

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transportes III Cohorte

“Diseño geométrico y diseño de la estructura de pavimentos de la vía de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km” en el cantón Saraguro de la provincia de Loja”.

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

Autora:

Ing. Martha Azucena Loja Suconota

CI: 0105548697

Correo electrónico: ing.marthaloja@gmail.com

Director:

Ing. Eduardo Tejeda Piusseaut, Ph.D

CI: 0963616453

Cuenca, Ecuador

06-septiembre-2022

Resumen:

El presente trabajo de titulación forma parte del Convenio de Cooperación Interinstitucional para realizar los “Estudios y Diseños definitivos de las vías a la cabecera parroquial de Yúluc, Uchucay- Sumaypamba-Playas de Sumaypamba, vía a Yunquil y vías de la Urbanización de los Precaristas del cantón Saraguro, Provincia de Loja”, entre la Empresa Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Sebastián de Yuluc, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Sumaypamba, la Universidad de Cuenca, y la Empresa Pública de la Universidad de Cuenca UCUENCA EP.

Una de las bases para suscribir dicho convenio es el objetivo principal del presente trabajo de titulación: Solucionar el acceso al sector denominado Yunquil. Actualmente no existe una vía de acceso a dicho sector y esta es la problemática que los lugareños han presentado a la Empresa Electro Generadora del Austro (ELECAUSTRO S.A.). ELECAUSTRO se encuentra ejecutando el “Proyecto Eólico Minas de Huascachaca” ubicado en el cantón Saraguro de la provincia de Loja. Dentro de las consideraciones del proyecto, debido a las políticas de responsabilidad social de la empresa, ésta se ha comprometido con las comunidades aledañas con el objetivo de impulsar su desarrollo económico y social. Como contribución a las mejoras de la infraestructura vial e impulso a la economía local se plantea el estudio de una vía hasta el sector Yunquil.

Se ha cumplido con el objetivo general y con el desarrollo de los tres objetivos específicos (cada uno se abarca en un capítulo independiente). Por ejemplo, con el estudio topográfico se obtuvo como resultado la topografía a detalle en base a la cual se desarrolla, en el siguiente capítulo, el diseño geométrico horizontal y vertical de la vía desde la abscisa 0+000,00 km que es en la vía a San Sebastián de Yuluc hasta la abscisa 4+250,00 km en dirección al sector denominado Yunquil. El último objetivo específico se aborda en otro capítulo en el que, en base de los ensayos de laboratorio de suelos, se diseñan 3 alternativas de pavimento.

UCUENCA

Como alternativa número uno se ha considerado un diseño de la estructura de pavimento en dos etapas, 30 cm de mejoramiento, 15 cm de base y carpeta de 3 pulgadas con una proyección de diez años. Para la segunda etapa se plantea una colocación de 0.5 pulgadas adicionales de carpeta asfáltica. La alternativa dos se ha considerado el diseño de una estructura única de pavimento, de 28 cm de mejoramiento, 15 cm de base y carpeta asfáltica de 3.5 pulgadas con una proyección de 20 años. Finalmente, para la alternativa tres, se propone un diseño de la estructura de pavimento en dos etapas, 27cm de mejoramiento, 16 cm de base y una capa de Doble tratamiento superficial bituminoso (D.T.S.B) para proteger la capa de rodadura con una proyección de diez años. La segunda etapa consistirá en la colocación de una capa de carpeta asfáltica de 1 pulgadas. Para cada una de las alternativas, la recomendación es que se realicen varias evaluaciones superficiales previo al mantenimiento rutinario, un inventario de condición cada año y uno de rugosidad cada dos años. De igual forma la realización de evaluaciones estructurales, deflexiones al menos cada 4 años y sellos asfálticos cada 3 o 4 años.

En resumen, el alcance del presente proyecto de titulación es la elaboración de los estudios básicos de topografía, suelos y tráfico, así como la realización del diseño geométrico de la vía y el diseño de pavimentos.

Palabras claves: Diseño geométrico. Diseño de pavimentos. Topografía. Convenio Elecaastro S.A.

Abstract:

The present work of titling is part of the Inter-institutional Cooperation Agreement to carry out the “Estudios y Diseños definitivos de las vías a la cabecera Parroquial de Yúluc, Uchucay- Sumaypamba-Playas de Sumaypamba, Vía a Yunquil y Vías de la Urbanización de los Precaristas, del Cantón Saraguro, Provincia de Loja”, between the Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO SA Compañy, the Autonomous Decentralized Government of the Province of Loja, the Autonomous Decentralized Parish Government of San Sebastián de Yuluc, the Autonomous Decentralized Parish Government of Sumaypamba, the University of Cuenca, and, on the other hand, the Public Company from the University of Cuenca UCUENCA EP.

One of the bases for signing this agreement is the main objective of this degree work "Solving access to the sector called Yunquil", because there is currently no access road to Yunquil. This, in turn, is the problem that the locals have asked the ELECAUSTRO SA Compañy, to be given a solution. ELECAUSTRO is executing the " Proyecto Eólico Minas de Huascachaca " located in the Saraguro canton of the Province of Loja and within the considerations of the project, as well as due to the social responsibility policies of the company, ELECAUSTRO has acquired several commitments with the communities, with the aim of promoting their economic and social development, among which is considered the study of a road to the sector called Yunquil, as a contribution to road infrastructure improvements and boosting the local economy.

The general objective has been met, with the development of each of the specific objectives. There are three specific objectives that are each covered in a separate chapter. For example, the topographic study as results obtained the topography in detail on the basis of which the horizontal and vertical geometric design of the road is developed in the following chapter from the abscissa 0 + 000.00 km that is on the road to San Sebastián de Yúluc to the abscissa 4 + 250.00 km in the direction of the sector called Yunquil. And the last specific objective is addressed in another chapter in which based on soil laboratory tests, 3 pavement alternatives are designed.

UCUENCA

Alternative 1 has been considered a pavement structure design in 2 stages, 30cm of prepared subgrade, 15 cm of base and asphalt surface of 3 inches with a projection of 10 years. The second stage of placing 0.5 inches asphalt surface. Alternative 2 has been considered the pavement structure design of a unique, 28cm of prepared subgrade, 15 cm of base and asphalt surface of 3.5 inches with a projection of 20 years and for alternative 3 has been considered a pavement structure design in 2 stages, 27cm of prepared subgrade, 16 cm of base and a surface of D.T.S.B to protect the rolling layer with a projection of 10 years. The second stage placed a 1" asphalt surface. For each of the alternatives, the recommendation is that superficial evaluations be carried out prior to routine maintenance. Condition inventory every year, and roughness every two years. Structural evaluations, deflections at least every 4 years and asphalt seals every 3 or 4 years.

In summary, the scope of this degree project is the elaboration of the basic studies of topography, soils and traffic, as well as the realization of the geometric design of the road and the pavement design.

Keywords: Geometric road design. Pavement design. Topography. Agreement ELECAUSTRO S.A.

INDICE GENERAL

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 23 |
| 1.1 | Antecedentes | 23 |
| 1.2 | Estado del Arte | 24 |
| 1.3 | Problemática | 27 |
| 1.4 | Objetivo General..... | 28 |
| 1.5 | Objetivos Específicos | 29 |
| 1.5.1 | Vía a Yunquil | 29 |
| 1.6 | Alcance | 29 |
| 1.6.1 | Vía a Yunquil | 30 |
| 1.7 | Metodología..... | 30 |
| 1.8 | Ubicación:..... | 31 |
| 1.8.1 | Coordenadas | 31 |
| 1.8.2 | Clima de la zona | 34 |
| 1.8.3 | Geología de la zona | 38 |
| 1.8.4 | Características socioeconómicas de la zona | 44 |
| 1.9 | Características generales de la vialidad existente en la zona de estudio | 45 |
| 1.9.1 | Poblaciones conectadas..... | 47 |
| 2 | ESTUDIO TOPOGRÁFICO | 49 |
| 2.1 | Objetivo..... | 49 |
| 2.2 | Alcance | 49 |
| 2.3 | Metodología..... | 49 |
| 2.4 | Carta Topográfica..... | 49 |
| 2.5 | Levantamiento topográfico | 52 |
| 2.5.1 | Puntos de partida..... | 52 |
| 2.5.2 | Puntos de referencia | 54 |
| 2.5.3 | Red de puntos GPS (placa e hitos) | 58 |
| 2.5.4 | Equipos utilizados para el levantamiento topográfico..... | 59 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.6 | Resultados del Estudio Topográfico | 62 |
| 2.6.1 | Planificación Del Área De Vuelo | 62 |
| 2.6.2 | Altura de vuelo y traslapes | 64 |
| 2.6.3 | Postprocesamiento de datos..... | 64 |
| 2.6.4 | Características topográficas del terreno | 69 |
| 3 | 3. DISEÑO GEOMÉTRICO..... | 70 |
| 3.1 | Objetivo..... | 70 |
| 3.2 | Alcance | 70 |
| 3.3 | Metodología..... | 70 |
| 3.4 | Norma de Diseño | 70 |
| 3.5 | Diseño Vial Tridimensional | 71 |
| 3.6 | Criterios de diseño | 71 |
| 3.6.1 | Vehículo de diseño | 71 |
| 3.6.2 | Características del proyecto..... | 73 |
| 3.6.3 | Tráfico..... | 74 |
| 3.6.4 | Clase de carretera | 77 |
| 3.6.5 | Velocidad de diseño | 78 |
| 3.7 | Diseño Geométrico Horizontal | 79 |
| 3.7.1 | Radio mínimo de curvas horizontales | 79 |
| 3.7.2 | Radio mínimo a partir del cual no se requiere utilizar curvas de transición | 81 |
| 3.7.3 | Distancia de visibilidad..... | 82 |
| 3.7.4 | Peralte..... | 85 |
| 3.7.5 | Tangente intermedia mínima | 89 |
| 3.7.6 | Sobreechancho..... | 90 |
| 3.8 | Diseño Geométrico Vertical..... | 92 |
| 3.8.1 | Pendientes | 92 |
| 3.8.2 | Curvas verticales..... | 93 |
| 3.9 | Secciones típicas adoptadas..... | 97 |
| 3.9.1 | Ancho de la sección transversal típica | 97 |
| 3.10 | Combinación de Alineamientos Verticales y Horizontales..... | 99 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4 | ESTUDIO DE SUELOS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS..... | 100 |
| 4.1 | Objetivos..... | 100 |
| 4.2 | Alcance | 100 |
| 4.3 | Metodología..... | 100 |
| 4.4 | Ensayos de laboratorio..... | 100 |
| 4.5 | Determinación del tránsito de diseño para diseño de pavimento flexible | 103 |
| 4.5.1 | Ecuación del número de ejes simples equivalentes acumulados de vehículos en el carril de diseño y en el periodo de diseño | 103 |
| 4.5.2 | Cálculo del TPDA..... | 103 |
| 4.5.3 | Cálculo del Factor de distribución por dirección (FD) | 103 |
| 4.5.4 | Cálculo del Factor de distribución por carril (FL) | 104 |
| 4.5.5 | Cálculo del Factor de proyección (Fp)..... | 104 |
| 4.5.6 | Cálculo del Factor de equivalencia de carga o factor camión FE _c | 105 |
| 4.5.7 | Cálculo de tránsito de diseño para pavimento flexible | 108 |
| 4.6 | Determinación del módulo resiliente de la subrasante | 108 |
| 4.6.1 | Cálculo del CBR característico | 108 |
| 4.6.2 | Cálculo del módulo resiliente de la subrasante | 109 |
| 4.7 | Requerimiento de mejoramiento en la subrasante | 110 |
| 4.8 | Módulo resiliente del material de mejoramiento..... | 110 |
| 4.9 | Determinación del Módulo resiliente de la subbase..... | 111 |
| 4.10 | Determinación del Módulo resiliente de la Base | 112 |
| 4.11 | Características de la base estabilizada con cemento | 113 |
| 4.12 | Características de Doble Tratamiento Superficial..... | 114 |
| 4.13 | Determinación del número estructural SN..... | 115 |
| 4.13.1 | Ecuación de la AASHTO para pavimentos flexibles | 115 |
| 4.13.2 | Cálculo de nivel de confiabilidad ZR..... | 116 |
| 4.13.3 | Determinación de la desviación estándar So | 116 |
| 4.13.4 | Cálculo del cambio total en el índice de servicio | 117 |
| 4.13.5 | Cálculo del Número estructural..... | 117 |
| 4.13.6 | Coeficiente de drenaje (m) | 119 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.13.7 | Módulo Resiliente (MR) | 121 |
| 4.14 | Cálculo de Espesores de las capas del pavimento | 121 |
| 4.14.1 | Alternativa 1 | 122 |
| 4.14.2 | Alternativa 2 | 123 |
| 4.14.3 | Alternativa 3 | 124 |
| 4.15 | Rehabilitación y Mantenimiento | 125 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 126 |
| 5.1 | Conclusiones | 126 |
| 5.2 | Recomendaciones | 127 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 129 |
| 6.1 | Bibliografía | 129 |
| 7 | ANEXOS | 132 |
| 7.1 | Anexo 1 | 132 |
| 7.2 | Anexo 2 | 133 |
| 7.3 | Anexo 3 | 135 |
| 7.4 | Anexo 4 | 138 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1 Estructura Metodológica..... | 31 |
| Figura 1-2 Ubicación de la vía en estudio (Tomado de (Google Earth Pro, 2021))..... | 32 |
| Figura 1-3 Ubicación de Yunquil dentro de la Parroquia San Sebastián de Yúluc (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020)) | 33 |
| Figura 1-4 Mapa de Zonas de Temperatura. Fuente: (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020) | 35 |
| Figura 1-5 Vegetación propia de clima seco, en el sector Yunquil..... | 36 |
| Figura 1-6 Vegetación propia del clima seco, en el sector Yunquil..... | 36 |
| Figura 1-7 Mapa Geológico del Ecuador Hoja N°55 de SARAGURO | 38 |
| Figura 1-8 Leyenda Mapa Geológico del Ecuador Hoja N°55 de SARAGURO | 40 |
| Figura 1-9 Mapa Geológico de la Parroquia San Sebastián de Yúluc. (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020))..... | 41 |
| Figura 1-10 Geología de la zona, Sector Yunquil..... | 42 |
| Figura 1-11 Geología de la zona, Sector Yunquil..... | 43 |
| Figura 1-12 Geología de la zona, Sector Yunquil..... | 43 |
| Figura 1-13 Productos de sector Yunquil..... | 45 |
| Figura 1-14 Trocha abierta km 0+000.00..... | 46 |
| Figura 1-15 Trocha abierta km 1+500.00..... | 46 |
| Figura 1-16 Punto de Inicio | 47 |
| Figura 1-17 Punto final..... | 48 |
| Figura 2-1 Carta Topográfica MANU con referencia de trasado de la vía Yunquil (Instituto | |

| | |
|---|----|
| Geográfico Militar Ecuador, 2021) | 50 |
| Figura 2-2 Cartografía Básica Huascachaca , para línea de ceros | 52 |
| Figura 2-3 Puntos de partida, en el tramo de interés..... | 54 |
| Figura 2-4 Punto de referencia - Cilindro de hormigón HITO..... | 55 |
| Figura 2-5 Punto de referencia – Placa sobre base de hormigón PLACA | 55 |
| Figura 2-6 Puntos de referencia | 56 |
| Figura 2-7 Placas colocadas como referencia..... | 57 |
| Figura 2-8 Mojones de hormigón, BMs | 58 |
| Figura 2-9 Receptor geodesic GPS-GNSS TOPCON HIPER II | 60 |
| Figura 2-10 GPS-GNSS HI-TARGET V60..... | 61 |
| Figura 2-11 Dron DJI Phantom 4 pro PPK Drone DJI Phantom 4 pro RTK/PPK EMLID M+ | 62 |
| Figura 2-12 Planificación del área del vuelo | 63 |
| Figura 2-13 Altura de vuelo..... | 64 |
| Figura 2-14 Postprocesamiento de datos | 65 |
| Figura 2-15 Postprocesamiento de datos | 66 |
| Figura 2-16 Ortofoto generada | 67 |
| Figura 2-17 Modelo de elevaciones..... | 68 |
| Figura 2-18 Curvas de nivel generadas | 69 |
| Figura 3-1 Dimensiones del vehículo tipo. Fuente: (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12- MTOP, 2013) | 72 |
| Figura 3-2 Punto de Inicio | 74 |

| | |
|--|------------|
| Figura 3-3 Inclinaciones de talud de corte recomendadas por tipo de terreno (Castillo, Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, 1984)..... | 98 |
| Figura 3-4 Dimensiones de la sección transversal..... | 99 |
| Figura 4-1 Calicata PCA # 01..... | 101 |
| Figura 4-2 Ubicación de la calicata PCA # 01 | 101 |
| Figura 4-3 Resultados de ensayos de clasificación de calicata N°1 | 102 |
| Figura 4-4 Resultados de ensayos CBR, calicata N°1 | 102 |
| Figura 4-5 Resultados de ensayos Próctor, calicata N°1 | 102 |
| Figura 4-6. TPDA de diseño..... | 103 |
| Figura 4-7. Factor de distribución por dirección Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) | 104 |
| Figura 4-8 Factor de distribución por carril. Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) | 104 |
| Figura 4-9 Ábaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Subbase. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) | 112 |
| Figura 4-10 Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) | 113 |
| <i>Figura 4-11 Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base Estabilizada con Cemento. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).....</i> | <i>114</i> |
| Figura 4-12 Procedimiento para la determinación de espesores de capa usando un | |

análisis de capa.Fuente: (American Association of State Highway and Transportation
Officials, 1993)..... 118

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1 Coordenadas de referencia de vía..... | 31 |
| Tabla 1-2. Información climática. Fuente: INAHMI (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020))..... | 34 |
| Tabla 1-3 Estaciones con información histórica en el área de influencia del proyecto. Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI (Tomado de Estudios Complementarios de Diseño de la Vía de Acceso a Yunquil – Estudio Hidrológico) | 37 |
| Tabla 1-4 Registros de Precipitaciones máximas en 24 horas (mm). Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI (Tomado de Estudios Complementarios de Diseño de la Vía de Acceso a Yunquil – Estudio Hidrológico) | 37 |
| Tabla 2-1 Coordenadas de los Puntos de partida, en el tramo de interés | 53 |
| Tabla 2-2 Red de puntos GPS (Placa e hitos) | 59 |
| Tabla 2-3 Clasificación del terreno por la topografía (NEVI-12) | 69 |
| Tabla 3-1 Vehículo de diseño seleccionado..... | 72 |
| Tabla 3-2 Características iniciales del proyecto | 73 |
| Tabla 3-3 TPDS al año 2021. Fuente (Vanegas Ortiz, 2022)..... | 74 |
| Tabla 3-4 Factor semanal..... | 75 |
| Tabla 3-5 Factor Mensual..... | 76 |
| Tabla 3-6 TPDA 2021..... | 76 |
| Tabla 3-7 TPDA de diseño | 76 |
| Tabla 3-8 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado. Fuente (MTOPI M. d., 2003) | 77 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3-9 Relación Función, Clase MOP y Tráfico. Fuente: (MTOPI M. d., 2003) | 77 |
| Tabla 3-10 Velocidad de diseño de acuerdo con el tipo de carretera y el tipo de terreno. Fuente: (MTOPI M. d., 2003) | 78 |
| Tabla 3-11 Radios mínimos en función del peralte "e" y del coeficiente de fricción lateral "f". Fuente: (MTOPI M. d., 2003) | 80 |
| Tabla 3-12 Radios mínimos a partir de los cuales no se requiere curvas de transición. Fuente: (MTOPI M. d., 2003) | 82 |
| Tabla 3-13 Distancia mínima de visibilidad de rebasamiento. Fuente: (MTOPI M. d., 2003) | 85 |
| Tabla 3-14 Radios mínimos para peraltes específicos, dada la velocidad de diseño y un peralte máximo $e_{(máx)}=10\%$. Fuente: (AASHTO, 2004)..... | 86 |
| Tabla 3-15 Gradiente longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)..... | 88 |
| Tabla 3-16 Valor de C, que corresponde al ancho de la calzada, para el cálculo del sobrecancho. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)..... | 91 |
| Tabla 3-17 Valores de diseño de las gradientes longitudinales máximas (%). Fuente: (MTOPI M. d., 2003)..... | 92 |
| <i>Tabla 3-18 Coeficiente K para curvas convexas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)</i> | 94 |
| <i>Tabla 3-19 Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas verticales convexas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003).....</i> | 94 |
| <i>Tabla 3-20 Coeficiente K para curvas cóncavas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)</i> | 96 |
| Tabla 3-21 Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas | |

| | |
|--|-----|
| verticales cóncavas mínimas. Fuente: (MTOPE M. d., 2003)..... | 96 |
| Tabla 3-22 Anchos de calzada. Fuente: (MTOPE M. d., 2003)..... | 97 |
| Tabla 4-1 Tasas de crecimiento vehicular recomendadas MTOPE..... | 105 |
| Tabla 4-2 Proyección de la tasa de crecimiento..... | 105 |
| Tabla 4-3 Tipos de vehículos motorizados, pesos y dimensiones Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)..... | 106 |
| Tabla 4-4 Cálculo del factor de equivalencia de carga..... | 107 |
| Tabla 4-5 Cálculo del factor camión..... | 107 |
| Tabla 4-6 Cálculo de número de ejes equivalentes (N ó ESALs)..... | 108 |
| Tabla 4-7 Resumen de resultados CBR..... | 108 |
| Tabla 4-8 Límites para la selección de resistencia..... | 109 |
| Tabla 4-9 Cálculo del CBR característico..... | 109 |
| Tabla 4-10 Categorías de subrasante según el CBR (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014)..... | 110 |
| Tabla 4-11 Coeficientes de capas diseño estructural de pavimentos flexibles, basados en la normativa AASHTO. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)..... | 111 |
| Tabla 4-12 CBR de mínimo subbase (normativa (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2003))..... | 111 |
| Tabla 4-13 CBR de mínimo base (MTOPE M. d., 2003)..... | 112 |
| Tabla 4-14 Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento ai (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014)..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4-15 Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras ((American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993))..... | 116 |
| Tabla 4-16 Coeficientes estructurales por capa | 119 |
| Tabla 4-17 Coeficiente de drenaje (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)..... | 119 |
| Tabla 4-18 Calidad de drenaje (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)..... | 121 |
| Tabla 4-19 Resumen de parámetros establecidos para el cálculo de la estructura de pavimento..... | 121 |
| Tabla 4-20 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 1 | 122 |
| Tabla 4-21 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 2..... | 123 |
| Tabla 4-22 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 3..... | 124 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1 Resumen de los pesos y dimensiones de los buses y camiones. Fuente (MTOP M. d., 2003)..... | 132 |
| Anexo 2 Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles. Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)..... | 133 |
| Anexo 3. Ensayos de Laboratorio de Suelos | 135 |
| Anexo 4. Planos de Diseño Geométrico | 138 |

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Martha Azucena Loja Suconota en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“DISEÑO GEOMÉTRICO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS DE LA VÍA DE ACCESO A YUNQUIL DESDE LA ABSCISA 0+000.00 KM HASTA LA ABSCISA 4+250.00 KM” EN EL CANTÓN SARAGURO DE LA PROVINCIA DE LOJA**”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de septiembre de 2022



Martha Azucena Loja Suconota

C.I: 0105548697

Cláusula de Propiedad Intelectual

Martha Azucena Loja Suconota, autora del trabajo de titulación “DISEÑO GEOMÉTRICO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS DE LA VÍA DE ACCESO A YUNQUIL DESDE LA ABSCISA 0+000.00 KM HASTA LA ABSCISA 4+250.00 KM” EN EL CANTÓN SARAGURO DE LA PROVINCIA DE LOJA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 06 de septiembre de 2022



Martha Azucena Loja Suconota

C.I: 0105548697

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios y a la Virgen por la vida. A la Universidad de Cuenca por ser el alma máter en mi formación profesional. A las instituciones que han hecho posible la realización del convenio mediante el cual he podido elaborar mi trabajo de titulación, en especial al Ing. Gonzalo Clavijo Campos. De igual manera al Ing. Eduardo Tejeda, mi director de tesis y al Ing. Gerardo Arbito por su apoyo incondicional para culminar con éxito mi trabajo de titulación.

Ing. Martha Loja

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mi papá (+), pues en mi vida ha sido ejemplo de dedicación en la formación profesional, de nunca dejar de aprender, pero sobre todo de nunca rendirse. Con profundo amor dedico también a mi familia, mi esposo Diego por su apoyo cada día y mis pequeños hijos: Xavy y Pauli, es por ellos que emprendo cada uno de los proyectos en mi vida. A mi mami, a quien le debo la vida y mis hermanos pues sin ellos no hubiese sido posible tan siquiera empezar este camino.

Ing. Martha Loja

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El ámbito de la vialidad es de gran importancia porque es sinónimo de desarrollo y progreso. El presente trabajo de titulación está basado en la arista de Vialidad de la Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transportes, Tercera cohorte.

Las siguientes tesis están directamente relacionadas al presente trabajo de titulación. En (Vanegas Ortiz, 2022) se ejecutan los estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yúluc desde la abscisa 0+000.00 km a 5+500.00 km, ubicada en el cantón Saraguro de la provincia de Loja. En esta tesis se hace mención al Convenio de Cooperación interinstitucional (Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A., 2021) para realizar los “Estudios y Diseños definitivos de las vías a la cabecera Parroquial de Yúluc, Uchucay- Sumaypamba-Playas de Sumaypamba, Vía a Yunquil y Vías de la Urbanización de los Precaristas, del Cantón Saraguro, Provincia de Loja”, entre ELECAUSTRO S.A, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Sebastián de Yúluc, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Sumaypamba, la Universidad de Cuenca, y la UCUENCA EP. Como resultados en la tesis de (Vanegas Ortiz, 2022) se presenta el levantamiento de una franja topográfica, diseño geométrico y de pavimentos.

El presente trabajo de titulación forma parte del convenio mencionado al igual que la tesis de (Cabrera Luna, 2022) que realiza la “Elaboración de estudios definitivos de ingeniería para el mejoramiento de la vía “Uchucay-Sumaypamba-Playas De Sumaypamba” de 6,50 km. de longitud aproximada, ubicada entre las parroquias San Sebastián de Yúluc y Sumaypamba del cantón Saraguro, provincia de Loja”. Como resultado en esta tesis se presenta el estudio de una franja topográfica de 30m de ancho, el diseño geométrico basado en la Normativa MTOP 2003 y el diseño de pavimentos.

1.2 Estado del Arte

Dentro de la elaboración del presente documento se encontraron algunas tesis como (Castillo Villavicencio & Montenegro Reinoso, 2019) que realiza el diseño de la vía periurbana Las Cuadras - Capillapamba, para Chordeleg. En esta tesis se destaca la importancia de la vía en estudio para el desarrollo urbano del mencionado cantón y se presenta el diseño geométrico de la vía, diseño de pavimentos, análisis de movimiento de tierras y estudio de costos.

En (Mora Cabrera, 2019) se realizan los estudios y diseños definitivos para el mejoramiento de la vía Playa de Fátima – Cachi – Jerusalén, cantón Biblián, provincia del Cañar. En esta tesis se analizan los problemas de tránsito y se presentan alternativas de solución desde el punto de vista técnico – económico y de seguridad vial. Se contempla también la ampliación, rectificación y mejoramiento de la vía.

En (Castillo Moncayo, 2019) se desarrolla los diseños definitivos de la vía comprendida desde el ingreso Ayancay hasta la comunidad San Alfonso. En esta tesis se presenta el diseño geométrico y de pavimentos, diseño hidráulico bajo la Normativa MTOP 2003.

Una de las características comunes de los trabajos mencionados es que se busca mejorar la calidad y nivel de vida de las personas optimizando los tiempos y costos de viaje al transportar productos agrícolas, pecuarios y artesanías.

En algunas de las tesis relacionadas con el diseño geométrico de carreteras se expone el hecho de que la clasificación de las carreteras se realiza en función del tráfico proyectado TPDA, tal como se ilustra en la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003. En la Norma se establece 6 categorías de carreteras numeradas desde la categoría V con menos Tráfico Proyectado hasta la categoría R-I o R-II con más Tráfico

Proyectado. En la categoría V se encuentran las carreteras que tienen menos de 100 vehículos equivalentes como TPDA proyectado a 15 o 20 años, mientras que en la categoría R-I o R-II se encuentran las carreteras que tienen más de 8000 vehículos equivalentes como TPDA proyectado a 15 o 20 años, para este caso se debería considerar la posibilidad de construir una autopista.

Para el caso particular de las carreteras que se encuentran en la Categoría IV, son aquellas que se encuentran con un rango de 100 a 300 vehículos equivalentes como TPDA proyectado a 15 o 20 años.

Otra característica de la clasificación de las carreteras es por su función, pudiendo ser estas clasificadas como carreteras de corredor arterial, carreteras colectoras o caminos vecinales. Las carreteras clasificadas como caminos vecinales se encuentran en la categoría V o IV o de menor TPDA proyectado, mientras que las carreteras clasificadas como corredores arteriales son aquellas que se encuentran clasificadas como categoría I, II o R-I R-II autopistas por su TPDA proyectado mayor a 8000.

Para el caso particular de las carreteras que se encuentran en la Categoría IV, son aquellas que se encuentran en la clasificación de categoría I, II, III o IV y funcionalmente se encuentran definidas como VÍAS COLECTORAS.

La definición de Vía Colectora que presenta la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 se tiene que están destinadas a recibir el tráfico de los caminos vecinales y que sirven a poblaciones que no están en el Sistema arterial nacional.

En los estudios de diseño de carreteras, tesis y documentos revisados se muestra que es de suma importancia la determinación de la categoría de la carretera pues de ésta

clasificación se derivan varios parámetros de diseño, entre ellos: la velocidad de diseño, y éste parámetro a su vez interfiere en el diseño del alineamiento horizontal en parámetros como: radio mínimo, peraltes, longitudes de transición, distancias de visibilidad, etc. De igual forma interfiere en la determinación de factores de diseño del alineamiento vertical como: gradientes longitudinales, longitud de curvas verticales, etc. En cuanto a la franja de levantamiento de topografía en la bibliografía se describe que para realizar el levantamiento de información topográfica se debe en primer lugar realizar un reconocimiento de la zona, para así determinar los lugares de interés entre los cuales se debe establecer el trazado vial y también otros puntos de importancia como son: poblados, ríos, quebradas, lugares patrimoniales, viviendas, zonas ambientales protegidas, etc. La misma Norma establece en un acápite específico denominado “Topografía y características físicas del relieve” que se deben realizar diferentes reconocimientos del terreno una vez que se hayan establecido las posibles alternativas de rutas, se pueden realizar reconocimientos como: reconocimiento aéreo, reconocimiento terrestre. También indica que la fotointerpretación facilita el estudio de la zona del proyecto.

Por otro lado, en diferentes estudios realizados para diseños de carreteras, sobre todo en aquellos que se realizan con entidades públicas, la determinación del ancho de la franja del levantamiento topográfico se encuentra determinado en los términos de referencia que se elaboran previos a la contratación del estudio de diseño de la carretera. La determinación de este ancho se realiza sobre el eje preliminar, dicho eje se puede diseñar en base a cartas topográficas o en base a topografía existente de la zona a mayor

escala.

El ancho establecido de la franja topográfica suele ser de 60m, 30m a cada lado del eje preliminar y de 80m de ancho de franja 40m a cada lado del eje preliminar en las curvas.

Para el diseño de la carretera motivo del presente trabajo de titulación se estableció un ancho de franja de 100 m, 50 m a cada lado desde el eje preliminar, con la finalidad de no tener inconvenientes para realizar el diseño de la vía.

Cabe resaltar que, en cada estudio de diseño vial y tesis la metodología de diseño relaciona el trabajo de campo con la aplicación de las Normativas para que los parámetros de diseño cumplan con las normas establecidas. Es ahí en donde cada proyecto se vuelve particular y único, porque cada uno presenta realidades independientes en campo.

1.3 Problemática

La necesidad de contar con diseños y estudios técnicos es amplia en nuestro país. Por tanto, se considera que en varias provincias, cantones y parroquias existen requerimientos para la elaboración de estudios de diseño en el ámbito vial. Sin embargo, como los recursos son limitados, estos diseños se deben elaborar desde lo macro, a nivel nacional, hasta lo micro a nivel parroquial e ir coordinando planes de movilidad a nivel nacional hasta la menor escala jerárquica vial. O en su defecto, realizar los estudios y diseños viales, como es el caso del presente trabajo de titulación, bajo convenios suscritos entre entidades gubernamentales.

