



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía.

**DISEÑO DE 3360m DE PAVIMENTO ARTICULADO Y OBRAS DE DRENAJE
COMPLEMENTARIAS EN EL TRAMO DE CAMINO LOS PUNTALITOS – VALLE
EL LIMÓN.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Yeslieth Karolina Solano Salguera. 2010-36089

Br. Enmanuel Pérez Martínez. 2010-34236

Br. Lesther Jossué Blandón Picado. 2010-34198

Tutor

Ing. Ajax Santiago Moncada Castillo

Managua, Noviembre 2016

Dedicatoria

A Dios:

Quien nos ha guiado en todo el transcurso de nuestra carrera, nos ha dado salud, nos ha llenado de fuerzas, sabiduría y nos ha regalado bendiciones cada día, sin esto no hubiera sido posible llegar a este punto tan importante en nuestras vidas y por estar con nosotros en todo momento

A nuestros Padres:

Por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por brindarnos su apoyo con los recursos necesarios para terminar nuestra carrera. Muchas gracias por ser esos seres especiales que nos han dado todo lo que somos como persona, nuestros valores, principios, carácter, empeño, perseverancia; Los amamos.

A nuestros hermanos:

Porque estaban ahí cuando los necesitábamos, porque siempre creyeron en nosotros, por motivarnos y por tener siempre su cariño incondicional.

Agradecimiento.

Agradecemos primero y sobre todo a Dios todo poderoso, por brindarnos el don de la vida y por permitirnos llegar a esta etapa de nuestros estudios, ya que sin él no podemos hacer nada porque todo lo que hacemos es por su infinita misericordia.

A nuestros padres y familiares, que nos brindan su apoyo y nos alientan a seguir siempre adelante, dándonos su apoyo incondicional.

A la alcaldía municipal de Jalapa, en especial al departamento de proyectos por brindarnos información necesaria para nuestro trabajo y por apoyarnos en lo que respectan los viáticos al realizar el estudio topográfico.

Resumen del Tema.

Este trabajo Monográfico consta de IX capítulos, donde cada uno aborda un tema específico.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

Este capítulo aborda las generalidades del proyecto, como: Introducción, localización del proyecto, antecedentes, justificación, objetivos y ubicación.

CAPITULO II.: ESTUDIO TOPOGRAFICO

En este capítulo se especifica como se hizo el levantamiento topográfico, y como se procedió a usar el Programa Civil 3D

CAPÍTULO III: ESTUDIO HIDROLÓGICO.

El desarrollo de este capítulo comprende un estudio hidrológico, donde se determinó el caudal de diseño de la obra de drenaje vial, que puede ser igualado o excedido a una probabilidad de ocurrencia, lo cual se analizó para un periodo de retorno.

CAPITULO IV: DISEÑO DE OBRAS HIDRAULICAS

Este capítulo comprende el dimensionamiento de las obras hidráulicas complementarias transversales y longitudinales de la vía con los caudales de diseño.

CAPÍTULO V: ESTUDIO DE SUELO.

Este capítulo contempla la descripción de la geología de la localidad, resultados de laboratorio de suelos y datos necesarios para el diseño de las estructuras posteriores.

CAPÍTULO VI: ESTUDIO DE TRÁNSITO.

Examina el estudio de tráfico en el tramo carretero obtenido mediante un aforo manual conociendo así el volumen y composición vehicular. Luego se determinó el tránsito promedio diario anual (TPDA) utilizando los factores de ajustes, el Tráfico

Promedio Diario Anual (TPDA) y crecimiento Poblacional, para determinar la tasa de crecimiento a utilizar.

CAPITULO VII: SEÑALIZACIÓN VIAL.

Este estudio comprende, de los diferentes tipos de señales de tránsito en todo el tramo a diseñar, haciendo un análisis cuidadoso.

CAPÍTULO VIII: DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO.

El diseño de la estructura de pavimento se realizó utilizando el método que plantea la AASHTO-93, aplicando criterios de diseño para determinar los diferentes espesores con que estará conformada la estructura de pavimento.

CAPÍTULO IX: PRESUPUESTO.

El Presupuesto del Proyecto consiste en una serie de costos que determinaran la factibilidad de la obra a ejecutarse

Contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo I. Generalidades. | 1 |
| 1.1 Introducción. | 1 |
| 1.2 Antecedentes. | 2 |
| 1.3 Justificación. | 3 |
| 1.4 Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.5 Ubicación..... | 5 |
| Capitulo II. Estudio Topográfico | 6 |
| 2.1 Introducción | 6 |
| 2.2 Diseño Geométrico y Calculo en Software Civil-3D | 7 |
| 2.2.1 Procedimiento de Diseño | 7 |
| Capitulo III. Estudio Hidrológico. | 9 |
| 3.1 Introducción..... | 9 |
| 3.2 Marco Teórico..... | 10 |
| 3.2.1 Estudios Hidrológicos..... | 10 |
| 3.2.2 Método Racional. | 10 |
| 3.2.3 Hidrología y Geomorfología de la Cuenca de la Quebrada El Limón.... | 13 |
| 3.3 Metodología..... | 16 |
| 3.3.1 Hidrometeorologia..... | 16 |
| 3.3.2 Intensidad de la lluvia de diseño | 20 |
| 3.3.3 Tiempo de concentración..... | 21 |
| 3.3.4 Coeficiente de escorrentía | 22 |
| 3.3.5 Tránsito de avenida por hidrograma triangular | 24 |
| 3.3.6 Cálculo de caudales de sub cuencas para el diseño de cunetas. | 26 |
| Capítulo IV. Diseño de Obras Hidráulicas de Drenaje | 29 |
| 4.1 Introducción. | 29 |
| 4.2 Marco Teórico | 30 |
| 4.2.1 Cunetas..... | 30 |
| 4.2.2 Vados. | 30 |

| | | |
|--------------|---|----|
| 4.2.3 | Coeficiente de Manning..... | 30 |
| 4.2.4 | Número de Froude: | 31 |
| 4.3 | Metodología de Diseño de Cuneta..... | 32 |
| 4.4. | Resultados | 33 |
| 4.4.1 | Dimensionamiento de cunetas de acuerdo al caudal de diseño de cada sub-cuenca. | 33 |
| 4.4.2 | Vados. | 34 |
| Capítulo V. | Estudio de Suelo. | 35 |
| 5.1 | Introducción..... | 35 |
| 5.2 | Marco Teórico..... | 35 |
| 5.2.1 | Suelos. | 35 |
| 5.2.2 | Ensayes de laboratorio..... | 35 |
| 5.2.3 | Análisis Granulométrico..... | 36 |
| 5.2.4 | Límites de Atterberg. | 36 |
| 5.2.5 | Próctor Estándar..... | 36 |
| 5.2.6 | Determinación de la resistencia de los suelos (CBR)..... | 37 |
| 5.2.7 | Método de clasificación de Suelo | 37 |
| 5.3 | Geología | 38 |
| 5.3.1 | Recolección de información geológica existente | 38 |
| 5.3.2 | Verificación-Geología en campo..... | 39 |
| 5.4 | Estudio Geotécnico | 41 |
| 5.4.1 | Introducción. | 41 |
| 5.4.2 | Metodología | 42 |
| 5.4.3 | Resultados Obtenido de los Ensayes de Laboratorio. | 49 |
| Capítulo VI. | Estudio de Tránsito..... | 52 |
| 6.1 | Introducción..... | 52 |
| 6.2 | Marco teórico..... | 53 |
| 6.2.1 | Tránsito. | 53 |
| 6.2.2 | Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). | 53 |
| 6.2.3 | Tasas de Crecimiento. | 54 |
| 6.2.4 | Tránsito de Diseño. | 54 |

| | |
|--|----|
| 6.2.5 Factor de Crecimiento (FC)..... | 54 |
| 6.2.6 Factor de distribución por sentido (fds)..... | 55 |
| 6.2.7 Factor por Distribución por Carril (fc)..... | 55 |
| 6.2.8 Tránsito proyectada..... | 55 |
| 6.2.9 Esal's..... | 55 |
| 6.3 Metodología..... | 56 |
| 6.3.1 Recopilación de información..... | 56 |
| 6.3.2 Volumen y Clasificación..... | 56 |
| 6.3.3 Tasas de Crecimiento..... | 56 |
| 6.3.4 Tráfico de Diseño..... | 63 |
| 6.3.5 Período de Diseño (PD)..... | 63 |
| 6.3.6 Factor de Crecimiento (FC)..... | 63 |
| 6.3.7 Factor Distribución Por Dirección (FD)..... | 64 |
| 6.3.8 Factor Distribución Por Carril (fc)..... | 64 |
| 6.3.9 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po)..... | 64 |
| 6.3.10 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt)..... | 65 |
| 6.3.11 Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI)..... | 65 |
| 6.3.12 Número Estructural Asumido (SN)..... | 65 |
| 6.3.13 Ejes Equivalentes (ESAL o W18)..... | 65 |
| 6.4 Resultados..... | 65 |
| 6.4.1 Recopilación de información..... | 65 |
| 6.4.2 Clasificación vehicular promedio..... | 67 |
| 6.4.3 Tráfico de Diseño..... | 68 |
| Capitulo VII. Señalización Vial..... | 71 |
| 7.1 Introducción..... | 71 |
| 7.2 Marco Teórico..... | 71 |
| 7.2.1 Dispositivos de control de tránsito..... | 71 |
| 7.2.2 Señales Verticales de Transito..... | 71 |
| 7.2.3 Señalización Horizontal..... | 73 |
| 7.3 Señalización en la Vía..... | 74 |
| 7.3.1 Señales Verticales..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| 7.3.2 Señales Horizontales..... | 80 |
| Capítulo VIII. Diseño de Pavimento Articulado..... | 81 |
| 8.1 Introducción..... | 81 |
| 8.2 Marco Teórico..... | 82 |
| 8.2.1 Estructura de Pavimento..... | 82 |
| 8.2.2 Clasificación de los pavimentos..... | 82 |
| 8.2.3 Elementos de la estructura de Pavimento Articulado..... | 83 |
| 8.2.4 Método de diseño de Pavimento..... | 83 |
| 8.2.5 Confiabilidad R | 84 |
| 8.2.6 Desviación Estándar (S_0)..... | 84 |
| 8.2.7 Coeficiente de Drenaje..... | 85 |
| 8.2.8 Número Estructural Requerido..... | 85 |
| 8.2.9 Geometría Vial..... | 85 |
| 8.3 Metodología..... | 87 |
| 8.3.1 Confiabilidad(R)..... | 87 |
| 8.3.2 Desviación Estándar (S_0)..... | 87 |
| 8.3.3 Coeficiente de drenaje (m)..... | 87 |
| 8.4 Resultados..... | 88 |
| 8.4.1 CBR de diseño..... | 88 |
| 8.4.2 Módulo de Resiliencia de la sub-rasante (MR)..... | 89 |
| 8.4.3 Coeficientes Estructurales..... | 89 |
| 8.4.4 Número Estructural Requerido..... | 93 |
| 8.4.5 Espesores de la estructura de pavimento..... | 96 |
| Capitulo IX. Presupuesto..... | 98 |
| 9.1 Introducción..... | 98 |
| Conclusiones..... | 102 |
| Recomendaciones..... | 104 |
| Bibliografía..... | 105 |

Contenido de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura N°1 Macro Localización | 5 |
| Figura N°2 Micro Localización | 5 |
| Figura N°3 Cuenca Valle El Limón | 15 |
| Figuras N°4 Curvas IDF | 19 |
| Figura N°5 Hidrograma Cuenca 1 | 24 |
| Figura N°6 Hidrograma Cuenca 2 | 24 |
| Figura N°7 Hidrograma Cuenca 3 | 25 |
| Figura N°8 Hidrograma Cuenca 3 | 25 |
| Figura N°9 Hidrograma Sub Cuenca 1 | 28 |
| Figura N°10 Hidrograma Sub Cuenca 2 | 28 |
| Figura N°11 Cuneta Triangular 1 | 33 |
| Figura N°12 Cuneta Triangular 2 | 33 |
| Figura N°13 Estatigrafía del Valle “El Limon”, Jalapa – Nueva Segovia | 39 |
| Figura N°14 Estatigrafía del Valle “El Limon”, Jalapa – Nueva Segovia | 39 |
| Figura N°15 Deterioro de las calles del valle “El Limon” | 40 |
| Figura N°16 Deterioro de las calles del valle “El Limon” | 40 |
| Figura N°17 Perfil Estratigrafico | 50 |
| Figura N°18 Relación TPDA – PIB y TPDA – Población. | 61 |
| Figura N°19 Composicion Vehicular | 67 |
| Figura N°20 Estacion 0+000 | 74 |
| Figura N°21 Estacion 2+660 | 74 |
| Figura N°22 Estacion 0+140 | 75 |
| Figura N°23 Estacion 1+320 | 75 |
| Figura N°24 Estacion 0+960 | 76 |
| Figura N°25 Estacion 1+440 | 76 |
| Figura N°26 Estacion 1+580 | 77 |
| Figura N°27 Estacion 0+480 | 77 |
| Figura N°28 Estacion 1+460 | 78 |
| Figura N°29 Estacion 2+060 | 78 |
| Figura N°30 Estacion 2+940 | 79 |
| Figura N° 31 Línea Amarilla Continua | 80 |
| Figura N°32 Cálculo de CBR de Diseño | 88 |
| Figura N°33 Estructura del Pavimento | 90 |
| Figura N°34 Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural a_2 y MR para la base granular estabilizadas con Suelo Cemento. | 91 |
| Figura N°35 Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural a_3 y MR para la sub-base granular. | 92 |
| Figura N°36 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Sub base | 93 |
| Figura N°37 Programa de la Ecuación AASHTO 93 | 93 |
| Figura N°38 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Base | 94 |
| Figura N°39 Programa de la Ecuación AASHTO 93 | 94 |
| Figura N°40 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Sub Rasante | 95 |
| Figura N°41 Programa de la Ecuación AASHTO 93 | 95 |
| Figura N°42 Estructura de Pavimento. | 97 |

Contenido de Tablas

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla N°1 Parámetros Hidrológicos</i> | 16 |
| <i>Tabla N°2 Estadísticos Encontrados</i> | 17 |
| <i>Tabla N°3 Tabla de intensidad-Duración-Frecuencia</i> | 18 |
| <i>Tabla N°4 Resumen de aplicación de Regresión Potencial</i> | 20 |
| <i>Tabla N°5 Tabla Regresión Potencial.</i> | 21 |
| <i>Tabla N°6 Tiempo de Concentración.</i> | 22 |
| <i>Tabla N°7 Coeficiente de Escorrentía.</i> | 22 |
| <i>Tabla N°8 Método Racional.</i> | 23 |
| <i>Tabla N°9 Tabla de Caudales</i> | 24 |
| <i>Tabla N°10 Coeficiente de infiltración por pendiente.</i> | 26 |
| <i>Tabla N°11 Coeficiente de infiltración por cobertura vegetal.</i> | 26 |
| <i>Tabla N°12 Coeficiente de Infiltración por cobertura de Suelo.</i> | 26 |
| <i>Tabla N°13 Coeficiente de Escorrentía</i> | 27 |
| <i>Tabla N°14 Coeficiente de Irrigación</i> | 27 |
| <i>Tabla N°15 Caudales de Cunetas Triangulares</i> | 27 |
| <i>Tabla N°16 Tabla de Caudales Picos.</i> | 28 |
| <i>Tabla N°17 Diámetros de las aberturas de los tamices (mm)</i> | 44 |
| <i>Tabla N°18 Evolución histórica del PIB</i> | 57 |
| <i>Tabla N°19 Datos Históricos TPDA</i> | 58 |
| <i>Tabla N°20. Tasa decrecimiento Poblacional</i> | 59 |
| <i>Tabla N°21. Registro Históricos del TPDA, Población Y PIB</i> | 60 |
| <i>Tabla N°22 Tasas de crecimiento del PIB, TPDA y Población</i> | 61 |
| <i>Tabla N°23 Elasticidades resultantes de las correlaciones</i> | 62 |
| <i>Tabla N°24. Tasa de Crecimiento Afectada por la elasticidad</i> | 62 |
| <i>Tabla N°25 Factor distribución por dirección.</i> | 64 |
| <i>Tabla N°26 Factor de distribución por carril.</i> | 64 |
| <i>Tabla N°27 Promedio de aforo vehicular en ambos sentidos.</i> | 66 |
| <i>Tabla N°28 Resultado del TPDA con factores de ajustes para el tramo (La Mía – El Júcaro)</i> | 66 |
| <i>Tabla N°29 Tráfico de Diseño</i> | 69 |
| <i>Tabla N°30 Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño</i> | 70 |
| <i>Tabla N°31 Características propuestas de Diseño Geométrico de la vía</i> | 86 |
| <i>Tabla N°32 Calculo del Percentil</i> | 88 |
| <i>Tabla N°33. Tabla de Datos para encontrar el número Estructural</i> | 92 |
| <i>Tabla N°34 Espesores de Pavimentos</i> | 97 |
| <i>Tabla N°35 Take Off de Materiales</i> | 99 |
| <i>Tabla N°36 Gasto de Renta de Equipos</i> | 100 |
| <i>Tabla N°37 Detalle de Mano de Obra</i> | 100 |
| <i>Tabla N°38 Presupuesto General</i> | 101 |

Capítulo I. Generalidades.

1.1 Introducción.

El crecimiento económico del municipio de Jalapa ha permitido un avance significativo en la calidad de la red vial y es notable el buen estado de la carretera regional que lo comunica con otros municipios. Lamentablemente la situación no es la misma si nos referimos a los caminos rurales que comunican a las pequeñas comunidades y centros poblados concentrados del municipio, entre ellas El Limón.

El Limón es un pueblo ubicado en las cercanías del municipio de Jalapa, que cuenta con una población mayor a 3000 habitantes, que se caracterizan por ser personas trabajadoras, humildes y hospitalarias.

La población económicamente activa de El Limón basa sus ingresos en el cultivo de productos como el café y el tabaco, y en menor parte a la extracción, transporte y procesamiento de madera, pero el deterioro del tramo de camino que los une a la entrada por la Comunidad Los Puntalitos y por la Comunidad de Santa Bárbara, ha provocado el aumento de los costos de comercialización de sus mercancías.

El problema se agrava por la inexistencia de obras de drenaje y el inadecuado encausamiento de aguas torrenciales, en unos suelos en extremo sensibles a la acción erosiva del agua, acelerando el daño a la sección de camino.

Lo anterior convirtió la restauración de sus caminos de acceso en prioridad para los residentes que exigen una solución a la Alcaldía Municipal de Jalapa.

Este documento contiene los estudios básicos, análisis y diseño final de obras ingenieriles que permitan mejorar el sistema vial que comunica al “Valle El Limón”.

Para la superficie de rodamiento con pavimento articulado se utilizará los criterios y normas técnicas de la AASHTO 93.

1.2 Antecedentes.

La Localidad del Valle El Limón pertenece al Municipio de Jalapa y está situada a 16 km al suroeste de la cabecera municipal, a 60 km al noroeste de la cabecera departamental y 286 km al norte de la ciudad capital. Se localiza sobre las coordenadas 13° 50' 30" de Latitud Norte y 86° 09' 30" de Longitud Oeste.

La única vía de acceso a la comunidad es la carretera Ocotal – Jalapa, la cual se encuentra adoquinada y en buen estado hasta el empalme de Puntalito, continuando a partir de ahí, en un camino de tierra actualmente en mal estado. Otro acceso a la comunidad El Limón parte de la Comunidad Santa Bárbara, a orillas de la carretera Ocotal-Jalapa hasta la comunidad. Este camino fue destruido totalmente por las lluvias de los últimos años.

