAFÍA PARA ASPIRAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS*. Bogota, Bogota, Colombia: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Bravo A., G. A. (7 de Julio de 2022). Propuesta de mejoramiento vial de la vía a San Luis de Aloguincho, Km 1+822-3+382, ubicado en la parroquia rural Atahualpa, cantón Quito, provincia de Pichincha. *Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniera e Ingeniero Civil*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Cando M., P. C. (7 de septiembre de 2022). Propuesta de mejoramiento vial de la vía Aloguincho-Atahualpa KM 0+000 al km 1+822 ubicado en la parroquia rural Atahualpa, cantón Quito, provincia de Pichincha. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- ELECAUSTRO, S. (26 de 05 de 2022). *ELECAUSTRO*. Obtenido de [elecaustro.gob.ec: https://www.elecaustro.gob.ec/proyectos/proyecto-eolico-minas-de-huascachaca/](https://www.elecaustro.gob.ec/proyectos/proyecto-eolico-minas-de-huascachaca/)
- GADP, San Sebastin de Yuluc. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE SAN SEBASTIÁN DE YÚLUC 2020-2023*. San Sebastin de Yuluc: GADP San Sebastin de Yuluc.
- Instituto Geografico Militar. (1973). Hoja 55, Saraguro. *Mapa Geolgico del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: Talleres Graficos del Instituto Geografico Militar.
- Instituto Geografico Militar. (22 de 07 de 2020). *Geoportal IGM*. Obtenido de <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Instituto Nacional de Vias. (2008). *Manual de Diseño Geometrico de Carreteras*. Bogota: Ministerio de Transporte, Republica de Colombia.
- Monsalve L., G. L. (4 de febrero de 2022). DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE. *diseño de la vía Santander de Quilichao – Te de Villa Rica*. Armenia, Cauca, Colombia: Universidad del Quindio.
- Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras*. 2006: Universidad Catolica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito: Ministerio de Obras Pblicas y Comunicaciones.
- MOP. (2003). *Normas de Diseño Geomtrico de Carreteras*. Quito: MOP.

- Petrocomercial. (2019). *Informe Estadístico Diciembre - Enero 2019*. Quito: Petrocomercial.
- Quintanilla I., B. J. (24 de enero de 2004). Estudio y aplicaciones de servicios de posicionamiento/navegación RTK basado en IP. *Estudio y aplicaciones de servicios de posicionamiento/navegación RTK basado en IP*. Valencia, Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Ramos L. Alba, M. (7 de Marzo de 2023). Propuesta de mejoramiento vial de la calle principal “Subida al Belén” de longitud 2.9 km, sector El Belén, ubicado en la parroquia rural Tambillo, cantón Mejía, provincia de Pichincha. *Trabajo de titulación previo a la obtención de Ingeniero Civil*, 284. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Rondon H., R. F. (2007). METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: TENDENCIAS, ALCANCES Y LIMITACIONES. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 41-65.
- Terán Limaico, E. J. (29 de julio de 2022). ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LOS EQUIPOS GPS Y GNSS CON CORRECCIÓN DIFERENCIAL RTK Y NTRIP CON FINES CATASTRALES EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE URCUQUÍ. *Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Agronegocios Avalúos y Catastros*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Vanegas, A. (2022). *laboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yuluc desde la abscisa 0+000 a 5+500, ubicada en el cantón Saraguro de la provincia de Loja*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- WCED. (1987). Our Common Future. *World Commission on Environment and Development* (pág. 42). Nueva York: Oxford University Press.