La motivación para suscribir el convenio del cual forma parte este trabajo es que la Empresa Electro Generadora del Austro (ELECAUSTRO) se encuentra ejecutando el “Proyecto Eólico Minas de Huascachaca” ubicado en el cantón Saraguro de la Provincia

de Loja. Dentro de las consideraciones del proyecto, así como debido a las políticas de la empresa, ELECAUSTRO ha adquirido varios compromisos con las comunidades aledañas, con el objetivo de impulsar su desarrollo económico y social, entre los cuales se considera el estudio de una vía hasta el sector denominado Yunquil, como contribución a las mejoras de la infraestructura vial e impulso a la economía local, porque no existe una vía de acceso a dicho sector.

Las personas propias del lugar refieren que el sector de Yunquil, en años anteriores, era muy productivo, catalogándolo como el sector que mejores productos producía. Refieren además que se cultivaba en el lugar, pero con gran dificultad se podían transportar los productos. Únicamente se puede realizar por medio de mulas, y como se han aperturado carreteras que conectan la cabecera parroquial con otros centros poblados, se ha ido relegando la actividad productiva en el sector. A petición de los lugareños dentro del Convenio de Cooperación interinstitucional se toma en consideración la elaboración de los estudios básicos: topográficos, diseño vial y de pavimentos de la vía de acceso a Yunquil.

1.4 Objetivo General

- Solucionar el acceso al sector de Yunquil en un tramo desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km, desde la vía a San Sebastián de Yúluc, mediante el proyecto de una carretera de categoría cuatro.

1.5 Objetivos Específicos

1.5.1 Vía a Yunquil

- Desarrollar los estudios básicos de suelos, topografía y tránsito, necesarios para la elaboración del proyecto vial de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km.
- Diseñar el trazado de una carretera de categoría 4 para el tramo de la vía de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km, teniendo en cuenta las particularidades topográficas del terreno.
- Diseñar la estructura de pavimento flexible para la vía de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km.

1.6 Alcance

Dentro de un proyecto de diseño de un tramo vial, existe la intervención multidisciplinaria de varios profesionales que aportan con su contingente dentro de su área de experticia. En los estudios entregados a la Empresa ELECAUSTRO S.A bajo el convenio suscrito se encuentran los siguientes componentes: Generalidades y Estudio Topográfico, Diseño Geométrico, Estudio de Suelos y Diseño de Pavimentos, Estudio Hidráulico e Hidrológico, Obras de arte menor, Estudio de Seguridad Vial y Señalización, Estudio Ambiental, Planificación Arquitectónica de la Urbanización “Los Precaristas” y Presupuesto, todos estos componentes, forman parte integral del estudio de la vía a Yunquil.

De manera sucinta, en el presente trabajo de titulación se abarcan las áreas inherentes a la Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transporte y que han sido la base para establecer los objetivos específicos del mismo, como son: Estudios básicos de suelos, topografía y tránsito, Diseño geométrico y Diseño de Pavimentos. Además, es importante resaltar que dentro del Convenio de Cooperación interinstitucional para realizar los “Estudios y Diseños definitivos de las vías a la cabecera Parroquial de Yúluc, Uchucay-Sumaypamba-Playas de Sumaypamba, vía a Yunquil y vías de la Urbanización de los Precaristas, del cantón Saraguro, provincia de Loja” se indica que luego de contar con

los diseños concluidos, ELECAUSTRO S.A evaluará la factibilidad técnica, financiera y económica para su intervención. Por tanto, el alcance del presente trabajo de titulación se limita a lo siguiente:

1.6.1 Vía a Yunquil

Levantamiento de la franja topográfica en un ancho de 100 m, tomando como referencia el eje preliminar de la vía, 50 m a cada lado del eje de la vía, misma que contendrá información planimétrica y taquimétrica, mediante el empleo de instrumentos topográficos; diseño del proyecto geométrico horizontal y vertical considerando la topografía del terreno; estudios de suelos; diseño de la capa de rodadura de pavimento flexible.

1.7 Metodología

La metodología empleada en el desarrollo del presente trabajo de titulación involucra trabajo de campo y trabajo de oficina. En el trabajo de campo se consideran las actividades que se realizan ya sea en el sitio mismo de la ubicación de la vía o fuera de la oficina, por ejemplo, el trabajo en el laboratorio de suelos. Si bien la extracción de las muestras se realiza en la ubicación de la vía, los ensayos de laboratorio se realizan en el laboratorio de suelos.

El trabajo de oficina implica investigar, interpretar, analizar y diseñar adecuadamente la carretera y la estructura de pavimentos propuesta.

Por tanto, se tiene para el presente trabajo de titulación la siguiente estructura metodológica. Figura 1-1

Figura 1-1 Estructura Metodológica



1.8 Ubicación:

1.8.1 Coordenadas

El sector de Yunquil se encuentra localizado hacia el sureste de la parroquia San Sebastián de Yúluc, en el cantón Saraguro perteneciente a la provincia de Loja en las coordenadas WGS84-UTM- Z17Sur que se indican en la Tabla 1-1 y en la Figura 1-2 y la Figura 1-3 .

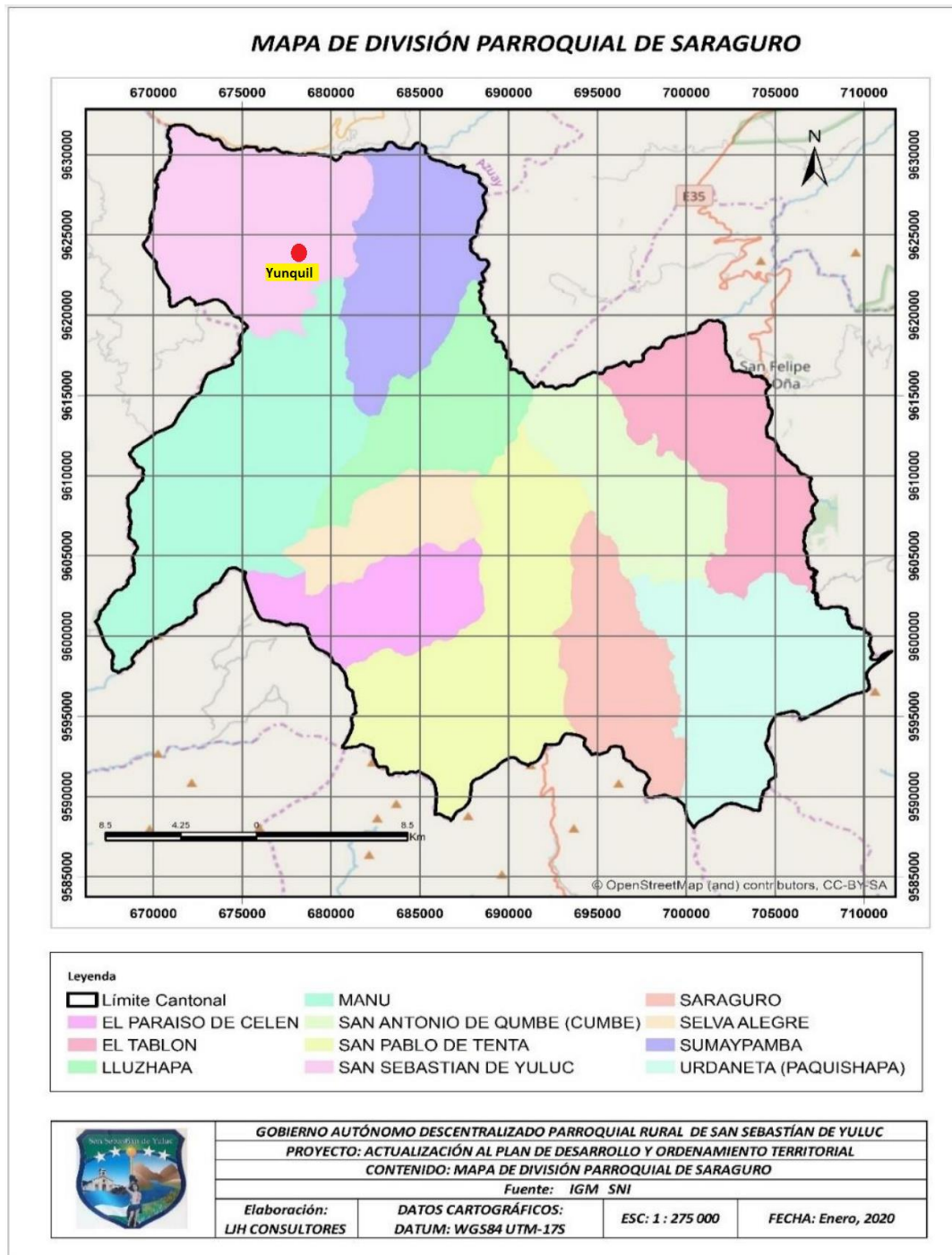
Tabla 1-1 Coordenadas de referencia de vía

| INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | | | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|------------|
| Sistema de Referencia: WGS84 | | | |
| Proyección: UTM | | | |
| Zona: 17 | | | |
| Sector: Sur | | | |
| Punto | Coordenada Este (m) | Coordenada Norte (m) | Altura (m) |
| Yunquil | 677740 | 9623466 | 2148 |

Figura 1-2 Ubicación de la vía en estudio (Tomado de (Google Earth Pro, 2021))



Figura 1-3 Ubicación de Yunquil dentro de la Parroquia San Sebastián de Yúluc (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020))



1.8.2 *Clima de la zona*

El clima de la zona, percibido durante los recorridos realizados, es un clima seco, como se puede observar en la Tabla 1-2 en donde se encuentra la información climática de la Parroquia. En la Figura 1-4 se indica que la Temperatura de Yunquil oscila entre 18°C – 20°C y en la Figura 1-5 y Figura 1-6 se muestran fotografías de Yunquil en donde se observa vegetación herbácea propia del clima seco. En la literatura (Cachi Calderón & Sánchez Cuellar, 2019) se resalta la importancia de considerar el clima en la etapa de diseño de una infraestructura vial para mejorar el funcionamiento de la misma.

Tabla 1-2. Información climática. Fuente: INAHMI (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020))

| INFORMACIÓN CLIMÁTICA | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Variable | Descripción |
| Precipitación | Precipitación: 50 – 600 mm |
| Temperatura | 10 – 22 °C |
| Pisos climáticos | Ecuatorial mesotérmico seco |
| Humedad | 80 – 88 % |

Figura 1-4 Mapa de Zonas de Temperatura. Fuente: (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020)

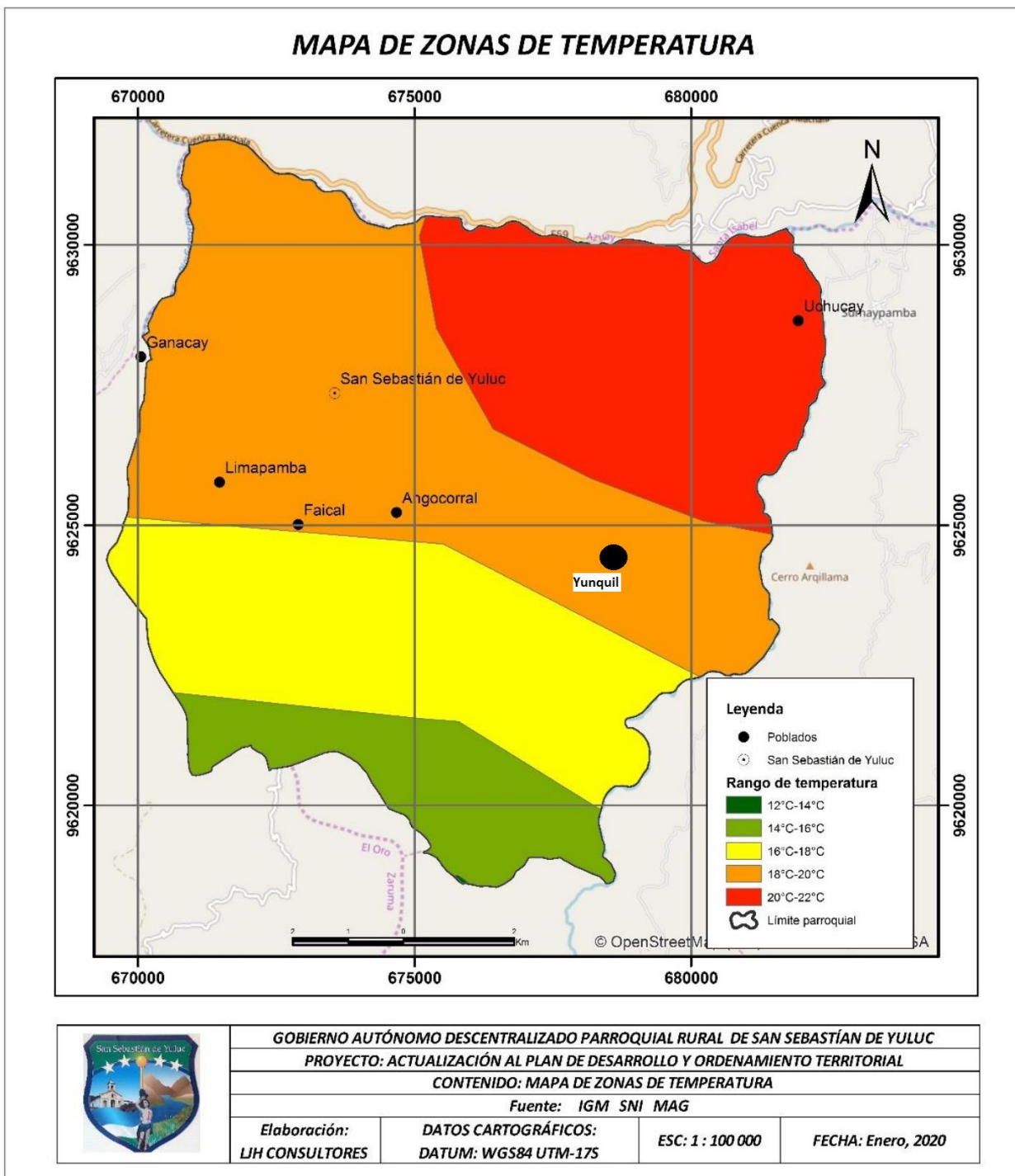


Figura 1-5 Vegetación propia de clima seco, en el sector Yunquil



Figura 1-6 Vegetación propia del clima seco, en el sector Yunquil



En el caso particular de la vía de Acceso a Yunquil, en el tramo de la abscisa Km 0+000.00 hasta la abscisa Km 4+250.00, al tener un clima seco durante varios meses en

el año se tiene una ventaja en el componente hidráulico, la lluvia no será perjudicial para la vía y, por tanto, no se deben prever soluciones a este factor.

Las precipitaciones se han obtenido de la estación Santa Isabel, que es la estación dentro del área de influencia del proyecto (Tabla 1-3).

Tabla 1-3 Estaciones con información histórica en el área de influencia del proyecto. Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI (Tomado de Estudios Complementarios de Diseño de la Vía de Acceso a Yunquil – Estudio Hidrológico)

| Estación | Código | Tipo | Fuente | Serie Disponible | Número de Años | Cota m s.n.m |
|--------------|--------|---------------|--------|------------------|----------------|--------------|
| Santa Isabel | M-032 | Climatológica | INAMHI | 1964-2008 | 26 | 1550 |

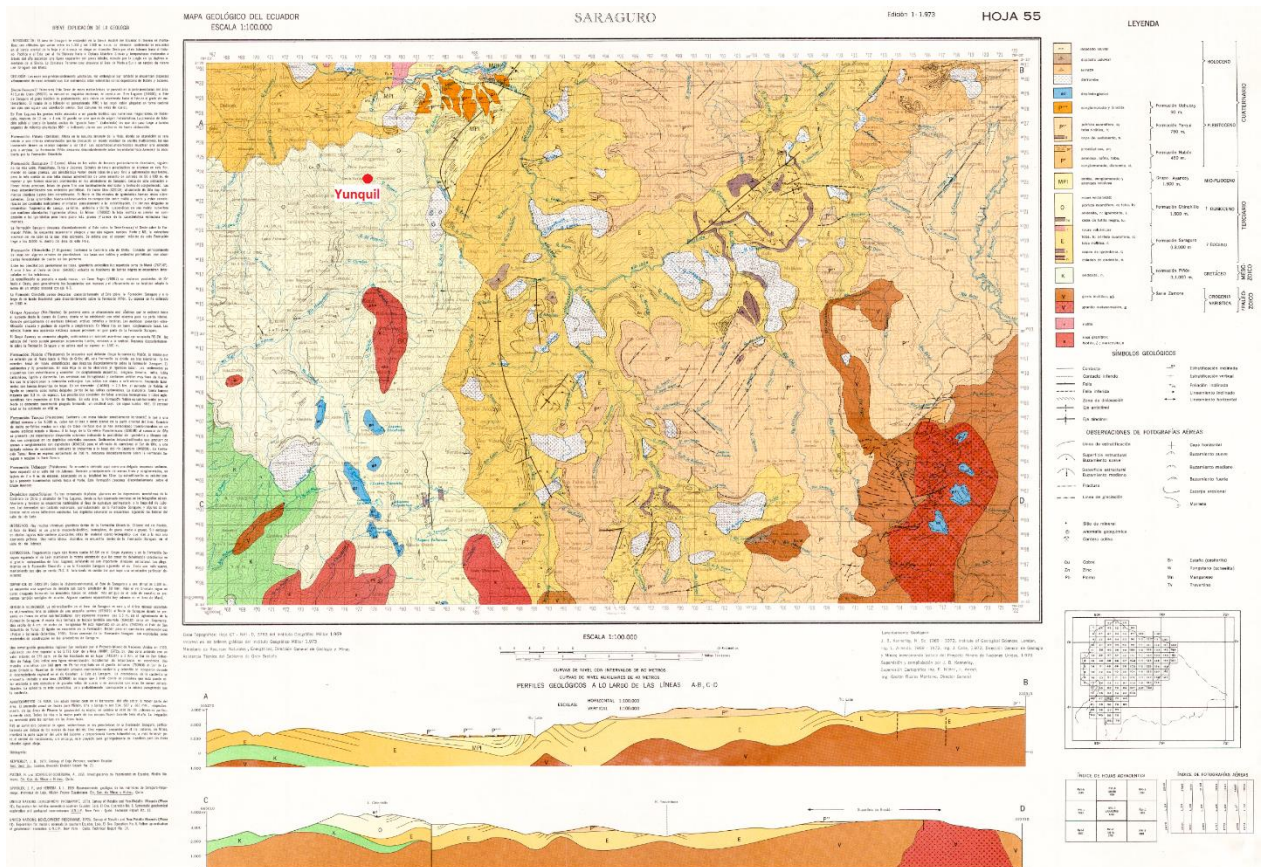
Tabla 1-4 Registros de Precipitaciones máximas en 24 horas (mm). Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI (Tomado de Estudios Complementarios de Diseño de la Vía de Acceso a Yunquil – Estudio Hidrológico)

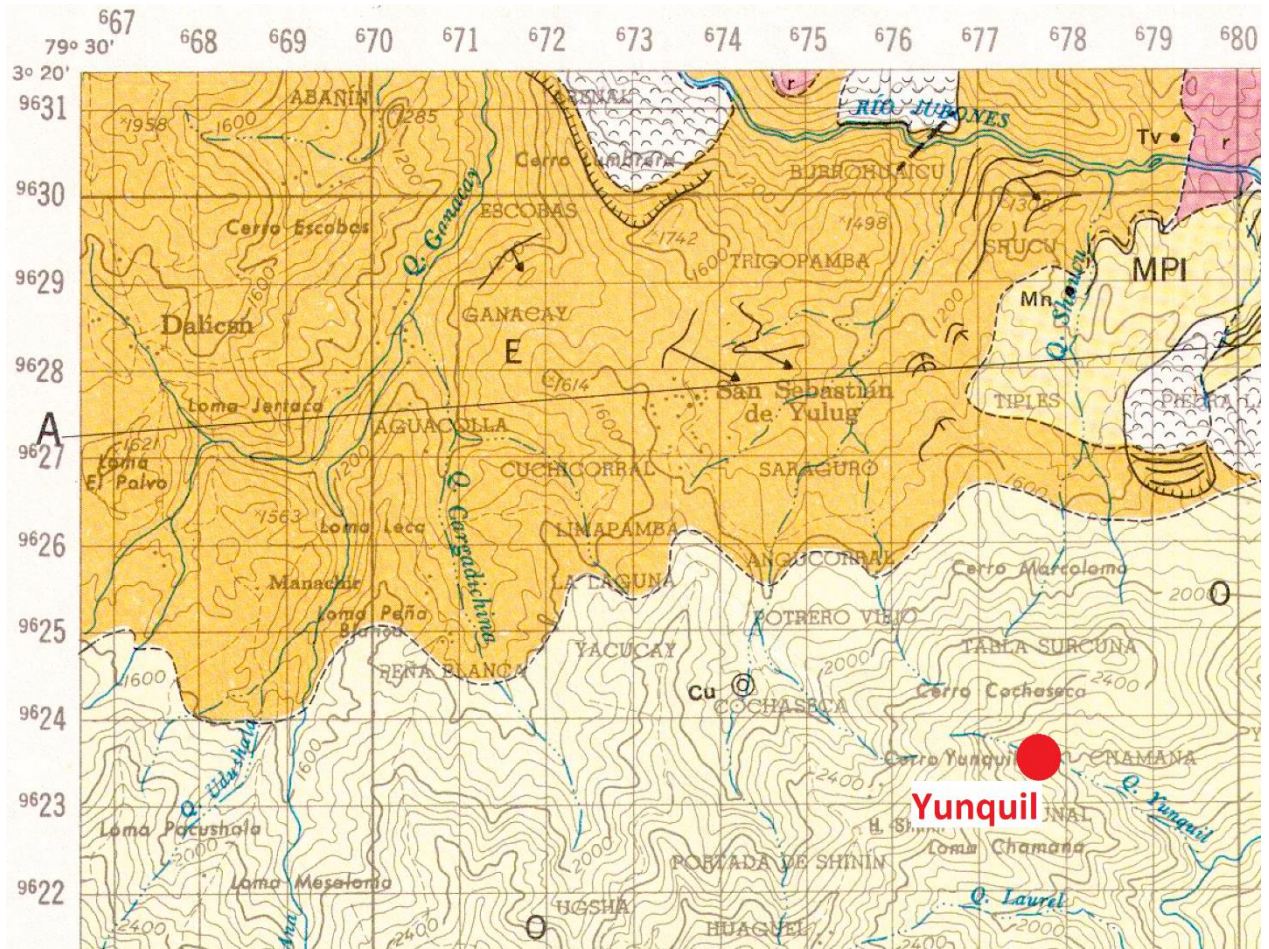
| Año | Santa Isabel | Año | Santa Isabel |
|------|--------------|------|--------------|
| 1964 | 20.2 | 1979 | 40.2 |
| 1965 | 37.9 | 1980 | 38.9 |
| 1966 | 13.3 | 1981 | 29.2 |
| 1969 | 43.7 | 1982 | 30.6 |
| 1970 | 27.3 | 1983 | 35.3 |
| 1971 | 35.5 | 1984 | 35.3 |
| 1972 | 25.6 | 1985 | 22.0 |
| 1973 | 33.2 | 1986 | 21.4 |
| 1974 | 24.0 | 1987 | 26.8 |
| 1975 | 23.7 | 2008 | 41.9 |
| 1976 | 19.2 | 2009 | 22.6 |
| 1977 | 27.8 | 2010 | 36.5 |
| 1978 | 21.4 | 2011 | 42.0 |

1.8.3 Geología de la zona

De manera general la Geología de la zona se observa en el Mapa Geológico del Ecuador en la Hoja N°55 de SARAGURO (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE)) (Figura 1-7).

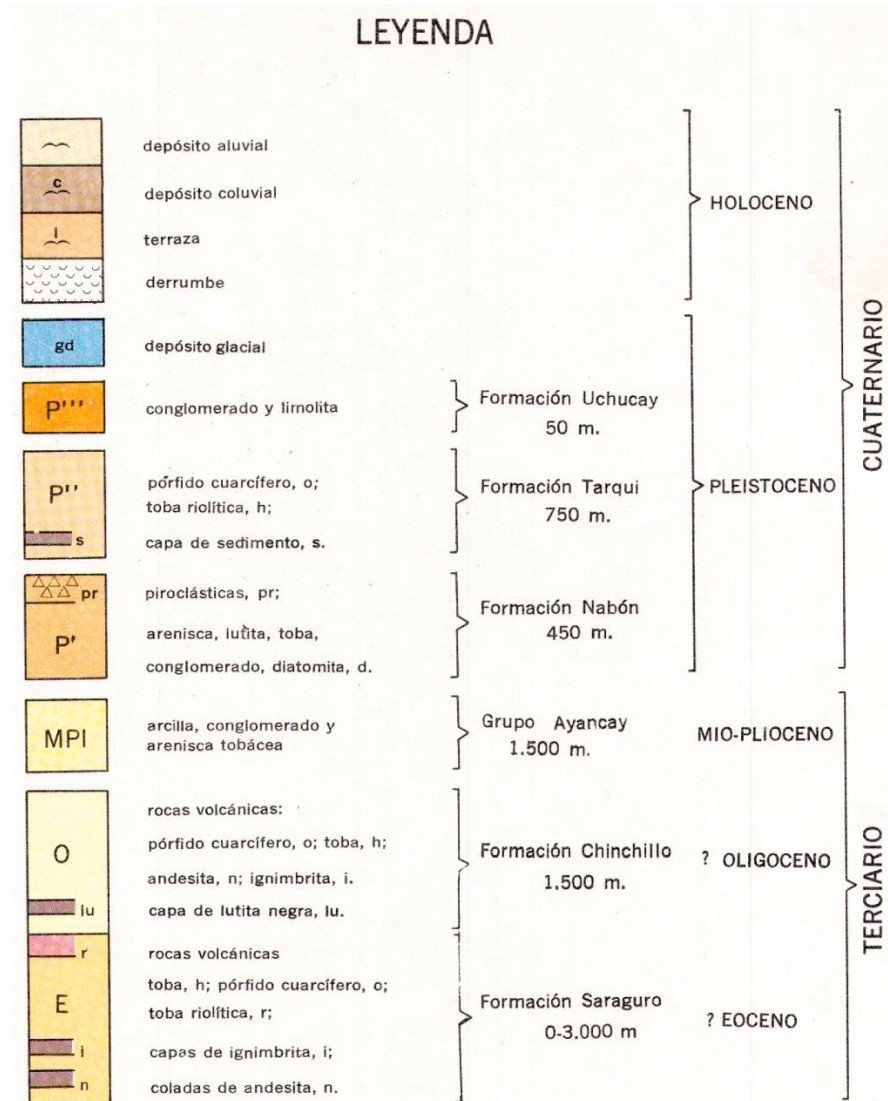
Figura 1-7 Mapa Geológico del Ecuador Hoja N°55 de SARAGURO





En la Figura 1-8 se encuentra la Leyenda del Mapa Geológico del Ecuador de la Hoja N°55 de SARAGURO en donde se identifica que de manera general la Geología del sector de Yunquil se encuentra dentro de la Formación Chinchillo con rocas volcánicas, pórfido cuarcífero, toba, andesita, ignimbrita y capa de lutita negra.

Figura 1-8 Leyenda Mapa Geológico del Ecuador Hoja N°55 de SARAGURO



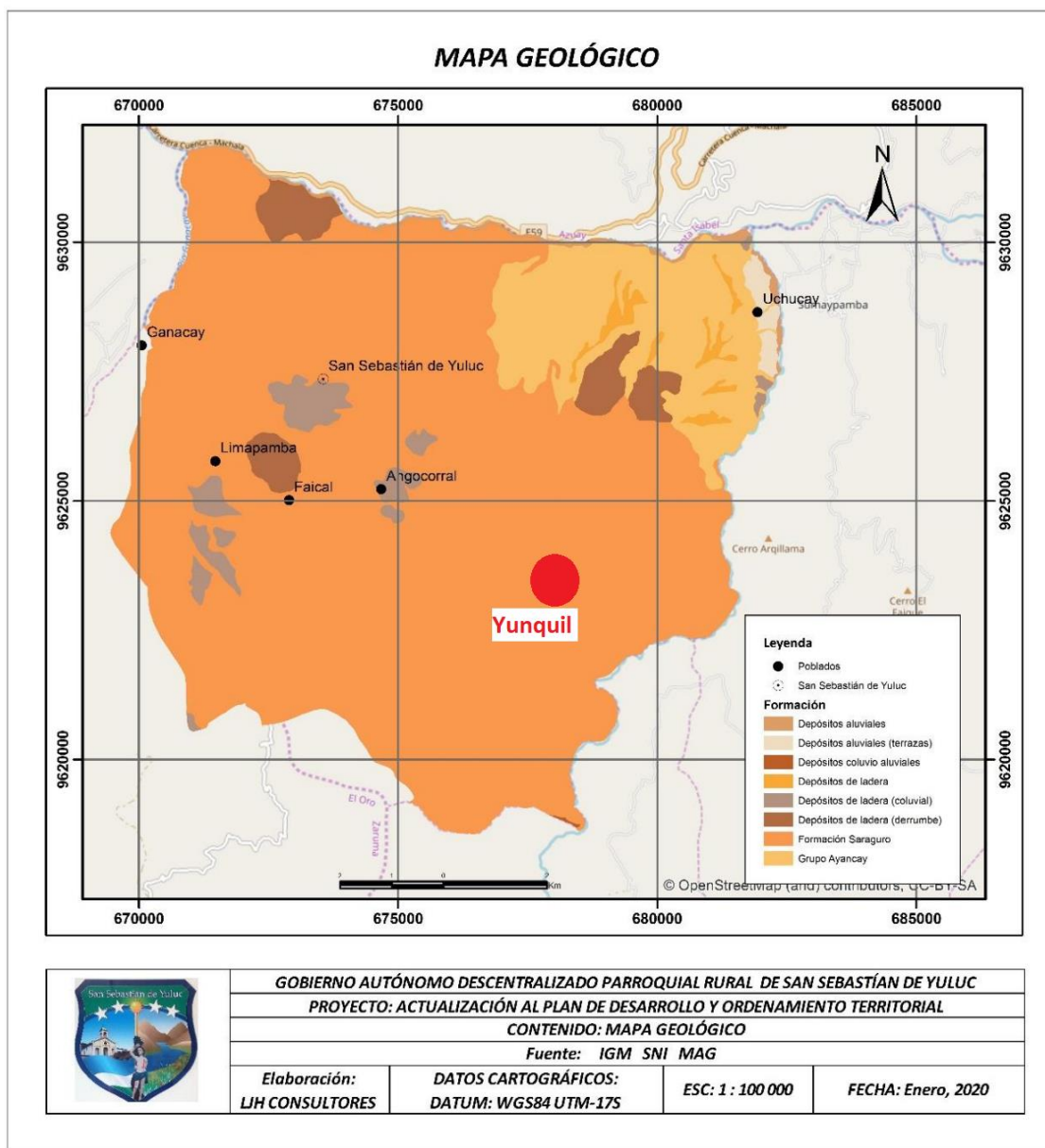
Además del Mapa Geológico del Ecuador, se tiene información del PDOT (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020) en donde se expone el Mapa Geológico de la Parroquia (Figura 1-9) en donde se indica de manera más específica que Yunquil se encuentra dentro de la Formación Saraguro. En el mismo documento del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, se describe a la Formación Saraguro como:

“Formación Volcánicos Saraguro.- secuencia de lavas andesilicas y piroplásticos, recubiertas por la formación Chinchillo (Loja – Saraguro), que incluye lavas de andesilicas

UCUENCA

a riolíticas con escaso piroclásticos. La potencial total del grupo sobrepasa los 1.500 metros (loma blanca), quizá alcanza hasta los 2.000 metros (Saraguro Chinchillo) y está recubierto por sedimentos del Mioceno inferior a medio en algunas cuencas intermontañas, pero está cubierto principalmente por volcánicos más jóvenes”. (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020)

Figura 1-9 Mapa Geológico de la Parroquia San Sebastián de Yúluc. (Tomado de (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020))



Y en los recorridos realizados a la zona de implantación del proyecto vial de la vía de acceso a Yunquil, en el tramo de la abscisa Km 0+000.00 hasta la abscisa Km 4+250.00, se observa que la geología del lugar está conformada por un material granular grueso, como se observa en la Figura 1-10 y en la Figura 1-11. Esta información será corroborada por los ensayos de laboratorio que se realicen a las muestras que se obtienen en campo (Figura 1-12).