El transporte es irregular, un autobús de transporte público realiza un solo viaje diario de Jalapa hacia esta comunidad.

Con el transcurso de los años se han presentado afectaciones en el tramo de camino a diseñar, los daños más visibles son surcos que se formaron a la orilla del camino socavando los lados de la vía, reduciendo el ancho de la calzada afectando gravemente el tránsito en la zona.

La carretera se halla en un crítico estado de deterioro y cada año en la temporada de lluvias es seriamente afectada, ya que en la estación 1+700 hay una quebrada y cuando es temporada de invierno su caudal aumenta considerablemente dejando completamente incomunicados a la población porque no hay obras de drenaje que controlen el flujo del agua.

Según información brindada por la Alcaldía Municipal de Jalapa en años anteriores se realizaron trabajos de mantenimiento vial y mejoramiento con revestimiento de material selecto en algunos tramos de la carretera como respuesta a las demandas de los pobladores de la comunidad, posteriormente en las épocas de invierno se vuelve a presentar el mismo problema, ya que el tipo de suelo es bastante sensible a la acción del agua.

La alternativa para dar solución al problema antes mencionado que viven los pobladores, es realizar el diseño de la estructura de pavimento con adoquines, así como, las obras de drenaje menor garantizando un acceso seguro hacia la comunidad.

1.3 Justificación.

Gran parte del desarrollo socio-económico de una comunidad empieza con una estructura vial que una los puntos de producción y consumo, que en base a sus condiciones se vuelve un factor determinante en los costos de transporte y comercialización. Para un pueblo en evidente aumento poblacional y cuyo principal rubro es la agricultura la demanda de un sistema vial en buenas condiciones es incuestionable.

En Nicaragua la mayor parte de la población rural no tiene acceso a caminos pavimentados y a pesar de que en la última década se ha logrado disminuir este déficit aún hay cifras significativas de insuficiencia vial. Los pobladores de El Limón han visto satisfechas sus necesidades de los servicios de agua potable y energía, y citan que el acceso seguro a la comunidad es uno de los principales aspectos que inhiben el desarrollo económico.

El tema adquiere importancia debido a las crecientes lluvias producto del cambio climático, la inexistencia de obras de drenaje e infraestructura vial acompañado de la erodabilidad e inestabilidad del suelo ante el efecto del agua, dificultando la accesibilidad hacia la comunidad. Estos factores han creado surcos a lo largo del camino rural, incluyendo las calles principales de la comunidad y le dan un aspecto de avanzado deterioro y si el problema no es tratado a tiempo los daños por erosión inhabilitarán el acceso a la comunidad.

De lo expuesto anteriormente, surge la idea de este trabajo, **“Diseño de pavimento articulado y obras de drenaje complementarias en 3360 m del Camino Los Puntalitos – Valle El Limón”** que beneficiando a la comunidad de El Limón, facilite el trabajo de la alcaldía Municipal de Jalapa, en su búsqueda de recursos económicos para su construcción como una solución definitiva al problema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseño de 3.36 km de pavimento articulado y obras hidráulicas, de la entrada de Puntalitos hasta La Reforma en la comunidad del “Valle El Limón” en el departamento de Jalapa Nueva Segovia, tomando en cuenta el presupuesto general de la obra.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❏ Realizar los estudios básicos de ingeniería, estudio topográfico, hidrológico e hidráulico, geológico, geotécnico, de tránsito, y de señalización con fines de establecimiento de especificaciones de diseño de las obras de infraestructura vial e hidráulicas.
- ❏ Diseñar el pavimento articulado de 3360 m de longitud por el método manual de la AASHTO 93, de acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios básicos de ingeniería.
- ❏ Establecer los costos formulando el presupuesto para la realización del proyecto.

1.5 Ubicación

Figura N°1 Macro Localización

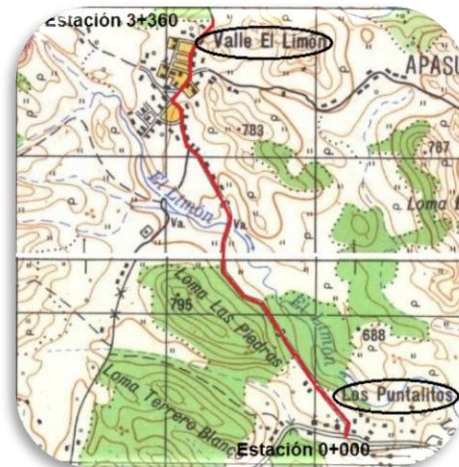


Fuente: Elaboración Propia.

La ciudad de Jalapa se encuentra ubicada en el departamento de nueva Segovia.

Figura N°2 Micro Localización

Leyenda.
—
Alcance del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Capitulo II. Estudio Topográfico

2.1 Introducción

Sin algún antecedente de estudios topográficos previos del tramo de carretera en análisis era necesaria la tarea de realizar el levantamiento topográfico de la zona. Debido a que la alcaldía municipal de Jalapa no cuenta con equipo topográfico fue necesario realizar la gestión con la alcaldía municipal de Estelí, que accedió a prestar el equipo y con el apoyo del operario – topógrafo del área de Proyectos – se procedió a realizar el estudio.

Con el uso de GPS se determinaron las coordenadas UTM y se definió la estación 0+000, en este caso, el empalme de Los Puntalitos. El equipo topográfico utilizado fue una Estación Total SOKKIA y un par de bastones con su Prisma, además cinta métrica manual de 10 m y libreta de anotación.

Se instaló el instrumento en el punto de inicio del proyecto, y a partir de ahí se tomó lectura del mojón de referencia M1. El procedimiento de levantamiento consistió en tomar hasta 7 lecturas de puntos en secciones transversales cada 20m, y se realizaron puntos de cambio de instrumento según las condiciones topográficas y de visibilidad. Fue indispensable medir las alturas de instrumento con cinta métrica y tomar lectura de espalda hacia PI previos.

Se definieron otros 2 mojones a lo largo del tramo y se tomaron puntos de referencia importantes, como postes de energía eléctrica, medidores, hidrantes, lugares reconocidos entre otros. Cabe destacar que se realizó un levantamiento exclusivo en el área de la quebrada que cruza el tramo de camino, para fines de diseño de obras hidráulicas, se hicieron lecturas 100m aguas arriba y 100m aguas abajo en una sección transversal de 30m aproximadamente.

Una vez concluido el levantamiento topográfico in situ se procedió a importar los puntos a un software de diseño vial, CIVIL 3D. En total se importaron más de 1,300 puntos, permitiendo reconocer las características topográficas de la zona para poder avanzar al diseño geométrico y estructural de la carretera.

2.2 Diseño Geométrico y Calculo en Software Civil-3D

El AutoCAD Civil 3D es una herramienta de cálculo y diseño muy útil en el desarrollo de diseño de sitio, diseño urbanístico, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información para ingeniería civil.

La característica principal es que esta creado por AUTODESK, es decir, tiene comandos y funciones similares, más, otras dedicadas específicamente a infraestructura civil. Es un programa que sirve para crear proyecciones y planos, pero como es en 3d, también figuras y todo tipo de formas, los principales objetivos, por ser AutoCAD civil, debe ser apoyar la labor de los ingenieros civiles con alguna que otra opción única de esta versión del programa

2.2.1 Procedimiento de Diseño

Primeramente se importan los puntos del levantamiento topográfico realizado en campo al software Civil-3D. Este es el punto de partida para proceder al diseño. Dentro del Software es posible crear una superficie que denominamos "Superficie de Terreno Natural" que nos permite observar las características topográficas del terreno mediante las curvas de nivel.

Antes de crear el alineamiento del eje principal del proyecto es importante conocer ciertas características del camino:

1. El terreno es "Ondulado" según la clasificación de la SIECA definido en el cuadro 4.7 (**Ver anexo, Tabla N° I Clasificación de los terrenos en función de las pendiente naturales, Pág. I**), que caracteriza los terreno de acuerdo a sus pendientes naturales, en este caso, las pendiente se encuentran entre el 5% y 15% mayormente. También por razones topográficas se consideran peraltes mayores al 10%.
2. La Velocidad de Diseño determinada para este proyecto es de 40 km/h.
3. Por su funcionalidad, la carretera se considera Colectora Rural según cuadro 3.1 de la SIECA (**Ver anexo, Tabla N° II Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Pág. I**) con TPDA menor a 500, por lo tanto, se diseñara únicamente para dos carriles (uno por dirección).

Se traza el eje de la carretera con tangentes y curvas, adecuándolo lo más posible a las condiciones topográficas actuales. Cabe destacar que ya existe un alineamiento, que es el camino que comunica la carretera regional que va a Jalpa con el Valle El Limón, por lo tanto, el diseño consiste solo en modificar levemente el trazado existente.

Esto se hará ajustando los radios de las curvas a los parámetros establecidos por la SIECA en el cuadro 4.10, los radios aumentan proporcionalmente a las velocidades de diseño y a los peraltes, como se observa en dicho cuadro (**Ver anexo, Tabla N° III Radios mínimos para distintas Velocidades de Diseño, Pág. II**), dicho anteriormente, la velocidad de diseño para este proyecto es de 40 km/h lo que significa que se necesita un radio mínimo de 45m, un valor alto para

algunas curvas del trazado, por lo que se trabajara con velocidades diseño menores en ciertos tramos para efectos de diseño en Civil3D.

Una vez definido el eje terminado del Proyecto (Proyección de línea central en planta que indica la trayectoria de la carretera), es posible mediante el software conocer puntos geométricos de cada curva, tales como los radios de las curvas (**R**), la media ordenada (**M**), punto de comienzo (**PC**) y punto de termino (**PT**), punto de intersección de la prolongación de tangentes (**PI**), externa (**E**), Longitud de la Curva (**Lc**) entre otros. (**Ver anexos, Tabla N° IV Tabla de Elementos de Curva, Pág. III**) Una de las ventajas que nos brinda Civil 3D, es poder observar el perfil longitudinal en elevación del Terreno y a partir de ahí, trazar la rasante del proyecto. Es importante realizar el trazado de la rasante lo más acorde a la topografía del terreno, no en contra pendiente o con curvas verticales con demasiada inclinación. Afortunadamente la SIECA nos brinda las restricciones de curvas verticales.

En los cuadros 4.21 y 4.22 (**Ver anexos, Tablas N° V y VI, pág. IV**), para curvas verticales en cresta (o convexas) y columpio (o cóncavas) respectivamente, podemos determinar el factor K (Valor de Curvatura) para cada curva en dependencia de la velocidad de diseño, también nos brinda la distancia de visibilidad de parada, que no es más que la distancia mínima necesaria para que un conductor pueda observar y esquivar un obstáculo. En base a estas restricciones se diseña el trazado final de la rasante, la ventaja del Software es que nos arroja un mensaje de advertencia si no estamos cumpliendo con las especificaciones en las curvas, garantizando de esta manera un diseño seguro.

En el diseño estructural, se han definido la sección transversal típica de la carretera, así como las obras de drenaje complementarias, es importante ingresar adecuadamente dichas dimensiones al Civil3d, con su particularidad en cada tramo, esto para lograr un cálculo realista. Logrado lo anterior, es posible obtener las tablas de volúmenes de corte y relleno, incluso los volúmenes de sub-base, base, colchón de arena y hasta volúmenes de pavimento.

Cabe destacar que el programa calcula los volúmenes de corte tomando en cuenta la diferencia de cotas entre el nivel de rasante menos el nivel del terreno, más el corte referente al área de la sección transversal. En el caso de relleno, el programa calcula el volumen mediante la diferencia algebraica de la cota terreno menos la cota rasante. Y no solo eso, también es posible observar una gráfica de la sección transversal por cada progresiva, en este caso, estaciones cada 20m y cada 10m en curvas, donde es notorio incluso la inclinación de las secciones transversales debido a los peraltes.

Una vez definido los alineamientos horizontales, la rasante del terreno, los cálculos de áreas y volúmenes, es posible proceder al presupuesto del proyecto. Es importante citar que además de facilitar el cálculo, Civil-3D es una herramienta útil para la presentación de planos y evaluación de diseño según Normas Internacionales

Capítulo III. Estudio Hidrológico.

3.1 Introducción.

El presente estudio contiene la metodología y resultados para el diseño de obras hidráulicas por caudales de crecidas en cuatro cuencas requeridas para el Diseño De 3360 m De Pavimento Articulado Y Obras De Drenaje Complementarias En El Tramo De Camino Los Puntalitos – Valle El Limón.

El Proyecto considera una vida útil de 50 años, se asumirá un caudal de diseño para un período de retorno de 50 años, el que se verifico para un riesgo de fallo de 100 años, resultando que el diseño de seguridad debe soportar hasta una crecida con un período de retorno de 100 años. Luego, se realizó el análisis de las características de la respuesta lluvia - escorrentía y de los factores que están estimulando el incremento de la velocidad de respuesta y de los aportes adicionales en el caudal máximo producto del desarrollo de la planta rural de dicha comunidad.

Para encontrar la lluvia de diseño se aplicó el procedimiento de la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel).

Se seleccionó un método de estimación del caudal máximo de diseño de acuerdo a las condiciones de la cuenca; el método racional y con resultados de caudales en hidrograma triangular.

3.2 Marco Teórico

3.2.1 Estudios Hidrológicos.

Permiten determinar el caudal de diseño de la estructura, el cual está en correspondencia con el tamaño y característica de la cuenca, su cubierta de suelo y la tormenta de diseño. El estudio hidrológico se divide según el tamaño: método para cuencas menores y cuencas medianas. (Bervis, 2004).

3.2.2 Método Racional.

El método utilizado para determinar el caudal del diseño de una cuenca pequeña, es el método racional presentado por Emil Kuichling en 1889 y mejorado posteriormente por otros. (MTI, 2008).

Este método asume que el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando todas las partes del área tributaria están contribuyendo con su escorrentía superficial durante un periodo de precipitación máxima. Para lograr esto, la tormenta máxima debe prolongarse durante un periodo igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana hasta llegar al punto considerado o el tiempo de concentración (T_c).

Caracterización y determinación de los parámetros para el cálculo del caudal por el método racional.

Delimitación de la Cuenca de drenaje.

Se delimita la cuenca estableciendo como punto de control o de cierre el que corresponde al sitio de interés de acuerdo al propósito del estudio, o sea la ubicación del puente o la alcantarilla.

División de la cuenca en sub-cuencas.

El tamaño de la sub-cuenca está determinado por las limitaciones del método racional que se aplica en cuencas cuya área de aportación es menor de 500 Ha (5.0 km²). Cada sub-cuenca tiene su punto de control o de cierre. Para cada sub-cuenca se determinaron las características hidrometeorológicas que se describen a continuación:

Área.

Se calcula el área para cada sub-cuenca a partir de fórmulas matemáticas.

Longitud (L).

Es la distancia partiendo del punto más remoto hasta el punto de control.

Pendiente (Sc).

Es la pendiente del fondo del cauce principal, se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$S_c = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L} \quad \text{Ecuación N° 1}$$

Dónde:

Sc: Pendiente en m/m.

Hmáx: Elevación máxima de la sub-cuenca.

Hmín: Elevación mínima de la sub-cuenca.

L: Longitud.

Tiempo de Concentración (tc).

Se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto a la salida de la cuenca hidrográfica. Se calcula aplicando el método del proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.

$$t_c = 0.0041 \left[\frac{3.28L}{\sqrt{Sc}} \right] \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud máxima en metros.

S: Pendiente media del terreno.

Intensidad Duración Frecuencia (IDF).

El método tradicional para estimar la precipitación que se debe considerar en el diseño consiste en analizar los datos disponibles en las estaciones meteorológicas próximas a la cuenca que se analiza. En estudios para relacionar datos de lluvias con caudales, se requiere desarrollar relaciones entre intensidades de lluvias, la duración de la misma con la frecuencia de ocurrencia. Esta ecuación tiene la forma:

$$I = \frac{A}{(Tc+d)^b} \quad \text{Ecuación N° 3.}$$

Dónde:

I: Intensidad de lluvia en mm/h.

T, d y b: son coeficientes que se determinan por mínimos cuadrados con los datos de intensidades de lluvias proporcionados por INETER¹.

Los diversos procedimientos de estimación de la precipitación máxima probable no están normalizados, ya que varían principalmente con la cantidad y calidad de los datos disponibles; además, cambian con el tamaño de la cuenca, su emplazamiento y su topografía, con los tipos de temporales que producen las precipitaciones extremas y con el clima. Los métodos de estimación de fácil y rápida aplicación son los empíricos y el estadístico.

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. En este proyecto los resultados se evalúan en función de la distribución de Gumbel.

Coeficiente de Escorrentía.

El coeficiente de escorrentía *C*, transforma la lámina de agua en el caudal pico y su valor depende de elementos como el tipo de suelo, cubierta de suelo, pendiente del terreno y otros factores de menor incidencia. Estos valores se estiman por inspección directa en el campo y complementados por medio de mapas cartográficos. Se determina con la siguiente ecuación:

$$C = U_s * T_s * P_t \quad \text{Ecuación N° 4}$$

¹ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

Dónde:

Us: uso del suelo.

Ts: tipo de suelo.

Pt: pendiente del terreno en %

Caudal (Q).

Considerando las dimensiones de la cuenca, se usó el Método Racional el cual tiene una base sencilla y lógica que consiste en que el caudal de escorrentía es una proporción del agua de lluvia. Para este estudio, se considerará que las áreas de drenaje menores de 3.0 km², corresponden a cuencas pequeñas, tal como se ha indica en la Guía Hidráulica para el Diseño de Obras de Drenaje en Caminos Rurales. El caudal pico² Q de cada cuenca o superficie se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Q = 0.2778 * C * I * A \quad \text{Ecuación N° 5}$$

Dónde:

Q: Caudal en m³/s.

C: Coeficiente de escorrentía de la cuenca o superficie drenada, es adimensional.

I: Intensidad media de precipitación en mm/h correspondiente al periodo de retorno considerado y a un intervalo igual a tiempo de concentración.

A: Área de drenaje de la cuenca en hectáreas o km².

3.2.3 Hidrología y Geomorfología de la Cuenca de la Quebrada El Limón.

Los parámetros morfológicos de las cuencas aportantes a las quebradas en estudio han sido obtenidos a través de la cartografía INETER 1:50.000. Los mapas fueron elaborados utilizando el sistema SIG ARGIS 10.1 de ESRI.