La importancia de conocer y realizar estudios para determinar las características de los materiales predominantes en la zona radica en la falta de uniformidad de la geología. Se puede entender el concepto de geodiversidad como “la variedad de rocas, minerales, fósiles, formas terrestres, sedimentos y suelos, junto con los procesos naturales que los forman y modifican” (Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas, 2008). En la Figura 1-11 se observan fósiles de caracoles que forman parte de la historia geológica del sector.

Figura 1-10 Geología de la zona, Sector Yunquil



Figura 1-11 Geología de la zona, Sector Yunquil



Figura 1-12 Geología de la zona, Sector Yunquil



La diversidad de la geología se corrobora con los resultados de laboratorio de suelos. En términos generales se trata de suelos de grano grueso. En la calicata específica realizada

en la coordenada WGS84-UTM-Z17Sur (678300.9 E, 9625547.8N) se tiene clasificación de suelo como: gravas arcillosas, arenas arcillosas y arenas limosas. Para el diseño de infraestructura vial es importante realizar indagaciones y muestreos pertinentes porque puede ocurrir que en un tramo del sector se presenten rocas muy difíciles de romper en la etapa constructiva y en otro tramo arcillas blandas. Estas características geológicas se deben tomar en consideración en la etapa de diseño con la finalidad de dar soluciones técnicas, aunque dicha información se aleja de los objetivos del presente trabajo de titulación.

1.8.4 Características socioeconómicas de la zona

Otro factor importante al momento de diseñar una carretera, desde el ámbito social, son las características socioeconómicas de la zona, entendiéndose a éstas como la finalidad de la vía o el uso que se le vaya a dar a la misma.

Como se indicó en el acápite 1.2, el problema a resolver mediante el presente trabajo de titulación es el transporte de productos agrícolas. En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (GAD Parroquial de San Sebastián de Yúluc, 2020) se enlista algunos de los productos agrícolas que se cultivan en el sector como: cebolla roja, pimiento, tomate, fréjol, maíz. El cultivo de cebolla se menciona que es el único producto que puede superar la época de la sequía, fuertes vientos y heladas. Se indica además que a pesar de que la Parroquia está rodeada por un escenario desértico y rocoso, cuenta con zonas altamente productivas que se configuran en microclimas subtropicales con condiciones ideales para la producción de todo tipo de cultivos. A diferencia de otros sectores de la Parroquia San Sebastián de Yúluc, en Yunquil en la actualidad no se realiza una gran actividad productiva, y a pesar de ello en los recorridos que se realizaron se observaron algunos productos como se observa en la Figura 1-13.

Figura 1-13 Productos de sector Yunquil



La agricultura es el principal medio de vida de la Parroquia, por tanto, se define dentro de las características socioeconómicas a los habitantes del sector como agricultores. Y dentro del diseño de la vía que se analiza se puede decir que el uso que en lo posterior se dará a la vía será para transportar productos agrícolas.

1.9 Características generales de la vialidad existente en la zona de estudio

Actualmente no existe una vía de acceso al sector denominado Yunquil. Existe una trocha abierta desde la actual vía de ingreso al centro parroquial de San Sebastián de Yúluc (Figura 1-14), de 1.9 km aproximadamente. El ancho actual de la trocha abierta es de un ancho aproximado de 3.50 m y a 1.5 km aproximadamente la pendiente de la trocha abierta es muy pronunciada que imposibilita el ingreso por medios motorizados (Figura 1-15).

Figura 1-14 Trocha abierta km 0+000.00



Figura 1-15 Trocha abierta km 1+500.00



Dicha trocha abierta no es usada dentro del presente diseño vial por tema de pendiente, la cota inicial (1577 m.s.n.m) y final del proyecto (2148 m.s.n.m) presentan un desnivel

UCUENCA

(571 m) que si se sigue el trazado de la trocha abierta se tendría pendientes muy elevadas sobre el 35%. Por tal razón, se ha realizado otro trazado respetando únicamente los primeros metros de la trocha abierta actualmente existente.

1.9.1 Poblaciones conectadas

La vía motivo de estudio conectará la actual vía de ingreso al centro parroquial de San Sebastián de Yúluc abscisa km 0+000.00 (Figura 1-16) y el sector Yunquil abscisa km 9+205.00 (Figura 1-17). Para realizar el diseño geométrico de la vía se consideran estos dos puntos obligados, sin embargo, en el presente trabajo de titulación se presenta los componentes desde la abscisa 0+000,00 km hasta la abscisa 4+250,00 km.

Figura 1-16 Punto de Inicio



Figura 1-17 Punto final



ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 Objetivo

- Desarrollar estudios de topografía.

El presente capítulo contribuirá al desarrollo del objetivo específico número uno sobre el desarrollo de estudios básicos de topografía.

2.2 Alcance

- Levantamiento de franja de 100m de ancho

El alcance del presente capítulo es realizar el levantamiento de la franja topográfica en un ancho de 100 m, tomando como referencia el eje preliminar de la vía, 50 m a cada lado del eje de la vía, mismo que contendrá información planimétrica y taquimétrica, mediante el empleo de instrumentos topográficos.

2.3 Metodología

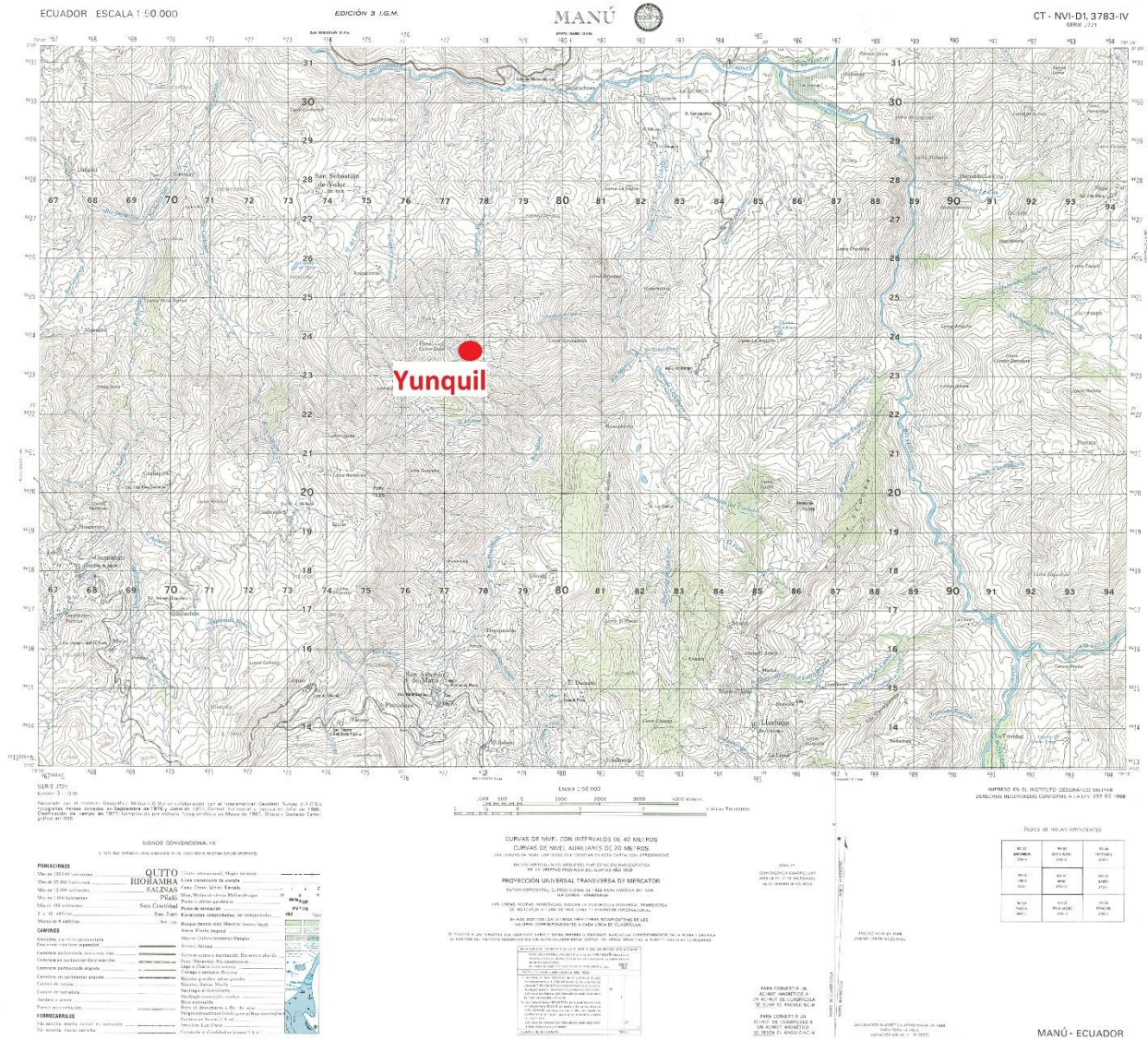
Dentro de la metodología expuesta en el presente documento se tiene que el estudio de topografía es un trabajo de campo y también de oficina.

La misma normativa vigente, (MTOP M. d., 2003) Normas de Diseño Geométrico de carreteras – 2003, en el acápite correspondiente a topografía, recomienda realizar recorridos de reconocimiento del terreno, aéreos y terrestres.

2.4 Carta Topográfica

Previo a los recorridos aéreos, se ha realizado la revisión en la Carta topográfica del Ecuador del Instituto Geográfico Militar de Ecuador, carta topográfica MANÚ Figura 2-1 (Instituto Geográfico Militar Ecuador, 2021) y adicionalmente un archivo que contiene la topografía del sector a mayor escala entregado por ELECAUSTRO S.A. El archivo, denominado Cartografía Básica Huascachaca (Figura 2-2), sirvió de base sobre el cual se realizó el trabajo de la línea de ceros para colocar en campo los hitos y mojones necesarios. Posterior a ello se realizó el levantamiento de información topográfica a mayor detalle con drones.

Figura 2-1 Carta Topográfica MANU con referencia de trasado de la vía Yúnquil (Instituto Geográfico Militar Ecuador, 2021)



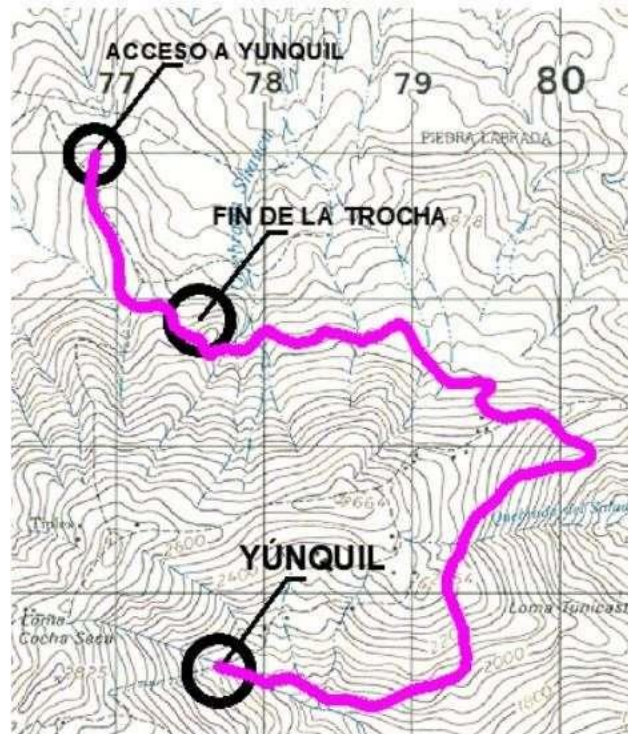
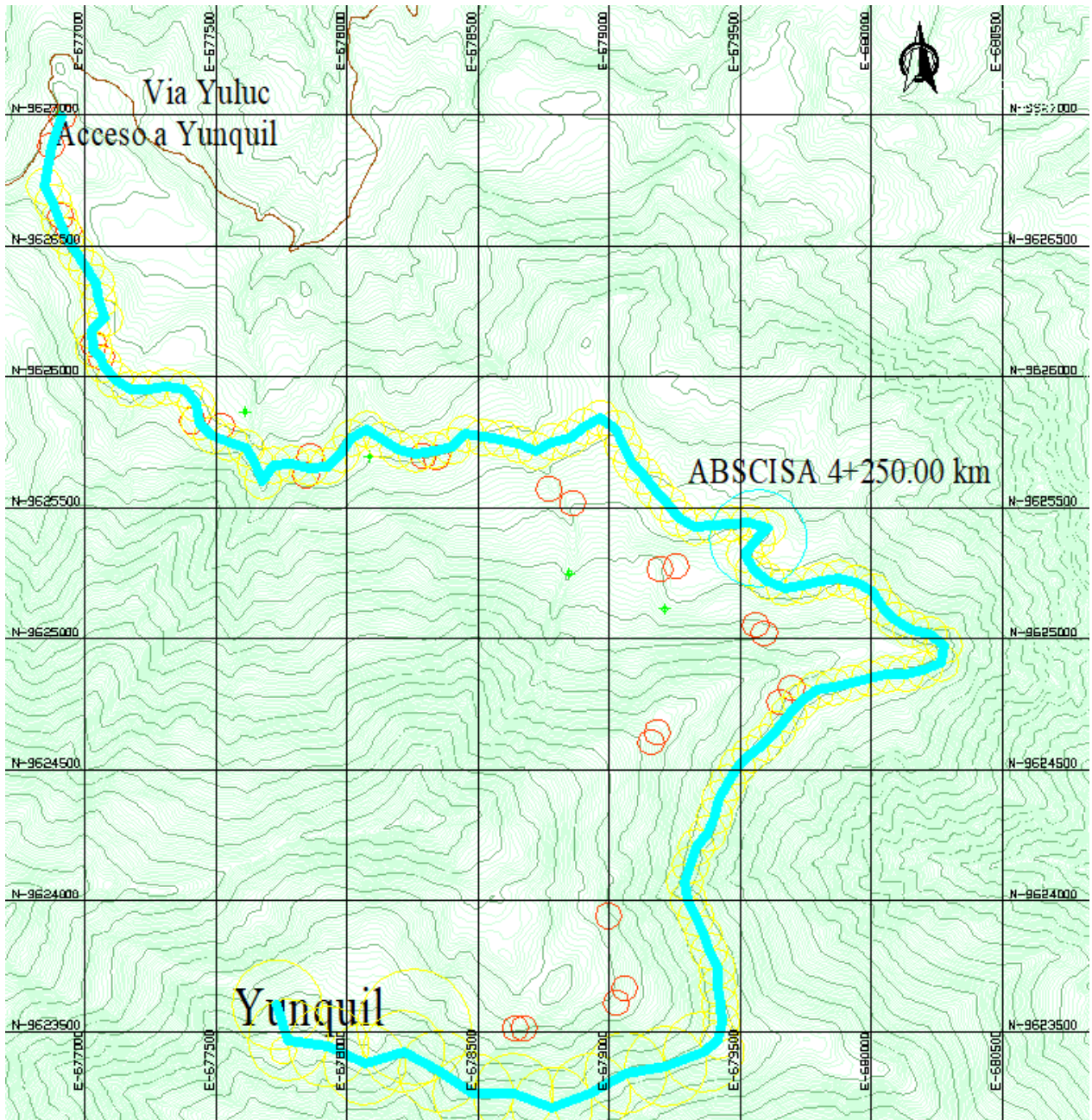


Figura 2-2 Cartografía Básica Huascachaca , para línea de ceros



2.5 Levantamiento topográfico

2.5.1 Puntos de partida

Como se expuso anteriormente, el trabajo de línea de ceros se realiza en función de un

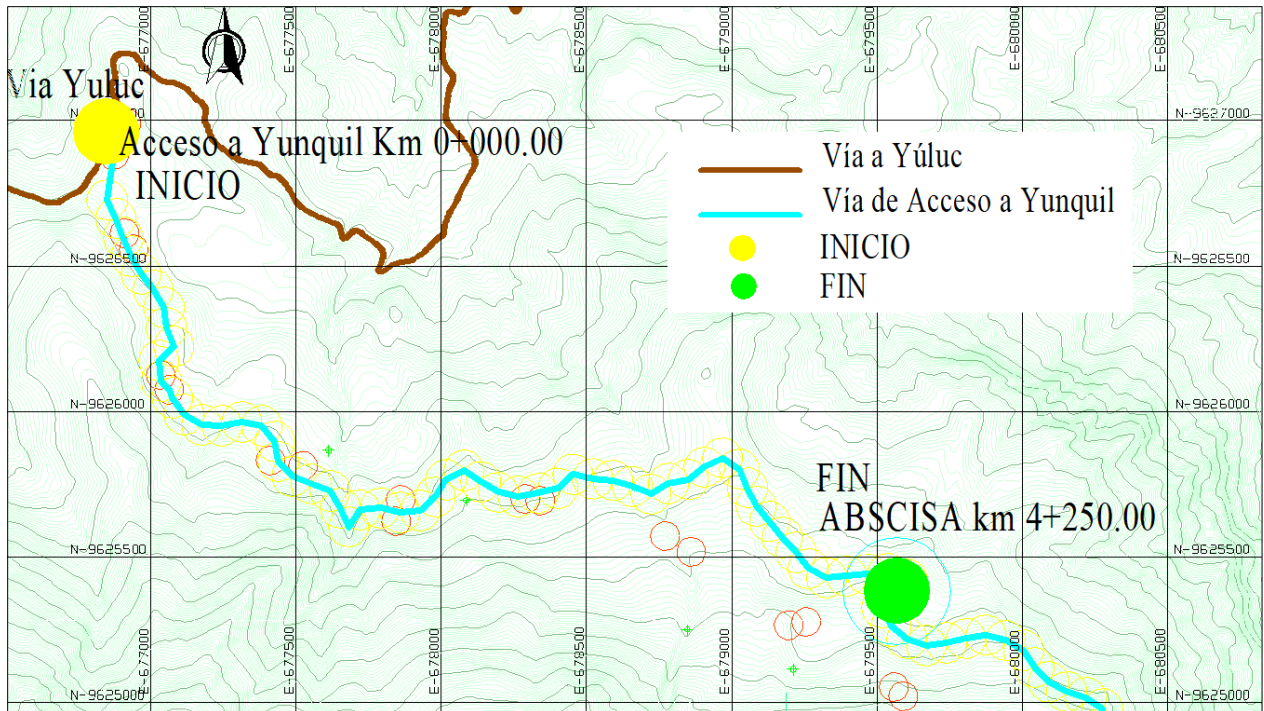
punto inicial y final, en este caso la actual vía a San Sebastián de Yúluc y el sector denominado Yunquil respectivamente. Se establece una pendiente longitudinal inicial que se encuentra dentro de lo establecido en la Normativa vigente. Y se traza sobre cada curva de nivel un punto que permita la unión éstos formar la línea de ceros. La pendiente inicial se puede ir modificando hasta lograr unir los puntos inicial y final del proyecto mediante la línea de ceros. De forma específica el tramo de vía que se presenta en el trabajo de titulación parte desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km. Por tanto, para el levantamiento topográfico se tiene las siguientes coordenadas como punto de inicio y como punto final del tramo (Tabla 2-1).

Tabla 2-1 Coordenadas de los Puntos de partida, en el tramo de interés

| INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|
| Sistema de Referencia: WGS84 | | | |
| Proyección: UTM | | | |
| Zona: 17 | | | |
| Sector: Sur | | | |
| COORDENADAS | Punto | Coordenada Este | Coordenada Norte (m) |
| INICIO ABSCISA 0+000.00 km | ACCESO A YUNQUIL | 676897 | 9627001 |
| FIN ABSCISA 4+250.00 km | ABSCISA 4+250.00 km | 679567 | 9625381 |

En la Figura 2-3 se observa los puntos de interés del tramo en análisis, el acceso a la vía de Yunquil abscisa km 0+000,00 y la abscisa km 4+250,00.

Figura 2-3 Puntos de partida, en el tramo de interés



2.5.2 Puntos de referencia

Colocación de los puntos de referencia en campo, se ha colocado dos tipos de puntos de referencia, cilindros de hormigón denominados HITOS (Figura 2-4) y placas sobre la base de hormigón denominadas PLACAS (Figura 2-5).

Figura 2-4 Punto de referencia - Cilindro de hormigón HITO



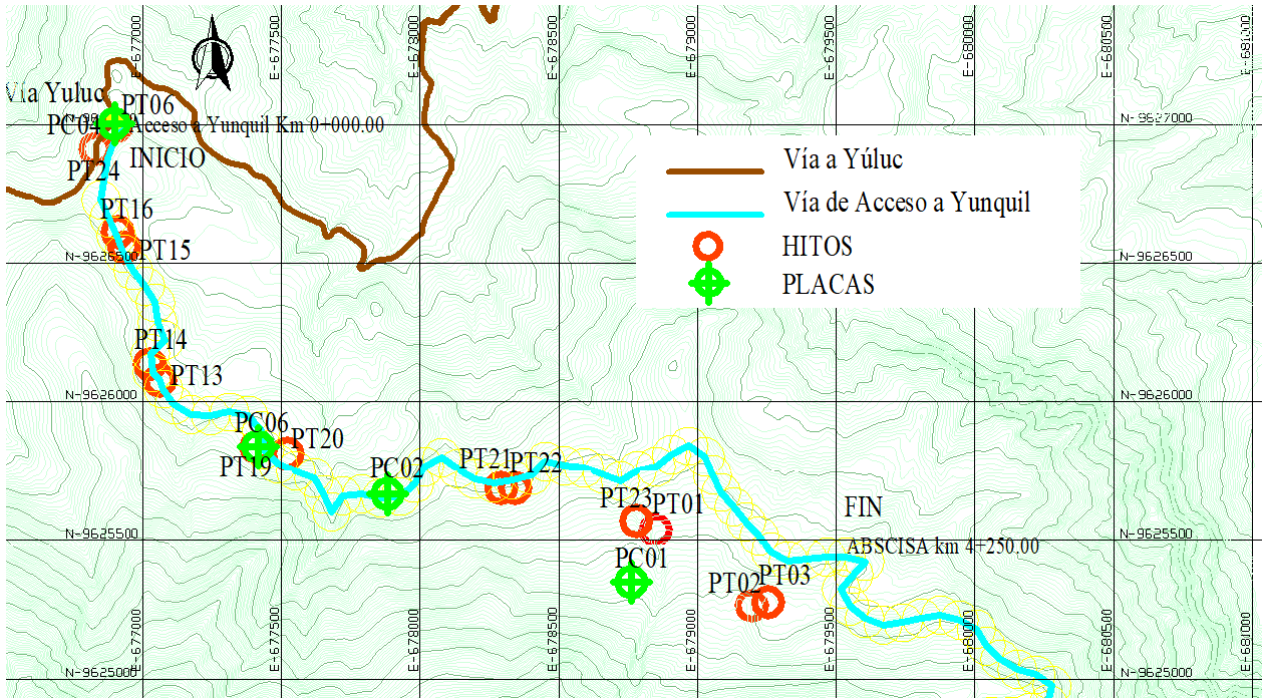
Figura 2-5 Punto de referencia – Placa sobre base de hormigón PLACA



Mediante el método de posicionamiento NTRIP usando la base BHEC, se ha establecido varios puntos de control marcados e identificados, en su gran mayoría como puntos control azimutales para la georreferenciación de estaciones totales usadas y así formar poligonales abiertas, brindando la posibilidad de reducir enormemente la generación de errores por acumulación, ya que el posicionamiento mediante NTRIP el error es puntual

y no acumulativo. Y otros puntos para utilizar como base de levantamiento RTK. Resumiendo, se tiene para la zona de trabajo 4 puntos de control fijos para posicionamiento, puntos de color verde (placas) Figura 2-6 y cerca de 16 puntos de control fotogramétrico, puntos de color rojo (hitos) Figura 2-6.

Figura 2-6 Puntos de referencia



Los puntos se encuentran bajo los parámetros y normativa que establece como sistema de proyecciones UTM-WGS84 ZONA 17 SUR, usando como elipsoide WGS84 y para el cálculo de la altura Ortométrica el geoid EGM96 a través del software TRIMBLE BUSSINES CENTER (TBC v5).

Estos puntos son de control topográfico. Los puntos indicados de color verde corresponden a la colocación de placas (como la de la Figura 2-7), que en su grabado contienen la leyenda:



Figura 2-7 Placas colocadas como referencia



Y los puntos de color rojo de la Figura 2-6 son los hitos o mojones de hormigón colocados en campo como se observan en la Figura 2-8.

Figura 2-8 Mojones de hormigón, BMs



El tiempo de lectura en cada punto es de aproximadamente de 60 segundos, y el parámetro PDOP obtenido es de valores de 1.0 a 2.0.

2.5.3 Red de puntos GPS (placa e hitos)

La red de puntos GPS se ha observado mediante la técnica de posicionamiento RTK por método NTRIP (Red de Transporte de datos en formato RTCM a través Protocolo de Internet), lo que conlleva que tenemos una corrección diferencial en tiempo real vía un servidor “caster” que para este caso es la estación de monitoreo continuo de Santa Isabel, la zona de estudio presenta cobertura móvil intermitente pero que permite el acceso por datos móviles al servidor por lo cual se garantiza que los puntos colocados están anclados al sistema REGME del Instituto Geográfico Militar, es decir las placas colocadas y los hitos de hormigón colocados en campo que se ilustran en la Figura 2-6, se encuentran representados por las siguientes coordenadas (Tabla 2-2):

Tabla 2-2 Red de puntos GPS (Placa e hitos)

| TIPO | PUNTO | ESTE | NORTE | ALTURA ORTOMÉTRICA | ALTURA ELIPSOIDAL |
|------|-------|------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| HITO | PT01 | 678848.974 | 9625536.240 | 1868.980 | 1886.729 |
| HITO | PT02 | 679195.196 | 9625264.711 | 1931.293 | 1949.065 |
| HITO | PT03 | 679255.195 | 9625277.982 | 1914.371 | 1932.148 |
| HITO | PT06 | 676907.099 | 9626994.348 | 1581.917 | 1599.528 |
| HITO | PT13 | 677061.613 | 9626077.321 | 1646.615 | 1664.218 |
| HITO | PT14 | 677025.944 | 9626136.337 | 1645.246 | 1662.847 |
| HITO | PT15 | 676932.837 | 9626556.485 | 1607.054 | 1624.657 |
| HITO | PT16 | 676908.654 | 9626613.252 | 1604.898 | 1622.500 |
| HITO | PT19 | 677408.268 | 9625836.258 | 1693.724 | 1711.352 |
| HITO | PT20 | 677520.196 | 9625813.614 | 1678.109 | 1695.747 |
| HITO | PT21 | 678292.685 | 9625690.527 | 1776.174 | 1793.878 |
| HITO | PT22 | 678342.338 | 9625690.498 | 1781.843 | 1799.551 |
| HITO | PT23 | 678778.449 | 9625570.544 | 1850.498 | 1868.242 |
| HITO | PT24 | 676829.893 | 9626911.316 | 1578.738 | 1596.340 |
| PLA | PC01 | 678761.979 | 9625349.924 | 1908.552 | 1926.289 |
| PLA | PC04 | 676869.771 | 9627002.635 | 1717.807 | 1735.474 |
| PLA | PC05 | 678951.143 | 9623649.934 | 2346.624 | 2364.334 |
| PLA | PC06 | 677417.798 | 9625835.958 | 1691.355 | 1708.984 |

2.5.4 Equipos utilizados para el levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se ha decidido realizar mediante la técnica de RTK que significa “Real Time Kinematic o Cinemático en Tiempo Real” (Ferrecio, 2006), y también mediante tecnología de drones, que son “aeronaves no tripuladas” o, por sus siglas en inglés, UAV “Unmanned Aerial Vehicle” (Valencia Sierra, 2015)

Los equipos utilizados son los siguientes: Figura 2-9,

Figura 2-10 y Figura 2-11.

Figura 2-9 Receptor geodesic GPS-GNSS TOPCON HIPER II



| CAPACIDADES DE SEGUIMIENTO | | | |
|----------------------------|------------------------|---|-------------------|
| Número de canales | 72 canales universales | | |
| Señales seguidas | GPS GLONASS SBAS | L1 CA, L1/L2 Código-P, L2C L1/L2 CA, L1/L2 Código-P WAAS, EGNOS, MSAS | |
| PRECISIÓN POSICIONAMIENTO* | | | |
| Estático | L1+L2 | H: 3 mm + 0.5 ppm | V: 5 mm + 0.5 ppm |
| | Solo L1 | H: 3 mm + 0.8 ppm | V: 4 mm + 1 ppm |
| Cinemático | L1+L2 | H: 10 mm + 1 ppm | V: 15 mm + 1 ppm |
| RTK | L1+L2 | H: 10 mm + 1 ppm | V: 15 mm + 1 ppm |
| DGNSS | <0.3m | | |

Figura 2-10 GPS-GNSS HI-TARGET V60



MEDICIÓN

- 220 Canales
- Avanzado chip Pacific Crest Maxwell 6 GNSS topográfico personalizado
- Correlador múltiple de alta precisión para medidas de pseudodistancia GNSS
- Sin filtrado, datos de medidas de pseudodistancia sin suavizado, para lograr un bajo ruido, pocos errores por trayectoria múltiple, una correlación de dominio de bajo tiempo y respuesta de alta dinámica
- Muy bajo ruido en las medidas de fase de la portadora GNSS con precisión de < 1mm en un ancho de banda de 1 Hz
- Relaciones de señal-ruido se señalan en dB-Hz
- Probada tecnología de rastreo de baja elevación de Pacific Crest

Señales de satélite rastreado en simultáneo

| | |
|----------------------------|---|
| GPS..... | L1C/A, L2C, L2E, L5 |
| GLONASS..... | L1C/A, L1P, L2C/A (GLONASS M sólo), L2P |
| SBAS..... | L1 C/A, L5 |
| Galileo..... | L1 BOC, E5A, E5B, E5AltBOC ¹ |
| BDS/Compass(opcional)..... | B1, B2 ² |
| QZSS..... | L1 C/A, L1 SAIF, L2C, L5 |

FUNCIONAMIENTO DURANTE EL POSICIONAMIENTO³

Medición Estática y Estática Rápida GNSS

| | |
|-----------------|------------------|
| Horizontal..... | 2.5mm+0.5ppm RMS |
| Vertical..... | 5mm+0.5ppm RMS |

Medición GNSS Cinemática con Posprocesamiento(PPK / Stop & Go)

| | |
|--------------------------------------|---|
| Horizontal..... | 1cm+1ppm RMS |
| Vertical..... | 2.5cm+1ppm RMS |
| Tiempo de inicialización..... | típico 10 minutos para base mientras 5 minutos para móvil |
| Fiabilidad en la inicialización..... | típica de > 99.9% |

Medición Cinemática en Tiempo Real (RTK)

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Horizontal..... | 8mm+1ppm RMS |
| Vertical..... | 15mm+1ppm RMS |
| Tiempo de inicialización..... | típico de < 8 segundos |
| Fiabilidad en la inicialización..... | típica de > 99.9% |

Posicionamiento GNSS de Código Diferencial

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Horizontal..... | 25cm+1ppm RMS |
| Vertical..... | 50cm+1ppm RMS |
| SBAS ⁴ | 0.50m Horizontal, 0.85m Vertical |

Figura 2-11 Dron DJI Phantom 4 pro PPK Drone DJI Phantom 4 pro RTK/PPK EMLID M+



| AIRCRAFT | PHANTOM 4 PRO V2.0 | PHANTOM 4 PRO |
|--|---|---|
| Product Position | Entry-Level Professional Drone with Powerful Obstacle Avoidance | Entry-Level Professional Drone with Powerful Obstacle Avoidance |
| Weight (Battery & Propellers Included) | 1375 g | 1388 g |
| Max Flight Time | Approx. 30 minutes | Approx. 30 minutes |
| Vision System | Forward Vision System Backward Vision System Downward Vision System | Forward Vision System Backward Vision System Downward Vision System |
| Obstacle Sensing | Front & Rear Obstacle Avoidance Left & Right Infrared Obstacle Avoidance | Front & Rear Obstacle Avoidance Left & Right Infrared Obstacle Avoidance |
| Camera Sensor | 1" CMOS Effective pixels: 20 M | 1" CMOS Effective pixels: 20 M |
| Max. Video Recording Resolution | 4K 60P | 4K 60P |
| Max Transmission Distance | FCC: 4.3 mi | FCC: 4.3 mi |
| Video Transmission System | OcuSync | Lightbridge |
| Operating Frequency | 2.4 GHz/5.8 GHz *5.8 GHz transmission is not available in some regions due to local regulations. | 2.4 GHz/5.8 GHz *5.8 GHz transmission is not available in some regions due to local regulations. |

Posicionamiento

| | |
|-----------------------|---------------|
| Estático horizontal | 5 mm + 1 ppm |
| Vertical estático | 10 mm + 2 ppm |
| Cinemática horizontal | 7 mm + 1 ppm |
| Vertical cinemática | 14 mm + 2 ppm |

Conectividad

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| Radio LoRa (se vende por separado) | |
| Rango de frecuencia | 868/915 MHz |
| Distancia | Hasta 8 km |
| Wifi | 802.11b / g / n |
| Bluetooth | 4.0 / 2.1 EDR |
| Puertos | USB, UART, evento |



Datos

| | |
|------------------------|---|
| Correcciones | NTRIP, VRS, RTCM3 |
| Salida de posición | NMEA, LLH / XYZ |
| Registro de datos | RINEX con eventos con tasa de actualización de hasta 14 Hz |
| Almacenamiento interno | 8 GB |

GNSS

| | |
|------------------------|---|
| Señal rastreada | GPS / QZSS L1, GLONASS G1, BeiDou B1, Galileo E1, SBAS |
| Número de canales | 72 |
| Tasas de actualización | 14 Hz / 5 Hz |
| IMU | 9DOF |

2.6 Resultados del Estudio Topográfico

2.6.1 Planificación Del Área De Vuelo

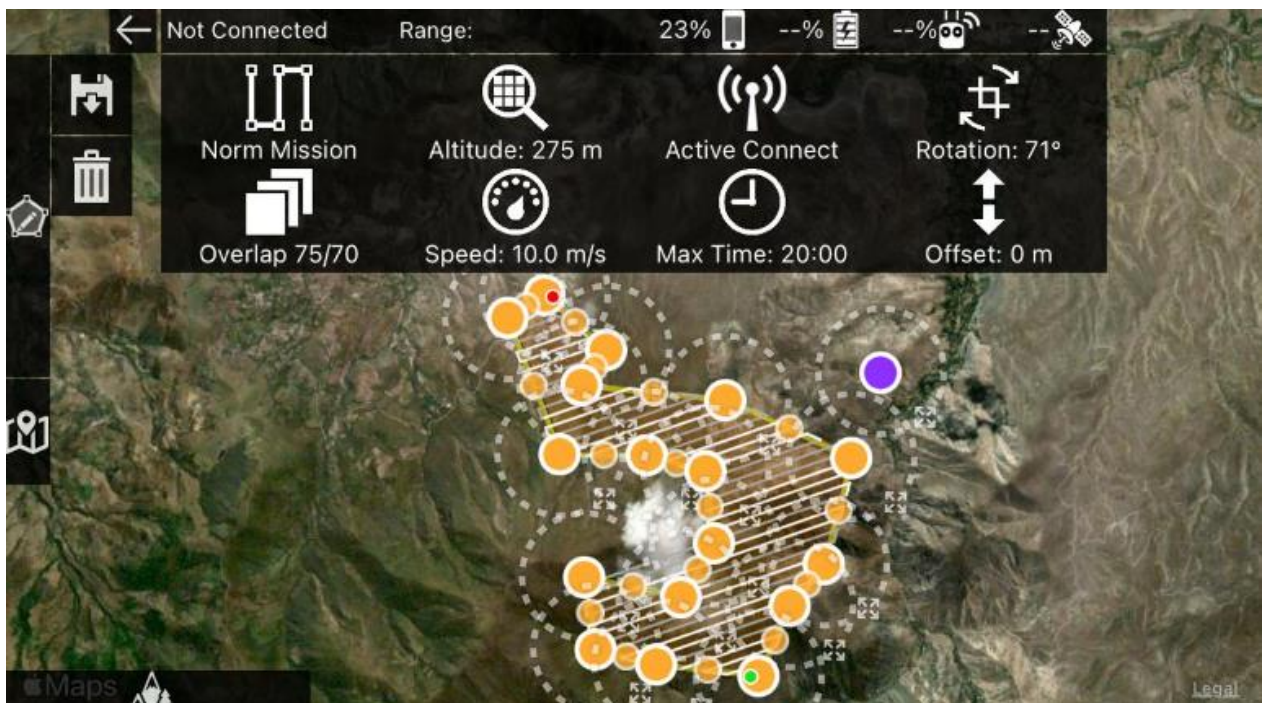
El área de vuelo se determinó en base al primer análisis de la ruta, con lo cual se procedió

UCUENCA

a establecer que es necesario cubrir una franja de por lo menos 100 metros a cada margen y que también cubra los hitos colocados previamente, puesto que estos llegarán a ser parte de los puntos de control y GPC (Ground point control).

El plan de vuelo se lo realiza con aplicaciones móviles de suscripción para IOS, la cual permite hacer vuelos con Terrain Awareness (Coincidencia de terreno), lo que permite llevar un tamaño de pixel relativamente constante haciendo que las líneas de vuelo mantenga una altura constante respecto a la forma del terreno. Cabe destacar que las líneas de vuelo se las realiza sin hacer cuadrícula o líneas cruzadas ya que esta metodología aplica para vuelos en los que se tenga edificaciones de altura con la finalidad de obtener una nube de puntos densa en la que se pueda captar puntos laterales de dichas edificaciones lo cual no aplica para el caso de estudio siendo basto líneas en un solo sentido (Figura 2-12).

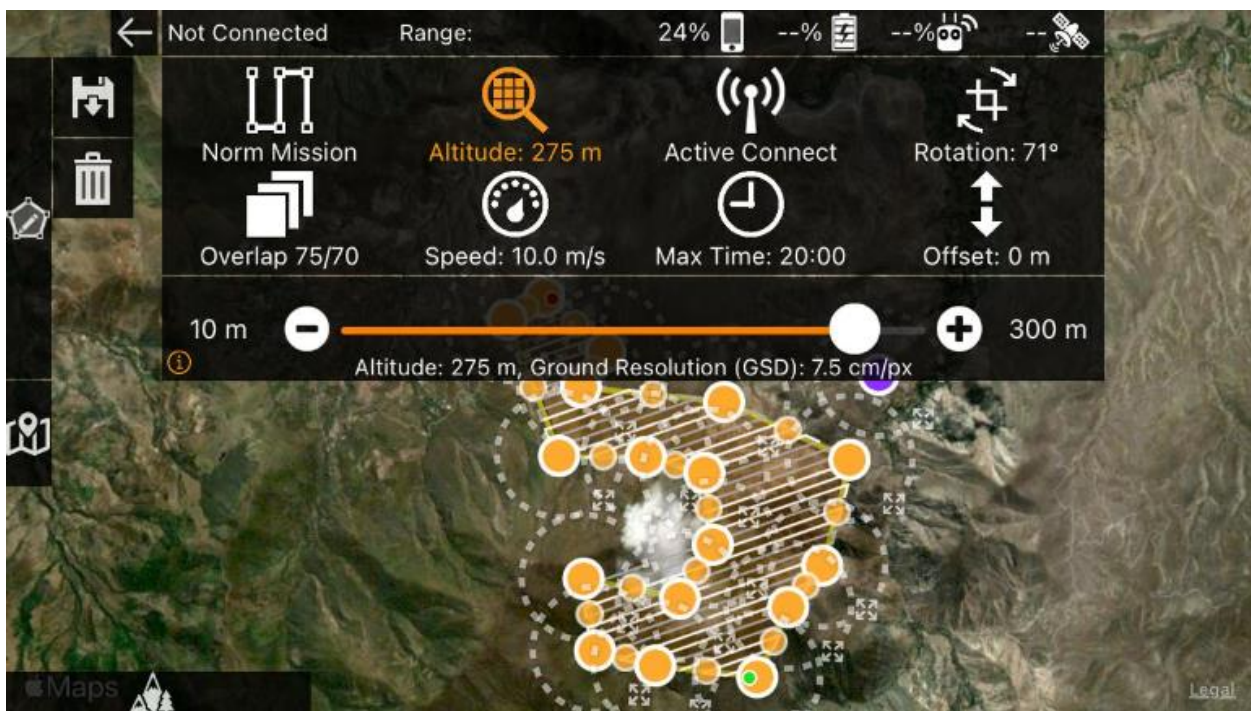
Figura 2-12 Planificación del área del vuelo



2.6.2 *Altura de vuelo y traslapes*

Se ha determinado que para las condiciones del lugar se requiere un producto con escala inferior a 1:1000, lo que representa que el GSD (Ground sampling distance), sea inferior a 10cm por lo cual para el equipo en uso se determina que la altura de vuelo debe ser 275m sobre el terreno y siguiendo los parámetros recomendados por la aplicación de vuelo, nos recomienda un traslape frontal del 75% y un traslape lateral del 70%, parámetros bastante superiores a los recomendados en la normativa del IGM para generación de orto fotos.

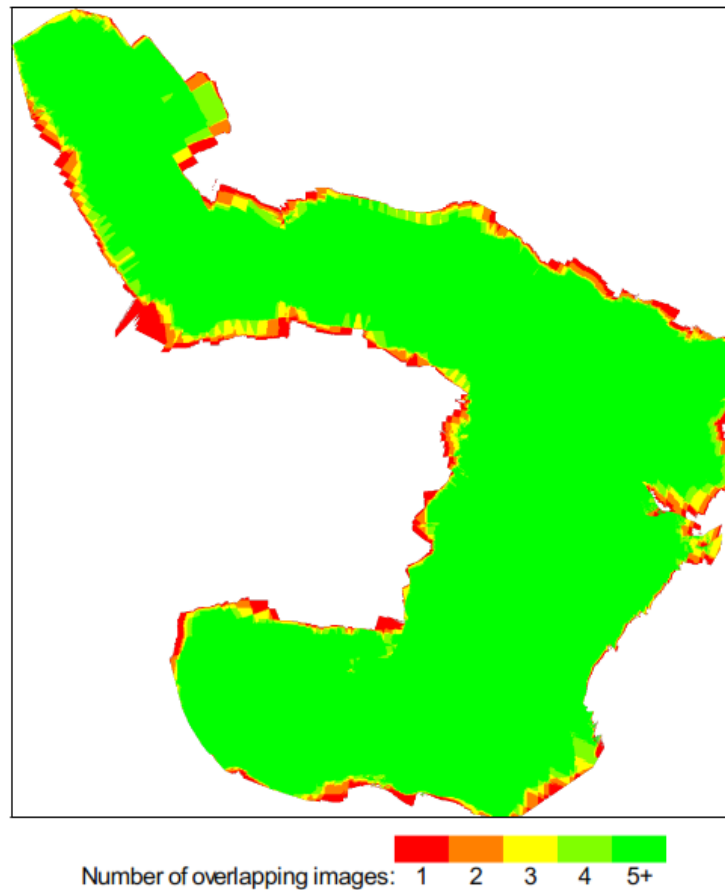
Figura 2-13 Altura de vuelo



2.6.3 *Postprocesamiento de datos*

Por medio de software fotogramétrico se realiza el procesamiento de las fotos, en el cual se carga todas las fotos obtenidas alineándolas y generando una nube de puntos dispersa usando un tamaño de pixel completo, esto se considera como paso inicial, en este procedimiento se evidencia si existe el suficiente traslape entre fotografías (Figura 2-14).

Figura 2-14 Postprocesamiento de datos



Posterior a este proceso inicial se ingresa los GPC Ground Control Points para los cuales se han considerado los mismos hitos monumentados que son fotoidentificables y adicionalmente marcas colocadas con cinta amarilla de peligro y estructuras encontradas a lo largo del trayecto como muros de piedra, se ha marcado un total de 19 GPC en 3D lo cual nos da ajuste en X,Y y Z aportando precisión al modelo final (Figura 2-15).

Figura 2-15 Postprocesamiento de datos

Ground Control Points

| GCP Name | Accuracy XYZ [m] | Error X [m] | Error Y [m] | Error Z [m] | Projection Error [pixel] | Verified/Marked |
|----------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------------|
| 1 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.006 | 0.004 | 0.057 | 0.170 | 3 / 3 |
| 2 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.002 | 0.009 | -0.017 | 0.089 | 5 / 5 |
| 5 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.009 | -0.009 | -0.030 | 0.123 | 5 / 5 |
| 12 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.006 | 0.005 | -0.009 | 0.574 | 7 / 7 |
| 13 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.008 | -0.005 | -0.017 | 0.542 | 3 / 3 |
| 14 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.009 | 0.007 | 0.019 | 0.258 | 9 / 9 |

| | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| 15 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.032 | -0.009 | 0.076 | 0.357 | 5 / 5 |
| 18 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.004 | 0.003 | -0.028 | 0.216 | 3 / 3 |
| 19 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.008 | -0.013 | -0.023 | 0.522 | 4 / 4 |
| 20 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.001 | 0.001 | -0.012 | 0.253 | 3 / 3 |
| 21 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.008 | 0.035 | 0.071 | 0.012 | 2 / 2 |
| 25 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.001 | -0.005 | -0.007 | 0.180 | 6 / 6 |
| 27 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.014 | 0.019 | -0.024 | 0.384 | 10 / 10 |
| 28 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.006 | -0.008 | 0.030 | 0.277 | 6 / 6 |
| 30 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.006 | -0.006 | -0.009 | 0.339 | 17 / 17 |
| 31 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.004 | 0.007 | 0.006 | 0.311 | 18 / 18 |
| 32 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.001 | -0.005 | 0.010 | 0.209 | 13 / 13 |
| 33 (3D) | 0.020/ 0.020 | -0.003 | -0.034 | -0.111 | 0.043 | 2 / 2 |
| 10 (3D) | 0.020/ 0.020 | 0.002 | 0.003 | 0.011 | 0.086 | 6 / 6 |
| Mean [m] | | -0.001521 | -0.000072 | -0.000385 | | |
| Sigma [m] | | 0.009579 | 0.013544 | 0.040852 | | |
| RMS Error [m] | | 0.009699 | 0.013545 | 0.040854 | | |

Productos generados

Como proceso secundario se obtiene una nube de puntos densa la cual se clasifica en varias categorías como:

- Ruido
- Suelo
- Vegetación baja
- Vegetación alta
- Edificaciones

A partir de esta clasificación se depura la información entre el MDS modelo que contiene elevaciones de todo tipo y el MDT que es el modelo que representa solo la categoría suelo, el cual se emplea para la generación de curvas de nivel para diseño.

En el proceso final se obtiene la ortofoto de la Figura 2-16, modelo de elevaciones de la Figura 2-17 y curvas de nivel de la Figura 2-18.

Figura 2-16 Ortofoto generada

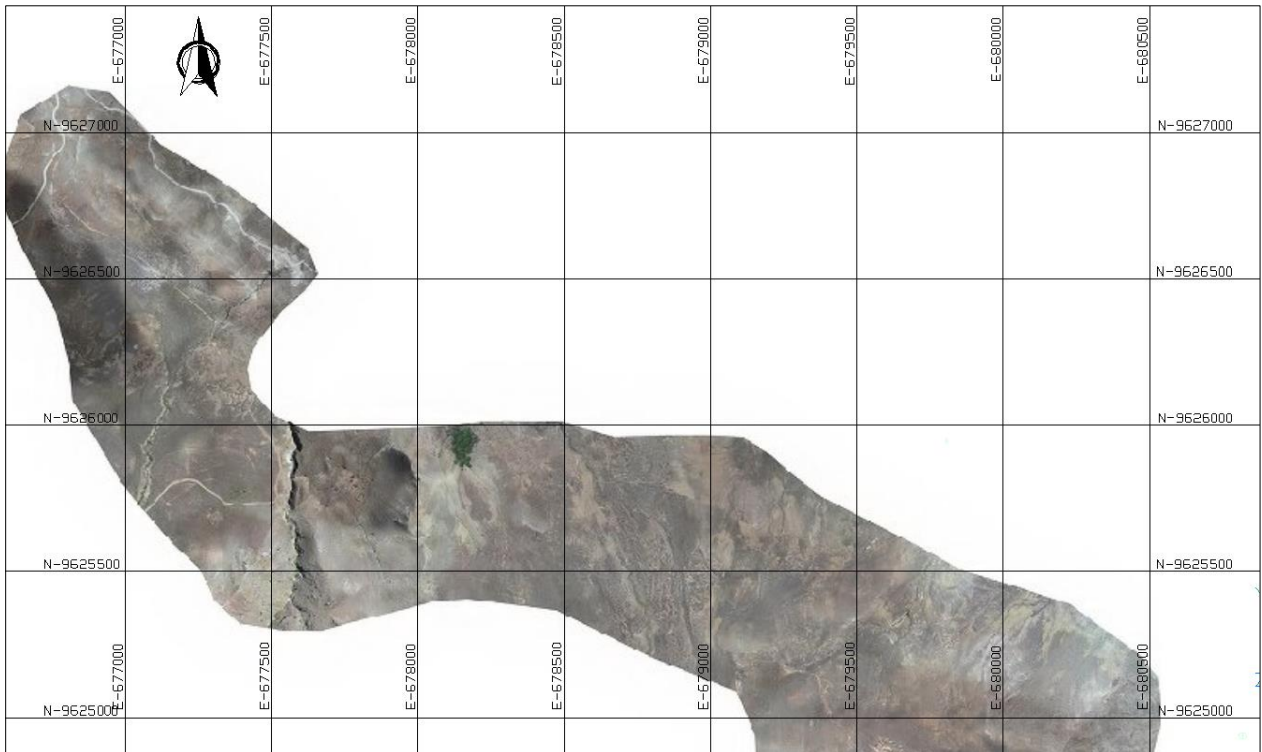


Figura 2-17 Modelo de elevaciones

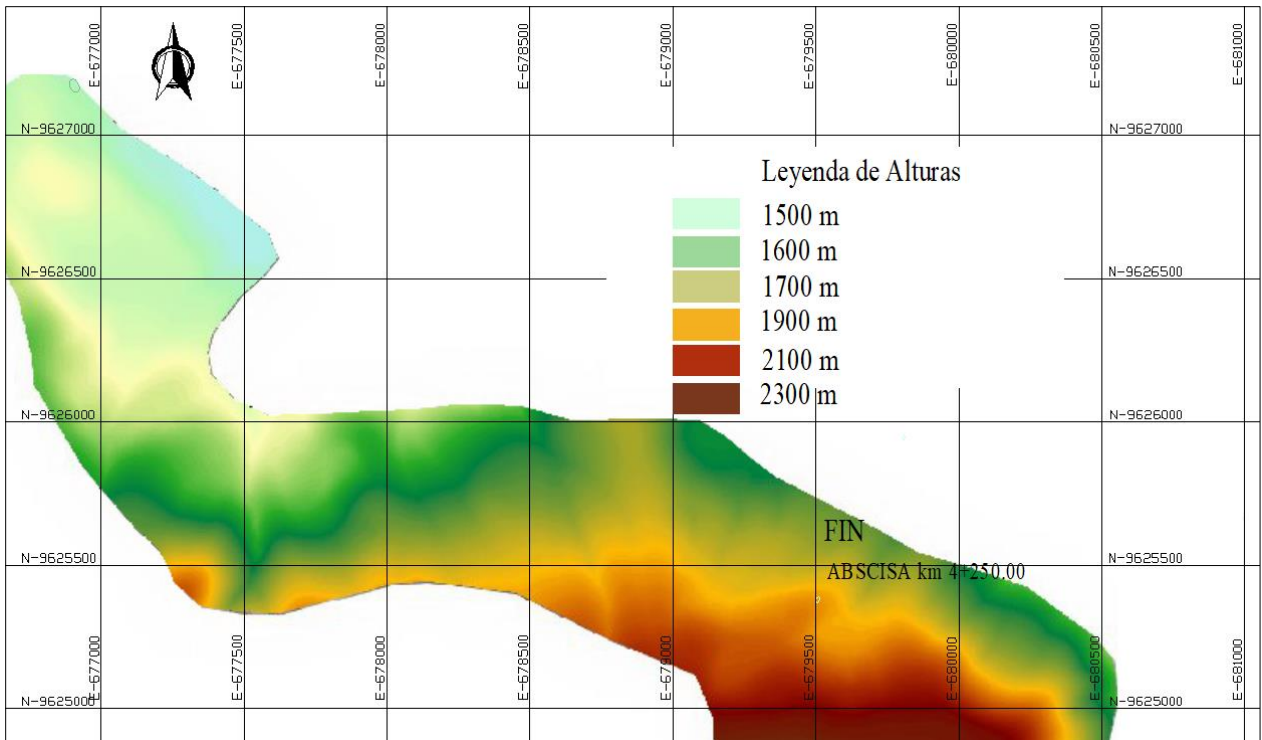
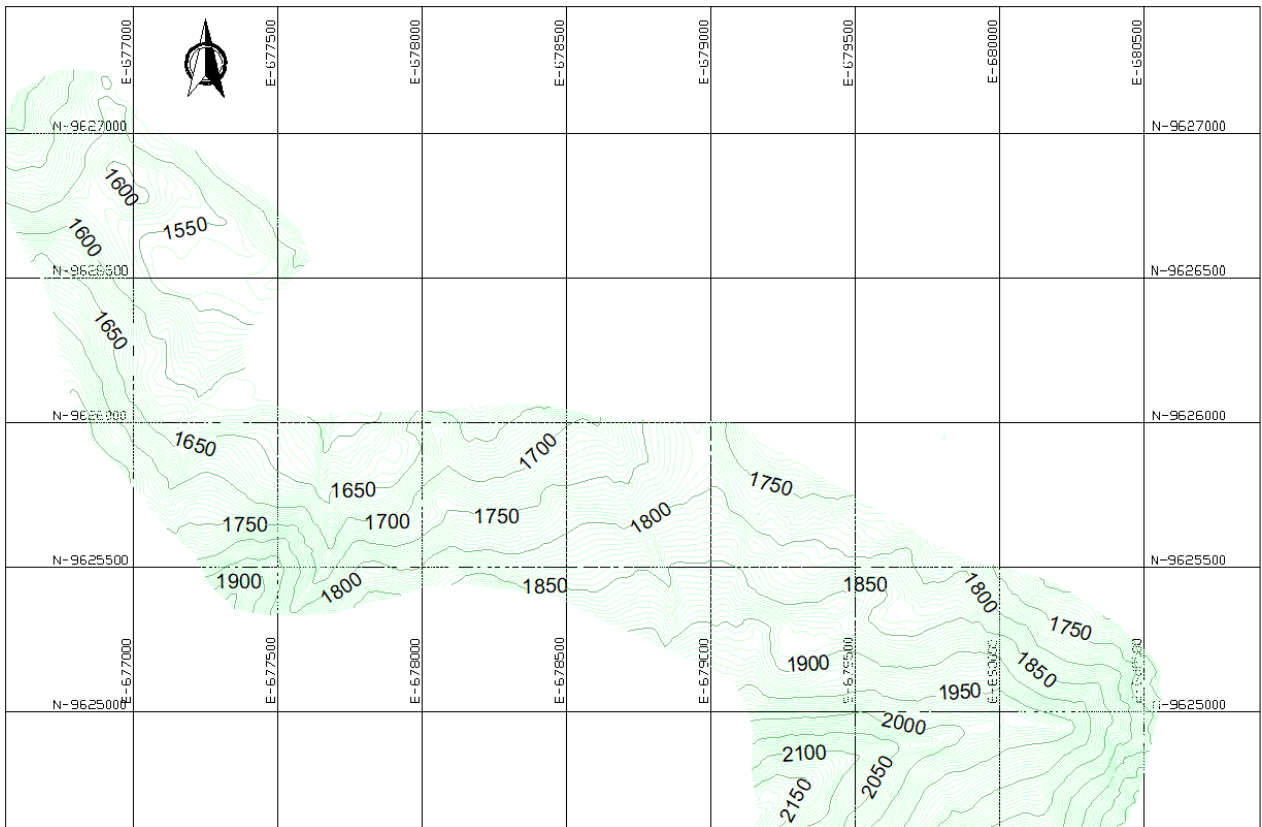


Figura 2-18 Curvas de nivel generadas



2.6.4 Características topográficas del terreno

Del estudio topográfico se concluye que el terreno tiene una pendiente que en algunos casos llega al 42%. Siendo esta una pendiente muy pronunciada y determinando así la clasificación del terreno como Montañoso y Escarpado según la Normativa (Tabla 2-3). 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.

Tabla 2-3 Clasificación del terreno por la topografía (NEVI-12)

| Categoría | Pendiente Transversal | Movimiento de Tierra | Gradiente Longitudinal |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 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% |

3. DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 Objetivo

- Diseñar el trazado de una carretera de categoría cuatro.

Este acápite contribuirá al desarrollo del objetivo específico número dos que es el diseñar el trazado de una carretera de categoría cuatro para el tramo de la vía de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000,00 km hasta la abscisa 4+250,00 km.

3.2 Alcance

- Diseño del proyecto geométrico horizontal y vertical.

El alcance del presente capítulo es realizar el diseño del proyecto geométrico horizontal y vertical considerando la topografía del terreno.

3.3 Metodología

Dentro de la metodología expuesta en el presente documento se encuentra el diseño del proyecto geométrico horizontal y vertical. Este trabajo de oficina (diseño geométrico) es importante por cuanto se relaciona con el trabajo en campo previamente realizado (Colocación de hitos para estudio topográfico y extracción de muestras para suelos). Si únicamente los diseños viales se basaran en un trabajo netamente de oficina, todos serían iguales, sin embargo, la relación entre la misma topografía del terreno, la geología del lugar y los ensayos de laboratorio y otros aspectos propios de cada lugar es lo que dan una particularidad a cada uno de los diseños viales.

3.4 Norma de Diseño

Las normas utilizadas en el presente diseño son las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO P M. d., 2003)

3.5 Diseño Vial Tridimensional

Cada diseño vial es particular pues forma parte de un entorno tridimensional único. Sin embargo, para facilidad de diseño, los componentes tridimensionales se los analiza y diseña de manera independiente. Así, el diseño horizontal es el diseño de la carretera en planta, el diseño vertical es el diseño de la carretera en perfil y el diseño transversal es el diseño del ancho de la carretera.

3.6 Criterios de diseño

3.6.1 Vehículo de diseño

Con respecto a las características geométricas del vehículo, el (MTOPE M. d., 2003) presenta un cuadro resumen de los pesos y dimensiones de buses y camiones, el cual se encuentra en el Anexo 1, las cuales deberán estar de acuerdo con las normas internacionales. Es por ello que se hace referencia a la norma internacional de la (AASHTO, 2011), en donde se señala que, es preciso examinar todos los tipos de vehículos, establecer agrupamientos de clases y seleccionar vehículos de tamaños representativos de cada clase (AASHTO, 2011).

De acuerdo con la normativa vigente, para el diseño geométrico se cuenta con el Acuerdo Ministerial 018 – 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016). Mismo que en su cuarto artículo presenta la tabla nacional de pesos y dimensiones (Anexo 2). Por tanto, para el presente trabajo de titulación, se considera un vehículo tipo camión de dos ejes: un eje frontal simple y uno posterior tándem, tipo SU-12 (AASHTO, Geometric Design of Highways and Streets, 2018), muy similar a un camión tipo 3A de los recomendados por el MTOPE (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOPE, 2013), por ser el de mayores dimensiones de su tipo. Las dimensiones de este camión se encuentran ilustradas en la Figura 3-1 y se observan en la Tabla 3-1.

Figura 3-1 Dimensiones del vehículo tipo. Fuente: (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, 2013)

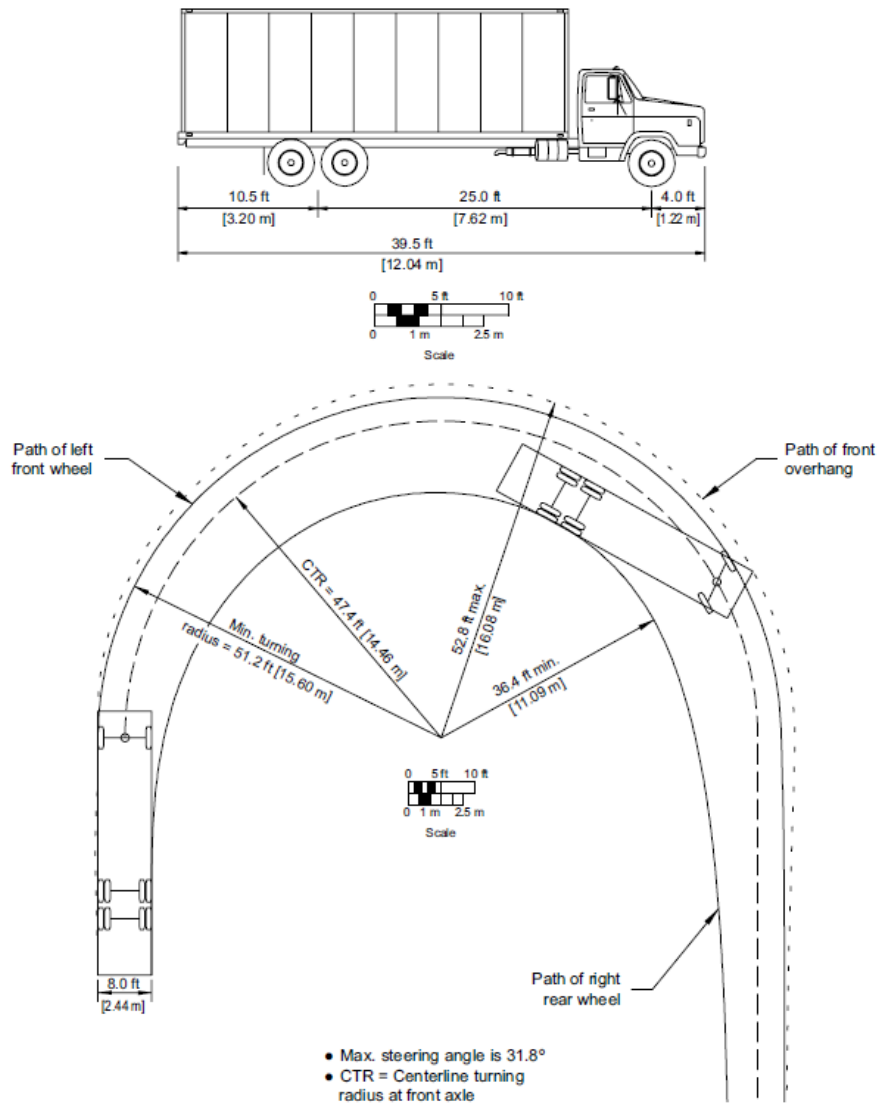


Tabla 3-1 Vehículo de diseño seleccionado

| TIPO | DISTRIBUCIO MÁXIMA DE CARGA POR EJE | DESCRIPCIÓN | PESO MÁXIMO PERMITIDO (TON) | LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS (METROS) | | |
|------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------|--|-------|------|
| | | | | LARGO | ANCHO | ALTO |
| 3A | | | 27 | 12.04 | 2.44 | 4.10 |

3.6.2 Características del proyecto

El presente proyecto tiene como fines académicos realizar el diseño geométrico de una vía en una franja topográfica asignada. En el acápite 1.8 se tiene como datos que la ubicación de la franja topográfica es en la zona de la sierra. Al establecer las características geométricas de un camino se lo hace en función de las características topográficas del terreno: llano, ondulado y montañoso, este, a su vez, puede ser suave o escarpado. Un terreno es de topografía llana cuando en el trazado del camino no gobiernan las pendientes. Es de topografía ondulada cuando la pendiente del terreno se identifica, sin excederse, con las pendientes longitudinales que se pueden dar al trazado. Y finalmente, un terreno es de topografía montañosa cuando las pendientes del proyecto gobiernan el trazado, siendo de carácter suave cuando la pendiente transversal del terreno es menor o igual al 50% y de carácter escarpada cuando dicha pendiente es mayor al referido valor (Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, 2003).

En el acápite 2.6.4 se menciona que la franja topográfica asignada tiene una pendiente transversal del terreno que en algunos casos es hasta del 42%, por tanto, el relieve es montañoso. La distancia entre los puntos inicio 0+000.00 km y final del tramo de interés es de 4,250.00 m. En la Tabla 3-2 se presenta un resumen de las características del proyecto.