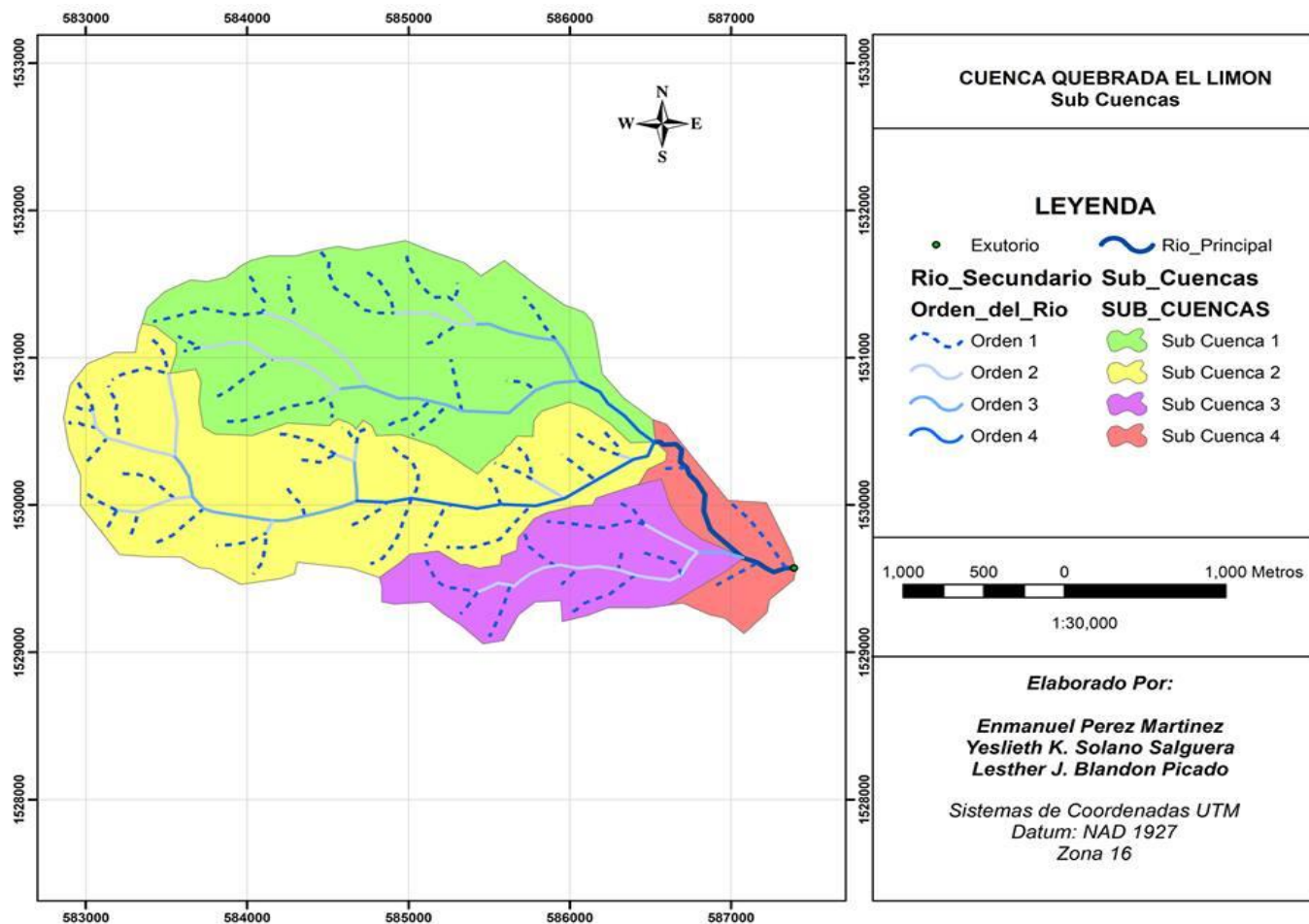
² Ministerio de Transporte e Infraestructura; Manual para Revisión Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor, pág. 36.

Forma de la Cuenca

La cuenca el Limón tiene un índice de compacidad de 1.26, con una forma Ovalada redondeada, indicio de que esta cuenca tiende a responder de manera rápida, concentrada, lo cual se asocia directamente con la longitud de los ríos de orden inferior. Y los hidrograma de crecida serán con picos pronunciados.

Producto de la presencia de suelos profundos de arena que retienen una cantidad de agua y la liberan lentamente, la recesión de las crecidas es larga.

Figura N°3 Cuenca Valle El Limón



Fuente: *Elaboración Propia*

La zona de estudio fue delimitada para cada cuenca, se determinó que es una zona con fuertes pendientes mayores al 7 %. Los datos de las elevaciones, áreas y longitud de las cuencas se resumen en siguiente tabla, datos obtenidos del programa ARG GIS:

Tabla N°1 Parámetros Hidrológicos

| Cuenca | LONGITUD (m) | Area (km2) | Elevación (m) | | Pendiente | |
|--------|--------------|------------|---------------|----------|-----------|--------|
| | | | Elev Max | Elev min | m/m | % |
| 1 | 3283.00 | 0.009 | 1060 | 725 | 0.102 | 10.20% |
| 2 | 3574.20 | 0.010 | 1090 | 720 | 0.104 | 10.35% |
| 3 | 2268.78 | 0.006 | 960 | 685 | 0.121 | 12.12% |
| 4 | 1411.55 | 0.005 | 740 | 675 | 0.046 | 4.60% |

Fuente: *Elaboración Propia*

En cada una de la cuenca, la red de drenaje está bien definida en el terreno, también se definen por las pendientes, es decir por la propia geomorfología del sitio, las cuencas indican hacia donde debe ser drenada y en qué puntos descargarán las aguas, principalmente en la estación lluviosa, ya que es el tiempo de mayor problema.

3.3 Metodología

3.3.1 Hidrometeorología.

El primer estudio para la definición de la sección hidráulica de una obra de drenaje es la determinación de una lluvia capaz de estimular la máxima respuesta hidrológica. Esta lluvia será denominada lluvia de diseño y para ello se realizó el análisis de series temporales de precipitación en la zona de estudio.

En la zona existe una estación meteorológica de INETER, código 045-048, con una longitud de registros de 31 años con tres años faltantes, este registro es solo para lluvia en 24 horas. No se dispone de una serie de tiempo para lluvias de diferente duración y suficiente para la mejor estimación de precipitaciones de diseño.

La información de precipitaciones a emplear para el diseño de las obras proyectadas corresponde a las intensidades de lluvia para distintos períodos de retorno disponibles para la estación Puntalitos localizada en 13°49'N y 86°10'W a una elevación de 660 msnm.

El procedimiento para el análisis de serie temporal seguido fue el de GUMBEL o Distribución de Valores Extremos TIPO I.

De la serie se extrajeron los registros de lluvia máxima en 24 horas para cada año, se obtuvo la lluvia para diferentes duraciones utilizando el método de Peschke³ que da aproximaciones suficientes para la generación de lluvias para diferentes duraciones a partir de registros disponibles. **(Ver Anexo Tabla VII, Análisis de Valore Extremos, Pág. V)**

A los datos registrados y calculados se les aplico el procedimiento de estadística matemática de Gumbel o DVE I.

Los datos estadísticos estimados de tendencia central y variabilidad, media y desviación estándar, para la determinación de la lluvia de diseño se resumen en el cuadro siguiente:

Tabla N°2 Estadísticos Encontrados.

| Estadísticos Enocntrados | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Media | 89.252 | 21.666 | 25.765 | 28.513 | 33.908 | 40.324 | 47.954 | 60.665 |
| Des. Est. | 74.904 | 18.183 | 21.623 | 23.930 | 28.457 | 33.842 | 40.245 | 54.332 |
| α | 58.403 | 14.177 | 16.859 | 18.658 | 22.188 | 26.386 | 31.379 | 42.363 |
| β | 55.542 | 13.483 | 16.034 | 17.744 | 21.101 | 25.094 | 29.842 | 36.213 |

Fuente: Elaboración Propia.

³ Peschke,D. 2008. Hidrología, Hidráulica y Drenaje Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Republica de Perú, Pag. 30

Con estos datos se generaron unas curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia que permiten tanto grafica como analíticamente determinar la intensidad que estimula a la cuenca a una respuesta máxima.

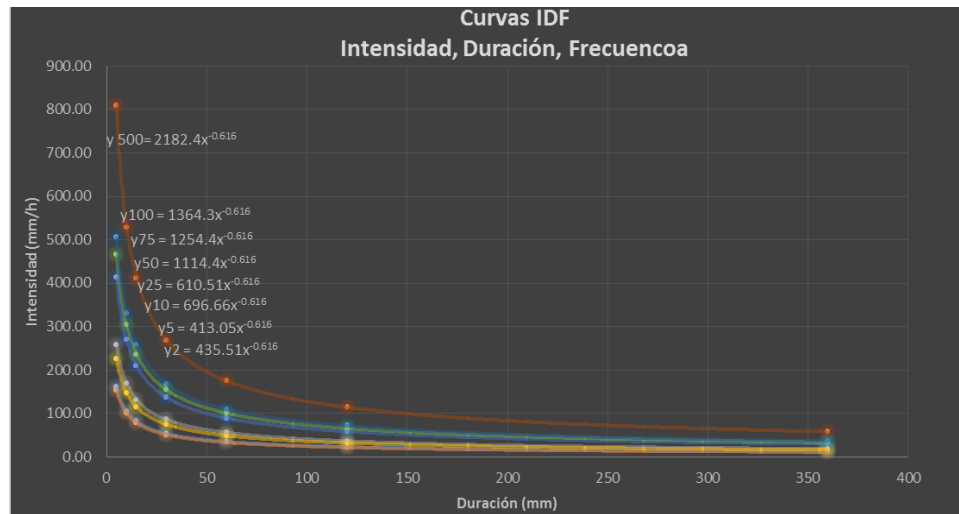
Tabla N°3 Tabla de intensidad-Duración-Frecuencia.

| Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Frecuencia | | | | | | | |
|---|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Frecuencia (años) | Duración en minutos | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 360 |
| 2 | 161.50 | 105.35 | 82.05 | 53.52 | 34.91 | 22.77 | 11.57 |
| 5 | 211.02 | 137.65 | 107.21 | 69.93 | 45.62 | 29.76 | 15.12 |
| 10 | 258.34 | 168.51 | 131.25 | 85.61 | 55.85 | 36.43 | 18.51 |
| 25 | 337.55 | 220.18 | 171.49 | 111.87 | 72.97 | 47.60 | 24.18 |
| 50 | 413.24 | 269.56 | 209.95 | 136.95 | 89.33 | 58.27 | 29.61 |
| 75 | 465.16 | 303.43 | 236.33 | 154.16 | 100.56 | 65.59 | 33.32 |
| 100 | 505.91 | 330.00 | 257.03 | 167.66 | 109.37 | 71.34 | 36.24 |
| 500 | 809.26 | 527.89 | 411.15 | 268.19 | 174.94 | 114.12 | 57.98 |

Fuente: Elaboración Propia.

La representación de estos datos de manera gráfica se presenta a continuación, en ella se inserta las ecuaciones potenciales que facilitan el cálculo de la lluvia de diseño para una duración equivalente al tiempo de respuesta de la cuenca o tiempo de concentración (T_c).

Figuras N°4 Curvas IDF



Fuente: Elaboración Propia.

Caudales de Diseño- Método Racional.

Para el cálculo del caudal se hace uso de la fórmula racional ya que se adecua a las áreas de drenaje pequeño. El concepto básico del método racional presume que el máximo caudal de escorrentía de una cuenca de drenaje ocurre cuando la cuenca entera está contribuyendo, y que el caudal de escorrentías es igual a una proporción C de la precipitación promedio. La ecuación del método es:

$$Q = 0.2778 C * I * A \quad \text{Ecuación N° 6}$$

Dónde:

Q = Caudal de Diseño (m^3/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la precipitación (mm/hr)

A = Área de la Cuenca (m^2)

3.3.2 Intensidad de la lluvia de diseño

El análisis estadístico de las precipitaciones se hace con el fin de determinar la intensidad de la lluvia en mm/h, relacionando los datos de las lluvias con los caudales, se requiere desarrollar relación entre las intensidades de las lluvias, la duración de la misma con la frecuencia de ocurrencia, ésta se obtiene según la ecuación de Bernard con un análisis de regresión potencial y con la interpretación de la curva de intensidad – duración – frecuencia de la estación meteorológica previamente establecida.

$$I = \frac{a * T^b}{t^c} \quad \text{Ecuación N° 7}$$

- Dónde:**
- I = Intensidad de precipitación (mm/hr)
 - a, b, c = Parámetros de ajuste por mínimos cuadrados
 - T = Periodo de Retorno (años)
 - t = tiempo de concentración (min)

En la siguiente tabla se tienen los resultados de aplicación de regresión lineal para el cálculo de los parámetros de ajustes por mínimos cuadrados y así determinar la intensidad de precipitación en cada una de las cuencas de estudio.

Tabla N°4 Resumen de aplicación de Regresión Potencial

| Resumen de aplicación de regresión potencial | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|
| Periodo de Retorno (años) | Término ctte. De regresión (d) | Coef. De regresión [c] |
| 2 | 328.71781234484 | -0.6163860881 |
| 5 | 611.50298526023 | -0.6163860881 |
| 10 | 798.73137568002 | -0.6163860881 |
| 25 | 1035.29494330826 | -0.6163860881 |
| 50 | 1210.79131164702 | -0.6163860881 |
| 75 | 1312.79649179561 | -0.6163860881 |
| 100 | 1384.99184234970 | -0.6163860881 |
| 500 | 1787.54267573617 | -0.6163860881 |
| Promedio = | 1058.79617976523 | -0.6163860881 |

Fuente: Elaboración Propia

Coeficiente de Regresión ©: 0.61639

Tabla N°5 Tabla Regresión Potencial.

| Regresión potencial | | | | | | |
|---------------------|--------|-----------|----------|---------|-----------|----------|
| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 2 | 328.7178 | 0.6931 | 5.7952 | 4.0169 | 0.4805 |
| 2 | 5 | 611.5030 | 1.6094 | 6.4159 | 10.3260 | 2.5903 |
| 3 | 10 | 798.7314 | 2.3026 | 6.6830 | 15.3882 | 5.3019 |
| 4 | 25 | 1035.2949 | 3.2189 | 6.9424 | 22.3469 | 10.3612 |
| 5 | 50 | 1210.7913 | 3.9120 | 7.0990 | 27.7716 | 15.3039 |
| 6 | 75 | 1312.7965 | 4.3175 | 7.1799 | 30.9992 | 18.6407 |
| 7 | 100 | 1384.9918 | 4.6052 | 7.2334 | 33.3113 | 21.2076 |
| 8 | 500 | 1787.5427 | 6.2146 | 7.4886 | 46.5387 | 38.6214 |
| 8 | 767 | 8470.3694 | 26.8733 | 54.8376 | 190.6988 | 112.5074 |
| | | | | | | |
| Ln (A) = | 5.8742 | A = | 355.7409 | B = | 0.2919 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Término constante de regresión (a): 355.7409

Coefficiente de regresión (b): 0.2919

3.3.3 Tiempo de concentración.

En las cuencas hidrológicas que se analizan en la zona de estudio se determina el tiempo de concentración respectivo a cada una de las cuencas que drenan a cada uno de los diferentes cauces, definiéndose este como el tiempo en que tarda una partícula de agua en viajar desde un punto dado de la cuenca hasta en punto de salida de la misma.

Para calcular el tiempo se usan relaciones de las características de la cuenca tales como la longitud y la pendiente de la misma, siendo utilizada la ecuación de Kirpich, el tiempo de concentración esta dado en minutos.

$$t_c = 0.01947 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77} \quad \text{Ecuación N° 8}$$

Dónde:

t_c = tiempo de concentración (min)

S = Pendiente de la cuenca (m/m)

L = Longitud de la cuenca (m)

Resultando en:

Tabla N°6 Tiempo de Concentración.

| Sub Cuenca | t_c (min) |
|------------|-------------|
| 1 | 9 |
| 2 | 21 |
| 3 | 5 |
| 4 | 17 |

Fuente: *Elaboración Propia*

3.3.4 Coeficiente de escorrentía

El Coeficiente de Escorrentía no es un factor constante, varía de acuerdo a la magnitud de la lluvia y con las condiciones fisiográficas de la Cuenca hidrográfica.

Para la selección del Coeficiente de Escorrentía se necesita conocer el tipo de cobertura vegetal, la pendiente promedio del terreno, el tipo de suelo predominante en el área de estudio, las áreas, las elevaciones etc. A continuación se refleja los valores de coeficientes de escorrentía encontrados:

Tabla N°7 Coeficiente de Escorrentía.

| Coeficiente de Escorrentia | |
|----------------------------|-------|
| Sub cuencas | C_e |
| 1 | 0.28 |
| 2 | 0.28 |
| 3 | 0.28 |
| 4 | 0.24 |

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados se resumen en la tabla siguiente con el cálculo del caudal para las respectivas cuencas, según sean las características topográficas de la misma para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla N°8 Método Racional.

| Método Racional | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|-----|---------|-----|--------|--|--|--|--|
| Tiempo de Retorno (TR) | | 100 | años | a = | 355.741 | c = | 0.6164 | | | | |
| Porcentaje de estaciones meteorológicas | | 100% | | b = | 0.2919 | | | | | | |

| Cuenca | LONGITUD RIO (m) | Area (km2) | Elevación (m) | | Pendiente | | tc (min) | I (mm/h) | Cief. Esc. C | Caudal (m3/s) |
|----------------|------------------|------------|---------------|----------|-----------|-------|----------|----------|--------------|---------------|
| | | | Elev Max | Elev min | m/m | % | | | | |
| 1 | 634.125 | 3.021 | 760 | 725 | 0.055 | 5.52% | 8.539 | 363.745 | 0.28 | 85.6418 |
| 2 | 2002.352 | 3.244 | 830 | 720 | 0.055 | 5.49% | 20.735 | 210.526 | 0.28 | 53.3372 |
| 3 | 286.012 | 1.166 | 698 | 685 | 0.045 | 4.55% | 4.984 | 506.876 | 0.28 | 46.0048 |
| 4 | 1424.743 | 0.533 | 740 | 675 | 0.046 | 4.56% | 17.138 | 236.761 | 0.24 | 8.4458 |
| Q Total (m3/s) | | | | | | | | | | 193.430 |

Fuente: *Elaboración Propia.*

La cuenca 1 da un caudal de diseño para la obra a construir con 85.6418 m³/s con un tiempo de concentración de 8.539 minutos.

La cuenca 2 da un caudal de diseño para la obra a construir con 53.3372 m³/s con un tiempo de concentración de 20.735 minutos. Teniendo ésta el tiempo máximo de respuesta siendo la menos afectada en su calidad hidrológica.

La cuenca 3 genera un caudal de 46.0048 m³/s para un tiempo de concentración de 4.984 minutos.

La cuenca 4 da un caudal de diseño para la obra a construir con 8.4458 m³/s con un tiempo de concentración de 17.138 minutos.

3.3.5 Tránsito de avenida por hidrograma triangular

Un hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la escorrentía de una cuenca de drenaje particular. Se genera utilizando los datos del tiempo de concentración y su caudal, llamado tiempo pico y caudal pico. Se establece el criterio que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Tabla N°9 Tabla de Caudales

| Cuenca | tc (hr) | de (hr) | tp (hr) | tb (hr) | tr (hr) | I (mm/h) | Qp (m ³ /s) |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------------------------|
| 1 | 0.142 | 0.755 | 0.463 | 1.235 | 0.785 | 363.745 | 494.044 |
| 2 | 0.346 | 1.176 | 0.795 | 2.123 | 1.641 | 210.526 | 178.633 |
| 3 | 0.083 | 0.576 | 0.338 | 0.903 | 0.502 | 506.876 | 363.625 |
| 4 | 0.286 | 1.069 | 0.706 | 1.885 | 1.401 | 236.761 | 37.188 |

Fuente: *Elaboración Propia.*

Hidrograma Triangular.

Figura N°5 Hidrograma Cuenca 1

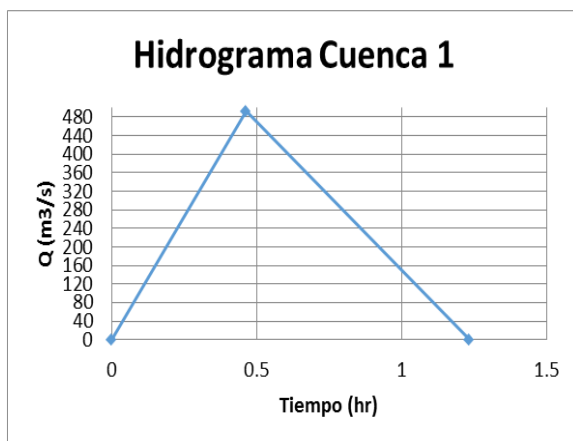
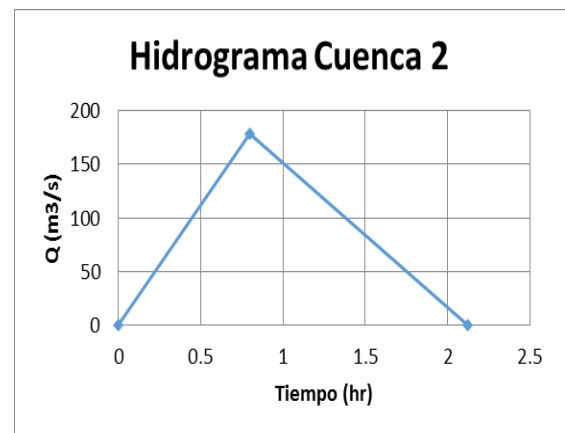


Figura N°6 Hidrograma Cuenca 2



Fuente: *Elaboración Propia*

Figura N°7 Hidrograma Cuenca 3

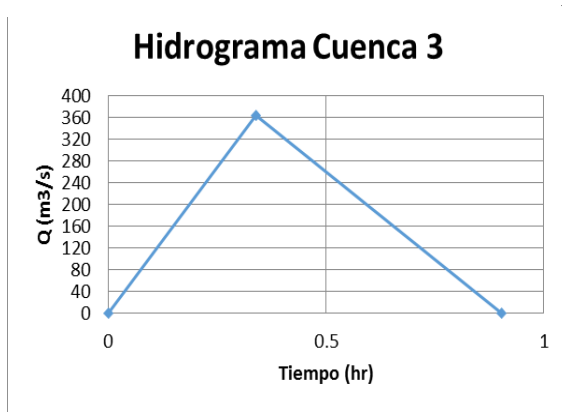
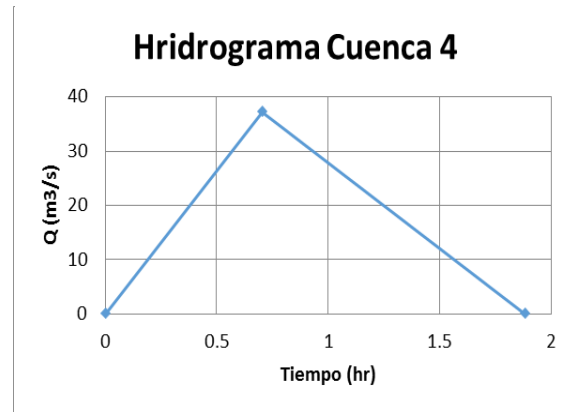


Figura N°8 Hidrograma Cuenca 3



Fuente: *Elaboración Propia*

- Hidrograma triangular sub cuenca 1: Tiene un caudal pico de 494.04 m³/s en un tiempo de 0.46 min.
- Hidrograma triangular sub-cuenca 2: Tiene un caudal pico de 178.633 m³/s en un tiempo de 0.80 min.
- Hidrograma triangular sub-cuenca 3: Tiene un caudal pico de 363.625 m³/s en un tiempo de 0.34 min.
- Hidrograma triangular sub-cuenca 4: Tiene un caudal pico de 37.188 m³/s en un tiempo de 0.71 min.

3.3.6 Cálculo de caudales de sub cuencas para el diseño de cunetas.

Tabla N°10 Coeficiente de infiltración por pendiente.

| Fraccion que infiltra por efecto de pendiente | | |
|---|-----------|-------|
| Sub cuencas | Pendiente | K_p |
| 1 | 14.3% | 0.06 |
| 2 | 11.1% | 0.06 |

Fuente: Elaboración Propia.

Se considera que el coeficiente por pendiente es 0.06 ya que son pendientes fuertes, mayores a 7%

Tabla N°11 Coeficiente de infiltración por cobertura vegetal.

| Fraccion que infiltra por efecto de cobertura vegetal | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|-------|
| Sub cuencas | Area Bosque km2 | Area Zacate km2 | K_Y para Bosques | K_Y para Zacate | $A * K_Y$ para Bosques | $A * K_Y$ para Zacate | K_Y |
| 1 | 0 | 0.002 | 0 | 0.21 | 0.00 | 0.0004 | 0.21 |
| 2 | 0 | 0.002 | 0 | 0.21 | 0.00 | 0.0004 | 0.21 |

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de infiltración por cobertura vegetal es 0.21 ya que la cobertura de zacate es más del 75%.

Tabla N°12 Coeficiente de Infiltración por cobertura de Suelo.

| Fraccion que infiltra por efecto de cobertura de suelo | | | | | | | |
|--|------------------|----------------|------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| Sub cuencas | Area Granito Km2 | Area Arena Km2 | K_{f_c} para Granito | K_{f_c} para Arena | $A * K_{f_c}$ para Granito | $A * K_{f_c}$ para Arena | K_{f_c} |
| 1 | 0 | 0.002 | 0 | 0.4 | 0.00 | 0.001 | 0.40 |
| 2 | 0 | 0.002 | 0 | 0.4 | 0.00 | 0.001 | 0.40 |

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de infiltración por cobertura de suelo es 0.40 ya que es un suelo limo arenoso no muy compacto.

Tabla N°14 Coeficiente de Irrigación

| Coeficientes de irrigacion | |
|----------------------------|------|
| Sub cuencas | |
| 1 | 0.67 |
| 2 | 0.67 |

Tabla N°13 Coeficiente de Escorrentía

| Coeficiente de Escorrentia | |
|----------------------------|------|
| Sub cuencas | |
| 1 | 0.33 |
| 2 | 0.33 |

Fuente: *Elaboración Propia.*

El método a utilizar para encontrar los caudales es el método racional, con un tiempo de retorno de 50 años, un porcentaje de estaciones meteorológicas del 100% y con los parámetros de ajustes correspondientes a: 355.7409, b: 0.2919 y c: 0.616.

Cálculos de Caudales en m³/s.

Tabla N°15 Caudales de Cunetas Triangulares

| Cunetas | LONGITUD RIO (m) | Area (km2) | Elevación (m) | | Pendiente | | tc (min) | tc (hr) | I (mm/h) | Cief. Esc. C | Caudal (m3/s) |
|---------|---------------------|------------|---------------|----------|-----------|--------|----------|---------|----------|--------------|------------------|
| | | | Elev Max | Elev min | m/m | % | | | | | |
| 1 | 140.00 | 0.002 | 700 | 680 | 0.143 | 14.29% | 1.850 | 0.031 | 762.627 | 0.33 | 0.14 |
| 2 | 180.00 | 0.002 | 700 | 680 | 0.111 | 11.11% | 2.473 | 0.041 | 637.690 | 0.33 | 0.12 |

Fuente: *Elaboración Propia*

Cuneta n° 1: Se encuentra ubicada de la estación 1+520 hasta la estación 1+660 a ambos lados de la carretera, el caudal encontrado es de 0.14 m³/s

Cuneta n°2: Comprende desde la estación 1+720 hasta la estación 2+155 a ambos lados del tramo y posee un caudal de 0.13 m³/s.

A partir de los datos obtenidos del tiempo de concentración y caudal, se generan los hidrogramas correspondientes para cada sub-cuenca. Como criterio se establece que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración, que a la vez es el tiempo pico del hidrograma; definiendo la ordenada para los valores del caudal y la abscisa para el tiempo.

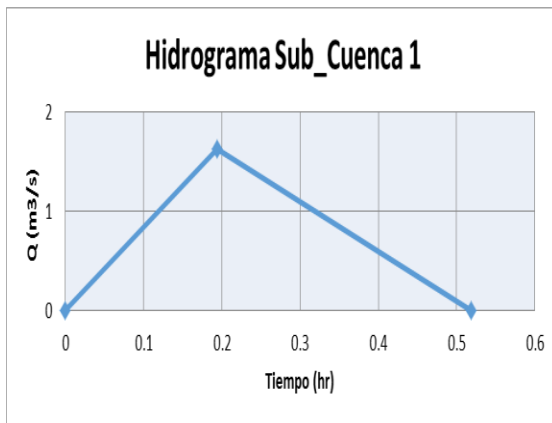
Tabla N°16 Tabla de Caudales Picos.

| Micro-cuenca | tc (hr) | de (hr) | tp (hr) | tb (hr) | tr (hr) | I (mm/h) | Qp (m3/s) |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 1 | 0.031 | 0.351 | 0.194 | 0.518 | 0.220 | 762.627 | 1.634 |
| 2 | 0.041 | 0.406 | 0.228 | 0.608 | 0.280 | 637.690 | 1.165 |

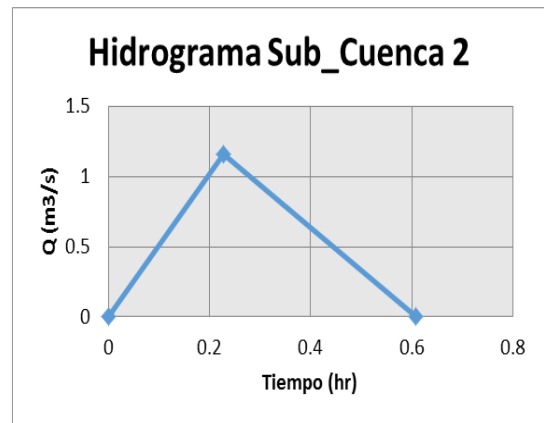
Fuente: *Elaboración Propia*

Hidrograma Triangular.

**Figura N°9 Hidrograma Sub
Cuenca 1**



**Figura N°10 Hidrograma Sub
Cuenca 2**



Fuente: *Elaboración Propia.*

El hidrograma triangular para la sub-cuenca 1 presenta un caudal pico de 1.634 m^3/s en un tiempo de 0.19 hrs; para la sub-cuenca 2 el caudal pico es de 0.928 m^3/s y su tiempo de crecida máxima es de 0.23 hrs.

Capítulo IV. Diseño de Obras Hidráulicas de Drenaje

4.1 Introducción.

El principal objetivo del diseño hidráulico es el dimensionamiento de las obras de drenaje, tales como, cunetas y vados en lo referente al ancho, longitudes y profundidades, el encauzamiento de la corriente y la protección de la vía contra la socavación.

Este capítulo consiste en el diseño de obras de drenaje, superficiales longitudinales y transversales con ayuda de los caudales calculados anteriormente. Habrá dos tipos de cunetas, triangulares que serán diseñadas con ayuda del programa Hcanales y cunetas en L.

Para el drenaje transversal, se implementarán los vados ya que son una solución satisfactoria para los pequeños cursos de agua que atraviesan las intersecciones.

Las obras de drenaje mejoran la facilidad de acceso y la vida útil del pavimento a diseñar por ese motivo es que es indispensable el diseño del drenaje menor en una vía.

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Cunetas.

Son canales de drenaje generalmente de sección triangular y se proyectan para todos los tramos al pie de los taludes de corte, longitudinales a cada lado de la calzada incluyendo hombros; para el revestimiento puede usarse: piedra bolón unida con mortero, concreto simple fundido en sitio, concreto simple pre-fabricados.

Sus dimensiones se fijan de acuerdo a los cálculos hidrológicos realizados sobre el área de drenaje delimitada, pendiente longitudinal, generalmente paralela a la de la corona de la carretera, intensidad de lluvia de la zona para un tiempo de retorno previamente establecido, con esa información y cálculo se obtendrá el caudal pico de diseño y las dimensiones de la estructura a construir.

4.2.2 Vados.

Es un canal de cielo abierto que se construye sobre el lecho de una corriente que atraviesa el camino, se recomienda su construcción cuando los tirantes de agua son de poca altura y tiempos de concentración de lluvias de poco tiempo para Evitar retrasos en el movimiento del tránsito vehicular y peatones.

Vigas Transversales

Estas vigas se utilizan cuando hay pendientes mayores al 10%, se utilizan para evitar la erosión de los adoquines en estas pendientes

Vigas De Remate

Estas vigas se utilizan cuando se inicia y finaliza un adoquinado de igual manera cuando una intersección de 2 calles o cambia de Dirección el Adoquín

4.2.3 Coeficiente de Manning.

Para el cálculo de la velocidad y del caudal en un canal con régimen hidráulico uniforme se puede emplear la fórmula de Manning, expresada de la siguiente manera:

$$Q = V * A \quad \text{Ecuación N° 9}$$

$$V = \frac{\sqrt{S}}{n} * Rh^{2/3} \quad \text{Ecuación N° 10}$$

$$Rh = \frac{A}{P} \quad \text{Ecuación N° 11}$$

Dónde:

Q: caudal m³/s.

V: velocidad media, m/s.

A: área de la sección transversal húmeda, m².

P: perímetro mojado, m.

Rh: radio hidráulico, m.

S: pendiente longitudinal, m/m.

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

4.2.4 Número de Froude:

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad.

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina **supercrítico**.

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina **subcrítico**.

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina **crítico**.

4.3 Metodología de Diseño de Cuneta

A lo largo de la vía habrá dos tipos de cunetas, cuneta típica (en L) y cuneta triangular. El caudal que pasa sobre las cunetas triangulares es mayor que el de las cunetas típicas y sus zonas de descarga serán en desagües naturales de agua, identificados en puntos tangentes de la vía.

Para el diseño de cunetas triangular es necesario saber que caudal pasa por la sección a diseñar, por lo tanto se encontraron dos caudales diferentes. **(Ver Tabla N°15, Pág. 27)**. Para el diseño de las cunetas triangulares se utilizó el programa Hcanales, el cual modela el sistema de acuerdo al caudal, diámetro, y número de Manning, pendiente e índice de rugosidad, el procedimiento se realizó por.

- ✓ Comprobación por tirante crítico: Es el tirante para el cual la energía propia de escurrimiento es la mínima energía posible con la que puede escurrir un determinado caudal Q.

Se diseña para el tirante crítico ya que es el que evalúa la máxima crecida ordinaria además de evaluar el tipo de flujo, siendo crítico.

Las cunetas triangulares se diseñaron para dos tramos, de la estación 1+720-1+900 a 1+520 – 1+660 con una longitud total de 240 ml, ya que en esta área el daño de la carretera está muy avanzado se generaron surcos de considerables tamaños a ambos lados. Se puede apreciar a simple vista que el caudal que pasa por ese tramo es mayor que en otras zonas, generando mayores daños en la carretera que en otros puntos del tramo a diseñar.

4.4. Resultados

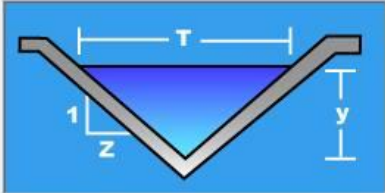
4.4.1 Dimensionamiento de cunetas de acuerdo al caudal de diseño de cada sub-cuenca.

Figura N°11 Cuneta Triangular 1

| | | | |
|--------|--|----------------|---------------------------------------|
| Lugar: | <input type="text" value="Puntalitos - Valle El Limon"/> | Proyecto: | <input type="text" value="Cuneta 1"/> |
| Tramo: | <input type="text" value="1+520 - 1+660"/> | Revestimiento: | <input type="text" value="Concreto"/> |

Datos:

| | | |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Caudal (Q): | <input type="text" value="0.14"/> | m ³ /s |
| Ancho de solera (b): | <input type="text" value="0"/> | m |
| Talud (Z): | <input type="text" value="3"/> | |



Resultados:

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------------|---------|
| Tirante crítico (y): | <input type="text" value="0.2136"/> | m | Perímetro (p): | <input type="text" value="1.3512"/> | m |
| Area hidráulica (A): | <input type="text" value="0.1369"/> | m ² | Radio hidráulico (R): | <input type="text" value="0.1013"/> | m |
| Espejo de agua (T): | <input type="text" value="1.2819"/> | m | Velocidad (v): | <input type="text" value="1.0224"/> | m/s |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="1.0000"/> | | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.2669"/> | m-Kg/Kg |

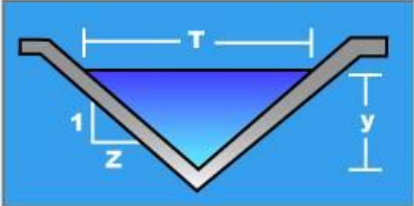
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°12 Cuneta Triangular 2

| | | | |
|--------|---|----------------|---------------------------------------|
| Lugar: | <input type="text" value="Puntalito - Valle El Limon"/> | Proyecto: | <input type="text" value="Cuneta 2"/> |
| Tramo: | <input type="text" value="1+720 - 1+900"/> | Revestimiento: | <input type="text" value="Concreto"/> |

Datos:

| | | |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Caudal (Q): | <input type="text" value="0.12"/> | m ³ /s |
| Ancho de solera (b): | <input type="text" value="0"/> | m |
| Talud (Z): | <input type="text" value="3"/> | |



Resultados:

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------------|---------|
| Tirante crítico (y): | <input type="text" value="0.2011"/> | m | Perímetro (p): | <input type="text" value="1.2719"/> | m |
| Area hidráulica (A): | <input type="text" value="0.1213"/> | m ² | Radio hidráulico (R): | <input type="text" value="0.0954"/> | m |
| Espejo de agua (T): | <input type="text" value="1.2066"/> | m | Velocidad (v): | <input type="text" value="0.9891"/> | m/s |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="1.0000"/> | | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.2510"/> | m-Kg/Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Podemos concluir que las dimensiones obtenidas por el procedimiento anterior son similares, por lo tanto las dimensiones a utilizar serán las mismas para ambos caudales. **(Ver plano Detalle de Cunetas Triangular).**

También se construirán cunetas urbanas en una longitud de 3,430 ml de la estación 0+000 a 0+140 y de 2+195 a 3+328; estas abarcan los dos tramos en estudio con 0.50 m de ancho y de 0.35 de alto **(Ver plano Detalle de cuneta típica),**

4.4.2 Vados.

El objetivo principal del drenaje de caminos es el de reducir o eliminar la energía generada por una corriente de agua y evitar la presencia de agua o humedad excesiva en la calzada, ya que ésta puede repercutir negativamente en las propiedades mecánicas de los materiales con que fue constituida; esto hace que la previsión de un drenaje adecuado sea un aspecto vital para el diseño de caminos por esa razón es que proponemos la elaboración de vados.

A lo largo del camino pudimos observar en la topografía del terreno hay pequeños taludes (vados) que se forman en las estaciones 0+440, 0+470, 2+500, 2+780, 2+960, 3+080. Se propone que éstos sean elaborados de concreto, con las siguientes dimensiones 5 m de ancho, 4 m de largo con una pendiente de 5% hacia dentro y 2% hacia fuera.

Y en las estaciones 2+330 y 2+900, no hay vados existentes, pero hay corrientes de agua que se acumulan y necesitan ser drenadas, por este motivo se propone la elaboración de vados en dichas estaciones con las dimensiones antes mencionadas.

Vigas Transversales

Estas Vigas Están ubicadas entre las estaciones 1+500-1+638 y 1+750-1+960 ya que es donde se encuentran pendientes mayores al 10%

Vigas de remate

Estas vigas estarán ubicadas en las siguientes estaciones: 0+000, 1+994, 2+150, 2+300, 2+500, 2+590, 2+677, 2+688, 2+760, 2+790, 2+850, 2+900, 2+970, 3+010, 3+090, 3+100, 3+335, la mayoría de estas ubicadas en el Valle El Limón

Capítulo V. Estudio de Suelo.