Tabla 3-2 Características iniciales del proyecto

| | |
|--------------------------------------|-------------------|
| LONGITUD APROXIMADA DE LA VÍA | 4,250.00 m |
| RELIEVE DEL PROYECTO | Relieve montañoso |
| TIPO DE PROYECTO | Vía nueva |

3.6.3 Tráfico

i) Tráfico promedio diario semanal

Como se indicó en el acápite 1.9.1 el punto de inicio de la vía es el punto de la actual trocha abierta al sector Yunquil y la actual vía a San Sebastián de Yuluc (Figura 3-2). Como se trata de una vía nueva, para relacionar el tráfico que se puede generar en la vía motivo de diseño, se ha considerado los datos del tráfico de la vía a San Sebastián de Yuluc, publicados en (Vanegas Ortiz, 2022), tesis que también forma parte del convenio de cooperación interinstitucional.

Figura 3-2 Punto de Inicio



En (Vanegas Ortiz, 2022) se indica que el conteo de vehículos se ha realizado desde los días 12 al 18 del mes de julio del año 2021. Obteniéndose como resultado la siguiente Tabla 3-3 :

Tabla 3-3 TPDS al año 2021. Fuente (Vanegas Ortiz, 2022)

| AÑO | LIVIANOS | CAMIONES | | | | TPDS |
|------|----------|----------|-----|----|----|------|
| | | 2DA | 2DB | 3A | 4C | |
| 2021 | 73 | 7 | 7 | 1 | 1 | 89 |

ii) Estimación del tráfico promedio diario anual (TPDA)

Como **DATOS** se tiene:

- El tráfico observado durante el conteo (Tabla 3-3).

Por tanto, con la fórmula del tráfico:

$$TPDA = TPO * Fs * Fm$$

En donde:

TPDA= Tráfico promedio diario anual

TO= Tráfico promedio semanal Observado

Fs = Factor semanal

Fm = Factor mensual

El Factor semanal, se obtiene de la Tabla 3-4:

Tabla 3-4 Factor semanal

| Meses | Días | Semanas | Fs | |
|------------|------|---------|-------|--------------|
| 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 | | 31 | 4,429 | 1,069 |
| 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 |
| | | FS | | 1,069 |

El Factor mensual, se obtiene de la Tabla 3-5:

Tabla 3-5 Factor Mensual

| Meses | Diesel 2 | Diesel Premium | Súper | Extra | Ecopais | Total |
|-------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Enero | 54081.00 | 1827421.00 | 225156.00 | 1050995.00 | 1167285.00 | 4324938.00 |
| Febrero | 53740.00 | 1674170.00 | 221169.00 | 990126.00 | 1072134.00 | 4011339.00 |
| Marzo | 56629.00 | 1773927.00 | 254614.00 | 1105979.00 | 1171525.00 | 4362674.00 |
| Abril | 55676.00 | 1807167.00 | 248107.00 | 1074169.00 | 1159266.00 | 4344385.00 |
| Mayo | 54448.00 | 1906812.00 | 248057.00 | 1109729.00 | 1226096.00 | 4545142.00 |
| Junio | 54938.00 | 1828269.00 | 215085.00 | 1053701.00 | 1165245.00 | 4317238.00 |
| Julio | 57833.00 | 1992918.00 | 215232.00 | 1114724.00 | 1247014.00 | 4627721.00 |
| Agosto | 55738.00 | 2023077.00 | 236217.00 | 1130949.00 | 1285283.00 | 4731264.00 |
| Septiembre | 56093.00 | 1920412.00 | 198499.00 | 1058770.00 | 1188604.00 | 4422378.00 |
| Octubre | 44836.00 | 1752819.00 | 193837.00 | 967581.00 | 1142663.00 | 4101736.00 |
| Noviembre | 57926.00 | 1950317.00 | 215275.00 | 1075563.00 | 1200297.00 | 4499378.00 |
| Diciembre | 61002.00 | 2009442.00 | 236738.00 | 1167443.00 | 1322673.00 | 4797298.00 |
| TOTAL | 662940.00 | 22466751.00 | 2707986.00 | 12899729.00 | 14348085.00 | 53085491.00 |
| Consumo Promedio Mensual 2019 | | | | | | 4423790.92 |
| Consumo Mes de Julio | | | | | | 4627721.00 |
| FM | | | | | | 0.956 |

Se obtiene un valor de factor $Fm = 0.956$

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene el TPDA 2021 (Tabla 3-6).

Tabla 3-6 TPDA 2021

| AÑO | LIVIANOS | CAMIONES | | | | TPDS |
|-------------|----------|----------|-----|----|----|-----------|
| | | 2DA | 2DB | 3A | 4C | |
| 2021 | 75 | 7 | 7 | 1 | 1 | 89 |

Mediante el factor de proyección y considerando lo que indica la norma, que se debe incluir un 10% por concepto de tráfico atraído y 20% adicional por tráfico generado, se tiene como TPDA para el período de diseño la siguiente Tabla 3-7:

Tabla 3-7 TPDA de diseño

| AÑO | LIVIANOS | CAMIONES | | | | TPDA |
|-------------|----------|----------|-----|----|----|------------|
| | | 2DA | 2DB | 3A | 4C | |
| 2021 | 93 | 9 | 9 | 1 | 1 | 110 |
| 2023 | 100 | 9 | 9 | 1 | 1 | 120 |
| 2033 | 133 | 11 | 11 | 1 | 1 | 157 |
| 2043 | 173 | 12 | 12 | 1 | 1 | 199 |

3.6.4 Clase de carretera

Para el diseño de carreteras en el país se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 o 20 años, como se muestra en Tabla 3-8.

Tabla 3-8 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado. Fuente (MTOPI M. d., 2003)

| CLASE DE CARRETERA | Tráfico proyectado TPDA * |
|--------------------|---------------------------|
| R – I o R – II | Más de 8000 |
| I | De 3000 a 8000 |
| II | De 1000 a 3000 |
| III | De 300 a 1000 |
| IV | De 100 a 300 |
| V | Menos de 100 |

* El TPDA indicado es el volumen del tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

La vía se clasifica como tipo IV

La Tabla 3-9 presenta la relación entre la función jerárquica y la clasificación de las carreteras según el (MTOPI M. d., 2003):

Tabla 3-9 Relación Función, Clase MOP y Tráfico. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| FUNCION | CLASE DE CARRETERA (según MOP) | TPDA(1) (Año final de diseño) |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| CORREDOR ARTERIAL | R – I o R – II (2) | Más de 8000 |
| | I | De 3000 a 8000 |
| COLECTORA | II | De 1000 a 3000 |
| | III | De 300 a 1000 |
| VECINAL | IV | De 100 a 300 |
| | V | Menos de 100 |

Notas:
 (1) De acuerdo al nivel de servicio aceptable al final de la vida útil.
 (2) RI – RII - Autopistas

La vía se clasifica como colectora tipo IV

En el caso específico del presente diseño, la vía se clasifica como **VIA COLECTORA DE CLASE IV.**

3.6.5 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos. Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical (MTOPI M. d., 2003).

De acuerdo con la Tabla 3-10, según se definió el terreno como montañoso en párrafos anteriores, y de acuerdo con el TPDA, se tiene como velocidad de diseño 25 km/h.

Tabla 3-10 Velocidad de diseño de acuerdo con el tipo de carretera y el tipo de terreno. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| CATEGORIA DE LA VIA | | TPDA ESPERADO | VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------------|--|----------|---|----------|--|----------|---|----------|--|----------|---|----------|
| | | | BASICA (RELIEVE LLANO) | | | | PERMISIBLE EN TRAMOS DIFICILES | | | | | | | |
| | | | Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal | | Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad | | Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal | | Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad | | Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal | | Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad | |
| | | | Recom | Absoluta | Recom | Absoluta | Recom | Absoluta | Recom | Absoluta | Recom | Absoluta | Recom | Absoluta |
| R-I o R-II | (Tipo) | > 8000 | 120 | 110 | 100 | 95 | 110 | 90 | 95 | 85 | 90 | 80 | 90 | 80 |
| I | Todos | 3000 - 8000 | 110 | 100 | 100 | 90 | 100 | 80 | 90 | 80 | 80 | 60 | 80 | 60 |
| II | Todos | 1000 - 3000 | 100 | 90 | 90 | 85 | 90 | 80 | 85 | 80 | 70 | 50 | 70 | 50 |
| III | Todos | 300 - 1000 | 90 | 80 | 85 | 80 | 80 | 60 | 80 | 60 | 60 | 40 | 60 | 40 |
| IV | 5.5E6 y 7 | 100 - 300 | 80 | 60 | 80 | 60 | 60 | 35 | 60 | 35 | 50 | 25 | 50 | 25 |
| V | 4 y 4E | < 100 | 60 | 50 | 80 | 50 | 50 | 35 | 50 | 35 | 40 | 25 | 40 | 25 |

Notas

Los valores recomendados se emplearán cuando el TPDA es cercano al límite superior de la respectiva categoría de vía.

Los valores absolutos se emplearán cuando el TPDA es cercano al límite inferior de la respectiva categoría de vía y/o el relieve sea difícil o escarpado.

La categoría IV incluye además los caminos vecinales tipo 5.5E6 y 7 contenidos en el manual de caminos vecinales y categoría V son los caminos vecinales 4 y 4E.

En zonas con perfiles de meteorización profunda (estribaciones) requerirán de un diseño especial considerando los aspectos geológicos.

Para la categoría IV y V en caso de relieve escarpado se podrá reducir la Vd min 20 km/h

3.7 Diseño Geométrico Horizontal

3.7.1 Radio mínimo de curvas horizontales

El radio mínimo de la curvatura horizontal es el valor más bajo que posibilita la seguridad en el tránsito a una velocidad de diseño dada en función del máximo peralte (e) adoptado y el coeficiente (f) de fricción lateral correspondiente (MTOPI M. d., 2003).

i) Peralte máximo

Se recomienda para vías de dos carriles un peralte máximo del 10% para carreteras y caminos con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada para velocidades de diseño mayores a 50 Km/h; y del 8% para caminos con capa granular de rodadura (caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades hasta 50 Km/h (MTOPI M. d., 2003). Por tanto, se considera que el peralte que cumple con la normativa vigente. **Peralte emáx = 10%.**

ii) Coeficiente de fricción lateral recomendado

El coeficiente de fricción lateral máximo se observa en la *Tabla 3-11* para diferentes velocidades de diseño. Para la velocidad de diseño de 25 km/h el coeficiente de fricción $f_{máx} = 0.32$

Tabla 3-11 Radios mínimos en función del peralte "e" y del coeficiente de fricción lateral "f". Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Radios mínimos en función del peralte "e" y del coeficiente de fricción lateral "f" | | | | | | | | | |
|---|----------|------------------------|--------|--------|--------|--------------------------|-----------|--------|--------|
| Velocidad de Diseño (km/h) | f máximo | Radio Mínimo Calculado | | | | Radio Mínimo Recomendado | | | |
| | | e | | | | | | | |
| | | 0,1 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | e=0,10 | e=0,08 | e=0,06 | e=0,04 |
| 20 | 0,350 | | 7,32 | 7,68 | 8,08 | | 18 | 20 | 20 |
| 25 | 0,315 | | 12,46 | 13,12 | 13,86 | | 20 | 25 | 25 |
| 30 | 0,284 | | 19,47 | 20,60 | 21,87 | | 25 | 30 | 30 |
| 35 | 0,266 | | 27,88 | 29,59 | 31,52 | | 30 | 35 | 35 |
| 40 | 0,221 | | 41,86 | 44,83 | 48,27 | | 42 | 45 | 50 |
| 45 | 0,200 | | 56,95 | 61,33 | 66,44 | | 60 | 65 | 70 |
| 50 | 0,190 | | 72,91 | 78,74 | 85,59 | | 75 | 80 | 90 |
| 60 | 0,165 | 106,97 | 115,70 | 125,98 | 138,28 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| 70 | 0,150 | 154,33 | 167,75 | 183,73 | 203,07 | 160 | 170 | 185 | 205 |
| 80 | 0,140 | 209,97 | 229,06 | 251,97 | 279,97 | 210 | 230 | 255 | 280 |
| 90 | 0,134 | 272,56 | 298,04 | 328,76 | 366,55 | 275 | 300 | 330 | 370 |
| 100 | 0,130 | 342,35 | 374,95 | 414,42 | 463,18 | 350 | 375 | 415 | 465 |
| 110 | 0,124 | 425,34 | 467,04 | 517,80 | 580,95 | 430 | 426 | 520 | 585 |
| 120 | 0,120 | 515,39 | 566,93 | 629,92 | 708,66 | 620 | 520 | 630 | 710 |

$$f_{\text{máx}} = 0.32$$

La fórmula para el cálculo del radio mínimo es:

$$R = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = 12.31 \text{ m} \sim 13 \text{ m}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

R = radio mínimo de una curva horizontal, m.

V= velocidad de diseño, km/h

f= coeficiente de fricción lateral

e= peralte de la curva, m/m (metro por metro ancho de la calzada)

Por tanto, el Rmin calculado = 12.31 m y el **Rmin asumido = 13 m.**

3.7.2 Radio mínimo a partir del cual no se requiere utilizar curvas de transición

i) En función de retranqueo y la longitud de la espiral

Considerando el factor de comodidad se establece que, si el desplazamiento “P” retranqueo del arco circular es menor a 0,10 m, no se requiere de curva de transición para desarrollar el peralte, ya que el vehículo describirá por sí una transición sin apartarse más que de 0,10 m del eje de su carril (MTOPI M. d., 2003).

$$P = \frac{Le^2}{24 * R}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

P= retranqueo

Le= longitud de la espiral

R= radio de la curva circular

ii) En función de las velocidades de diseño

El radio mínimo que no requeriría transición en función de las velocidades de diseño se lo obtiene con la siguiente fórmula:

$$R_{min} = 0.098 * V^2$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En la siguiente tabla (Tabla 3-12) se indica para cada velocidad de diseño, los radios mínimos a partir de los cuales no es imprescindible introducir transiciones:

Tabla 3-12 Radios mínimos a partir de los cuales no se requiere curvas de transición. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| VD km/h | Rmin para no introducir transiciones, m |
|---------|---|
| 30 | 90 |
| 40 | 160 |
| 50 | 250 |
| 60 | 400 |
| 70 | 500 |
| 80 | 700 |
| 90 | 800 |
| 100 | 1000 |
| 110 | 1200 |
| 120 | 1500 |

Rmin 60m a partir del cual no se requiere transición

3.7.3 Distancia de visibilidad

i) Distancia de visibilidad de parada

La mínima distancia de visibilidad (d) para la parada de un vehículo es igual a la suma de dos distancias; una, la distancia (d1) recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor avizora un objeto en el camino hasta la distancia (d2) de frenaje del vehículo, es decir, la distancia necesaria para que el vehículo pare completamente después de haberse aplicado los frenos (MTOPI M. d., 2003)

$$d = d1 + d2$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

d= distancia de visibilidad de parada

d1= distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción

d2= distancia de frenaje sobre la calzada a nivel

$$d1 = \frac{VD*t}{3.6}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

d1= distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción

Vd= velocidad de diseño, expresada en km/h

t= tiempo de percepción más reacción en seg. 2.5seg según la (AASHTO, 2004)

$$d2 = \frac{Vc^2}{254*(f \mp G)}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

d2= distancia de frenaje sobre la calzada a nivel, expresada en m

f= coeficiente de fricción longitudinal

Vd= velocidad de diseño, expresada en km/h

G= gradiente longitudinal, tanto por ciento del gradiente dividido para 100 con el signo correspondiente; esto es, signo positivo para gradientes cuesta arriba y signo negativo para gradientes cuesta abajo.

$$f = \frac{1.15}{Vd^{0.3}}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

f= coeficiente de fricción longitudinal, fórmula para pavimentos mojados

Vd= velocidad de diseño, expresada en km/h

ii) Distancia de rebasamiento

La distancia de visibilidad para el rebasamiento se determina en base a la longitud de carretera necesaria para efectuar la maniobra de rebasamiento en condiciones de seguridad (MTOPI M. d., 2003). Esta distancia de visibilidad para rebasamiento está constituida por la suma de cuatro distancias parciales que son:

EN CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES

d_1 = distancia recorrida por el vehículo rebasante en el tiempo de percepción/reacción y durante la aceleración inicial hasta alcanzar el carril izquierdo de la carretera.

d_2 = distancia recorrida por el vehículo rebasante durante el tiempo que ocupa el carril izquierdo.

d_3 = distancia entre el vehículo rebasante y el vehículo que viene en sentido opuesto, al final de la maniobra.

Asumir de 30 m a 90 m.

d_4 = distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto durante dos tercios del tiempo empleado por el vehículo rebasante, mientras usa el carril izquierdo; es decir, $2/3$ de d_2 . Se asume que la velocidad del vehículo que viene en sentido opuesto es igual a la del vehículo rebasante.

Es decir, la distancia de visibilidad para el rebasamiento de un vehículo es igual a:

$$dr = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

$$d_1 = 0.14t_1 * (2V - 2m + at_1)$$

$$d_2 = 0.28 * V * t_2$$

$$d_3 = 30 \text{ m a } 90\text{m}$$

$$d_4 = 0.18 * V * t_2$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

d_1, d_2, d_3 y d_4 = distancias, expresadas en metros.

t_1 = tiempo de la maniobra inicial, expresado en segundos.

t_2 = tiempo durante el cual el vehículo rebasante ocupa el carril del lado izquierdo, expresado en segundos.

V = velocidad promedio del vehículo rebasante expresada en Kilómetros por hora.

m = diferencia de velocidades entre el vehículo rebasante y el vehículo rebasado, expresada en km/hora. Esta diferencia se la considera igual a 16 km/h promedio

a = aceleración promedio del vehículo rebasante, expresada en km/hora/s.

Tabla 3-13 Distancia mínima de visibilidad de rebasamiento. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| V _D , Km/h | VELOCIDADES DE LOS VEHICULOS, Km/h. | | DISTANCIA MÍNIMA DE REBASAMIENTO, METROS | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------|--|-------------|-------|
| | REBASADO | REBASANTE | CALCULADA | RECOMENDADA | |
| 25 | 24 | 40 | --- | | (80) |
| 30 | 28 | 44 | --- | | (110) |
| 35 | 33 | 49 | --- | | (130) |
| 40 | 35 | 51 | 268 | 270 | (150) |
| 45 | 39 | 55 | 307 | 270 | (150) |
| 50 | 43 | 59 | 345 | 270 | (150) |
| 60 | 50 | 66 | 412 | 270 | (150) |
| 70 | 58 | 74 | 488 | 270 | (150) |
| 80 | 66 | 82 | 563 | 270 | (150) |
| 90 | 73 | 89 | 631 | 640 | |
| 100 | 79 | 95 | 688 | 690 | |
| 110 | 87 | 103 | 764 | 830 | * |
| 120 | 94 | 110 | 831 | 830 | |

En la Tabla 3-13 se exponen valores recomendados para la distancia mínima de rebasamiento, misma que se asume de 80m.

3.7.4 Peralte

Aquellas curvas con radios mayores que el radio mínimo se les debe asignar un peralte menor en forma tal que la circulación sea cómoda, tanto para los vehículos lentos como para los rápidos (Cárdenas Grisales, 2013). La AASHTO recomienda el uso de una proporción parabólica como sigue para distribuir e y f de todas las curvas con radios mayores que los radios mínimos de caminos rurales, autopistas urbanas y calles urbanas de alta velocidad.

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

Fuente: (AASHTO, 2004)

La (AASHTO, 2004) propone los datos de la Tabla 3-14:

Tabla 3-14 Radios mínimos para peraltes específicos, dada la velocidad de diseño y un peralte máximo $e_{(máx)}=10\%$. Fuente: (AASHTO, 2004)

| e(%) | Metric | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Vd=20 | Vd=30 | Vd=40 | Vd=50 | Vd=60 | Vd=70 | Vd=80 | Vd=90 | Vd=100 | Vd=110 | Vd=120 | Vd=130 |
| | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) | km/h R(m) |
| NC | 197 | 454 | 790 | 1110 | 1520 | 2000 | 2480 | 3010 | 3690 | 4250 | 4960 | 5410 |
| RC | 145 | 333 | 580 | 815 | 1120 | 1480 | 1840 | 2230 | 2740 | 3160 | 3700 | 4050 |
| 2.2 | 130 | 300 | 522 | 735 | 1020 | 1340 | 1660 | 2020 | 2480 | 2860 | 3360 | 3680 |
| 2.4 | 118 | 272 | 474 | 669 | 920 | 1220 | 1520 | 1840 | 2260 | 2620 | 3070 | 3370 |
| 2.6 | 108 | 249 | 434 | 612 | 844 | 1120 | 1390 | 1700 | 2080 | 2410 | 2830 | 3110 |
| 2.8 | 99 | 229 | 399 | 564 | 778 | 1030 | 1290 | 1570 | 1920 | 2230 | 2620 | 2880 |
| 3.0 | 91 | 211 | 368 | 522 | 720 | 952 | 1190 | 1460 | 1720 | 2070 | 2440 | 2690 |
| 3.2 | 85 | 196 | 342 | 485 | 670 | 887 | 1110 | 1360 | 1670 | 1940 | 2280 | 2520 |
| 3.4 | 79 | 182 | 318 | 453 | 626 | 829 | 1040 | 1270 | 1560 | 1820 | 2140 | 2370 |
| 3.6 | 73 | 170 | 297 | 424 | 586 | 777 | 974 | 1200 | 1470 | 1710 | 2020 | 2230 |
| 3.8 | 68 | 159 | 278 | 398 | 551 | 731 | 917 | 1130 | 1390 | 1610 | 1910 | 2120 |
| 4.0 | 64 | 149 | 261 | 374 | 519 | 690 | 866 | 1060 | 1310 | 1530 | 1810 | 2010 |
| 4.2 | 60 | 140 | 245 | 353 | 490 | 652 | 820 | 1010 | 1240 | 1450 | 1720 | 1910 |
| 4.4 | 56 | 132 | 231 | 333 | 464 | 617 | 777 | 953 | 1180 | 1380 | 1640 | 1820 |
| 4.6 | 53 | 124 | 218 | 315 | 439 | 586 | 738 | 907 | 1120 | 1310 | 1560 | 1740 |
| 4.8 | 50 | 117 | 206 | 299 | 417 | 557 | 703 | 864 | 1070 | 1250 | 1490 | 1670 |
| 5.0 | 47 | 111 | 194 | 283 | 396 | 530 | 670 | 824 | 1020 | 1200 | 1430 | 1600 |
| 5.2 | 44 | 104 | 184 | 269 | 377 | 505 | 640 | 788 | 975 | 1150 | 1370 | 1540 |
| 5.4 | 41 | 98 | 174 | 256 | 359 | 482 | 611 | 754 | 934 | 1100 | 1320 | 1480 |
| 5.6 | 39 | 93 | 164 | 243 | 343 | 461 | 585 | 723 | 896 | 1060 | 1270 | 1420 |
| 5.8 | 36 | 88 | 155 | 232 | 327 | 441 | 561 | 693 | 860 | 1020 | 1220 | 1370 |
| 6.0 | 33 | 82 | 146 | 221 | 312 | 422 | 538 | 666 | 827 | 976 | 1180 | 1330 |
| 6.2 | 31 | 77 | 138 | 210 | 298 | 404 | 516 | 640 | 795 | 941 | 1140 | 1280 |
| 6.4 | 28 | 72 | 130 | 200 | 285 | 387 | 496 | 616 | 766 | 907 | 1100 | 1240 |
| 6.6 | 26 | 67 | 121 | 191 | 273 | 372 | 476 | 593 | 738 | 876 | 1060 | 1200 |
| 6.8 | 24 | 62 | 114 | 181 | 261 | 357 | 458 | 571 | 712 | 846 | 1030 | 1170 |
| 7.0 | 22 | 58 | 107 | 172 | 249 | 342 | 441 | 551 | 688 | 819 | 993 | 1130 |
| 7.2 | 21 | 55 | 101 | 164 | 238 | 329 | 425 | 532 | 664 | 792 | 963 | 1100 |
| 7.4 | 20 | 51 | 95 | 156 | 228 | 315 | 409 | 513 | 642 | 767 | 934 | 1070 |
| 7.6 | 18 | 48 | 90 | 148 | 218 | 303 | 394 | 496 | 621 | 743 | 907 | 1040 |
| 7.8 | 17 | 45 | 85 | 141 | 208 | 291 | 380 | 479 | 601 | 721 | 882 | 1010 |
| 8.0 | 16 | 43 | 80 | 135 | 199 | 279 | 366 | 463 | 582 | 699 | 857 | 981 |
| 8.2 | 15 | 40 | 76 | 128 | 190 | 268 | 353 | 448 | 564 | 679 | 834 | 956 |
| 8.4 | 14 | 38 | 72 | 122 | 182 | 257 | 339 | 432 | 546 | 660 | 812 | 932 |
| 8.6 | 14 | 36 | 68 | 116 | 174 | 246 | 326 | 417 | 528 | 641 | 790 | 910 |
| 8.8 | 13 | 34 | 64 | 110 | 166 | 236 | 313 | 402 | 509 | 621 | 770 | 888 |
| 9.0 | 12 | 32 | 61 | 105 | 158 | 225 | 300 | 386 | 491 | 602 | 751 | 867 |
| 9.2 | 11 | 30 | 57 | 99 | 150 | 215 | 287 | 371 | 472 | 582 | 731 | 847 |
| 9.4 | 11 | 28 | 54 | 94 | 142 | 204 | 274 | 354 | 453 | 560 | 709 | 828 |
| 9.6 | 10 | 26 | 50 | 88 | 133 | 192 | 259 | 337 | 432 | 537 | 685 | 809 |
| 9.8 | 9 | 24 | 46 | 81 | 124 | 179 | 242 | 316 | 407 | 509 | 656 | 786 |
| 10.0 | 7 | 19 | 38 | 68 | 105 | 154 | 210 | 277 | 358 | 454 | 597 | 739 |

iii) Desarrollo del Peralte

Cada vez que se pasa de una alineación recta a una curva, se tiene que realizar una transición de una sección transversal, de un estado de sección normal al estado de sección completamente peraltada o viceversa, en una longitud necesaria para efectuar el desarrollo del peralte.

El desarrollo o transición del peralte puede efectuarse con una curva de enlace, que regule la trayectoria del vehículo durante su recorrido en la transición, o sin curva de enlace.

- a) Haciendo girar la calzada alrededor de su eje (para terrenos montañosos) (MTOPI M. d., 2003)

El cálculo de la longitud total del desarrollo del peralte se lo realiza de la siguiente manera:

- b) Se determina si la transición del peralte la hacemos a lo largo de una curva de enlace. Si es así, se calcula la longitud de esta curva con la ecuación:

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

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

- c) Se calcula el valor de la sobreelevación que produce el peralte “e”

$$* h = e * b$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

* Para el caso de giro alrededor del eje,

En donde:

h= sobreelevación, m

e= peralte, %

- d) Se calcula la longitud “L” de desarrollo del peralte en función de la gradiente de borde “i”, cuyo valor se obtiene en función de la velocidad de diseño y se representa en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15 Gradiente longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| GRADIENTE LONGITUDINAL (i) NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL PERALTE | | |
|---|----------------|------------------------------|
| VD km/h | Valor de i (%) | Máxima pendiente equivalente |
| 20 | 0.800 | 1:125 |
| 25 | 0.775 | 1:129 |
| 30 | 0.750 | 1:133 |
| 35 | 0.725 | 1:138 |
| 40 | 0.700 | 1:143 |
| 50 | 0.650 | 1:154 |
| 60 | 0.600 | 1:167 |
| 70 | 0.550 | 1:182 |
| 80 | 0.500 | 1:200 |
| 90 | 0.470 | 1:213 |
| 100 | 430 | 1:233 |
| 110 | 400 | 1:250 |
| 120 | 370 | 1:270 |

$$i=0.775$$

$$L = \frac{h}{2 * i} = \frac{e * b}{2 * i}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

L= longitud de desarrollo del peralte

e= peralte

b= ancho de calzada

i= gradiente

- e) Se establece la relación entre “L” y “Le” y se asume como longitud de la transición el valor que sea mayor, de los dos. En donde Le es la longitud de la espiral, en caso de que la transición se realice mediante una curva de transición.
- f) Se calcula la longitud de la transición del bombeo, en la sección normal, para lo cual se determina la diferencia de nivel del eje al borde de la vía:

$$S = \frac{b * p}{2}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

S= Diferencia de nivel de eje al borde de la vía, en metros.

P = Pendiente transversal del camino, %.

b = Ancho de la calzada, m.

- g) Se establece a continuación la longitud necesaria, dentro de la tangente, para realizar el giro del plano del carril exterior hasta colocarlo a nivel con la horizontal.

$$x = \frac{S}{i}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

- h) Finalmente se establece la longitud total de transición.

$$LT = L + X$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

Cuando el desarrollo del peralte se lo hace sin la curva de enlace, la longitud de transición se ubica 2/3 en la alineación recta y el 1/3 dentro de la curva circular. Para casos difíciles (sin espirales), el peralte puede desarrollarse la mitad (0.5 L) en la recta y la mitad en curva circular (MTOPI M. d., 2003)

iv) Longitud de transición

Valor considerado como mínimo absoluto que puede utilizarse solamente para caminos con relieve montañoso difícil, especialmente en las zonas de estribaciones y cruce de la cordillera de los Andes.

$$L_{min} = 0.56 * VD \text{ km/h}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

Por tanto, la longitud de transición mínima **L_{min}= 14 m**

Con las fórmulas descritas anteriormente se calcula la longitud de transición en función de cada radio de cada curva, y se escoge la longitud mayor comparándola con la longitud de transición mínima absoluta de 14m.

3.7.5 Tangente intermedia mínima

Es la distancia entre el fin de la curva anterior y el inicio de la siguiente

$$TIM = \frac{2L1}{3} + \frac{2L2}{3} + X1 + X2$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

Donde:

TIM = Tangente intermedia mínima, m

L 1,2 = Longitud de transición, m

X 1,2 = Longitud tangencial, m

La tangente intermedia mínima para condiciones extremas: peralte máximo, gradiente i máximo. Con los radios seleccionados para cada curva, se calcula el valor de la TIM y luego se verifica que la tangente intermedia real, es decir la diferencia de las abscisas PC de la curva menos PT de la curva anterior, sea mayor.

3.7.6 Sobreechancho

El objeto del sobreechancho en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, para determinar la magnitud del sobreechancho debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta. La Norma del (MTOPI M. d., 2003) hace referencia para el cálculo del sobreechancho a la Norma de la (AASHTO, 2004) en el que intervienen los siguientes factores:

- 1.- El ancho del vehículo de diseño

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

u = Ancho normal de un vehículo, en el acápite 3.6.1 se tiene las dimensiones del vehículo de diseño. = 2.44 m

L = La distancia entre el eje anterior y el eje posterior, en el acápite 3.6.1 se tiene las dimensiones del vehículo de diseño. = 7.62 m

R = Radio de la curva

- 2.- El espacio lateral que necesita cada vehículo se asume:

Tabla 3-16 Valor de C, que corresponde al ancho de la calzada, para el cálculo del sobreebancho. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| ANCHO DE LA CALZADA (m) | VALOR C |
|-------------------------|---------|
| 6.00 | 0.60 |
| 6.50 | 0.70 |
| 6.70 | 0.75 |
| 7.30 | 0.90 |

$$C=0.60$$

C= distancia lateral libre entre vehículos, y entre estos y el borde de la calzada.

Como para el presente diseño se tiene un ancho de calzada de 6m, por tanto, se tiene el valor de C, C=0.6.

3.- El avance del voladizo delantero del vehículo sobre el carril adyacente mientras gira.

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

FA= diferencia radial entre la trayectoria de la esquina exterior del vuelo delantero y la trayectoria de la rueda exterior delantera.