5.1 Introducción

En todo diseño de pavimento es imprescindible el estudio de suelos ya que a través de él se determina la resistencia del terreno sobre el que será edificada la vía, mismo que sirve de base para determinar el espesor de las capas del pavimento, también permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad. Por lo tanto es necesario realizar un cuidadoso análisis de las muestras de suelos a extraer para tener unos excelentes resultados, a continuación se presenta el análisis geológico y geotécnico del tramo a diseñar.

5.2 Marco Teórico

5.2.1 Suelos.

En la ingeniería de pavimentos se considera que un suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes. Toda construcción debe estar sustentada en los respectivos estudios de ingeniería, con el fin de obtener proyectos técnicos, óptimos, seguros y que garanticen la durabilidad para el periodo de diseño de la estructura. (AASHTO, 93).

5.2.2 Ensayes de laboratorio.

Los ensayes de laboratorio son utilizados para caracterizar a los suelos encontrados en las áreas o sitios de estudio, por lo que con el objeto de determinar las propiedades físicas de cada suelo muestreado fue necesario efectuar varias pruebas. A continuación se hace mención de los materiales y características a ser utilizados en el suelo de fundación del pavimento y en las diferentes capas que componen la estructura.

5.2.3 Análisis Granulométrico.

El análisis granulométrico es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas de suelos. Para separar por tamaños se utilizaron las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas

5.2.4 Límites de Atterberg.

Límite Líquido: Es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico a líquido. El límite líquido, de un suelo plástico indica el contenido de agua para el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 2.5 gr/cm.^2

Límite plástico: Es la frontera entre el estado plástico y semi sólido del suelo. Para los suelos gruesos la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.

Índice de Plasticidad: El Índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico o el grado de contenido de humedad en el cual el suelo permanece en estado plástico antes de cambiar el estado líquido. Está expresado por la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación N°12}$$

Dónde:

IP: índice de plasticidad.

LL: límite líquido.

LP: límite plástico.

5.2.5 Próctor Estándar.

Consiste en compactar el suelo en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas, a cada capa se le compacta con 25 golpes por medio de un pistón, que se deja caer libremente desde una altura específica. Con los ensayos

se pretende determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir con una energía de compactación la densidad seca máxima que puede tener dicho terreno.

5.2.6 Determinación de la resistencia de los suelos (CBR).

El ensaye de resistencia más utilizado en el medio es el CBR (Relación California de Soporte) AASHTO T-193 (ASTM D-1883), para caracterizar el valor soporte de los suelos como material de fundación de carreteras o para ser utilizados como material de sub-base o base. El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida). La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$CBR = \left(\frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria del patrón}} \right) * 100(\%)$$

Ecuación N°13

5.2.7 Método de clasificación de Suelo

La Clasificación de AASHTO, desarrollada por Terzaghi y Hogentogler para la oficina de caminos públicos de los Estados Unidos, es una de las más populares y usadas en el diseño de carreteras. Se inspiró en el método de Casagrande y para reflejar las propiedades de un suelo sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad.

Este método clasifica los suelos, de acuerdo a su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en siete grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz No. 200 (0,075 mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los Grupos A1, A2, A3 y los sub-grupos que corresponden. En cambio los suelos finos limo-arcillosos que contienen más del 35 % de material fino que pasa el Tamiz N°. 200, constituyen los Grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los correspondientes subgrupos. Se puede evaluar la calidad del suelo a través del “Índice de Grupo”.

Los suelos que tienen similar comportamiento, se encuentran en el mismo grupo y están representados por un determinado Índice. Los índices de grupo de los materiales granulares están comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y los correspondientes a suelos arcillosos entre 11 y 20 ó un número mayor. Para los suelos gruesos la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.

5.3 Geología

En la comunidad Valle el Limón, se puede observar a simple vista el deterioro de una parte de la vía, se debe a diferentes factores como el incremento del área urbana, escurrimiento sobre las calles, la fragilidad de los suelos frente a la erosión por agua superficial, y la escasez de drenajes. Cuando se intensifican las lluvias en la comunidad, se observa amenazas a vida de las personas, ya que en la estación 1+700 hay una quebrada que cuando es época de invierno su caudal aumenta considerablemente dejando sin comunicación a la comunidad por lo tanto las personas tratan de acceder pasando por la quebrada y tomando el riesgo de ser llevados por la corriente.

La naturaleza de los suelos en su mayoría son granulares, las calles están deterioradas, porque no hay obras hidráulicas que ayuden a drenar el agua, es por eso que se procedió a elaborar el diseño que conllevará al restablecimiento de la viabilidad para lo cual se necesitará de estudios hidrológicos y geológicos para satisfacer las necesidades en la comunidad. **(Ver Anexo, Figura A, Pág. V)**

5.3.1 Recolección de información geológica existente

Se revisó y analizó mediante SIG la carta geológica minera del cuadrante Noroeste de la República de Nicaragua; editado por INETER, el cual se utilizó como mapa geológico base, sobrepuesto a una escala 1:50,000. **(Ver Anexo, Figura B, Pág. VI)**

5.3.2 Verificación-Geología en campo

Para verificar la geológica se realizaron unas caminatas de reconocimiento geológico, análisis de taludes presentes sobre el mapa geológico minero, encontrando coincidencia en la estratigrafía con el mapa geológico minero de la Republica de Nicaragua.

Figura N°13 Estatigrafia del Valle “ El Limon”, Jalapa – Nueva Segovia



Figura N°14 Estatigrafia del Valle “ El Limon”, Jalapa – Nueva Segovia



Fuente: Propia

Se puede observar que el tipo de suelo predominante es arenoso, siendo un suelo muy estable excepto por la erodabilidad debido al efecto del agua.

Figura N°16 Deterioro de las calles del valle “El Limon”



Figura N°15 Deterioro de las calles del valle “El Limon”



Fuente: Propia

Podemos observar que por la falta de drenaje se está reduciendo el ancho de la carretera, socavando y formándose surcos a lo largo del camino, dándole un aspecto de avanzado deterioro.

5.4 Estudio Geotécnico

5.4.1 Introducción.

Para el análisis de suelos se efectuó una exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para que de esta manera se pueda identificar los diferentes tipos de suelo que se presentaron.

El reconocimiento del terreno permitió definir los principales estratos de suelos, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares. Se realizó la excavación de calicatas, cuyo espaciamiento dependió fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía, se realizaron ocho calicatas a diferentes profundidades. De las calicatas o pozos exploratorios se obtuvo por cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo y roca, sometidas a ensayos básicos de acuerdo a las especificaciones de ASTM para la determinación de las características del suelo como para el correcto diseño del pavimento.

El estudio de campo fue realizado en el mes de Julio del año 2015 que básicamente comprendieron, la exploración y muestreo tanto de suelos y materiales que conforman la plataforma existente de la carretera. **Ver Anexos, Figura C y D, Pág.**

VII

5.4.2 Metodología

Evaluación del terreno natural o sub rasante.

- ✓ Se realizó una visita e inspección de la vía realizándose una evaluación previa y general de la condición del camino, se identificó los problemas causantes del deterioro y los puntos críticos del tramo.
- ✓ Seguidamente se procedió a la elaboración de las calicatas, se limpió la superficie del terreno con una pala, se retiró la materia orgánica superficial.
- ✓ Se definió el área de la excavación (rectangular).
- ✓ Al ir avanzando en la excavación se fue observando la variación de los estratos, considerando básicamente el tamaño de las partículas y el color.
- ✓ Cuando se llegó a la profundidad proyectada (1.2 m), se procedió a la descripción de los suelos que corresponden a cada estrato. Luego se separó cada estrato tomando 30 muestras en total, se inició en la estación 0+000 en el empalme de Puntalitos (Inicio del tramo de estudio) hasta llegar a la estación 3+338 (final del tramo de estudio), esto consistió en colocar suficiente cantidad de material de cada estrato en bolsas de plástico con su correspondiente tarjeta que identifica a cada muestra y posteriormente trasladarla al laboratorio.
- ✓ Se cerró la excavación con el material antes extraído, de tal manera que se colocó el suelo a como estaba en su estado natural, o sea depositando el suelo en orden inverso a como se extrajo.

Ensayes de laboratorio a las muestras analizadas.

Las muestras obtenidas de los Sondeos Manuales a lo largo del tramo y del banco de préstamo fueron sometidos a los siguientes ensayos de laboratorio.

- Análisis Granulométrico - ASTM D-422; AASHTO T 27-88
- Límites de Consistencia o de Atterberg - ASTM D 4318, AASHTO T 89-90 y T 90-87.
- Método de Próctor Estándar - ASTM D 698-91, AASHTO T 99-90.

- Ensaye de valor relativo de soporte (C.B.R.) - (AASHTO T 193-63, ASTM D 1883-73)

Análisis Granulométrico de los suelos, método mecánico (ASTM D-422; AASHTO T 27-88) y Clasificación AASHTO:

El Análisis Granulométrico tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene.

La manera que se hizo esta determinación fue por medio de tamices de abertura cuadrada.

El procedimiento de ejecución del ensaye consistió en tomar una muestra de suelo de peso conocido (500 gr), colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz.

Equipo utilizado

- Juego de tamices: 3 in, 3/4, 1/2, 3/8, N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 200. (tapa y fondo)
- Balanza de 0.1 gramo de sensibilidad.
- Horno con temperatura constante de 100- 110°c
- Taras

Método análisis mecánico

- ✓ El material se pasa por los tamices 3 in, 3/4, 1/2, 3/8, N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 200 y fondo, realizando movimientos verticales y horizontales.
- ✓ Se pesan las fracciones retenidas en cada tamiz y se anota en el registro correspondiente.
- ✓ Después se calcula los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos, los porcentajes que pasan por cada tamiz.
- ✓ Se elaboró una gráfica que se efectúa por medio de la curva granulométrica, que es la curva de los porcentajes que pasa por cada tamiz.

Tabla N°17 Diámetros de las aberturas de los tamices (mm)

| Tamíz | 3 in | 3/4 | 1/2 | 3/8 | N°4 | N°10 | N°20 | N°40 | N°200 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Diámetro | 76.2 | 19.1 | 12.7 | 9.52 | 4.76 | 2 | 0.84 | 0.42 | 0.075 |

Fuente: *Elaboración Propia*

A partir de la curva granulométrica se puede deducir en primera instancia el tipo de suelo principal y los componentes eventuales.

Se puede encontrar el diámetro efectivo de los granos (D10); que es el tamaño correspondiente al 10% en la curva granulométrica y se designa como D10.

Otros tamaños definidos estadísticamente que son útiles incluyen D60; D30.

La uniformidad del suelo se puede definir estadísticamente de varias maneras, un índice antiguo pero útil, es el coeficiente de Uniformidad Cu que se define.

Las gravas bien graduadas tienen $CU > 4$

Las arenas bien graduadas tienen $Cu > 6$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ecuación N° 14}$$

Clasificación AASHTO

Disponiendo de los resultados obtenidos del laboratorio y estando posicionados sobre la tabla de clasificación AASHTO, (**Ver Anexo, Tabla VIII Clasificación Suelo, Método AASHTO, Pág. VII**). Se realizó un recorrido de izquierda a derecha y el grupo se encontró por eliminación, es decir que el primer grupo que satisfaga nos entregara el grupo de suelo correcto.

Todos los valores se aplicaran como números enteros, si algún número presentara un decimal este deberá ser aproximado al entero más cercano.

Consideraciones de aplicación.

- El IG se informa en números enteros y si es negativo se hace igual a 0.
- Permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, sub rasantes, sub bases y bases.
- Se clasifica al primer suelo que cumpla las condiciones de izquierda a derecha en la tabla.

- El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo de grupo.
- Cuando el suelo es NP o el LL no puede ser determinado, el IG es cero.
- Si un suelo es altamente orgánico, se debe clasificar como A- 8 por inspección visual y diferencia en humedades.

Determinación de los límites de Consistencia o de Atterberg de los suelos (ASTM D 4318. AASHTO T 89-90 Y T 90-87).

Los límites de Atterberg que encontramos son:

Límite Líquido

Equipo Utilizado

- Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- Espátulas flexibles.
- Cápsula de porcelana.
- Tamiz No. 40.
- Atomizador.
- Balanza con sensibilidad de 0.01gr.
- Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.
- Taras con su tapa.

Método análisis mecánico

- ✓ Después de secada la muestra de suelo, se pasa a través del tamiz No. 40 desechándose el que quede retenido.
- ✓ Antes de utilizar la “Copa de Casagrande”, debe ser ajustada (calibrada), para que la copa tenga una altura de caída de 1 cm., exactamente.
- ✓ Del material que pasó por el tamiz No. 40 se toman aproximadamente unos 100 gramos se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

- ✓ Parte de esta mezcla se coloca con la espátula en la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de un (1) cm., en la parte de máxima profundidad. El suelo colocado en la “Copa de Casagrande” se divide en la parte media en dos porciones utilizando para ello un ranurador, de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior a la copa.
- ✓ Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta a la manija del “Aparato de Casagrande”, uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm. Si la ranura se cierra antes de los 10 golpes, se saca el material se vuelve a mezclar.
- ✓ Después que el suelo se ha unido en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente unos 10 gramos del suelo; se anota su peso húmedo, el No. de golpes obtenidos y se determina el peso seco.
- ✓ Determine el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes.

Límite Plástico

Consiste en ir probando diferentes porcentajes de humedad en el suelo y elaboramos bastoncitos cilíndricos de 0,3 mm de diámetro, los suelos que no permitan realizar este procedimiento se designan No plásticos.

Equipo utilizado

- Vidrio.
- Taras.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.

Método de análisis mecánico

- ✓ Se tomó aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad optima, se amasó con la mano y se rodó sobre una superficie limpia y lisa, sobre un vidrio hasta formar un cilindro de 3 mm, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.

- ✓ Se amasó la tira y se volvió a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se endureció.
- ✓ El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3mm de diámetro.
- ✓ Inmediatamente se dividió en proporciones y se ponen los pedazos en dos taras.
- ✓ Se pesan en la balanza de 0.01 gr., y se registra su peso.
- ✓ Se introdujo la muestra en el horno por un período aproximado de 24 horas y se determina su peso seco.
- ✓ Con los datos anteriores se calculó el contenido de agua en porcentaje.

**Ensayo de compactación de suelos, “Método de Próctor Estándar”
(ASTM D 698-91, AASHTO T 99-90).**

El ensayo de compactación Próctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno o una vía; obteniendo con este ensayo la humedad que se requiere para conseguir una energía de compactación de la densidad seca máxima que puede tener dicho terreno, a esta humedad se le define como humedad óptima.

Equipo Utilizado:

- Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4” de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ “de altura y de 4” de diámetro interior.
- Un pisón metálico (martillo Próctor) de 5.5 lbs. de peso (2.5 Kgs.) de 5 cm (2”) de diámetro.
- Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente
- Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- Una balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr. de sensibilidad.
- Una balanza de 500 gr., de capacidad y de 0.01 gr., de sensibilidad.
- Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110° C.

- Charolas metálicas.
- Probetas graduadas de 500 cm³
- Extractor de muestras.
- Tara para determinar humedad.

Ensayo de valor relativo soporte o relación de soporte de California (C.B.R.) (AASHTO T 193-63, ASTM D 1883-73)

Determina la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en el laboratorio, con una humedad y niveles de compactación variables. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de relación de soporte.

Equipo Utilizado

- Molde metálico cilíndrico de compactación de 15.24 cm de diámetro interior y 17.78 cm de altura interior. Debe tener un collarín de extensión metálica de 5.08 cm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor a los 1.5 mm.
- Disco espaciador (fondo falso) de 15.1 cm de diámetro y 6.14 cm de altura.
- Martillo de compactación Próctor Estándar o Modificado.
- Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm.
- Pesas para sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con un peso de 2.27 kg cada una y 14.9 cm de diámetro, con una perforación central de 50.4 cm de diámetro.
- Máquina C.B.R., equipada con pistón de penetración (diámetro de 4.953 cm, con sección transversal de 19.4 cm²) y capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/minutos y con anillo de carga de 50kN y un deformímetro de 0.02mm.
- Papel filtro circular.
- Horno con temperatura constante de 110±5°C
- Herramientas y accesorios, recipientes llenos de agua y tamices de $\frac{3}{4}$ y No. 4.

5.4.3 Resultados Obtenido de los Ensayes de Laboratorio.

En base a los reportes técnicos de campo y los procedimientos de laboratorio como granulometría, límite líquido y límite plástico, se puede afirmar que en el estudio realizado se obtuvieron los siguientes tipos de suelo con sus porcentajes de humedad, Próctor y CBR.

Las Características de los registros estratigráficos, **(Ver Figura N°17, Pág. 50)** de los tipos de suelo se describen a continuación:

Suelo A-1-a

En el estrato de suelo encontrado en las estaciones: 0+600 (Estrato 1,3), 2+700 (Estrato 3), 2+920 (Estrato 1,2), 3+290 (Estrato 1,2) se clasifico dentro del grupo A-1-a con índice de grupo "Cero", Con características de Roca, grava y arena, Con un porcentaje de CBR 95% Próctor modificado de 19%, **(Ver Anexo, Tabla IX, Pág. VIII)**

Suelo A-1-b

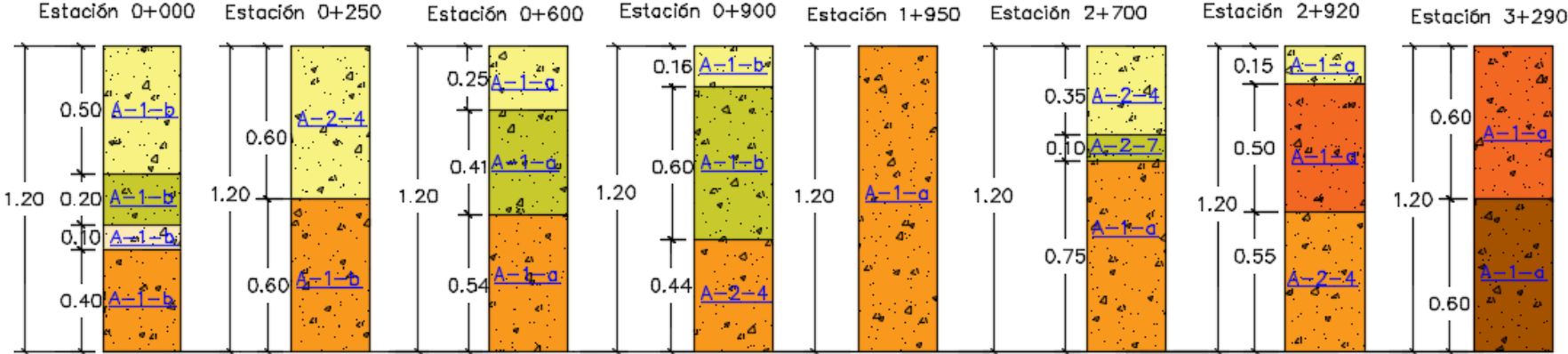
En el estrato de suelo encontrado en las estaciones: 0+000, (Estrato 1, 2, 3, 4), 0+250 (Estrato 2), 0+600 (Estrato 2), 0+900 (Estrato 1, 2), 1+950 (Estrato 1), se clasifico dentro del grupo A-1-a con índice de grupo "Cero", Con características de Roca, grava y arena. Con un porcentaje de CBR 95% Próctor modificado de 39%, **(Ver anexo, Tabla X, Pág. VIII)**

Suelo A-2-4

En el estrato de suelo encontrado en las estaciones: 0+250, (Estrato 1), 0+900 (Estrato 3), 2+700 (Sondeo 1,2), 2+920 (Sondeo 3), se clasifico dentro del grupo A-2-4 con índice de grupo "Cero", Con características de Roca, grava y arena, Con un porcentaje de CBR 95% Próctor modificado de 29%, **(Ver anexo, Tabla XI, Pág. VIII)**

El resumen de granulometría se encuentra en **(Ver anexo, Tabla XII. Pág. IX)**

Figura N°17 Perfil Estratigrafico



Fuente: *Elaboración Propia*

Banco de Material, Santa Bárbara.

El banco de material, se encuentra ubicado de 1 km del empalme de puntalitos, se describe como un material que está compuesto de roca, grava y arena de color café oscuro. El material clasifica dentro del grupo A-2-5 con un índice de grupo cero. Está representado por un 29.23% de grava fina a gruesa, 1.63 % de arenas y 2.17% son finos de baja plasticidad. Esta muestra posee un Límite Líquido de 48% y un índice de plasticidad de 8%. **(Ver anexo, Tabla XIII, Pág. X)**

El valor de soporte CBR es de 32%, peso volumétrico seco suelto de 1,400 kg/m³ y el factor de abundamiento (F.A) es de 1.32. **(Ver anexo, Tabla XIII, Pág. X)**

El material del banco accesible no cumple con la sección 1003.23 II b. de la NIC - 2000⁴ que indica, que para bases incluyendo las estabilizadas mecánicamente el CBR al 95% de compactación deberá ser 80% mínimo y para sub-base 40% mínimo; pero sí cumple con los parámetros de bases estabilizadas con cemento o cal en la sección 1003.23 II d. de la NIC- 2000, que indica un CBR mínimo de 30%.

Para estabilizar el material de banco se deben mejorar las propiedades del material con cemento Portland, con una dosificación del 7%,⁵ referido a la densidad máxima seca del material. Para obtener una resistencia última a la compresión de al menos 298.69 PSI o 21 Kg/cm² medidas después de 7 días de curado. **(Ver anexo, Tabla XIV, pág. XI)**

⁴ NIC 2000: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.

⁵ Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, Capítulo 5, Pág. 99.

Capítulo VI. Estudio de Tránsito.

6.1 Introducción

El estudio de tránsito es uno de los parámetros fundamentales para el diseño de pavimentos, por consiguiente, al realizar los análisis del tránsito, nos permite conocer el volumen y composición vehicular, por medio de aforo vehicular por una semana, ubicados en el tramo a estudiar, los cuales darán como resultado, el peso y la cantidad de ejes equivalentes que harán efecto negativo sobre la estructura de pavimento.

En este capítulo se dan a conocer los datos que se necesitarán para tránsito, con el fin de realizar el diseño de pavimento articulado. Toda esta información permitirá determinar el espesor de pavimento que se requiere para soportar las cargas que producirán dicho tránsito, considerando el periodo de diseño propuesto.

Las normas de Diseño implementadas fueron obtenidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004), la Guía de Diseño Geométrico de la AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004).

6.2 Marco teórico

6.2.1 Tránsito.

El tránsito es uno de los factores más importantes que afectan el comportamiento de un pavimento, por consiguiente es necesario conocer el número y tipo de vehículos que circulan por una vía por medio de aforos (conteos vehiculares), ubicados en el tramo a estudiar para determinar los efectos que las cargas de estos vehículos causen los pavimentos. En el Método AASHTO, los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil.

6.2.2 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos. En todo estudio de tránsito se deben de llegar a obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) a partir de censos o conteos de tránsito en el lugar de la futura construcción. También es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de un camino de varios carriles, la distribución por carril. Para calcular el tráfico promedio diario anual, se determina con la siguiente expresión matemática:

$$TPDA = TD_{12H} * FD * FT \quad \text{Ecuación N° 15}$$

Dónde:

TD₁₂: Tráfico promedio diario 12 horas.

Fd: Factor día.

Ft: Factor temporada.

6.2.3 Tasas de Crecimiento.

Las tasas de crecimiento interanual se calculan usando la siguiente ecuación:

$$TC = \left[\left(\frac{\text{Año}_n}{\text{Año}_{n+1}} \right) - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación N° 16}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento.

Año n: Año actual.

Año n-1: Año anterior.

A partir de las series históricas del PIB, TPDA y Población se procede a calcular la tasa de crecimiento para cada variable aplicando la siguiente expresión:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación N° 17}$$

Dónde:

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Anual.

TPDA_o: Tráfico Promedio Diario Anual del año base.

N: La diferencia de años.

6.2.4 Tránsito de Diseño.

El tránsito de diseño es el número de vehículos estimados que circularan anualmente por esta vía en el año final del periodo de diseño. Para convertir el volumen de tráfico obtenidos de los conteos se usara un tránsito de diseño (TD), el cual se obtiene a partir de la información básica suministrada por el transito promedio diario anual (TPDA), el factor de crecimiento (FC), factor de distribución (FD) y factor carril (fc).

6.2.5 Factor de Crecimiento (FC).

Es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{[(1 + i)^n - 1]}{i} \quad \text{Ecuación N° 18}$$

Dónde:

F_c: Factor crecimiento.

i: Tasa de crecimiento vehicular en decimales.

n: Período de diseño.

6.2.6 Factor de distribución por sentido (fds).

El factor de distribución por sentido (fds) permite cuantificar la fracción del total del tránsito que circulará en el sentido de diseño.

6.2.7 Factor por Distribución por Carril (fc).

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de 2 carriles, cualquiera de los 2 puede ser el camino de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril

6.2.8 Tránsito proyectada.

Los volúmenes de tránsito futuro, para efecto de proyecto se derivan a partir del tránsito actual y del incremento del tránsito, esperando al final del periodo o año meta seleccionado.

6.2.9 Esal's

Es el acrónimo de carga por eje equivalente. Esal's es un concepto desarrollado a partir de datos recogidos en la asociación americana de funcionarios de carreteras del estado AASHO establece una relación de daños para la comparación de los efectos de los ejes que llevan diferentes cargas. La carga por eje de referencia es una de 18,000 libras, ejes simples con neumáticos duales.

6.3 Metodología

En esta metodología se detallan los procedimientos que se utilizaron en los estudios de campo desarrollados durante el estudio de tráfico.

6.3.1 Recopilación de información.

Se eligió la ubicación de la estación de control, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tráfico vehicular, con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía. La estación de Conteo se ubicó en un lugar estratégico y seguro, que permitió captar el tráfico del tramo en estudio. Ubicada al inicio de la vía en el empalme de Puntalitos, en la estación 0+000. **(Ver Anexo, Figura E, F Y G, Pag. XII.)**

Para determinar de forma precisa el comportamiento vehicular del tramo en estudio, se realizó el aforo manual durante el periodo del 5 al 11 de enero del año 2015 durante una semana, doce horas diarias (6:00 am – 6:00 pm), con un cambio de cada hora, lo que permitió obtener el volumen del tránsito de la vía en estudio.

6.3.2 Volumen y Clasificación.

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, serán obtenidos de los registros de la estación La Mía – El Júcaro y mediante los cálculos elaborados.

Se tomó la estación N° 8303 por la similitud en el comportamiento del tráfico de la estación mencionada con el tramo de carretera a diseñar.

6.3.3 Tasas de Crecimiento

Para determinar las tasas de crecimiento para el tráfico vehicular futuro para el tramo Empalme de Puntalitos-Valle el Limón, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” y el producto interno bruto “PIB”, así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Determinación de tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo de la información disponible en el Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla donde se aprecia el comportamiento histórico del Producto Interno Bruto (PIB), desde el año 2005 al año 2015. Las tasas de crecimiento interanual las calculamos usando la **(Ecuación N° 16, Pág. 54)**

Sustituyendo valores en la ecuación N° 16, se obtiene la tasa de crecimiento interanual para el año 2005 al año 2006 de 4.15% como se muestra a continuación:

$$TC = \left[\left(\frac{32,936.90}{31,623.90} \right) - 1 \right] * 100$$

TC = 4.15% para el año 2005 al 2006.

De igual forma se calcularon los valores siguientes para la tasa de crecimiento hasta llegar al año 2015. Según los anuarios históricos del Banco Central de Nicaragua (BCN) desde el año 2005 hasta 2015, el crecimiento promedio del PIB, fue de 3.68%, según el comportamiento de los datos analizados mostrados a continuación:

Tabla N°18 Evolución histórica del PIB

| Producto Interno Bruto (PIB en millones de cordobas C\$) | | |
|---|-----------|--------|
| AÑO | PIB | TAC |
| 2005 | 31,623.90 | |
| 2006 | 32,936.90 | 4.15% |
| 2007 | 34,136.90 | 3.64% |
| 2008 | 35,078.80 | 2.76% |
| 2009 | 34,563.40 | -1.47% |
| 2010 | 36,112.0 | 4.48% |
| 2011 | 37,792.80 | 4.65% |
| 2012 | 39,552.0 | 4.65% |
| 2013 | 41,393.0 | 4.65% |
| 2014 | 43,319.0 | 4.65% |
| 2015 | 45,336.0 | 4.66% |
| Promedio | | 3.68% |

Fuente: Elaboración Propia

Tasas de crecimiento vehicular.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas al tramo en estudio. Las tasas de crecimiento interanual las calculamos usando la **(Ecuación N° 16, Pág. 54)**

Sustituyendo valores en la ecuación N° 16, se obtiene la tasa de crecimiento interanual para el año 2005 al año 2006 de 13.56% como se muestra a continuación:

$$TC = \left[\left(\frac{201}{177} \right) - 1 \right] * 100$$

$$TC = 13.56\% \quad \text{para el año 2005 al 2006.}$$

De igual forma se calcularon los valores siguientes para la tasa de crecimiento hasta llegar al año 2015. Según los anuarios históricos del Banco Central de Nicaragua (BCN) desde el año 2005 hasta 2015, el crecimiento promedio del TPDA, fue de 3.52%, según el comportamiento de los datos analizados mostrados a continuación:

Tabla N°19 Datos Históricos TPDA

| La Mia - El Jicaro | | |
|--------------------|------|--------|
| AÑO | TPDA | TAC |
| 2005 | 177 | |
| 2006 | 201 | 13.56% |
| 2007 | 206 | 2.43% |
| 2008 | 211 | 2.43% |
| 2009 | 216 | 2.43% |
| 2010 | 221 | 2.31% |
| 2011 | 227 | 2.71% |
| 2012 | 232 | 2.20% |
| 2013 | 238 | 2.59% |
| 2014 | 244 | 2.52% |
| 2015 | 249 | 2.05% |
| Promedio | | 3.52% |

Fuente: Elaboración Propia

Tasa de Crecimiento Poblacional.

La tasa de crecimiento poblacional se analiza con base a los resultados del Censo Nacional de Población 2011 y publicadas por el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE). Las tasas de crecimiento poblacional interanual se calculan usando la **(Ecuación N° 16, Pág. 54)**, la cual se tiene por ejemplo para el año 2005 a 2006, se calculó una tasa actual de crecimiento de 2.10% como se muestra a continuación.

$$TAC = \left[\left(\frac{55,635}{54,491} \right) - 1 \right] * 100 = 2.10\%$$

A partir del año base 2005 al año 2015, se obtuvo una tasa de crecimiento promedio de 2.06%, como se muestra de forma detallada a continuación:

Tabla N°20. Tasa decrecimiento Poblacional

| JALAPA | | |
|----------|-----------|-------|
| AÑO | Poblacion | TAC |
| 2005 | 54,491 | |
| 2006 | 55,635 | 2.10% |
| 2007 | 56,804 | 2.10% |
| 2008 | 57,997 | 2.10% |
| 2009 | 59,214 | 2.10% |
| 2010 | 62,906 | 6.24% |
| 2011 | 63,665 | 1.21% |
| 2012 | 64,419 | 1.18% |
| 2013 | 65,182 | 1.18% |
| 2014 | 65,954 | 1.18% |
| 2015 | 66,735 | 1.18% |
| Promedio | | 2.06% |

Fuente: Elaboración Propia

Correlaciones para encontrar tasa de crecimiento a usar.

Para realizar las correlaciones es preciso tener los registros históricos del Producto Interno Bruto (PIB), Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y Población como se muestra en la Siguiete Tabla:

Tabla N°21. Registro Históricos del TPDA, Población Y PIB

| AÑO | TPDA | POBLACION | PIB |
|------|------|-----------|-----------|
| 2005 | 177 | 54,491 | 31,623.90 |
| 2006 | 201 | 55,635 | 32,936.90 |
| 2007 | 206 | 56,804 | 34,136.90 |
| 2008 | 211 | 57,997 | 35,078.80 |
| 2009 | 216 | 59,214 | 34,563.40 |
| 2010 | 221 | 62,906 | 36,112.0 |
| 2011 | 227 | 63,665 | 37,792.80 |
| 2012 | 232 | 64,419 | 39,552.0 |
| 2013 | 238 | 65,182 | 41,393.0 |
| 2014 | 244 | 65,954 | 43,319.0 |
| 2015 | 249 | 66,735 | 45,336.0 |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estas series históricas, se procede a calcular la tasa de crecimiento para cada variable aplicando la expresión matemática (**Ver Ecuación N°17, pág. N°54.**

$$TC_{PIB} = \left[\left(\frac{45,336}{31,623.90} \right)^{1/10} - 1 \right] * 100 = \mathbf{3.67\%}$$

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{249}{177} \right)^{1/10} - 1 \right] * 100 = \mathbf{3.47\%}$$

$$TC_{POB} = \left[\left(\frac{66,735}{54,491} \right)^{1/10} - 1 \right] * 100 = 2.05\%$$

Obteniendo los resultados de la tabla siguientes.

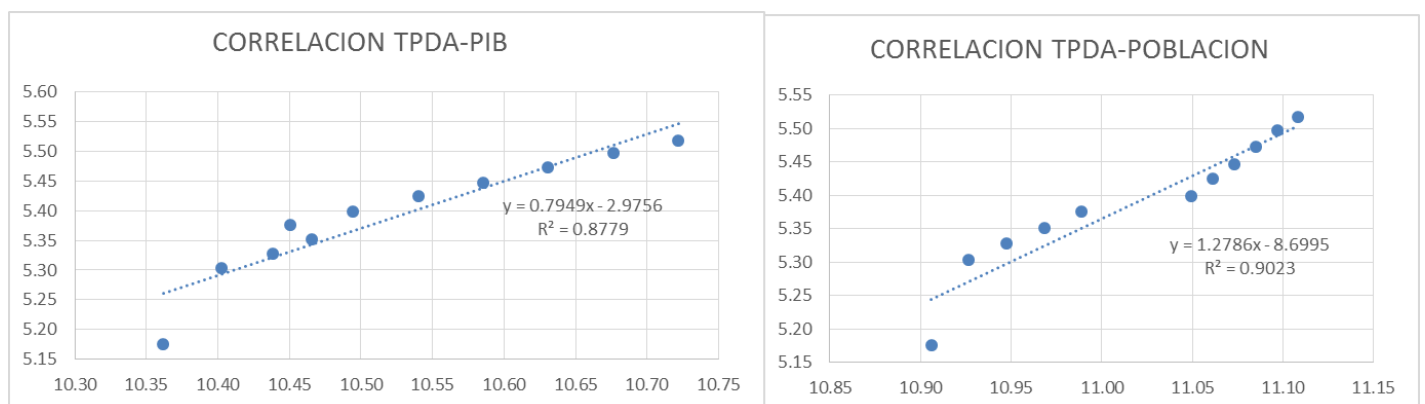
Tabla N°22 Tasas de crecimiento del PIB, TPDA y Población.

| Tasas de Crecimiento | | |
|----------------------|-------|-----------|
| PIB | TPDA | Población |
| 3.67% | 3.47% | 2.05% |

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, se calculan las elasticidades vinculando el TPDA con PIB y luego TPDA con la Población, **(Ver Figura N°18)**.

Figura N°18 Relación TPDA – PIB y TPDA – Población.



Fuente: Elaboración propia.

Las elasticidades son los coeficientes constantes que se muestran en cada uno de los gráficos **(Figura N° 18)** las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N°23 Elasticidades resultantes de las correlaciones.

| Correlación | Elasticidad |
|----------------|-------------|
| TPDA-PIB | 0.7949 |
| TPDA-Población | 1.2786 |

Fuente: Elaboración propia.

Se calcula la tasa de crecimiento para el PIB y Población, multiplicadas por las elasticidades como se muestra en la (Tabla N°23,).

- ✓ **Producto Interno Bruto:** para conocer el valor de tasa de crecimiento promedio para el producto interno bruto se obtiene mediante, multiplicando la tasa de crecimiento anteriormente encontrada con la elasticidad obtenida de la correlación, resultando una tasa de 2.92%.

$$TC=3.67 \%*0.7949 =2.92\%$$

- ✓ **Para la población:** De igual manera se obtiene una tasa de crecimiento promedio Poblacional, multiplicando la tasa de crecimiento anteriormente encontrada con la elasticidad obtenida de la correlación la cual permite conocer una tasa de **2.62%** para el crecimiento poblacional.

Tabla N°24. Tasa de Crecimiento Afectada por la elasticidad

| | TPDA | Población | PIB |
|-------------|-------|-----------|--------|
| TC | | 2.05% | 3.67% |
| Elasticidad | 3.47% | 1.2786 | 0.7949 |
| TC | | 2.62% | 2.92% |

Fuente: Elaboración Propia

A nuestro criterio elegimos la tasa de crecimiento Poblacional de 2.62% para todo el tráfico, dado que para carga y pasajeros son muy alta de 3.47% y de 2.92% respectivamente.

6.3.4 Tráfico de Diseño

Se calcula haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365 \quad \text{Ecuación N°19}$$

Dónde:

T_D : Tránsito de Diseño.

$TPDA$: Tránsito Promedio Diario.

F_C : Factor Crecimiento.

F_D : Factor de Distribución.

f_C : Factor Carril.

6.3.5 Período de Diseño (PD)

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo a las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, elegimos **20 años** para el período de diseño, considerando que la clasificación de la vía corresponde a Colectora Rural. **Ver Anexo, Tabla XV. Pág. XIII**

6.3.6 Factor de Crecimiento (FC)

Este se obtiene a partir del período de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_C = \frac{[(1+i)^n - 1]}{i} = \quad \text{Ecuación N°20}$$

Fc: Factor de Crecimiento.

n: Período en años.

i: Tasa de crecimiento vehicular.

6.3.7 Factor Distribución Por Dirección (FD)

Es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 ya que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra.

Tabla N°25 Factor distribución por dirección.

| Factor Distribucion por Direccion FD | |
|---|-----------|
| numero de carriles en ambas direcciones | LD^{10} |
| 2 | 50% |
| 4 | 45% |
| 6 o mas | 45% |

Fuente: (SIECA, 2011)

6.3.8 Factor Distribución Por Carril (fc)

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S).

Tabla N°26 Factor de distribución por

| Factor de Distribucion por Carril fc | |
|--|-----------|
| numero de carriles en una sola direccion | LC^{11} |
| 1 | 1 |
| 2 | 0.80-1 |
| 3 | 0.60-0.80 |
| 4 | 0.50-0.75 |

Fuente: (SIECA, 2011)

6.3.9 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po)

Es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor que recomienda la AASTHO para pavimentos flexibles es **Po=4.2**.

6.3.10 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt)

Es un valor de apreciación en el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura. Según el manual SIECA⁶ para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de $Pt = 1.8 - 2.0$. Además considerando que la AASHTO recomienda $Pt = 2.0$ para caminos de tránsito menor. Se trabajó con un valor de $Pt = 2.0$.