A= Longitud desde la parte delantera del vehículo hasta el eje delantero = 1.22m

L = distancia entre el eje anterior y el eje posterior, = 7.62m

4.- El sobreebancho adicional de seguridad que depende de la velocidad de diseño y el radio de curva.

$$Z = \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

Si el ancho requerido para la calzada en la curva es A_c y el establecido para los tramos rectos es A_r el sobreebancho será:

$$S_a = A_c - A_r$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

El ancho de la calzada de dos carriles en la curva debe ser:

$$A_c = 2(U + C) + FA + Z$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

El (MTOPI M. d., 2003) recomienda por temas económicos que el valor mínimo del sobreebanco con proyectos con velocidades de hasta 50 km/h, sea de 30cm. En cuanto al máximo sobreebanco, como se ha indicado, cada proyecto es particular. Además, el presente estudio está sujeto a las aprobaciones de las entidades gubernamentales, por tanto, el criterio que los técnicos encargados de la revisión es que por temas económicos el sobreebanco sea de 2 m máximo.

3.8 Diseño Geométrico Vertical

3.8.1 Pendientes

i) Pendientes Máximas

De acuerdo con la velocidad de diseño, la muestra, las gradientes medias máximas que pueden adoptarse:

Tabla 3-17 Valores de diseño de las gradientes longitudinales máximas (%). Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Valores de diseño de las gradientes longitudinales máximas (Porcentaje) | | | | | | | | | | |
|--|----------|---|-------|------|--------------|---|---|----------|---|----|
| Clase de Carretera | | | | | Valor | | | Valor | | |
| | | | | | Recomendable | | | Absoluto | | |
| | | | | | L | O | M | L | O | M |
| R - I_o | R - II | > | 8.000 | TPDA | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 6 |
| I | 3.000 | a | 8.000 | TPDA | 3 | 4 | 6 | 3 | 5 | 7 |
| III | 1.000 | a | 3.000 | TPDA | 3 | 4 | 7 | 4 | 6 | 8 |
| III | 300 | a | 1.000 | TPDA | 4 | 6 | 7 | 6 | 7 | 9 |
| IV | 100 | a | 300 | TPDA | 5 | 6 | 8 | 6 | 8 | 12 |
| V | Menos de | | 100 | TPDA | 5 | 6 | 8 | 6 | 8 | 14 |

Gradiente máxima = 12%

ii) Pendientes Mínimas

La gradiente longitudinal mínima usual es de 0,5 por ciento. Se puede adoptar una gradiente de cero por ciento para el caso de rellenos de 1 metro de altura o más y cuando el pavimento tiene una gradiente transversal adecuada para drenar lateralmente las aguas de lluvia (MTOPI M. d., 2003)

3.8.2 *Curvas verticales*

i) **Curvas verticales convexas**

La longitud mínima de las curvas verticales se determina en base a los requerimientos de la distancia de visibilidad para parada de un vehículo, considerando una altura del ojo del conductor de 1,15 metros y una altura del objeto que se divisa sobre la carretera igual a 0,15 metros. Esta longitud se expresa por la siguiente fórmula:

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

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En donde:

L = longitud de la curva vertical convexa, expresada en metros.

A = diferencia algébrica de las gradientes, expresada en porcentaje.

S = distancia de visibilidad para la parada de un vehículo, expresada en metros.

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

$$L = K * A$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En la Tabla 3-18 y Tabla 3-19 se muestran los valores mínimos de K para curvas verticales convexas.

Tabla 3-18 Coeficiente K para curvas convexas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Curvas verticales convexas mínimas | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|------------|
| Velocidad de diseño km/h | distancia de visibilidad para parada "s" (m) | Coeficiente K = $(S^2)/426$ | |
| | | Calculado | Redondeado |
| 20 | 20 | 0.94 | 1 |
| 25 | 25 | 1.47 | 2 |
| 30 | 30 | 2.11 | 2 |
| 35 | 35 | 2.88 | 3 |
| 40 | 40 | 3.76 | 4 |
| 40 | 42.67 | 4.27 | 4 |
| 40 | 43 | 4.34 | 4 |
| 45 | 50 | 5.87 | 6 |
| 50 | 55 | 7.1 | 7 |
| 60 | 70 | 11.5 | 12 |
| 70 | 90 | 19.01 | 19 |
| 80 | 110 | 28.4 | 28 |
| 90 | 135 | 42.78 | 43 |
| 100 | 160 | 60.09 | 60 |
| 110 | 180 | 76.06 | 80 |
| 120 | 220 | 113.62 | 115 |

K=2

Tabla 3-19 Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas verticales convexas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas verticales convexas mínimas | | | | | | | | | | |
|--|----------|--------------------|------|-----|----------------|----|----|----|----|--|
| Clase de Carretera | | K | | | | | | | | |
| | | Valor Recomendable | | | Valor Absoluto | | | | | |
| | | L | O | M | L | O | M | | | |
| R - I | R - II > | 8.000 | TPDA | 115 | 80 | 43 | 80 | 43 | 28 | |
| I | 3.000 a | 8.000 | TPDA | 80 | 60 | 28 | 60 | 28 | 12 | |
| III | 1.000 a | 3.000 | TPDA | 60 | 43 | 19 | 43 | 28 | 7 | |
| III | 300 a | 1.000 | 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 | |

K=2

L = Terreno llano.
O = Terreno ondulado.
M = Terreno montañoso.

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales convexas, expresada en metros, se indica por la siguiente fórmula:

$$L_{min} = 0.60 * VD = 15m$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

ii) Curvas verticales cóncavas

Por motivos de seguridad, es necesario que las curvas verticales cóncavas sean lo suficientemente largas, de modo que la longitud de los rayos de luz de los faros de un vehículo sea aproximadamente igual a la distancia de visibilidad necesaria para la parada de un vehículo (MTOPI M. d., 2003). Esta longitud se expresa por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A * S^2}{122 + 3.5 * S}$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

La fórmula anterior se basa en una altura de 60 centímetros para los faros del vehículo y un grado de divergencia hacia arriba de los rayos de luz con respecto al eje longitudinal del vehículo.

La longitud de una curva vertical cóncava en su expresión más simple es:

$$L = K * A$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

En la Tabla 31 y Tabla 32 se muestran los valores mínimos de K para curvas verticales cóncavas.

Tabla 3-20 Coeficiente K para curvas cóncavas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Curvas verticales cóncavas mínimas | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|------------|
| Velocidad de diseño km/h | distancia de visibilidad para parada "s" (m) | Coeficiente K = $(S^2S)/(122+3.5^2S)$ | |
| | | Calculado | Redondeado |
| 20 | 20 | 2.08 | 2 |
| 25 | 25 | 2.98 | 3 |
| 30 | 30 | 3.96 | 4 |
| 35 | 35 | 5.01 | 5 |
| 40 | 40 | 6.11 | 6 |
| 40 | 42.67 | 6.71 | 7 |
| 40 | 43 | 6.79 | 7 |
| 45 | 50 | 8.42 | 8 |
| 50 | 55 | 9.62 | 10 |
| 60 | 70 | 13.35 | 13 |
| 70 | 90 | 18.54 | 19 |
| 80 | 110 | 23.87 | 24 |
| 90 | 135 | 30.66 | 31 |
| 100 | 160 | 37.54 | 38 |
| 110 | 180 | 43.09 | 46 |
| 120 | 220 | 54.26 | 54 |

K=3

Tabla 3-21 Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas verticales cóncavas mínimas. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Valores mínimos de diseño del coeficiente K para determinación de curvas verticales cóncavas mínimas | | | | | | | | | | |
|--|----------|--------------------|-------|------|----------------|----|----|----|----|----|
| Clase de Carretera | | K | | | | | | | | |
| | | Valor Recomendable | | | Valor Absoluto | | | | | |
| | | L | O | M | L | O | M | | | |
| R - I | R - II | > | 8.000 | TPDA | 115 | 80 | 43 | 80 | 43 | 28 |
| I | 3.000 | a | 8.000 | TPDA | 80 | 60 | 28 | 60 | 28 | 12 |
| III | 1.000 | a | 3.000 | TPDA | 60 | 43 | 19 | 43 | 28 | 7 |
| III | 300 | a | 1.000 | 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 |

K=2

L = Terreno llano, O = Terreno ondulado, M = Terreno montañoso.

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales convexas, expresada en metros, se indica por la siguiente fórmula:

$$L_{min} = 0.60 * VD = 15m$$

Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

3.9 Secciones típicas adoptadas

3.9.1 Ancho de la sección transversal típica

El ancho de la sección transversal típica está constituido por el ancho de:

- a. Calzada.
- b. Espaldones.
- c. Taludes interiores.
- d. Cunetas.

extendiéndose hasta el límite de los taludes exteriores

i) Calzada

En la Tabla 3-22, se indican los valores de diseño para el ancho del pavimento en función de los volúmenes de tráfico. El valor asumido es de 6m de ancho de calzada

Tabla 3-22 Anchos de calzada. Fuente: (MTOPI M. d., 2003)

| Clase de Carretera | | | | | Ancho de la calzada (m) | |
|--------------------|----------|---|-------|------|-------------------------|----------|
| | | | | | Recomendable | Absoluto |
| R - I | R - II | > | 8.000 | TPDA | 7.3 | 7.3 |
| I | 3.000 | a | 8.000 | TPDA | 7.3 | 7.3 |
| III | 1.000 | a | 3.000 | TPDA | 7.3 | 6.5 |
| III | 300 | a | 1.000 | TPDA | 6.7 | 6 |
| IV | 100 | a | 300 | TPDA | 6 | 6 |
| V | Menos de | | 100 | TPDA | 4 | 4 |

Ancho de calzada asumido =6m

ii) Espaldones

A solicitud de los técnicos encargados de la revisión del proyecto, no se incluye espaldones en la sección transversal, por el factor económico.

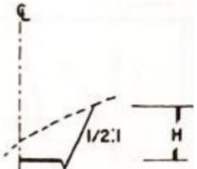
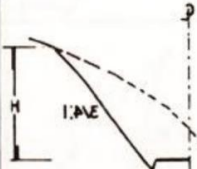
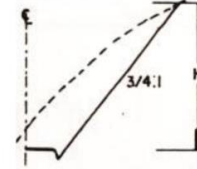
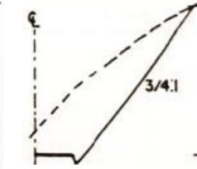
iii) Taludes de corte y relleno

La sección transversal también está compuesta por taludes de corte y relleno que están

en función del tipo de suelo. En el caso específico del presente trabajo de titulación: suelo de grano grueso, entre gravas arcillosas, arenas arcillosas y arenas limosas. En el capítulo correspondiente se indican los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

En la Figura 3-3 se observan recomendaciones para inclinaciones de taludes en función del tipo de suelo y la altura del talud (Castillo, Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, 1984).

Figura 3-3 Inclinaciones de talud de corte recomendadas por tipo de terreno (Castillo, Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, 1984)

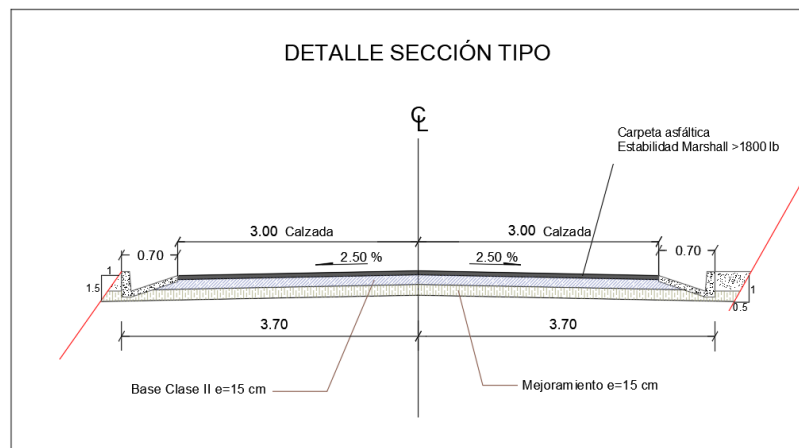
| TIPO DE MATERIAL | TALUD RECOMENDABLE | | | | OBSERVACIONES |
|----------------------------------|---|---|---|--|--|
| | Hasta 5m | De 5 a 10m | De 10 a 15m | Mayor de 15m | |
| Arenas limosas y limos compactos |  |  |  |  | Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada, si son materiales fácilmente erosionables deberá proyectarse talud de 1:1 y proteger con pasto |

iv) Cunetas

Las cunetas adoptadas para el presente trabajo son de longitud de 70cm. La sección transversal estaría conformada por un ancho total de 7.40 m distribuidos de la siguiente manera, como se observa en la Figura 3-4:

| | |
|-------------|---------|
| Ancho total | 7.40 m. |
| Carril | 3.00 m. |
| Espaldón | 0.00 m. |
| Cuneta | 0.70 m. |

Figura 3-4 Dimensiones de la sección transversal



En el Anexo 4 se encuentran los planos de los detalles del diseño geométrico horizontal, diseño geométrico vertical y la sección transversal de la vía.

3.10 Combinación de Alineamientos Verticales y Horizontales

El Ministerio de Transporte y Obras públicas (MTO P M. d., 2003) recomienda:

1. Evitar un emplazamiento horizontal con pendientes y curvas de grandes radios a cambio de gradientes largas y empinadas, y viceversa. El diseño correcto tiene que guardar relación con ambos criterios para lograr seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad de operación de los vehículos.
2. No deben introducirse curvas horizontales agudas en o cerca de la cima de curvas verticales convexas pronunciadas.
3. Evitar curvas horizontales agudas en o cerca del punto más bajo de curvas verticales cóncavas pronunciadas.
4. En carreteras de 2 carriles prevalece la necesidad de proveer tramos de rebasamiento de vehículos a intervalos frecuentes, sobre la conveniencia de la composición de los alineamientos horizontal y vertical.
5. Preferiblemente emplear curvas horizontales con grandes radios y gradientes suaves en las inmediaciones a intersecciones de carreteras.

ESTUDIO DE SUELOS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

4.1 Objetivos

- Desarrollar los estudios básicos de suelos
- Diseñar la estructura de pavimento flexible.

Este acápite contribuirá al desarrollo del objetivo específico número uno y tres que es el desarrollar los estudios básicos de suelos y diseñar la estructura de pavimento flexible para el tramo de la vía de acceso a Yunquil desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km

4.2 Alcance

- Estudio de suelo y diseño de la capa de rodadura con pavimento flexible.

El alcance del presente capítulo es realizar los ensayos de laboratorio pertinentes para el diseño de la capa de rodadura con pavimento flexible.

4.3 Metodología

Dentro de la metodología expuesta en el presente documento se tiene que el estudio de suelos es un trabajo de campo (al igual que la colocación de hitos para estudio topográfico) y luego de la elaboración de ensayos de laboratorio con el análisis de los resultados, se realiza trabajo de oficina para el diseño de pavimentos. Los ensayos de laboratorio realizados son: Clasificación de suelos, Límite líquido, límite plástico, humedad, próctor modificado. Una vez más se indica que es de gran importancia conocer el sitio de estudio, y en este caso corroborar lo visto en campo con los ensayos de laboratorio para posterior a ello, con los criterios adecuados, poder realizar un correcto diseño.

4.4 Ensayos de laboratorio

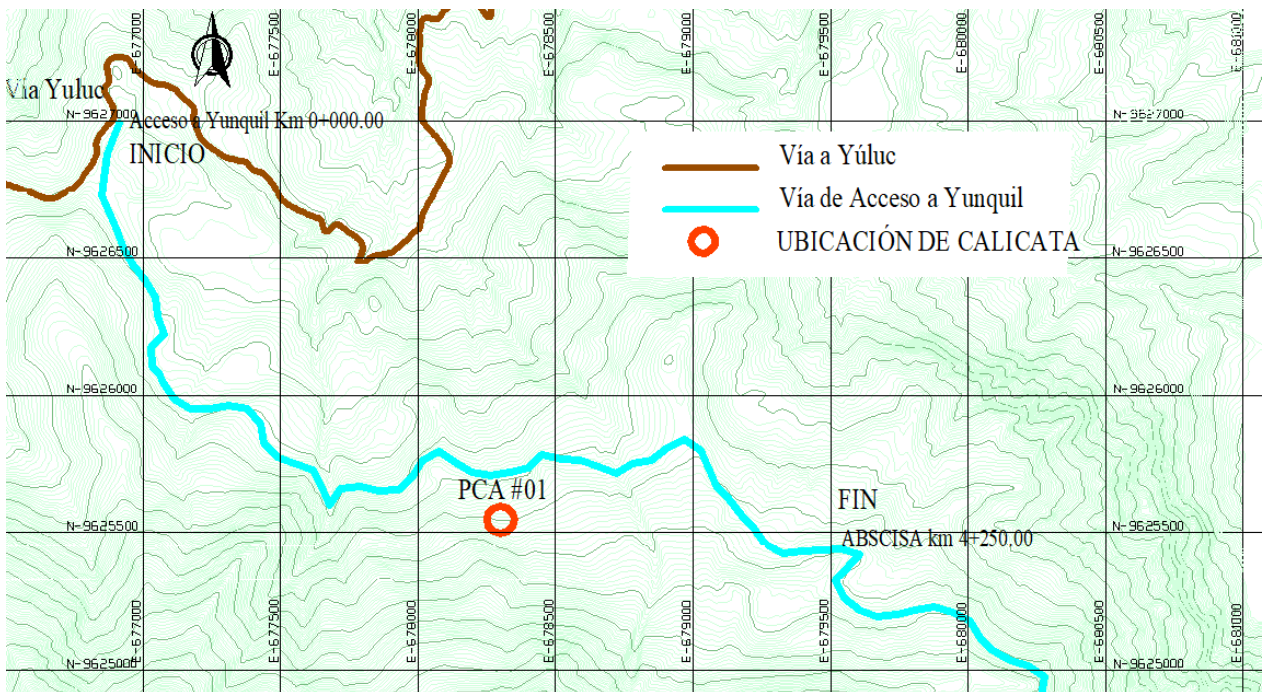
En el Anexo 3 se encuentran los ensayos de laboratorio de la calicata realizada en el tramo comprendido de la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km.

La calicata realizada se muestra en la Figura 4-1 y en la Figura 4-2 se ilustra la ubicación de la extracción en relación a la vía.

Figura 4-1 Calicata PCA # 01



Figura 4-2 Ubicación de la calicata PCA # 01



PCA: Pozo a cielo abierto

Coordenadas WGS84-UTM-Z17Sur (678 300,9 E; 9 625 547,8 N)

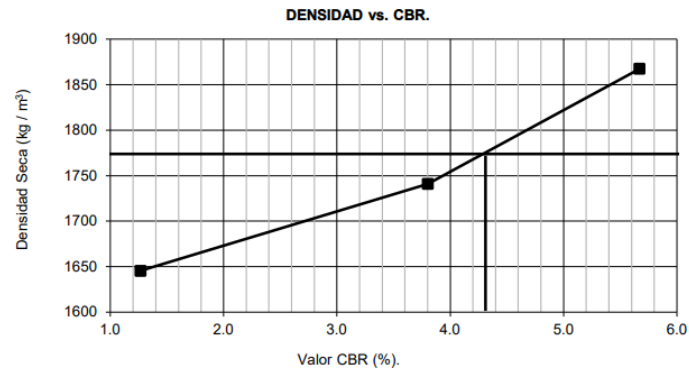
La profundidad de la calicata es de 1.50 m y se puede identificar un tipo de material grueso. La calicata se realizó en la abscisa 2+000 de la vía de estudio. No se identifica nivel freático. Se extraen muestras de los materiales para ensayos de clasificación, y CBR, cuyos resultados se resumen a continuación:

Figura 4-3 Resultados de ensayos de clasificación de calicata N°1

| Calicata N° | Profundidad (m) | Gradación | | | Límites de Atterberg | | | | Clasificación | | |
|----------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|-----------|-----------|------------|---------------|---------------|--------------------|
| | | Grava (%) | Arena (%) | Finos (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Hum (%) | SUCS | AASHTO (0) | TIPO |
| 1 | 1.5 | 47 | 27 | 26 | 33.8 | 17.8 | 16 | 7.3 | GC | A-2-6 (0) | Grava arcillosa |

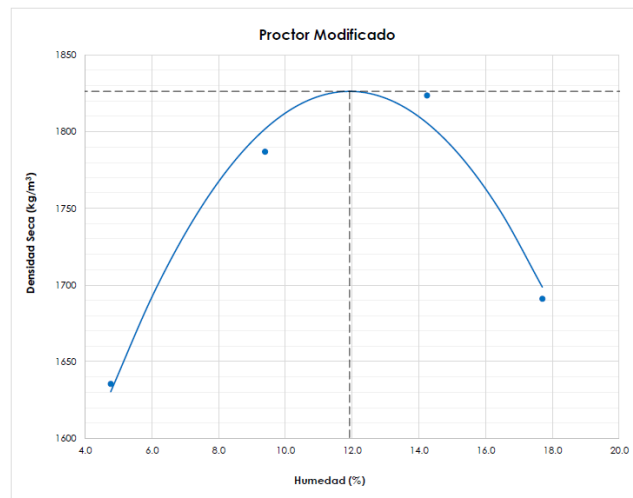
Los resultados de los ensayos de CBR, se muestran en la Figura 4-4.

Figura 4-4 Resultados de ensayos CBR, calicata N°1



Y los resultados del ensayo Próctor Modificado, se muestran en la Figura 4-5

Figura 4-5 Resultados de ensayos Próctor, calicata N°1



Humedad Óptima: 11.9 %

Densidad Seca Máxima: 1826 kg/m³

Al igual que en el trazado de la línea de ceros se consideraba los puntos inicial y final del eje de la vía trazado. De la misma manera, en el área de suelos se han realizado 3 calicatas en toda la longitud de la vía y de los resultados de las 3 calicatas se obtendrá un CBR característico.

4.5 Determinación del tránsito de diseño para diseño de pavimento flexible

4.5.1 Ecuación del número de ejes simples equivalentes acumulados de vehículos en el carril de diseño y en el periodo de diseño

$$N = TPDA * FD * FL * Fp * FEc * 365$$

En donde:

N= número de ejes simples equivalentes acumulados de vehículos en el carril de diseño y en el periodo de diseño.

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial.

FD= Factor de distribución por dirección

FL= Factor de distribución de carril

Fp= Factor de proyección

FEc= Factor de equivalencia de carga o factor camión

4.5.2 Cálculo del TPDA

Anteriormente en el capítulo de Diseño Geométrico, se determinó el TPDA, cuyo resumen se muestra en la Figura 4-6.

Figura 4-6. TPDA de diseño

| AÑO | LIVIANOS | CAMIONES | | | | TPDA |
|------|----------|----------|-----|----|----|------|
| | | 2DA | 2DB | 3A | 4C | |
| 2021 | 93 | 9 | 9 | 1 | 1 | 110 |
| 2023 | 100 | 9 | 9 | 1 | 1 | 120 |
| 2033 | 133 | 11 | 11 | 1 | 1 | 157 |
| 2043 | 173 | 12 | 12 | 1 | 1 | 199 |

4.5.3 Cálculo del Factor de distribución por dirección (FD)

Como **DATO** se tiene:

- La vía tiene dos carriles

Por tanto, de la Figura 4-7, se tiene el **factor de distribución por dirección de 50%**

Figura 4-7. Factor de distribución por dirección Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

| Número de carriles en ambas direcciones | % de vehículos en el carril de diseño |
|---|---------------------------------------|
| 2 | 50 |
| 4 | 45 |
| 6 o más | 40 |

4.5.4 Cálculo del Factor de distribución por carril (FL)

Como **DATO** se tiene:

- vía/carretera local de dos carriles

Por tanto, 1 carril en cada dirección, de la Figura 4-8 se tiene el **factor de distribución por carril de 100%**.

Figura 4-8 Factor de distribución por carril. Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

| Número de carriles en cada dirección | % de vehículos en el carril de diseño |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 - 100 |
| 3 | 60 - 80 |
| 4 | 50 - 75 |

4.5.5 Cálculo del Factor de proyección (Fp)

Como **DATO** se tiene:

- El periodo de diseño es de 20 años

El Factor de proyección de la AASHTO:

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

En donde:

Fp: Factor de proyección

r= tasa anual de crecimiento del tránsito

n= período de diseño (20 años)

Aplicando las tasas de crecimiento de la Tabla 4-1, se obtiene la Tabla 4-2:

Tabla 4-1 Tasas de crecimiento vehicular recomendadas MTOP

| Periodo | Tasa de crecimiento vehicular | | |
|-------------|-------------------------------|------|--------|
| | 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 - 2030 | 3,25 | 1,62 | 1,58 |

Tabla 4-2 Proyección de la tasa de crecimiento




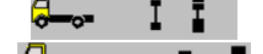






| Proyección de la tasa de crecimiento | | |
|--------------------------------------|------------------|----------|
| Año | Tasa crecimiento | |
| | Livianos | Camiones |
| 2021 - 2025 | 3.57% | 1.74% |
| 2026 - 2030 | 3.25% | 1.58% |
| 2031 - 2035 | 3.05% | 1.47% |
| 2036 - 2040 | 2.91% | 1.39% |
| 2041 - 2045 | 2.86% | 1.35% |

4.5.6 Cálculo del Factor de equivalencia de carga o factor camión FEc

Como **DATO** se tiene:

- Tipos de vehículos, número de ejes y toneladas por eje, Tabla 4-3
- El índice final de servicio es de pt= 2.5

Tabla 4-3 Tipos de vehículos motorizados, pesos y dimensiones Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)

| TIPO | DISTRIBUCION MAXIMA DE CARGA POR EJE | DESCRIPCIÓN | PESO MÁXIMO PERMITIDO (TON) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
|------|---|---|-----------------------------|--|-------|------|
| | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2D |  |  | 7 | 5,5 | 2,6 | 3 |
| 2DA |  |  | 10 | 7,5 | 2,6 | 3,5 |
| 2DB |  |  | 18 | 12,2 | 2,6 | 4,1 |
| 3-A |  |  | 27 | 12,2 | 2,6 | 4,1 |
| 4-C |  |  | 31 | 12,2 | 2,6 | 4,1 |

La fórmula para el factor de equivalencia de carga para pavimentos flexibles es:

$$\bullet \frac{w_x}{w_{18}} = \left[\frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right]^{4.79} * \left[\frac{10^{\beta_x}}{10^{\beta_{18}}} \right] * [L_{2x}]^{4.33}$$

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

En donde:

W= aplicación de carga inverso al factor de equivalencia

W18= número de cargas de ejes simples de 18.000 lb o 80 kN.

Lx= carga del eje evaluado (kips)

L18= carga del eje estándar (18 kips)

L2= código de configuración del eje

1= eje simple, 2= eje tándem, 3= eje tridem; s=eje simple (1), x= tipo de eje
siendo evaluado

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

pt= índice de servicio final

$$\beta_x = 0.4 + \left(\frac{0.081 * (L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN+1)^{5.19} * L_{2x}^{3.23}} \right)$$

SN= Número estructural

Se aplica la fórmula con un índice de servicio final pt= 2.5

Y un número estructural SN impuesto SN=3

Y se obtiene la Tabla 4-4, que muestra los valores del Factor de equivalencia de carga:

Tabla 4-4 Cálculo del factor de equivalencia de carga

| Tipo de eje | | Simple | Simple | Simple | Simple | Tandem | Tridem |
|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Carga del eje evaluado | Lx [ton] = | 3 | 4 | 7 | 11 | 20 | 24 |
| | Lx [kips] = | 6.6 | 8.8 | 15.4 | 24.2 | 44.0 | 52.8 |
| Código de configuración de ejes: | L2x = | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| Factores fórmula | G | -0.09 | -0.09 | -0.09 | -0.09 | -0.09 | -0.09 |
| | Bx | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 2.4 | 1.9 | 1.2 |
| Número Estructural inicial asumido: | SN | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Índice final de servicio: | Pt = | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Relación Wx/W18 = | Wx/W18 = | 60.0 | 18.7 | 1.9 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| Factor de equivalencia de carga: | FEc = | 0.017 | 0.054 | 0.523 | 3.556 | 3.231 | 1.509 |

Así como la Tabla 4-5, que contiene el cálculo del Factor camión:

Tabla 4-5 Cálculo del factor camión

| TIPO DE VEHÍCULO | EJE | | | | | | FC |
|------------------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|--------------|
| | Delantero | | | Posterior | | | |
| | Tipo | Peso | FEc | Tipo | Peso | FEc | |
| 2DA | Simple | 3 | 0.017 | Simple | 7 | 0.523 | 0.540 |
| 2DB | Simple | 7 | 0.523 | Simple | 11 | 3.556 | 4.079 |
| 3A | Simple | 7 | 0.523 | Tandem | 20 | 3.231 | 3.754 |
| 4C | Simple | 7 | 0.523 | Tridem | 24 | 1.509 | 2.032 |

4.5.7 Cálculo de tránsito de diseño para pavimento flexible

Como **DATO** se tiene:

- Considerar para el diseño TODOS los vehículos

Con los datos obtenidos en los acápite 4.5.2 – 4.5.6 se aplica la fórmula de 4.5.1 para cada tipo de vehículo y se obtiene la Tabla 4-6:

Tabla 4-6 Cálculo de número de ejes equivalentes (N ó ESALs)

| TIPO DE VEHÍCULO | TPDA (2023) Solo vehículos comerciales | FD | FC | FEc | FP | | N ESALs | |
|------------------|--|--------|---------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|
| | | | | | 2033 | 2043 | 2033 (Etapa 1) | 2043 Etapa 2) |
| 2DA | 9 | 50.00% | 100.00% | 0.540 | 10.69 | 22.78 | 9480 | 20207 |
| 2DB | 9 | 50.00% | 100.00% | 4.079 | 10.69 | 22.78 | 71604 | 152638 |
| 3A | 1 | 50.00% | 100.00% | 3.754 | 10.69 | 22.78 | 7323 | 15609 |
| 4C | 1 | 50.00% | 100.00% | 2.032 | 10.69 | 22.78 | 3964 | 8449 |
| TOTAL | | | | | | | 92371 | 196903 |

La sumatoria del número de ejes simples equivalentes acumulados de cada tipo de vehículos da como resultado el tránsito de diseño:

N= tránsito de diseño para pavimento flexible = 92.347 y 196.903 ejes simples equivalentes acumulados en el carril y periodo de diseño respectivamente.

4.6 Determinación del módulo resiliente de la subrasante

4.6.1 Cálculo del CBR característico

De los resultados de los ensayos de laboratorio analizados anteriormente, se tiene la Tabla 4-7

Tabla 4-7 Resumen de resultados CBR

| DATOS DE EXPLORACIÓN | | | CLASIFICACIÓN | | CBR % |
|----------------------|--------------|--------------|---------------|-----------|----------|
| ID | MUESTRA | PROF. (m) | SUCS | AASHTO | |
| PCA # 01 | PCA # 01 -01 | 0.30-1.50 | GC | A-2-6 (0) | 4.30 |
| PCA # 02 | PCA # 02 -01 | 0.30-1.50 | SC | A-2-7 (4) | 0,90 |
| PCA # 03 | PCA # 03 -01 | 0.30-1.50 | SM | A-2-7 (0) | 2.90 |

Como **INFORMACIÓN CALCULADA** se tiene el número de ejes simples equivalentes acumulados en el carril y periodo de diseño

Por tanto, se debe calcular el CBR característico:

Los datos proporcionados se ordenan de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores (Tabla 4-9), y con el valor del número de ejes simples equivalentes, se tiene la Tabla 4-8 que presenta los límites para la selección de resistencia:

Tabla 4-8 Límites para la selección de resistencia

| Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño | | Percentil para seleccionar la resistencia |
|--|---------|---|
| 0.0E+00 | 1.0E+04 | 60 |
| 1.0E+04 | 1.0E+06 | 75 |
| 1.0E+06 | 1.0E+14 | 87.5 |

Tabla 4-9 Cálculo del CBR característico

| CBR (%) | CBR ordenado de menor a mayor (%) | Valores mayores o iguales | % de valores mayores |
|---------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 4.30 | 0.90 | 3 | 100.00 |
| 0.90 | 2.90 | 2 | 66.67 |
| 2.90 | 4.30 | 1 | 33.33 |

De la Tabla 4-9 se obtiene para un percentil de 75% el valor de **CBR de la subrasante de 2.40%**

4.6.2 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante

Se calcula el módulo resiliente de la subrasante mediante la siguiente ecuación:

$$Mr = 1500 * CBR$$

(American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

En donde:

Mr= módulo resiliente de la subrasante (psi)

CBR= valor del CBR característico de la subrasante, valor directo no en porcentaje

Por tanto, se tiene:

Módulo resiliente de la subrasante = Mr= 3600 psi.