6.3.11 Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI)

Es la diferencia que existe entre la Serviciabilidad inicial y la Serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente ecuación: **$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2.0 = \Delta 2.2$**

6.3.12 Número Estructural Asumido (SN)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. El **SN** es utilizado para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este Diseño se considera un valor **SN= 5**.

6.3.13 Ejes Equivalentes (ESAL o W18)

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} * \text{FESAL}$$

6.4 Resultados

6.4.1 Recopilación de información.

Ubicación de la estación de conteo, Empalme de Puntalitos, inicio del proyecto a diseñar, el cual presenta las coordenadas de $13^{\circ}49'26.37''N$ y $86^{\circ}11'01.72''W$ con una elevación de 656 msnm. **Ver Anexo, Figura E, F y G, Pág. XII**

⁶ SIECA Capítulo 3 Pág. 4

Resumen de conteo de aforo vehicular en el sentido Este – Oeste y Oeste – Este de la estación 0+000 Empalme de Puntalitos – Valle el Limón.

Tabla N°27 Promedio de aforo vehicular en ambos sentidos.

| Hora | Bicic | Moto | Vehículos Livianos | | | Pesados de Pasajeros | | | | | Pesados de Carga | | | | | Veh. Pesados | | TOTAL | | | | |
|-------|-------|------|----------------------------------|------|---------------------|----------------------|----------|---------------------------------|--------|------------|------------------|----|------|------|----------|--------------|------|-------|-------|------------|------------|-----|
| | | | Autos | Jeep | Camionetas PicK UPs | Mbus | MB >15 P | Bus | C2 Liv | C2 > 5 ton | C3 | C4 | C2R2 | C2R3 | TxSx<=4e | T3S2 | T3S3 | | Otros | Veh. Const | Veh. Agríc | |
| 06:00 | 07:00 | 5 | 11 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 19 |
| 07:00 | 08:00 | 5 | 8 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 22 |
| 08:00 | 09:00 | 7 | 9 | 2 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 28 |
| 09:00 | 10:00 | 6 | 10 | 2 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 24 |
| 10:00 | 11:00 | 5 | 11 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| 11:00 | 12:00 | 5 | 12 | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 29 |
| 12:00 | 01:00 | 8 | 11 | 2 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 30 |
| 01:00 | 02:00 | 5 | 8 | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 22 |
| 02:00 | 03:00 | 5 | 9 | 2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| 03:00 | 04:00 | 4 | 9 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| 04:00 | 05:00 | 7 | 11 | 2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 28 |
| 05:00 | 06:00 | 5 | 8 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| VPD | | 66 | 114 | 17 | 11 | 36 | 3 | 4 | 6 | 9 | 8 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 282 |
| | | | Porcentaje de vehículos livianos | | | | | Porcentaje de vehículos Pesados | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 87.94% | | | | | 12.06% | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla N°28 Resultado del TPDA con factores de ajustes para el tramo (La Mía – El Jícara)

| Factor | Vehículos Livianos | | | Pesados de Pasajeros | | | | | Pesados de Carga | | | | | Veh. Pesados | | TOTAL | | |
|---------------|--------------------|-------|------|----------------------|------|----------|------|--------|------------------|------|------|------|----------|--------------|-------|-------|------------|------------|
| | Moto | Autos | Jeep | Camionetas PicK UPs | Mbus | MB >15 P | Bus | C2 Liv | C2 > 5 ton | C3 | C2R2 | C2R3 | TxSx<=4e | T3S2 | Otros | | Veh. Const | Veh. Agríc |
| día | 1.25 | 1.36 | 1.34 | 1.31 | 1.36 | 1.3 | 1.21 | 1.22 | 1.45 | 1.3 | 2.13 | 1 | 2 | 1.58 | 1.32 | 1 | 2 | |
| semana | 1 | 1.08 | 1.03 | 1 | 1.05 | 1.5 | 0.99 | 0.9 | 0.92 | 0.92 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.15 | 1 | 1 | |
| fin de semana | 0.88 | 0.84 | 0.98 | 0.98 | 1.02 | 1.65 | 1.02 | 1.02 | 1.06 | 1.25 | 1 | 1 | 2.75 | 1.03 | 1.29 | 1 | 1 | |
| TPDA | 125 | 21 | 14 | 46 | 4 | 11 | 7 | 10 | 11 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 0 | 268 |
| | | | 82% | | | | | 18% | | | | | | | | | | |

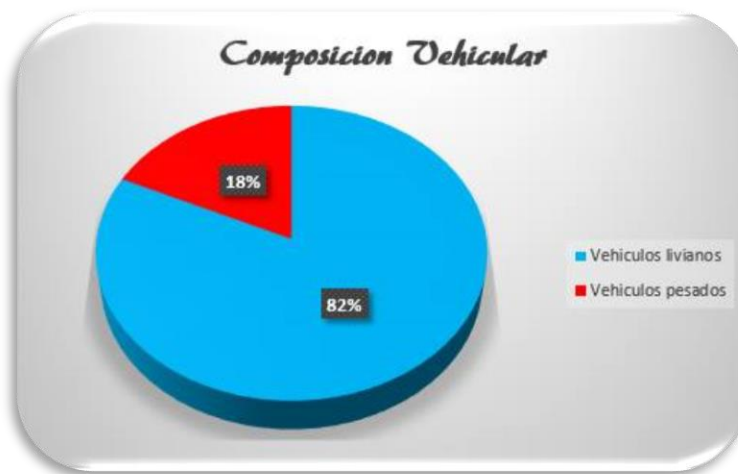
Fuente: *Elaboración Prop*

El TPDA se obtuvo en base a los resultados de Tránsito promedio diario, dichos valores fueron modificados por factores de ajuste, obtenidos a partir de la estación 8303: La Mía- El Júcaro. La decisión de utilizar los datos de la estación, se tomó considerando la relevancia que posee el tránsito y los factores de ajuste que se ajustarán al tramo de diseño; que por la similitud entre ambas vías se puede representar de forma más razonable el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), dando como resultado un TPDA de 268 vehículos.

6.4.2 Clasificación vehicular promedio.

De acuerdo a los resultados de clasificación vehicular y los resultados de expansión, se procede a determinar la composición vehicular, la cual indica que el 82% del tráfico corresponde a vehículos de livianos y el 18% corresponde a vehículos pesados como se muestra en el siguiente diagrama:

Figura N°19 Composicion Vehicular



Fuente: *Elaboración Propia*

Se proyectó con una tasa de crecimiento de 2.6% para 20 años, dando como resultado un TPDA de 443 vehículos para el año 2035.

6.4.3 Tráfico de Diseño

Factor de crecimiento (FC)

Es un valor que indica la medida en como aumentará el volumen de tránsito conforme pase el tiempo y está determinado por el período de diseño en este caso 20 años y la tasa anual de crecimiento vehicular de 2.6%.

Reemplazando los valores en la **(ecuación N° 20, página N° 63)** se obtiene un valor de 25.3 para el Factor crecimiento.

Factores de distribución de dirección (FD).

El factor direccional está determinado por el sentido del flujo vehicular en ambas direcciones. Para la vía en estudio por ser una carretera con ambas direcciones de circulación se ha tomado el factor de 0.5, considerándolo como valor ideal para vías de dos carriles con sentido de circulación opuesto, este valor se toma de acuerdo a los valores recolectados por la AASHTO-93 **(Ver Tabla N° 25, Pág.64)**.

Factor de distribución por carril (Fc).

Se denomina factor de carril a la forma de distribución de tránsito en un solo sentido de circulación, dicho factor está en dependencia de la cantidad de carriles que poseerá la carretera que se pretenda diseñar. Para el caso del tramo en estudio por ser de un solo carril por sentido, dicho factor a usarse será igual a 1. Considerando los valores recomendados por la por la AASHTO-93 **(Ver Tabla N° 26, Pág.64)**.

Estimación del tráfico de diseño.

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible. El tránsito de diseño para un período de 20 años y con una tasa de crecimiento de 2.6% se determina aplicando la **(Ecuación N° 21, Pág. 69)**, obteniendo un tránsito de diseño de 613,852 como se muestra en la siguiente tabla.

$$TD = TPD * FC * FD * fc * 365 \quad \text{Ecuación N° 21}$$

Tabla N°29 Tráfico de Diseño

| Tipo de vehiculo | Transito Actual (2015) | Factor de Creciiento | Factor de Distribucion por Direccion | Factor de dustribucion por Carril | | Trafico de Diseño |
|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------------|
| Autos | 21.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 96,924 |
| Jeep | 14.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 64,616 |
| Camionetas | | | | | | |
| Pick Ups | 46.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 212,310 |
| Mbus | 4.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 18,462 |
| MB > 15P | 11.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 50,770 |
| Bus | 7.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 32,308 |
| C2 Liv | 10.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 46,154 |
| C2 > 5 ton | 11.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 50,770 |
| C3 | 7.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 32,308 |
| Veh. Const | 2.00 | 25.29 | 0.5 | 1.00 | 365 | 9,231 |
| | | TOTAL | | | | 613,852 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°30 Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño

| SN ASUMIDO = 5 | | | Pt = 2 | | | |
|-----------------------|------------------------------|---------------------|-------------|-------------------|--------------|-------------------|
| Tipo de vehiculo | Peso por Eje (Ton. Metricas) | Peso por Eje (Kips) | Tipo de Eje | Trafico de Diseño | Factor ESALS | ESALs de Diseño |
| Autos | 1.00 | 2.2 | SIMPLE | 89,653.90 | 0.00038 | 34.07 |
| | 1.00 | 2.2 | SIMPLE | | 0.00038 | 34.07 |
| Jeep | 1.00 | 2.2 | SIMPLE | 66,060.77 | 0.00038 | 25.10 |
| | 1.00 | 2.2 | SIMPLE | | 0.00038 | 25.10 |
| Camionetas | 1.00 | 2.2 | SIMPLE | 217,056.82 | 0.00038 | 82.48 |
| | Pick Ups | 2.00 | 4.4 | | SIMPLE | 0.0034 |
| Mbus | 2.00 | 4.4 | SIMPLE | 14,155.88 | 0.0034 | 48.13 |
| | 4.00 | 8.8 | SIMPLE | | 0.0502 | 710.63 |
| MB > 15P | 4.00 | 8.8 | SIMPLE | 37,749.01 | 0.0502 | 1,895.00 |
| | 8.00 | 17.6 | SIMPLE | | 0.9206 | 34,751.74 |
| Bus | 5.00 | 11 | SIMPLE | 33,030.39 | 0.1265 | 4,178.34 |
| | 10.00 | 22 | SIMPLE | | 2.35 | 77,621.41 |
| C2 Liv | 4.00 | 8.8 | SIMPLE | 51,904.89 | 0.0502 | 2,605.63 |
| | 8.00 | 17.6 | SIMPLE | | 0.9206 | 47,783.64 |
| C2 > 5 ton | 5.00 | 11 | SIMPLE | 56,623.52 | 0.1265 | 7,162.88 |
| | 10.00 | 22 | SIMPLE | | 2.35 | 133,065.27 |
| C3 | 5.00 | 11 | SIMPLE | 37,749.01 | 0.1265 | 4,775.25 |
| | 16.50 | 36.3 | DOBLE | | 1.4325 | 54,075.46 |
| TOTAL DE ESALS | | | | | | 369,612.19 |

Para el diseño de la carretera Puntalitos – Valle el Limón, se obtuvo un total de Esal's de Diseño igual a:

$$ESAL = 369,612.19$$

Capítulo VII. Señalización Vial.

7.1 Introducción.

El presente estudio nos brinda información de los diferentes tipos de señales a utilizar en el tramo de la vía de estudio.

Las señales de tránsito son indispensables para la convivencia en la vía pública. Independientemente de que hay que estudiarlas para rendir el examen de manejo, conocerlas es un deber que tiene cada ciudadano.

Para el desarrollo del estudio de señalización, se identificaron los diferentes tipos de señales a utilizar a partir del diseño geométrico y del reconocimiento de la zona de proyecto.

7.2 Marco Teórico.

7.2.1 Dispositivos de control de tránsito.

Son elementos ópticos o acústicos utilizados para regular el uso de la vía por parte de vehículos y personas. Cumplen funciones diversas, como: informar, restringir, permitir, prevenir, demarcar, definir, etc.

Los dispositivos de control y seguridad en el tránsito se clasifican de la siguiente manera:

1. Preventivas.
2. Reglamentarias.
3. Informativas
4. Señalización Horizontal o Marcas Viales

7.2.2 Señales Verticales de Tránsito.

Son dispositivos instalados a nivel de la vía o sobre ella. Destinados a reglamentar el tránsito y a advertir o informar a los conductores mediante palabras o símbolos determinados. A este grupo pertenecen las señales preventivas o de prevención, reglamentarias e informativas.

Señales preventivas

Son aquellas destinadas a prevenir un accidente, su finalidad es dar al usuario un aviso anticipado de la existencia de peligro potencial.

La forma aceptada es la de un cuadrado y debe de colocarse de tal forma que la diagonal quede vertical, sus colores deben ser: Fondo amarillo, con símbolos y ribetes negros.

Sus Dimensiones pueden ser de:

60*60, 80*60 y 20*60 centímetros, se recomienda fabricarlas en la lámina metálica de un espesor de 3/16" o similar, de preferencia fijada a un poste o columna metálica suficientemente rígida, a una altura promedio de unos 2.00 metros la base inferior del rotulo o señal; estas señales tienen por objeto advertir al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de esta.

Señales restrictivas o reglamentarias:

Son aquellas que tienen por finalidad expresar en el camino o carretera alguna fase del reglamento de tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario, en general tienden a restringir algún movimiento del mismo, recordando la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Su forma es rectangular y deberá ser colocado con la dimensión mayor en forma vertical. Sus colores deberán ser:

Fondo Blanco, círculo rojo, símbolo, letra y orla o ribete negro.

Señales informativas:

Como su nombre lo indica tiene como finalidad proporcionar alguna información al usuario, ya sea de tipo turístico, direccional, etc. Su forma será rectangular y deberá ser colocado en sentido horizontal. Sus colores deberán de ser: fondo blanco, con leyendas, símbolos y ribetes negros. Sus dimensiones pueden ser: 60*80, 180*80 y 300*150 centímetros.

7.2.3 Señalización Horizontal

La señalización horizontal (también denominada marcas viales) está conformada por líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas así como por los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

Las marcas viales tienen como función complementar las reglamentaciones o informaciones de otros dispositivos de tránsito, o transmitir mensajes sin distraer la atención del conductor. Cada marca en particular deberá usarse, únicamente, para transmitir el respectivo mensaje.

Especificaciones

- **Materiales:** las marcas viales deben hacerse mediante el uso de pinturas. Sin embargo, puede utilizarse otro tipo de materiales, siempre que cumpla con las especificaciones de color y visibilidad en todo tiempo.
- **Colores:** las marcas deben ser blancas o amarillas. El color blanco se empleará entre tránsito en el mismo sentido, y el amarillo entre tránsito de sentido opuesto.
- **Letras:** las del alfabeto para marcas sobre pavimento.

Líneas Longitudinales

Informan sobre las divisiones de la vía. Estas líneas son blancas o amarillas, continuas o segmentadas. La línea blanca indica una vía en un solo sentido. La amarilla señala que la vía es de doble sentido. Las líneas continuas indican que no se puede cambiar de carril. Las líneas discontinuas permiten hacerlo con la debida precaución.

7.3 Señalización en la Vía.

7.3.1 Señales Verticales

Señal de Reglamentación.

1. Serie de Derecho y Prioridad de paso:

Según la SIECA⁷ se simboliza R-1-1, esta señal estará ubicada en la estación 0+000 Con vista de noreste hacia suroeste y 2+660 con vista de sureste a noroeste.

Figura N°20 Estacion 0+000



Fuente: Elaboración propia

Figura N°21 Estacion 2+660



Fuente: Elaboración propia.

⁷ Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito

2. Señales de prevención.

2.1 Serie de cambio en alineamiento Horizontal:

Según la SIECA⁸ se simboliza P-1-2, esta señal estará ubicada en la estación 0+140 con vista de Noroeste hacia Sureste, 1+320 con vista de Sureste hacia Noroeste, 1+440 con vista de Sureste hacia Noroeste, 0+960 con vista de Sureste a Noroeste y 1+580 Con vista de Noroeste a Sureste.

Figura N°22 Estacion 0+140



Fuente: Elaboración propia

Figura N°23 Estacion 1+320



Fuente: Elaboración propia

⁸ Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Transito

Figura N°24 Estacion 0+960



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°25 Estacion 1+440



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°26 Estacion 1+580



Fuente: Elaboración Propia

Según la SIECA⁹ se simboliza P-1-5, esta señal estará ubicada en la estación 0+480 con vista de Sureste a Noroeste.

Figura N°27 Estacion 0+480



Fuente: Elaboración Propia

⁹ Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Transito

Según la SIECA¹⁰ se simboliza P-1-4, esta señal estará ubicada en la estación 1+460 con vista de Noroeste a Sureste,

Figura N°28 Estacion 1+460



Fuente: Elaboración Propia

2.2 Serie Proximidad de Intersecciones o Entronques:

Según la SIECA⁴ se simboliza P-2-4, esta señal estará ubicada en la estación 2+060 con vista de Sureste a Noroeste

Figura N°29 Estacion 2+060



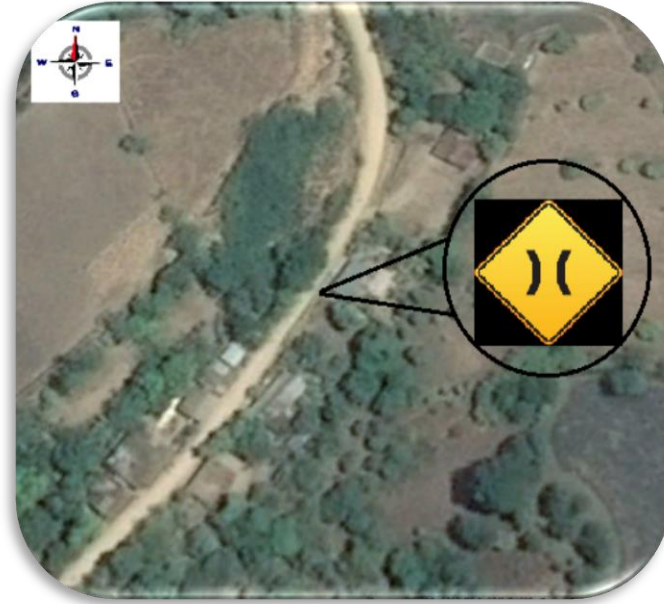
Fuente: Elaboración Propia.

¹⁰ Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Transito

2.3 Serie de tránsito Convergente y carreteras Divididas:

Según la SIECA⁴ se simboliza P-5-6, esta señal estará ubicada en la estación 2+060 con vista de Suroeste a Noreste

Figura N°30 Estacion 2+940



Fuente: Elaboración Propia

7.3.2 Señales Horizontales.

Línea amarilla continua: esta señalización será usada en los tramos comprendidos entre las estaciones 0+000 hasta 1+660 y desde la 1+700 hasta 2+140.

Figura N° 31 Línea Amarilla Continua



Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo VIII. Diseño de Pavimento Articulado.

8.1 Introducción.

El diseño de Pavimento articulado que en nuestro caso tomaríamos el mismo procedimiento del pavimento flexible, consiste en determinar los espesores de las capas que constituyen la estructura del mismo, con el propósito de obtener un número estructural del pavimento que pueda soportar el nivel de carga esperado.