4.7 Requerimiento de mejoramiento en la subrasante

En la Tabla 4-10, se observa una clasificación dada por el (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014), en la que se describe a la subrasante como inadecuada, que sería nuestro caso particular porque se tiene un CBR menor a 3%, hasta excelente cuando una subrasante tiene un CBR mayor a 30%

Tabla 4-10 Categorías de subrasante según el CBR (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014)

| CATEGORIAS DE SUBRASANTE | | CBR |
|------------------------------|--------------------------|----------|
| S0: Sub rasante Inadecuada | | CBR < 3% |
| S1: Sub rasante Insuficiente | De CBR ≥ 3% a CBR < 6% | |
| S2: Sub rasante Regular | De CBR ≥ 6% a CBR < 10% | |
| S3: Sub rasante Buena | De CBR ≥ 10% a CBR < 20% | |
| S4: Sub rasante Muy buena | De CBR ≥ 20% a CBR < 30% | |
| S5: Sub rasante Excelente | De CBR ≥ 30% | |

4.8 Módulo resiliente del material de mejoramiento

En el documento del (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002), se encuentran las características del material de mejoramiento. Se indica que el valor de CBR no sea menor a 20%. Se calcula el módulo resiliente del mejoramiento mediante la siguiente ecuación:

$$Mr = 4326 \times \ln(CBR) + 241$$

Se obtiene $Mr = 13201$ psi.

Para el valor de coeficiente de capa se emplea la Tabla 4-11, multiplicando el valor por 2.54 para transformar a pulgadas.

Tabla 4-11 Coeficientes de capas diseño estructural de pavimentos flexibles, basados en la normativa AASHTO. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

| COEFICIENTE DE CAPAS DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MÉTODO AASHTO | | |
|---|--------------------------------------|----------------|
| CLASE DE MATERIAL | NORMAS | COEF. (cu) |
| CAPA DE SUPERFICIE | | |
| Concreto Asfáltico | EST. DE MARSHALL 1000-1800 LBS | 0.134 – 0.173 |
| Arena Asfáltica | EST. DE MARSHALL 500-800 LBS | 0.0079 – 0.118 |
| Carpeta Bituminosa Mezclada en Camino | EST. DE MARSHALL 300-600 LBS | 0.059 – 0.098 |
| CAPA DE BASE | | |
| Agregados triturados graduados uniformemente | P.I. 0-4, CBR > 100% | 0.047 – 0.055 |
| Grava graduada uniformemente | P.I. 0-4, CBR > 30 - 80% | 0.028 – 0.051 |
| Concreto Asfáltico | EST. DE MARSHALL 1000 – 1600 LBS | 0.098 – 0.138 |
| Arena Asfáltica | EST. DE MARSHALL 500 – 800 LBS | 0.059 – 0.098 |
| Agregado Grueso Estabilizado con cemento | RESIST. A LA COMP. 28 – 46 KG/CM2 | 0.079 – 0.138 |
| Agregado Grueso Estabilizado con cal | RESIST. A LA COMP. 7KG/CM2 | 0.059 – 0.118 |
| Suelo Cemento | RESIST. A LA COMP. 18 – 32 KG/CM2 | 0.047 – 0.079 |
| CAPA DE SUB-BASE | | |
| Arena – Grava, graduada uniformemente | P.I. 0-6, CBR > 30 +% | 0.035 – 0.043 |
| Suelo - Cemento | RESIST. A LA COMP. 18 – 32 KG/CM2 | 0.059 – 0.071 |
| Suelo - Cal | RESIST. A LA COMP. 5KG/CM2 | 0.059 – 0.071 |
| MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE | | |
| Arena o Suelo seleccionado | P.I. 0-10 | 0.020 – 0.035 |
| Suelo con cal | 3% MIN. DE CAL EN PESO DE LOS SUELOS | 0.028 – 0.039 |

4.9 Determinación del Módulo resiliente de la subbase.

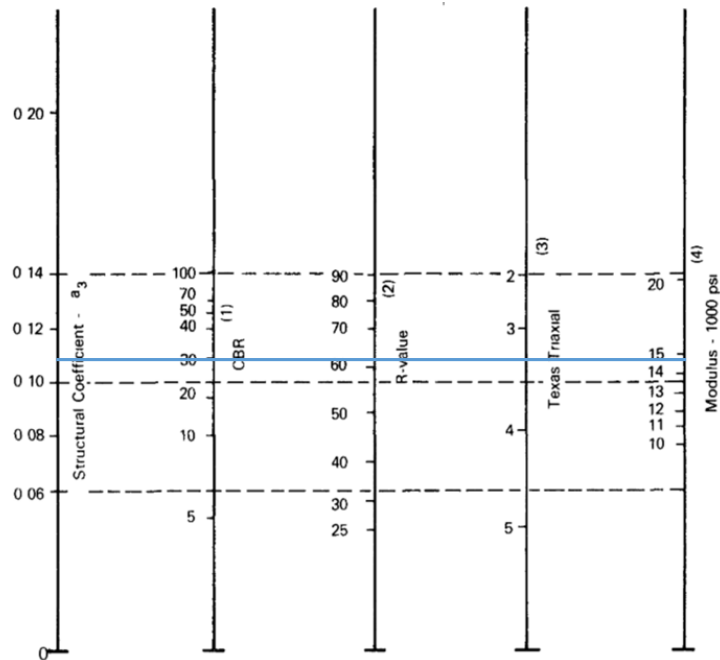
El C.B.R. del material de subbase considerado para el cálculo, se basa en las especificaciones del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002), con el siguiente valor mínimo:

Tabla 4-12 CBR de mínimo subbase (normativa (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2003))

| Material | CBR especificación MTOP % |
|----------|---------------------------|
| SUBBASE | 30 |

De acuerdo con el CBR de 30% asumido y el siguiente Abaco (Figura 4-9), se obtiene un módulo resiliente de la subbase de 15000 psi o lb/pulg².

Figura 4-9 Ábaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Subbase.
(American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)



4.10 Determinación del Módulo resiliente de la Base

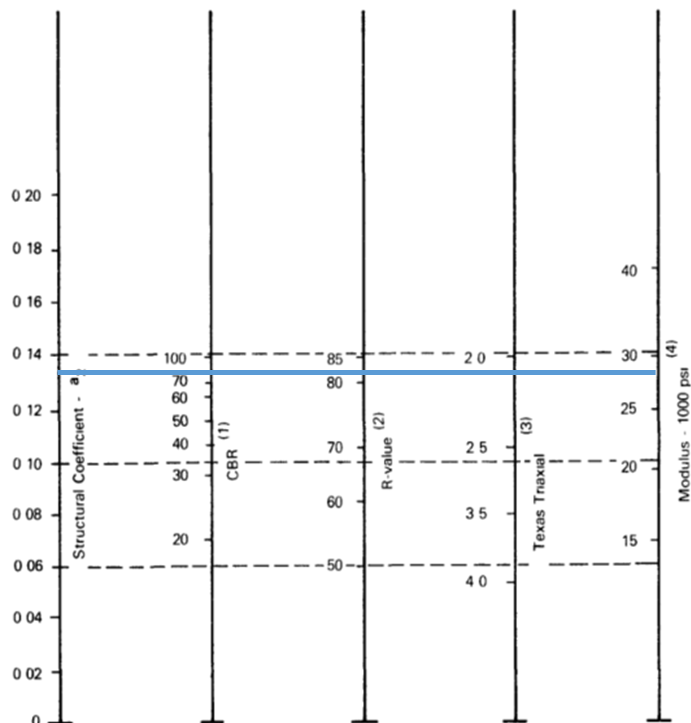
El CBR del material de base considerado para el cálculo, se basa en las especificaciones del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), con el siguiente valor mínimo:

Tabla 4-13 CBR de mínimo base (MTOP M. d., 2003)

| Material | CBR especificación MTOP % |
|----------|------------------------------|
| Base | 80 |

Con un CBR de 80% se obtiene un módulo resiliente de 29000 psi según la Figura 4-10.

Figura 4-10 Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)



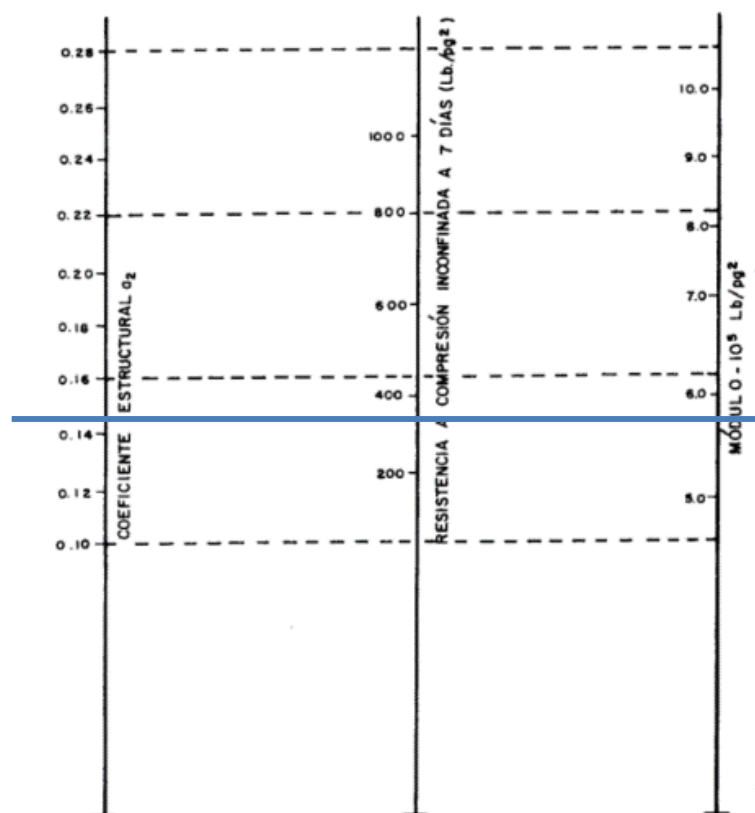
4.11 Características de la base estabilizada con cemento

Dado que se plantea un tipo de capa de rodadura con doble tratamiento con un aporte estructural mínimo o casi nulo, se ha previsto la colocación de una base rígida que soporte dicha carpeta, considerando una base estabilizada con cemento. Para la base estabilizada con cemento el MTOP, la literatura específica y distinta normativas recomiendan una resistencia de 35 kg/cm² (497.8 lb/pulg²), medida a los 7 días. Con este valor se obtiene el coeficiente estructural de capa a2 de 0.172 y un módulo resiliente de 650000 psi, en función de la

Figura 4-11, propuesto en la metodología AASHTO 93 para bases estabilizadas con

cemento, y cuyos valores se obtienen en función a la resistencia a la compresión.

Figura 4-11 Abaco para la obtención de Módulo Resiliente y coeficiente estructural de la Base Estabilizada con Cemento. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)



4.12 Características de Doble Tratamiento Superficial

Para el doble tratamiento superficial, considerando que es una capa de impermeabilización y cobertura, y que no presenta mayor espesor para tener un aporte estructural al conjunto de elementos, no se obtiene elementos de resistencia o deformación. Lo señalado se puede comprobar en el Manual de carreteras de Perú (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014), en el cual no se asigna un coeficiente estructural de capa en el cuadro 12.13, página 129, y que se presenta en la

Tabla 4-14:

Tabla 4-14 Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014)

| COMPONENTE DEL PAVIMENTO | COEFICIENTE | VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm) | OBSERVACIÓN |
|---|-------------|--|--|
| CAPA SUPERFICIAL | | | |
| Carpeta Asfáltica en caliente, módulo 2.965 MPa (430.000 PSI) a 20°C (68°F) | a_1 | 0.170 / cm | Capa superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico. Este ES un valor Máximo y de utilizarse como tal, el expediente de ingeniería debe ser explícito en cuanto a pautas de cumplimiento obligatorio como realizar: -Un control de calidad riguroso -Indicar un valor de estabilidad Marshall, superior a 1000 kf-f -Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993) |
| Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión | a_1 | 0.125 / cm | Capa Superficial recomendada para tráfico $\leq 1'000.000$ EE |
| Micropavimento 25mm | a_1 | 0.130 / cm | Capa Superficial recomendada para tráfico $\leq 1'000.000$ EE |
| Tratamiento superficial Bicapa | a_1 | (*) | No aplica en tramos con pendientes mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos |
| Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm | a_1 | (*) | Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500.000 EE. No aplica en tramos con pendientes mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos |
| (*) no se considera por tener aporte estructural | a_1 | | |

4.13 Determinación del número estructural SN

4.13.1 Ecuación de la AASHTO para pavimentos flexibles

Para el diseño de pavimentos flexibles el método de la AASHTO 1993, se emplea la siguiente ecuación:

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

Ecuación 4.1 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

En donde:

- W18= tránsito de diseño, número de ejes simples equivalentes acumulados en el carril y periodo de diseño
- ZR= Nivel de confiabilidad

So= Desviación estándar

SN= Número estructural

ΔPSI = Cambio total en el índice de servicio = Nivel de servicio inicial (Po) – nivel de servicio final (Pt)

MR= Módulo resiliente de la subrasante

4.13.2 Cálculo de nivel de confiabilidad ZR.

Como **DATO** se tiene:

- Diseñar el pavimento para una vía/carretera local
- Vía rural

Por tanto de la Tabla 4-15, se tiene el Coeficiente de confiabilidad de 65%, como un promedio entre los valores 50 y 80. Y por lo tanto el valor inverso de la distribución normal estándar, **ZR = -0.385** (considerando que ZR debe ser un negativo)

Tabla 4-15 Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras ((American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993))

| Clasificación | Nivel de confiabilidad recomendado | |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| | Urbana | Rural |
| Autopistas interprovinciales y otras | 85 – 99.9 | 80 – 99.9 |
| Arterias principales | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Colectoras de tránsito | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Carreteras locales | 50 – 80 | 50 – 80 |

4.13.3 Determinación de la desviación estándar So

Según (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993), se tiene que: “Los valores de desviación estándar (So) desarrollados por la AASHO Road Test no incluyen error por el tránsito. El error de la predicción del comportamiento desarrollado en el tramo de ensayo fue de 0.35 para pavimentos flexibles, lo cual corresponde a una desviación estándar total de 0.45. Valores típicos de So son de 0.4 a 0.5 para pavimentos flexibles y de 0.35 a 0.40 para pavimentos

rígidos.”

Por lo tanto, se considera un valor de **So= 0.35**

4.13.4 Cálculo del cambio total en el índice de servicio

Como **DATO** se tiene:

- El índice final de servicio es de 2.5

Y según la teoría, se tiene que: “Para la determinación del índice de servicio inicial, del ensayo AASHO se obtuvo el valor de 4.2 para pavimentos flexibles 4.5 para pavimentos rígidos”

Por lo tanto:

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 2$$

En donde:

ΔPSI = Cambio total en el índice de servicio

P_o = Nivel de servicio inicial (4.2)

P_t = Nivel de servicio final (2.2)

4.13.5 Cálculo del Número estructural

El cálculo del número estructural de las capas del pavimento flexible se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$SN_2 = SN_1 + a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$SN_3 = SN_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

En donde:

SN_1 = Número estructural mínimo requerido a nivel
de la capa de base granular

SN_2 = Número estructural mínimo requerido a nivel
de la capa de Mejoramiento

SN_3 = Número estructural mínimo requerido a nivel

En donde:

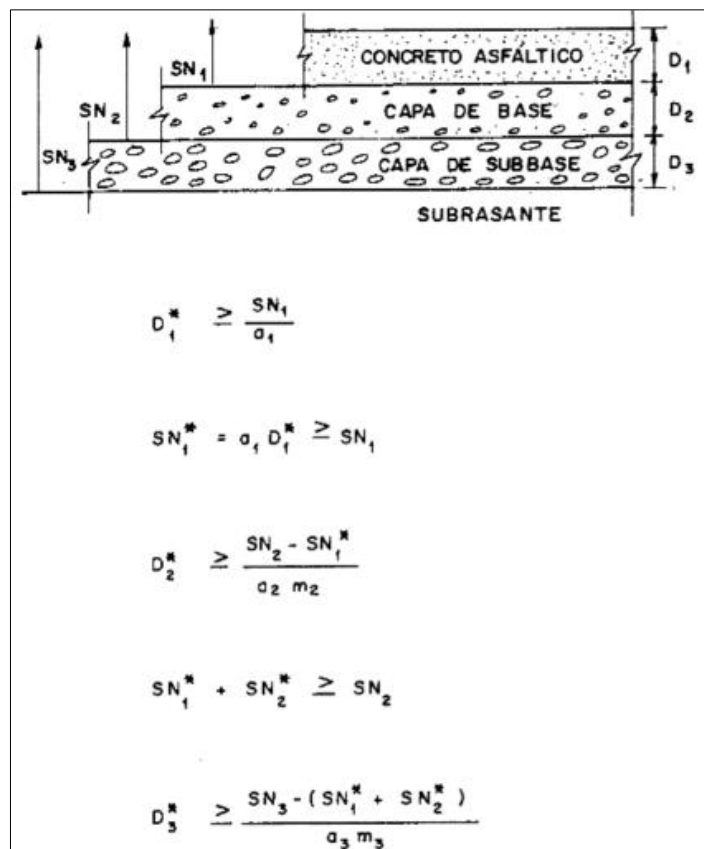
a_i = coeficiente estructural de cada capa, dependiendo del tipo de material.

m_i = coeficiente de drenaje para cada capa.

D_i = espesor de las diferentes capas.

En la Figura 4-12 se observa un esquema de la estructura de pavimentos, para el cálculo del número estructural.

Figura 4-12 Procedimiento para la determinación de espesores de capa usando un análisis de capa. Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)



i) Coeficiente estructural (a_i)

En la metodología AASHTO 1993 se establecen los valores para el coeficiente estructural (a_i) que se deben adoptar de acuerdo con el módulo resiliente de cada material. Es así

como se tienen los gráficos: Figura 4-9 y Figura 4-10, expuestos anteriormente, para la determinación de los coeficientes estructurales de las capas de Subbase y Base, respectivamente.

Para obtener el coeficiente de capa (a_i) del material de mejoramiento se utiliza la Tabla 4-11.

De esta manera se obtienen los valores para coeficiente estructural que se muestran en la Tabla 4-16:

Tabla 4-16 Coeficientes estructurales por capa

| Capa | Coeficientes de capa (a) |
|-------------------------------|------------------------------|
| Doble tratamiento superficial | --- |
| Base estabilizada con cemento | 0.145 |
| Base | 0.137 |
| Subbase | 0.11 |
| Material de mejoramiento | 0.09 |

4.13.6 Coeficiente de drenaje (m)

Como **DATO** se tiene:

- El clima del sector es un clima seco.

El valor C_d se obtiene de la Tabla 4-17 y la Tabla 4-18;

Tabla 4-17 Coeficiente de drenaje (American Association of State Highway and Transportation Officials,

1993)

| Valores de mi recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granulares | | | | |
|--|--|-------------|-------------|-------|
| Calidad del drenaje | % de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación | | | |
| | < 1% | 1 – 5 % | 5 – 25 % | >25 % |
| Excelente | 1.40 – 1.35 | 1.35 – 1.30 | 1.30 – 1.20 | 1.20 |
| Bueno | 1.35 – 1.25 | 1.25 – 1.15 | 1.15 – 1.00 | 1.00 |
| Aceptable | 1.25 – 1.15 | 1.15 – 1.05 | 1.00 – 0.80 | 0.80 |
| Pobre | 1.15 – 1.05 | 1.05 – 0.80 | 0.80 – 0.60 | 0.60 |
| Muy pobre | 1.05 – 0.95 | 0.95 – 0.75 | 0.75 – 0.40 | 0.40 |

Para la vía en estudio se considera para cada capa, descritas desde la capa inferior, los siguientes coeficientes de drenaje:

- Para el material de mejoramiento se adopta coeficiente de drenaje (m3) de 0.80
- Para las capas de Base y Subbase se adopta coeficiente de drenaje (m2) de 1.00
- Para la base estabilizada con cemento se adopta coeficiente de drenaje (m3) de 1.20

Tabla 4-18 Calidad de drenaje (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

| Calidad del drenaje | Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada |
|---------------------|---|
| Excelente | 2 horas |
| Buena | 1 día |
| Aceptable | 1 semana |
| Pobre | 1 mes |
| Muy pobre | (el agua no drena) |

4.13.7 Módulo Resiliente (MR)

Corresponde a los valores de Módulo Resiliente, establecidos previamente para cada tipo de material en el presente informe.

4.14 Cálculo de Espesores de las capas del pavimento

En la Tabla 4-19 se muestra un resumen de los valores antes descritos, los cuales intervienen en la fórmula (ecuación 4.1) para el cálculo de la estructura del pavimento.

Tabla 4-19 Resumen de parámetros establecidos para el cálculo de la estructura de pavimento.

| DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR METODO DE LA ASSHTO 1993 | | | | |
|---|----------------------|----------------|-----------------|------------------------|
| No. Repeticiones (ESALs o W18) | Etapa 1 | 92371 | | |
| | Etapa 2 | 196903 | | |
| Confiabilidad | Confiabilidad | 80.00% | | |
| | Zr | -0.84 | | |
| Desviación Estándar | So | 0.35 | | |
| | Material | CBR (%) | Mr (psi) | Coef. Dren. "m" |
| Parámetros de resistencia de los materiales | Subrasante | 2.40 | 3600 | --- |
| | Mejoramiento | 20.00 | 13201 | 0.8 |
| | Subbase | 30.00 | 15000 | 1 |
| | Base | 80.00 | 29000 | 1 |
| | Base estabiliz. Cem. | --- | 580000 | 1.2 |
| Pérdida de Serviciabilidad | Carpeta asf. | --- | 400000 | --- |
| | Po | 4.2 | | |
| | Pt | 2 | | |
| | ΔPSI | 2.2 | | |

Aplicando el procedimiento de cálculo descrito para obtener el diseño de la estructura de pavimento, se han determinado tres (3) alternativas para los espesores de las capas de pavimento:

4.14.1 Alternativa 1

Para la alternativa 1 se ha considerado un diseño de la estructura de pavimento en 2 etapas, como se muestra en la Tabla 4-20.

Tabla 4-20 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 1

| CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| Parámetro fórmula | Etapa 1 (2023 – 2033) | | | Etapa 2 (2033 – 2043) | | |
| | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. |
| Mr capa | 13201 | 29000 | 400000 | 13201 | 29000 | 400000 |
| Zr * So | -0.29 | -0.29 | -0.29 | -0.29 | -0.29 | -0.29 |
| 9.36*log10(SN+1) | 5.33 | 3.98 | 3.18 | 5.68 | 4.32 | 3.51 |
| -0.2 | -0.20 | -0.20 | -0.20 | -0.20 | -0.20 | -0.20 |
| Log10(ΔPSI/(4.2-1.5))/(0.4+1094/(SN+1)^5.19)) | -0.06 | -0.01 | 0.00 | -0.08 | -0.02 | -0.01 |
| 2.32*log10(MR)-8.07 | 0.18 | 1.49 | 2.28 | 0.18 | 1.49 | 2.28 |
| SN | 2.72 | 1.66 | 1.19 | 3.05 | 1.89 | 1.37 |
| CALCULO DE ESPESORES | | | | | | |
| PARÁMETRO | Etapa 1 (2023 – 2033) | | | Etapa 2 (2033 – 2043) | | |
| | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. |
| Coeficiente estructural (a _i) | 0.09 | 0.14 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.42 |
| Coeficiente de Drenaje (m _i) | 0.80 | 1.00 | --- | 0.80 | 1.00 | --- |
| Número estructural | | | | | | |
| SN1 = a1*D1 | 2.72 | 2.07 | 1.26 | 2.93 | 2.28 | 1.47 |
| SN2 = SN1 + a2*m2*D2 | | | | | | |
| SN3 = SN2 + a3*m3*D3 | | | | | | |
| Espesor adoptado D1', D2', D3' | 30.00 cm | 15.00 cm | 3.0 pulg. | 30.00 cm | 15.00 cm | 3.5 pulg. |
| SN corregido | 2.28 | 1.86 | 1.05 | 2.70 | 2.28 | 1.47 |
| Comprobación | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |

Como se puede observar, en la etapa 1 se determina una estructura de pavimento con 3 capas, la primera de espesor de 30 centímetros de material de mejoramiento, sobre la cual se asienta la segunda capa de espesor de 15 centímetros de material de base, y finalmente, una carpeta asfáltica de 3 pulgadas. Como se indicó anteriormente, esta primera etapa tiene un período de proyección de 10 años, comprendidos entre el año 2023 al 2033.

Para la segunda etapa, se determina la necesidad de la colocación de una carpeta asfáltica de 0.5 pulgadas, para obtener una capa de rodadura final de 3.5 pulgadas. De todas maneras, se recomienda que al final de la primera etapa se realice un análisis estructural del pavimento con el objeto de determinar las condiciones de “vida remanente” de la estructura. De esta manera se podrá establecer con mayor precisión la estructura necesaria a construirse para la segunda etapa.

4.14.2 Alternativa 2

Para la alternativa 2 se ha considerado el diseño de una única estructura de pavimento, en el período comprendido entre el año 2023 al año 2043 (20 años de vida útil), cuyos valores se muestran en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 2

| CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL | | | |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| Parámetro fórmula | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. |
| Mr capa | 13201 | 29000 | 400000 |
| Zr * So | -0.29 | -0.29 | -0.29 |
| 9.36*log10(SN+1) | 5.68 | 4.32 | 3.51 |
| -0.2 | -0.20 | -0.20 | -0.20 |
| $\frac{\text{Log}_{10}(\Delta\text{PSI}/(4.2-1.5))}{(0.4+1094/(\text{SN}+1)^{5.19})}$ | -0.08 | -0.02 | -0.01 |
| 2.32*log10(MR)-8.07 | 0.18 | 1.49 | 2.28 |
| SN | 3.05 | 1.89 | 1.37 |
| CÁLCULO DE ESPESORES | | | |
| PARÁMETRO | SN3 | SN2 | SN1 |
| | Mejoramiento | Base | Carpeta asf. |
| Coefficiente estructural (ai) | 0.09 | 0.14 | 0.42 |
| Coefficiente de Drenaje (mi) | 0.80 | 1.00 | --- |
| Número estructural | 3.05 | 1.89 | 1.37 |
| SN1 = a1*D1 | | | |
| SN2 = SN1 + a2*m2*D2 | | | |
| SN3 = SN2 + a3*m3*D3 | | | |
| Esesor adoptado D1', D2', D3' | 28.00 cm | 15.00 cm | 3.5 pulg. |
| SN corregido | 3.07 | 2.28 | 1.47 |
| Comprobación | Cumple | Cumple | Cumple |

Para la alternativa 2 se ha considerado el diseño de una estructura única de pavimento, de 28cm de mejoramiento, 15 cm de base y carpeta asfáltica de 3.5” con una proyección de 20 años. Para esta alternativa 2, también se recomienda realizar a los 10 años un análisis estructural del pavimento con el objeto de determinar las condiciones de “vida remanente” de la estructura. De esta manera se podrá establecer con mayor precisión las condiciones de la estructura y las acciones necesarias para conservar en buen estado el activo vial.

4.14.3 Alternativa 3

Para la alternativa 3, se ha considerado el diseño de la estructura del pavimento en dos etapas, como se muestra en la. Tabla 4-22

Tabla 4-22 Cálculos de espesores de las capas de la estructura de pavimento, alternativa 3

| CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|------------------|
| Parámetro fórmula | Etapa 1 (2023 – 2033) | | | Etapa 2 (2033 – 2043) | | |
| | Subbase | Base estabilizada con cemento | D.T.B.S. | Mejoramiento | Base estabilizada con cemento | Carpeta asf. |
| Mr capa | 15000 | 580000 | | 15000 | 580000 | 400000 |
| Zr * So | -0.29 | -0.29 | | -0.29 | -0.29 | -0.29 |
| 9.36*log10(SN+1) | 5.33 | 3.85 | | 5.68 | 4.19 | 0.49 |
| -0.2 | -0.20 | -0.20 | | -0.20 | -0.20 | -0.20 |
| $\frac{\text{Log10}(\Delta\text{PSI}/(4.2-1.5))}{(0.4+1094/(\text{SN}+1)^{5.19})}$ | -0.06 | -0.01 | | -0.08 | -0.02 | 0.00 |
| 2.32*log10(MR)-8.07 | 0.18 | 1.49 | | 0.18 | 1.49 | 2.28 |
| SN | 2.72 | 1.58 | | 3.05 | 1.80 | 0.13 |
| CALCULO DE ESPESORES | | | | | | |
| PARÁMETRO | Etapa 1 (2023 – 2033) | | | Etapa 2 (2033 – 2043) | | |
| | SN3 Subbase | SN2 Base estabilizada con cemento | D.T.B.S. | SN3 Subbase | SN2 Base estabilizada con cemento | SN1 Carpeta asf. |
| Coefficiente estructural (aj) | 0.11 | 0.21 | | 0.11 | 0.21 | 0.42 |
| Coefficiente de Drenaje (mi) | 1.00 | 1.20 | | 1.00 | 1.20 | --- |
| Número estructural | 2.72 | 1.58 | | 3.05 | 1.80 | 0.13 |
| SN1 = a1*D1 | | | | | | |
| SN2 = SN1 + a2*m2*D2 | | | | | | |
| SN3 = SN2 + a3*m3*D3 | | | | | | |
| Espesor adoptado D1', D2', D3' | 27.00 cm | 16.00 cm | D.T.B.S. | 27.00 cm | 16.00 cm | 1.0 pulg. |
| SN corregido | 2.76 | 1.59 | | 3.18 | 2.01 | 0.42 |
| Comprobación | Cumple | Cumple | | Cumple | Cumple | Cumple |

4.15 Rehabilitación y Mantenimiento

Para establecer el tipo de mantenimiento rutinario e intervenciones se utiliza el manual de carreteras del Perú (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2014), sección suelos y pavimentos, que estipula lo siguiente:

- Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años.
- Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
- Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos (cada 3 a 4 años)

Como se puede observar, en la etapa 1 se determina una estructura de pavimento con 2 capas: la primera de espesor de 27 centímetros de material de mejoramiento, sobre la cual se asienta la segunda capa de espesor de 16 centímetros de material de Base Granular, y finalmente se recomienda la construcción de una capa de Doble Tratamiento Superficial Bituminoso (D.T.B.S.) que proteja la capa de rodadura de la estructura de pavimento, dado que la misma estaría conformada solamente por material de Base Granular. Como se indicó anteriormente, esta primera etapa tiene un período de proyección de 10 años, comprendidos entre el año 2023 al 2033. Para la segunda etapa, se determina la necesidad de la colocación de una carpeta asfáltica de 1 pulgadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El presente trabajo de titulación forma parte del Convenio de Cooperación Interinstitucional para realizar los “Estudios y Diseños definitivos de las vías a la cabecera Parroquial de Yúluc, Uchucay- Sumaypamba-Playas de Sumaypamba, Vía a Yunquil y vías de la Urbanización de los Precaristas, del cantón Saraguro, provincia de Loja”, entre la Empresa Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Sebastián de Yuluc, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Sumaypamba, la Universidad de Cuenca, y la Empresa Pública de la Universidad de Cuenca UCUENCA EP.
- El presente trabajo de titulación tiene como objetivo elaborar los estudios técnicos para solucionar el acceso al sector denominado Yunquil en un tramo desde la abscisa 0+000.00 km hasta la abscisa 4+250.00 km, desde la vía a San Sebastián de Yúluc. Luego de presentados los diseños definitivos, ELECAUSTRO S.A evaluará la factibilidad técnica, financiera y económica para su intervención.
- Las particularidades de cada proyecto vial vienen dadas por su entorno. Se determinó que el clima del área de estudio es un clima seco. La geología de la zona es caracterizada por sus suelos de grano grueso. La realidad socioeconómica del sector se observa en el número de personas agricultores que requieren la vía para el transporte de sus productos.
- Dentro de los objetivos del trabajo de titulación se tiene la realización de los estudios básicos de topografía, suelos y tráfico. Los estudios de topografía se realizaron mediante tecnología de drones y rtk. El presente proyecto se encuentra ubicado en un terreno que tiene una pendiente promedio de 42%.
- Los estudios de suelos indican que en el sector predomina los suelos de grano grueso, entre los que se encuentran: gravas arcillosas, arenas arcillosas, arenas limosas. Parámetros determinados mediante los ensayos de laboratorio:

Clasificación de suelos, Límite líquido, límite plástico, humedad, próctor modificado.

- El estudio de tráfico es realizado en la vía a la cual se conecta el actual proyecto en la abscisa 0+000.00 km, es decir, en la vía a San Sebastián de Yúluc mediante otra tesis que también forma parte del convenio de cooperación interinstitucional. Se tiene un TPDA en el año 2021 de 116 vehículos y al año 2043 se proyecta un TPDA de 203 vehículos.
- De los cálculos realizados se obtiene que la subrasante requiere material de mejoramiento, pues se encuentra catalogada como inadecuada por tener un valor de CBR menor al 3%.
- Se determinan 3 alternativas de diseño para la estructura de pavimento.
 - Para la alternativa 1 se ha considerado un diseño de la estructura de pavimento en 2 etapas, 30cm de mejoramiento, 15 cm de base y carpeta de 3" con una proyección de 10 años. La segunda etapa colocación de 0.5" de carpeta asfáltica.
 - Para la alternativa 2 se ha considerado el diseño de una estructura única de pavimento, de 28cm de mejoramiento, 15 cm de base y carpeta asfáltica de 3.5" con una proyección de 20 años.
 - Para la alternativa 3 se ha considerado un diseño de la estructura de pavimento en 2 etapas, 27cm de mejoramiento, 16 cm de base y una capa de DTSB para proteger la capa de rodadura con una proyección de 10 años. La segunda etapa colocación una capa de carpeta asfáltica de 1".

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda que se sigan realizando más convenios de cooperación interinstitucional pues resultan ser un medio adecuado de fusionar los conocimientos académicos con proyectos de interés social
- Luego de la elaboración de estudios y diseños viales es recomendable realice una evaluación de factibilidad técnica, financiera y económica. Esto permitirá que los recursos económicos sean invertidos óptimamente.

UCUENCA

- Se recomienda que los levantamientos topográficos sean realizados en la medida de lo posible con técnicas y equipos actualizados, pues esta área tecnológica tiene un crecimiento bastante rápido.
- Es importante conocer el entorno de la zona de emplazamiento del proyecto vial. Este entorno, tanto sus características geológicas, topográficas, socioeconómicas, le otorga una particularidad al proyecto.
- Se recomienda colocar material de mejoramiento sustituyendo el suelo de la subrasante con la finalidad de que la misma alcance valores de CBR mayores a los que actualmente tiene (3%).
- Para la alternativa 1 de diseño para la estructura de pavimento se recomienda que al final de la primera etapa se realice un análisis estructural del pavimento con el objeto de determinar las condiciones de “vida remanente” de la estructura. De esta manera, se podrá establecer con mayor precisión la estructura necesaria a construirse para la segunda etapa.
- Para la alternativa 2 de diseño de la estructura de pavimento se recomienda que a los 10 años se realice un análisis estructural del pavimento con el objeto de determinar las condiciones de “vida remanente” de la estructura. De esta forma, se podrán establecer con mayor precisión las condiciones de la estructura y las acciones necesarias para conservar en buen estado el activo vial.
- Para la alternativa 3 de diseño para la estructura de pavimento se recomienda que al final de la primera etapa se realice un análisis estructural del pavimento con el objeto de determinar las condiciones de “vida remanente” de la estructura. De esta manera se podrá establecer con mayor precisión la estructura necesaria a construirse para la segunda etapa.
- Se recomienda además que se realicen evaluaciones superficiales previo al mantenimiento rutinario, un inventario de condición cada año y uno de rugosidad cada dos años. Se aconseja realizar evaluaciones estructurales, de deflexiones al menos cada 4 años y sellos asfálticos cada 3 o 4 años.

BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

AASHTO. (2004). *Geometric Design of Highways and Streets*.

AASHTO. (2011). *LIBRO VERDE AASHTO 2011 POLITICA SOBRE DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINOS Y CALLES*.

AASHTO, A. A. (2018). *Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide For Desing of Pavemente Structures 1993*. New York, Washington D.C, EEUU: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Cabrera Luna, R. S. (2022). “*Elaboración de estudios definitivos de ingeniería para el mejoramiento de la vía “Uchucay-Sumaypamba-Playas De Sumaypamba” de 6,50 km. de longitud aproximada, ubicada entre las parroquias San Sebastián de Yuluc y Sumaypamba del cantón Saraguro, provincia*”. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Cachi Calderón, K., & Sánchez Cuellar, N. (2019). *CAMBIO CLIMÁTICO Y RESILIENCIA EN CARRETERAS*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá, D.C.: Ecoe Ediciones.

Castillo Moncayo, C. R. (2019). *Diseños definitivos de la vía comprendida desde el ingreso Ayancay hasta la comunidad de San Alfonso*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32231>

Castillo Villavicencio, P. F., & Montenegro Reinoso, D. J. (2019). *Diseño de la vía periurbana Las Cuadras - Capillapamba, para el cantón Chordeleg*. Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32176>

- Castillo, A. R. (1984). *Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. México D.F: Editorial Limusa.
- (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Suiza: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A. (2021). *CONVENIO N° 2021 - 0024*. Cuenca.
- Ferreccio, N. (2006). *Análisis de la técnica RTK*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de la Plata.
- Google Earth Pro. (2021). *Google Earth Pro*. Obtenido de <https://earth.google.com/>
- Instituto Geográfico Militar Ecuador. (2021). *Geoportal IGM*. Obtenido de <http://www.geoportalmgm.gob.ec>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y Pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2016). *Acuerdo Ministerial 018 – 2016*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras - 2003*. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de carreteras 2003*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas, M. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de Caminos y Puentes*. Quito.
- Mora Cabrera, C. A. (2019). *Estudios y diseños definitivos para el mejoramiento de la vía Playa de Fátima – Cachi – Jerusalén, cantón Biblián, provincia del Cañar*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32158>
- MTOP, M. d. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras*. Quito.

Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP. (2013). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*. Quito.

Valencia Sierra, J. (2015). *TECNOLOGÍA DRONE EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS*.

Bogotá: Escuela de Ingenieros Militares. Obtenido de

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40714250/TECNOLOGIA_DRONE_EN_LEVANTAMIENTOS_TOPOGRAFICOS-with-cover-page-

[v2.pdf?Expires=1652322236&Signature=TaFexqjvFxNFocH7hwx3YQaUsTXCd4MHY7KHTxYDEjm08t7RP4bu3LYIJDFk8IGJ3cdFfETjOU8AHpqXNtkvV0tQco2RAKfCEnyk~pmhIn-j](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40714250/TECNOLOGIA_DRONE_EN_LEVANTAMIENTOS_TOPOGRAFICOS-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1652322236&Signature=TaFexqjvFxNFocH7hwx3YQaUsTXCd4MHY7KHTxYDEjm08t7RP4bu3LYIJDFk8IGJ3cdFfETjOU8AHpqXNtkvV0tQco2RAKfCEnyk~pmhIn-j)

Vanegas Ortiz, J. A. (2022). *Elaboración 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*. Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38944>

ANEXOS

7.1 Anexo 1

Anexo 1 Resumen de los pesos y dimensiones de los buses y camiones. Fuente (MTOPI M. d., 2003)

| DIMENSIONES DE CAMIONES Y BUSES | PROYECTO DE REFORMA SEGUN MOP | VIGENTES MOP |
|---|---|---|
| Ancho camión | 2.60 m | 2.60 m |
| Ancho bus | 2.60 m | 2.60 m |
| Alto camión | 4.10 m | 4.10 m * |
| Alto bus | 4.10 m | 4.10 m |
| Largo Camión rígido (1,2 o 3 ejes en el semiremolque) | 11,50 m (con 2 ejes) 12,20 m (con 3 ejes) | 12.00 m |
| Largo tracto camión +semiremolque(1,2,3 ejes) en el semiremolque) | 17,50m (2S1; 2S2,2S3,3S1) 18,3 m (3S2,3S3) | 18,00(3S2 y 3S3) * |
| Largo semiremolque | 9,0 m (1 eje) 12,3 m (2 ejes) 13,0 m (3 ejes) | 9.0 (1 EJE) 12.3 (2 EJES) * 13.0 (3 EJES) |
| Largo remolque | 10,00 m | 10.00 m. |
| Largo camión + remolque | 18,30 m | 18:30 m. |
| Largo tracto camión + semiremolque + remolque | 18,30 m | 18.3 m. |
| Largo bus larga distancia | Convencional 13,3m Semi integral 15,0 m hasta con 3 ejes Integral 15,0m hasta 4 ejes direccionales | |
| Largo bus articulado | 18,3m | - |
| Largo bus urbano/suburbano | - | - |
| Ancho vehículos especiales | - | - |
| Alto Vehículos especiales | - | - |
| Largo de vehículos especiales (1) | 21 | 21 * |
| Separación para ejes compuestos | - | min 1.2m max. 1.6m |
| PESOS CAMIONES | | |
| Eje trasero simple rodado simple (2r) | 6,00t | 6,00t |
| Eje trasero simple rodado doble (1r) | 11,00t | 12,00t |
| Eje trasero doble rodado simple (4r) | 12,00t | 12,00t |
| Eje trasero doble rodado simple y doble (6r) | 15,50t | |
| Eje trasero doble rodado doble (8r) | 19,00t | 20,00t |
| Eje trasero triple rodado simple (6r) | 18,00t | - |
| Eje trasero triple 1 rodado simple y 2 dobles (10r) | 24,00t | - |
| Eje trasero triple 3 rodados dobles (12r) | 24,00t | 24,00t |
| Peso Bruto Total admitido | 48,00 | 46,00t * |
| Tolerancias de pesos | 500 Kg. para eje delantero y 1000 Kg para cualquiera de los ejes posteriores No existe tolerancia para el P.B.V. | - |
| Relación potencia de pesos | 6,5 IIP/t | 8IIP/t y 6,5IIP/t |

* En estudio el cambio de valores

7.2 Anexo 2

Anexo 2 Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles. Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)

| TABLA NACIONAL DE PESOS Y DIMENSIONES DE VEHICULOS DE CARGA ESADA MOTORIZADOS, REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------|--|-----------------------------|--|-------|------|
| TIPO | DISTRIBUCION MAXIMA DE CARGA POR EJE | | | DESCRIPCIÓN | PESO MÁXIMO PERMITIDO (TON) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
| | | | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2D | | | I I | Camión de 2 ejes pequeño | 7 | 5.5 | 2.6 | 3 |
| 2DA | | | I I | Camión de 2 ejes medianos | 10 | 7.5 | 2.6 | 3.5 |
| 2DB | | | I I | Camión de 2 ejes grandes | 18 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| 3-A | | | I III | Camión de 3 ejes | 27 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| 4-C | | | I IIII | Camión de 4 ejes | 31 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| 4-0 OCTOP US | | | II III | Camión con tandem direccional y tandem posterior | 34 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| V2DB | | | I I | Volqueta de 2 ejes | 18 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| V3A | | | I III | Volqueta de 3 ejes | 27 | 12.2 | 2.6 | 4.1 |
| T2 | | | I I | Tracto camión de 2 ejes | 18 | 8.5 | 2.6 | 4.1 |
| T3 | | | I III | Tracto camión de 3 ejes | 27 | 8.5 | 2.6 | 4.1 |
| R2 | | | I I | Remolque de 2 ejes | 14 | 10 | 2.6 | 4.1 |
| R3 | | | I III | Remolque de 3 ejes | 21 | 10 | 2.6 | 4.1 |
| S1 | | | I I | Semiremolque de 1 ejes | 11 | 13.2 | 2.6 | 4.1 |
| S2 | | | I II | Semiremolque de 2 ejes | 20 | 13.2 | 2.6 | 4.1 |
| S3 | | | I III | Semiremolque de 3 ejes | 24 | 13.2 | 2.6 | 4.1 |
| B1 | | | I | Remolque balanceado de 1 eje | 7 | 10 | 2.6 | 4.1 |
| B2 | | | I I | Remolque balanceado de 2 ejes | 14 | 10 | 2.6 | 4.1 |
| B3 | | | I III | Remolque balanceado de 3 ejes | 21 | 10 | 2.6 | 4.1 |

Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles. Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)

| TABLA NACIONAL DE PESO BRUTO VEHICULAR Y DIMENSIONES MÁXIMAS PERMISIBLES EN COMBINACIONES | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|--|---|-----------------------------|--|-------|------|
| TIPO | DISTRIBUCION MAXIMA DE CARGA POR EJE | | DESCRIPCIÓN | PESO MÁXIMO PERMITIDO (TON) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
| | | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2S1 | | | Tracto camión de 2 ejes y semiremolque de 1 eje | 29 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2S2 | | | Tracto camión de 2 ejes y semiremolque de 2 ejes | 38 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2S3 | | | Tracto camión de 2 ejes y semiremolque de 3 ejes | 42 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3S1 | | | Tracto camión de 3 ejes y semiremolque de 1 eje | 38 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3S2 | | | Tracto camión de 3 ejes y semiremolque de 2 ejes | 47 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3S3 | | | Tracto camión de 3 ejes y semiremolque de 3 ejes | 48 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2R2 | | | Camión remolcador de 2 ejes y remolque de 2 ejes | 32 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2R3 | | | Camión remolcador de 2 ejes y remolque de 3 ejes | 39 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3R3 | | | Camión remolcador de 3 ejes y remolque de 3 ejes | 48 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3R2 | | | Camión remolcador de 3 ejes y remolque de 2 ejes | 41 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2B1 | | | Camión remolcador de 2 ejes y remolque balanceado de 1 eje | 25 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2B2 | | | Camión remolcador de 2 ejes y remolque balanceado de 2 ejes | 32 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 2B3 | | | Camión remolcador de 2 ejes y remolque balanceado de 3 ejes | 39 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3B1 | | | Camión remolcador de 3 ejes y remolque balanceado de 1 eje | 34 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3B2 | | | Camión remolcador de 3 ejes y remolque balanceado de 2 ejes | 41 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |
| 3B3 | | | Camión remolcador de 3 ejes y remolque balanceado de 3 ejes | 48 | 20.5 | 2.6 | 4.3 |

Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles. Fuente: Artículo 4. del Acuerdo Ministerial 018 - 2016 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016)

7.3 Anexo 3

Anexo 3. Ensayos de Laboratorio de Suelos



CLASIFICACION DE SUELOS - ASTM 2487

Muestra: Calicata #1
Ubicación: Yunquill

Prof. : 0.00 - 1.50 m

Estudio Vía de Acceso a Yunquill, Calles
Proyecto: Urb. "Los Precaristas"
Solicitado por: Ing. Marta Loja, Ing. Gustavo Washima
Fecha: 01/09/2021

| | LÍMITE LÍQUIDO | | | | LÍMITE PLÁSTICO | | | HUM. NATURAL | | | HUM. GRANULOM. | | |
|-----------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| Número de tarro | 99 | 187 | 107 | 132 | 191 | 141 | 202 | 117 | 43 | 153 | 157 | 173 | 122 |
| Muestra húmeda + tarro (gr) | 28.66 | 25.76 | 27.62 | 26.50 | 21.61 | 20.33 | 22.95 | 68.72 | 69.57 | 72.49 | 82.39 | 66.85 | 82.02 |
| Muestra seca + tarro (gr) | 25.46 | 22.81 | 24.23 | 23.53 | 20.71 | 19.54 | 22.03 | 65.18 | 66.36 | 68.04 | 79.84 | 64.76 | 79.39 |
| Peso de tarro (gr) | 15.58 | 13.98 | 14.32 | 15.38 | 15.64 | 15.12 | 16.80 | 16.82 | 14.24 | 15.62 | 16.26 | 15.16 | 15.72 |
| Peso de agua (gr) | 3.20 | 2.95 | 3.39 | 2.97 | 0.90 | 0.79 | 0.92 | 3.54 | 3.21 | 4.45 | 2.55 | 2.09 | 2.63 |
| Peso muestra seca (gr) | 9.88 | 8.83 | 9.91 | 8.15 | 5.07 | 4.42 | 5.23 | 48.36 | 52.12 | 52.42 | 63.58 | 49.60 | 63.67 |
| Porcentaje de humedad | 32.4% | 33.4% | 34.2% | 36.4% | 17.8% | 17.9% | 17.6% | 7.3% | 6.2% | 8.5% | 4.0% | 4.2% | 4.1% |
| Número de golpes - Promedio | 34 | 27 | 23 | 15 | 17.8% | | | 7.3% | | | 4.1% | | |

| | |
|-------------------|-------|
| D ₁₀ = | |
| D ₃₀ = | 0.176 |
| D ₆₀ = | 7.616 |

| | |
|------------------|--|
| C _u = | |
| C _c = | |

| | |
|---------|-----|
| % Grava | 47% |
| % Arena | 27% |
| % Finos | 26% |

| | |
|----------------|-------|
| L. Líquido | 33.8% |
| L. Plástico | 17.8% |
| I. Plasticidad | 16.0% |
| H. Natural | 7.3% |
| I. Liquidez | -0.65 |

SUCS GC

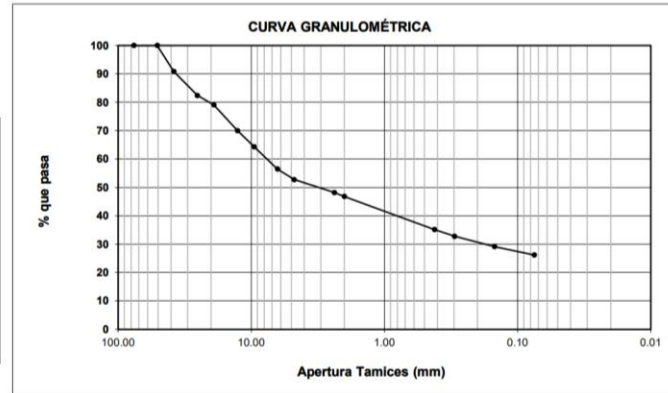
AASHTO A-2-6 (0)

Firmado digitalmente por
LUIS ANTONIO MATUTE DIAZ
Fecha: 2021.09.22 08:58:01 -05'00'

Ing. Luis Matute D.
JEFE DE LABORATORIO

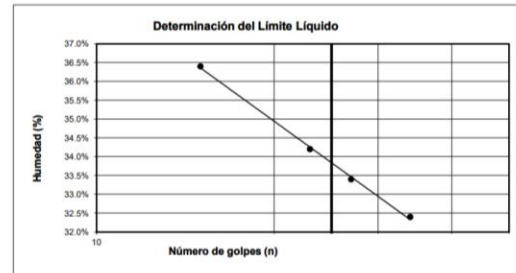
| FRACCION GRUESA | |
|---|-------|
| Peso húmedo total antes del ensayo (gr) | 2500 |
| Peso húmedo total después del ensayo (gr) | 2496 |
| Error | 0.16% |
| Humedad de material que pasa # 4 | 4.1% |
| Peso seco total después del ensayo (gr) | 2447 |

| Tamiz | Apertura Tamiz (mm) | Peso ret. parcial (gr) | Peso ret. correg. (gr) | Peso ret. acumu. (gr) | % retenido | % que pasa |
|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------|------------|
| 3" | 76.20 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50.80 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.10 | 224 | 224 | 224 | 9.2 | 90.8 |
| 1" | 25.40 | 207 | 207 | 431 | 17.6 | 82.4 |
| 3/4" | 19.10 | 81 | 81 | 512 | 20.9 | 79.1 |
| 1/2" | 12.70 | 222 | 222 | 734 | 30.0 | 70.0 |
| 3/8" | 9.52 | 139 | 139 | 873 | 35.7 | 64.3 |
| 1/4" | 6.35 | 192 | 192 | 1065 | 43.5 | 56.5 |
| Nº 4 | 4.76 | 91 | 91 | 1156 | 47.2 | 52.8 |
| PASA Nº 4 | | 1340 | 1344 | | | |



| FRACCION FINA | |
|---|--------|
| Peso para lavado de material que pasa #4 (gr) | 500 |
| Peso seco antes de lavado (gr) | 480.31 |
| Peso seco después de lavado (gr) | 242.50 |
| Peso seco total después del ensayo | 242.90 |
| Error | 0.16% |

| Tamiz | Apertura Tamiz (mm) | Peso ret. parcial (gr) | Peso ret. correg. (gr) | Peso ret. acumu. (gr) | Porcentaje retenido | Porcentaje que pasa | Liga % que pasa |
|--------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Nº 8 | 2.38 | 41.7 | 41.7 | 41.7 | 8.7 | 91.3 | 48.2 |
| Nº 10 | 2.00 | 12.7 | 12.7 | 54.4 | 11.3 | 88.7 | 46.8 |
| Nº 40 | 0.42 | 106.7 | 106.3 | 160.7 | 33.5 | 66.5 | 35.1 |
| Nº 50 | 0.297 | 21.3 | 21.3 | 182.0 | 37.9 | 62.1 | 32.8 |
| Nº 100 | 0.149 | 33.1 | 33.1 | 215.1 | 44.8 | 55.2 | 29.1 |
| Nº 200 | 0.075 | 26.6 | 26.6 | 241.7 | 50.3 | 49.7 | 26.2 |
| FONDO | | 0.8 | 238.6 | 480.3 | 100.0 | | |



Nota: Para la granulometría de serie fina y serie gruesa se considera la humedad de granulometría.



ENSAYO DE CBR - ASTM D 1883

Muestra: Calicata # 1
Ubicación: Yunguil
Profundidad: 0.00-1.50 m

Estudio Vía de Acceso a Yunguil, Calles Urb. "Los
Proyecto: Precaristas"
Solicitado por: Ing. Marta Loja, Ing. Gustavo Washima
Fecha: 1-sep.-21

| | | | |
|--|--------|--------|--------|
| MOLDE #: | 9 | 8 | 7 |
| Diámetro del Molde [pulg]: | 5.98 | 5.97 | 5.98 |
| Altura del Molde [pulg]: | 4.96 | 4.96 | 4.96 |
| Área del Molde [pulg ²]: | 28.13 | 28.00 | 28.13 |
| Volumen de molde [pulg ³]: | 139.63 | 139.02 | 139.63 |
| Área de pistón [pulg ²]: | 3.00 | | |
| Tasa de deformación [pulg/min] | 0.05 | | |

| DATOS DE ESPONJAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|---------------|----------------|-----------------|--------|
| FECHA | DIAS EN AGUA | HORA | MOLDE #: 9 | | | | Cant. golpes | 55 | HORA | MOLDE #: 8 | | | | Cant. golpes | 25 | HORA | MOLDE #: 7 | | | |
| | | | ESPONJAMIENTO | | | | | | | ESPONJAMIENTO | | | | | | | ESPONJAMIENTO | | | |
| | | | LECT. DIAL | ALT. MUEST. | ESPONJAMIENTO | | | | | LECT. DIAL | ALT. MUEST. | ESPONJAMIENTO | | | | | LECT. DIAL | ALT. MUEST. | ESPONJAMIENTO | |
| 0.001 pulg | pulg | pulg | % | 0.001 pulg | pulg | pulg | % | 0.001 pulg | pulg | pulg | % | | | | | | | | | |
| 5-ago.-2018 | 0.0 | 11:10 | 0 | 5.971 | 0.000 | 0.00 | 11:10 | 0 | 5.971 | 0.000 | 0.00 | 11:10 | 0 | 5.971 | 0.000 | 0.00 | | | | |
| 6-ago.-2018 | 1.0 | 11:10 | 130 | 6.101 | 0.130 | 2.18 | 11:10 | 70 | 6.041 | 0.070 | 1.17 | 11:10 | 110 | 6.081 | 0.110 | 1.84 | | | | |
| 9-ago.-2018 | 4.0 | 12:00 | 390 | 6.361 | 0.390 | 6.53 | 12:00 | 280 | 6.251 | 0.280 | 4.69 | 12:00 | 310 | 6.281 | 0.310 | 5.19 | | | | |
| 10-ago.-2018 | 4.9 | 8:00 | 400 | 6.371 | 0.400 | 6.70 | 8:00 | 300 | 6.271 | 0.300 | 5.02 | 8:00 | 320 | 6.291 | 0.320 | 5.36 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS DE PENETRACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIEMPO | PENETRACIÓN | CARGA | MOLDE #: 9 | | | | Nro. de golpes | 55 | CARGA | MOLDE #: 8 | | | | Nro. de golpes | 25 | CARGA | MOLDE #: 7 | | | |
| | | | PRESIÓN | | | | | | | PRESIÓN | | | | | | | PRESIÓN | | | |
| | | | PRESIÓN | PRESIÓN CORREG | PRESIÓN ESTÁND. | C.B.R. | | | | PRESIÓN | PRESIÓN CORREG | PRESIÓN ESTÁND. | C.B.R. | | | | PRESIÓN | PRESIÓN CORREG | PRESIÓN ESTÁND. | C.B.R. |
| min | 0.001 pulg | Lbs | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | C.B.R. | Lbs | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | C.B.R. | Lbs | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | Lbs/pulg ² | C.B.R. | | | | |
| 0.00 | 0.0 | 0 | 0.0 | | | | 0 | 0.0 | | | | 0 | 0.0 | | | | | | | |
| 0.25 | 12.5 | 28 | 9.3 | | | | 17 | 5.7 | | | | 7 | 2.3 | | | | | | | |
| 0.50 | 25.0 | 45 | 15.0 | | | | 35 | 11.7 | | | | 14 | 4.7 | | | | | | | |
| 0.75 | 37.5 | 68 | 22.7 | | | | 51 | 17.0 | | | | 21 | 7.0 | | | | | | | |
| 1.00 | 50.0 | 96 | 32.0 | | | | 67 | 22.3 | | | | 26 | 8.7 | | | | | | | |
| 1.25 | 62.5 | 115 | 38.3 | | | | 81 | 27.0 | | | | 29 | 9.7 | | | | | | | |
| 1.50 | 75.0 | 135 | 45.0 | | | | 90 | 30.0 | | | | 31 | 10.3 | | | | | | | |
| 1.75 | 87.5 | 154 | 51.4 | | | | 101 | 33.7 | | | | 34 | 11.3 | | | | | | | |
| 2.0 | 100 | 170 | 56.7 | 56.7 | 1000 | 5.7 | 114 | 38.0 | 38.0 | 1000 | 3.8 | 38 | 12.7 | 12.7 | 1000 | 1.3 | | | | |
| 2.5 | 125 | 203 | 67.7 | | | | 132 | 44.0 | | | | 43 | 14.3 | | | | | | | |
| 3.0 | 150 | 221 | 73.7 | | | | 145 | 48.4 | | | | 50 | 16.7 | | | | | | | |
| 3.5 | 175 | 241 | 80.4 | | | | 161 | 53.7 | | | | 54 | 18.0 | | | | | | | |
| 4.0 | 200 | 256 | 85.4 | 85.4 | 1500 | 5.7 | 174 | 58.0 | 58.0 | 1500 | 3.9 | 60 | 20.0 | 20.0 | 1500 | 1.3 | | | | |
| 5.0 | 250 | 281 | 93.7 | | | | 189 | 63.0 | | | | 70 | 23.3 | | | | | | | |
| 6.0 | 300 | 307 | 102.4 | | | | 202 | 67.4 | | | | 77 | 25.7 | | | | | | | |
| 7.0 | 350 | 329 | 109.7 | | | | 218 | 72.7 | | | | 87 | 29.0 | | | | | | | |
| 8.0 | 400 | 353 | 117.7 | | | | 225 | 75.0 | | | | 94 | 31.3 | | | | | | | |
| 9.0 | 450 | 376 | 125.4 | | | | 236 | 78.7 | | | | 100 | 33.3 | | | | | | | |
| 10.0 | 500 | 395 | 131.7 | | | | 245 | 81.7 | | | | 108 | 36.0 | | | | | | | |

Firmado digitalmente por
LUIS ANTONIO MATUTE DIAZ
Fecha: 2021.09.22 08:50:43
+05'00'

Ing. Luis A. Matute Diaz - JEFE DE LABORATORIO

Luis Sarmiento 1-86 y Miguel Cordero
Cuenca - Azuay - Ecuador

geolabucuenca@gmail.com

Teléfono: +593 7 403 9379

Proyecto: Estudio Vía de Acceso a Yunguil, Calles Urb. "Los Precaristas"

Muestra: Calicata # 1

Profundidad: 0.00-1.50 m

Solicitado por: Ing. Marta Loja, Ing. Gustavo Washima

Descripción: Grava arcillosa

| Características del Ensayo | | Características del Molde | |
|----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|
| Método: | D | Molde No.: | I |
| Material Pasante: | 3/4" | Peso Molde: | 6550 gr |
| Peso Martillo: | 10 lbs | Diámetro Molde: | 15.184 cm |
| Altura de caída: | 18 pulg | Altura Molde: | 11.64 cm |
| # de Capas: | 5 | Área Molde: | 181.08 cm ² |
| Golpes por Capa: | 56 | Volumen Molde: | 2107.73 cm ³ |

Datos Ensayo

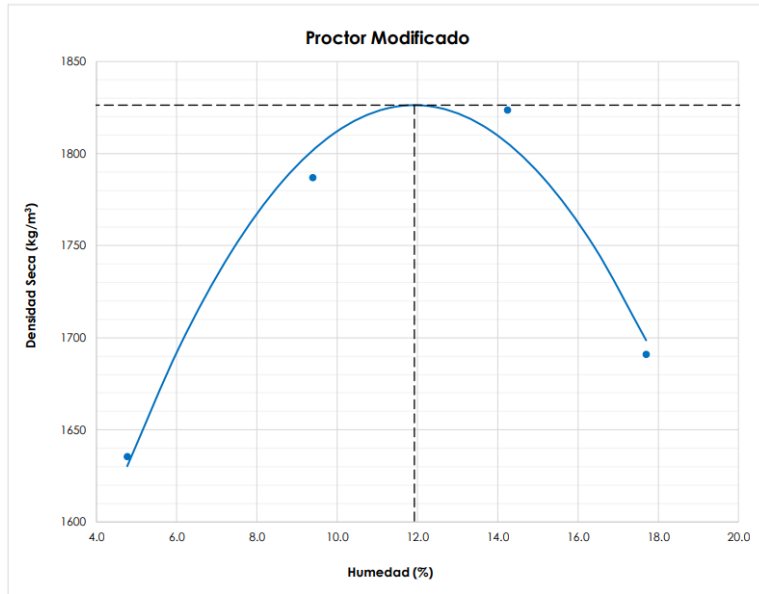
| Muestra No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Molde + Suelo Húmedo (gr) | 10161 | 10670 | 10941 | 10745 |
| Peso Suelo Húmedo (gr) | 3611 | 4120 | 4391 | 4195 |
| Densidad Húmeda (kg/m ³) | 1713 | 1955 | 2083 | 1990 |

Humedades

| Cápsula #: | 191 | 99 | 177 | 158 | 132 | 138 | 175 | 25 | 20 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cápsula + Suelo Húmedo (gr) | 78.34 | 74.44 | 67.60 | 67.86 | 70.66 | 60.44 | 68.51 | 47.16 | 44.95 |
| Cápsula + Suelo Seco (gr) | 75.41 | 71.95 | 65.08 | 63.29 | 65.94 | 54.88 | 61.93 | 41.08 | 39.23 |
| Peso de la Cápsula (gr) | 15.65 | 15.58 | 14.80 | 15.39 | 15.38 | 16.06 | 15.66 | 6.48 | 7.17 |
| Peso de Agua (gr) | 2.93 | 2.49 | 2.52 | 4.57 | 4.72 | 5.56 | 6.58 | 6.08 | 5.72 |
| Peso de Suelo Seco (gr) | 59.76 | 56.37 | 50.28 | 47.90 | 50.56 | 38.82 | 46.27 | 34.60 | 32.06 |
| Contenido de Humedad (%) | 4.9 | 4.4 | 5.0 | 9.5 | 9.3 | 14.3 | 14.2 | 17.6 | 17.8 |

Resultados

| | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|
| Humedad Promedio (%) | 4.8 | 9.4 | 14.3 | 17.7 |
| Densidad Seca (kg/m ³) | 1635 | 1787 | 1823 | 1691 |



Humedad Óptima: 11.9 %

Densidad Seca Máxima: 1826 kg/m³

LUIS ANTONIO MATUTE DIAZ
Firmado digitalmente por LUIS ANTONIO MATUTE DIAZ
Fecha: 2021.10.19 13:13:39 -05'00'

Ing. Luis A. Matute Díaz, MS
Jefe de Laboratorio

7.4 Anexo 4

Anexo 4. Planos de Diseño Geométrico