Para el cálculo de espesores se utilizó la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, la cual se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO.

El método toma en cuenta el Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo de la ruta, efectuar ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

8.2 Marco Teórico.

8.2.1 Estructura de Pavimento.

El pavimento es la estructura esencial de una vía constituida por capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas sub rasante, sub base, base y carpeta de rodamiento; con el fin de resistir adecuadamente las cargas al terreno.

8.2.2 Clasificación de los pavimentos.

Los pavimentos se clasifican en:

Pavimentos Flexibles: Este tipo de pavimento está formado por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base.

Pavimentos Semi-Rígidos: Guarda básicamente la misma estructura de un Pavimento Flexible, una de las capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos.

Pavimentos Rígidos: Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido.

Pavimento articulado o de adoquines: Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la sub-rasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación.

8.2.3 Elementos de la estructura de Pavimento Articulado.

Sub Rasante: Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Sub Base: Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento.

Base: Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de ésta a la sub-rasante y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Capa de Arena: Se usarán arenas naturales de río, arenas volcánicas o minerales, debiendo estar libres de arcillas, materia orgánica o cualquier otro material que pudiera interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie.

Adoquines: Son elementos contruidos de material pétreo y cemento colocados sobre una capa de arena, su función primordial es absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado. Su forma es tal que impide el deslizamiento entre un adoquín y otro; la sisa se llena de arena fina o arena, para evitar filtraciones, y de esta forma se evita que se quiebren y desportillen entre ellos; por consiguiente, no se necesitan mezclas ni ligante entre adoquines.

Sello de Arena: Los adoquines se colocarán directamente sobre la arena, de manera que la junta entre ellos no exceda los 5 milímetros. La arena de sello entre juntas de adoquines puede ser, de la misma usada para su lecho, cribada por el tamiz N° 8.

8.2.4 Método de diseño de Pavimento.

El método utilizado para el diseño de pavimento es AASHTO 93, que consiste en encontrar el número estructural

La ecuación general del diseño de pavimento es la siguiente:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{(\Delta PSI)}{[4.2-1.5]} \right]}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32$$

$$\log_{10} M_R - 8.07 \quad \text{Ecuación N° 22}$$

Dónde:

W₁₈: Número de aplicaciones de cargas previstas de 18Kips (80KN) previstas.

Z_R: Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

S₀: Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI: Pérdida de Serviciabilidad prevista en el diseño.

M_R: Módulo resiliente de la sub-rasante (psi).

S_N: Número estructural.

8.2.5 Confiabilidad ®.

Es un factor de seguridad que se emplea en el diseño de un pavimento, depende de diversos factores, entre ellos la calidad del estudio de tránsito realizado, la calidad de los materiales, la calidad de los estudios de muestreo de suelos y calidad del trabajo de construcción, clasificando la carretera de manera funcional y el nivel de confiabilidad que presenta.

Un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costos, pero pasará más tiempo hasta que el pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores, al contrario, un nivel de confiabilidad bajo da pavimentos más económicos, pero con un mayor costo de mantenimiento.

8.2.6 Desviación Estándar (S₀)

Una vez seleccionada el nivel de confiabilidad, se debe considerar el valor del error estándar combinado (S₀), representativo de las condiciones locales. Este parámetro está directamente ligado al nivel de confiabilidad elegido para la vía. Corresponde a la función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

8.2.7 Coeficiente de Drenaje

El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto importante a considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

8.2.8 Número Estructural Requerido

El SN¹¹ es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}) y de la Serviciabilidad terminal (p_t).

8.2.9 Geometría Vial.

El diseño geométrico constituye una parte fundamental para la obra a ejecutarse, ya que es determinante en todos los aspectos de la formulación del Proyecto, define ni más ni menos la ubicación y la forma geométrica para los elementos de la carretera de manera que esta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

Hay muchas condiciones que limitan los alineamientos horizontales y verticales de la carretera, una de ellas y muy importante, la topografía del terreno. Para nuestro caso, con un eje de carretera bien definido por la topografía actual y por tratarse de una estructura vial en uso, el trabajo se restringe a garantizar el cumplimiento de la Normas de diseño Vial (según la SIECA) para velocidades de diseño y radio de curvas.

Se realizó el levantamiento topográfico del terreno, ya que no existen antecedentes de estudios topográficos en la zona. Utilizando Estación Total garantizamos la precisión en el trabajo, tomando 7 puntos máximo en secciones transversales cada 20m logramos un detalle exacto del terreno. Se observa de esta manera que existen pendientes pronunciadas de hasta 12%, por lo que definimos la zona como un terreno Ondulado. **(Ver Anexos, Tabla I, Pág. I)**

¹¹ SN: Número estructural.

Teniendo conocimiento de la zona, se determina la Velocidad de Diseño, que es la velocidad máxima de conducción en condiciones de seguridad y comodidad. Para este proyecto se asigna un valor de 40 km/h, ya que por tratarse de un camino con Nivel de Servicio Tipo D existen ciertas restricciones en la vía que no permiten que el conductor se desplace a mayor velocidad.

Posteriormente, haciendo uso del software CIVIL 3D se traza el diseño geométrico horizontal adecuándose a la geometría actual de la carretera. Aunque para este proyecto el Radio Mínimo de Curvatura es 45° (**Ver Anexo, Tabla V, Pág. V**), algunas curvas no permiten cumplir con esta norma, por lo que se trabajó con distintas velocidades para cada tramo de carretera, respetando el radio mínimo de giro establecido por la SIECA para el vehículo de diseño del proyecto (C3 según estudio de tráfico = 13.7m).

Una vez obtenido el diseño geométrico horizontal de la carretera, se crean los perfiles verticales longitudinales del terreno y se traza la rasante del proyecto, asegurando un balance entre los volúmenes de movimiento de tierra, asignamos secciones transversales (según diseño estructural) y finalmente el CIVIL3D brinda los datos de volúmenes necesarios para proceder al Presupuesto del Proyecto.

Tabla N°31 Características propuestas de Diseño Geométrico de la vía.

| Tipo de terreno | Rural ondulado |
|----------------------|----------------|
| Velocidad de diseño | 40 Km/h |
| Ancho de Carretera | 5 m |
| Ancho de Carril: | 2.5 m |
| Cunetas Triangulares | 1.20 m |
| Cunetas Típicas | 0.50 m |
| Peralte Máximo | 10 % |
| Bombeo | 2 % |

Fuente: *Elaboración Propia*

8.3 Metodología.

El diseño de pavimento consiste primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento, Este método es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructuras de pavimento: rígido y flexible. En el caso de pavimentos articulados, la AASHTO 93 recomienda usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible. **(Ver ecuación N° 22, Pág. 84)**

Variables a considerar para el diseño de pavimento.

8.3.1 Confiabilidad(R)

El nivel de confiabilidad se obtiene de seleccionar el tipo de camino como Colectora y ubicada en zona rural, el cual se encuentra en un rango entre 75 - 95%. En este caso se tomará una confiabilidad de 85%, **Ver Anexo, Tabla XVI, Pag XIII**

Una vez seleccionado el valor de “R.” se busca el valor de Z_R , el valor que representa a la confiabilidad y que es llevado a la ecuación de la AASHTO-93 es, finalmente, el valor de Z_R . Nuestro valor de Z_R será de -1.037 **Ver Anexo, Tabla XVII, Pág. XIII**

8.3.2 Desviación Estándar (So)

Los valores de desviación estándar varían dependiendo del tipo de pavimento que se construya, Para el diseño, se tomó una desviación estándar, **So = 0.45, Ver Anexo, Tabla XVIII, Pág. XIV**

8.3.3 Coeficiente de drenaje (m)

La calidad del drenaje está expresado en la fórmula del número estructural como (mi), éste coeficiente depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación. En este caso se considera un coeficiente de drenaje de 0.8, **(Ver Anexo, Tabla XIX Valores Mi recomendados, Pág. XIV)**

8.4 Resultados

8.4.1 CBR de diseño

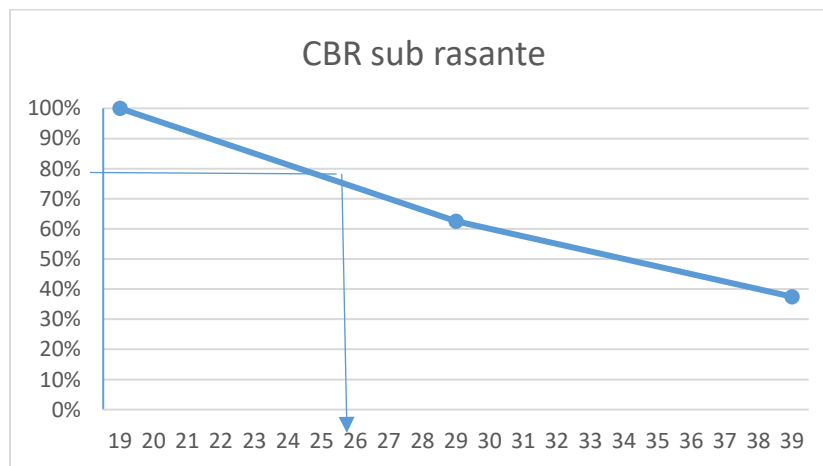
El CBR del material granular que se encontró en el tramo Puntalito-Valle El Limón es de 26% que se obtuvo con un percentil de 75%.(Ver Tabla N°32 y Figura N°32, pág. 88). Para Definir el Percentil, se utilizó la tabla, Criterios del Instituto de Asfalto y conociendo el número de ejes en el carril de Diseño. Se encuentra el percentil, que en nuestro caso es de 75% ya que nuestro número de ejes se encuentra entre 10,000 y 1,000,000, (Ver Anexo Tabla XX, Pag XIV). El material del banco tiene un CBR de 35 % que no es ideal para la base, pero se estabilizó con suelo cemento.

Tabla N°32 Calculo del Percentil

| Clasificación de suelo | CBR sub rasante | Sondeos | N° de valores \geq | % de valores \geq |
|------------------------|-----------------|---------|----------------------|---------------------|
| A-1-a | 19 | 3 | 8 | 100% |
| A-2-4 | 29 | 2 | 5 | 63% |
| A-1-b | 39 | 3 | 3 | 38% |
| Σ | | 8 | | |

Fuente: *Elaboración Propia*

Figura N°32 Cálculo de CBR de Diseño



Fuente: *Elaboración Propia*

8.4.2 Módulo de Resiliencia de la sub-rasante (MR)

La base para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método es el Modulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR. **Ver Anexo, Tabla XXI, Pág. XV**

A través del CBR promedio, se escogieron los valores de CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca (DMS) del Próctor Modificado (AASHTO T-180). En Nuestro caso el CBR calculado fue de 26%. Tomando en cuenta el valor del CBR utilizaremos el tercer criterio de la **Tabla de Ecuación de correlación X (Ver anexo, Tabla XXII, Pág. XV)** para calcular el Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante:

$$Mr = 4326 * Ln(CBR) + 241 \quad \text{Ecuación N° 23}$$

$$Mr = 4326 * Ln(26) + 241$$

$$Mr = 14,336 \text{ psi}$$

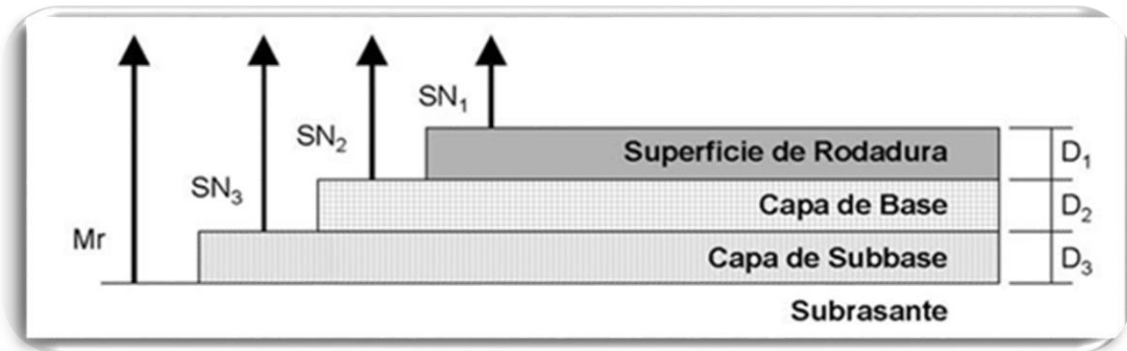
8.4.3 Coeficientes Estructurales

Es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento. Los coeficientes estructurales (a_1) que son empleados en el Método AASHTO 93, los cuales utilizaremos en el diseño de la carretera son los siguientes:

En nuestro diseño utilizaremos un valor de $a_1 = 0.45$ este coeficiente estructural de la capa de rodamiento (Adoquín) ya está definido en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, en el capítulo 7, página 107.

. El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad terminal, y de las condiciones ambientales.

Figura N°33 Estructura del Pavimento



Fuente: (AASHTO-93)

Espesor Capa de Rodamiento

$$D_1 = 10cm \quad D_1 = 4 \text{ pulg}$$

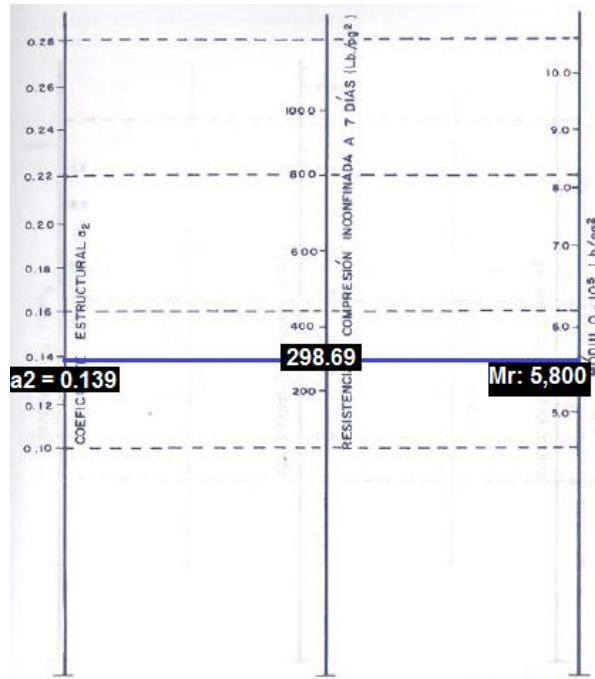
$$SN_1 = a_1 \times D_1 \quad \text{Ecuación N° 24}$$

$$SN_1 = 0.45 \times 4 = 1.8$$

Base (a_2): El valor del coeficiente estructural de capa de base (a_2) se determina con el uso del nomograma de la guía AASTHO, tomando en cuenta el valor de CBR el cual corresponde al 80% (estabilizado con suelo cemento), como se observa en el grafico

$$a_2 = 0.139$$

Figura N°34 Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural a_2 y MR para la base granular estabilizadas con Suelo Cemento.



Fuente: (AASHTO-93)

Sub-base (a_3)

Para determinar el valor del coeficiente estructural de capa de sub base granular (a_3) se toma como parámetro de entrada el valor del CBR de la sub base, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical izquierda con el valor de

$$a_3 = 0.115$$

Figura N°35 Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural a_3 y MR para la sub-base granular.

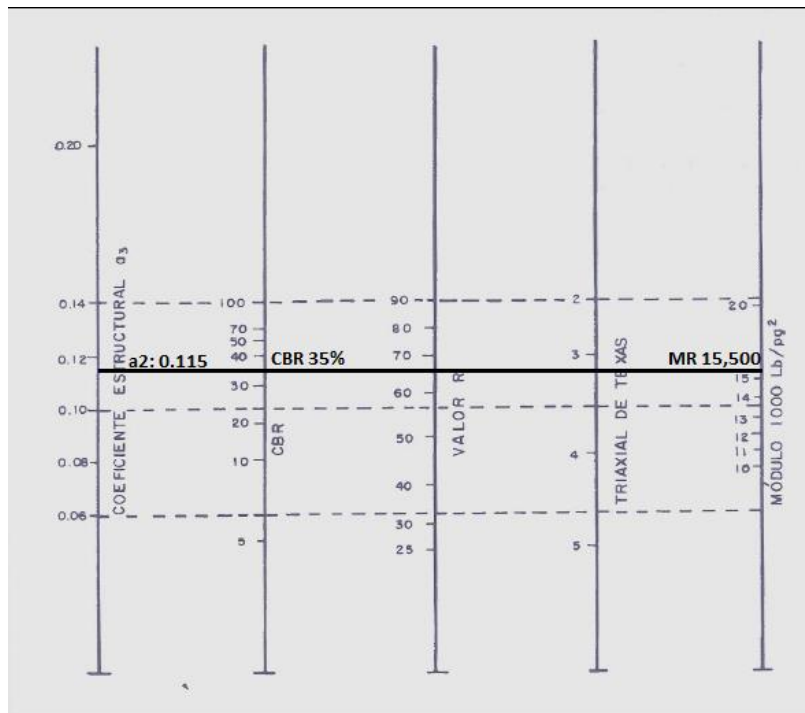


Figura 9: Valores del coeficiente estructural (asb) para subbases granulares no-tratadas

Fuente: (AASHTO-93)

Para obtener los números estructurales de diseño se tomaron los siguientes datos:

Tabla N°33. Tabla de Datos para encontrar el número Estructural

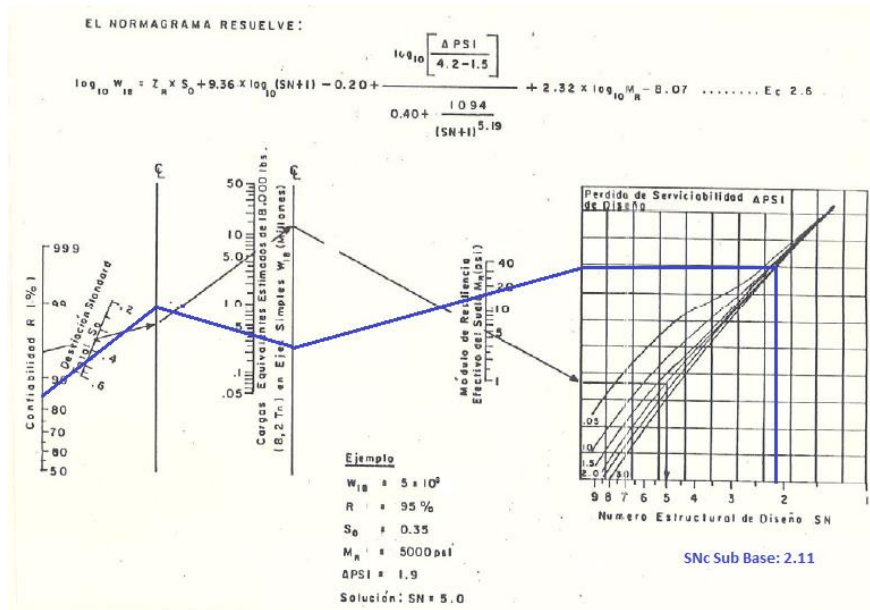
| | |
|--|------------------------------------|
| Confiabilidad Deseada | 85% |
| Desviación Estándar | 0.45 |
| Número de Ejes Equivalentes | 221,576.7 |
| Módulo de Resiliencia de Sub- Rasante | 14,336 |
| Módulo de Resiliencia para Base | 5,800 psi |
| Módulo de Resiliencia para Sub- Base | 15,500 psi |
| Perdida de Serviciabilidad | ΔPSI =2.2 |

Fuente: *Elaboración Propia*

8.4.4 Número Estructural Requerido

El Número Estructural de cada Capa de la Estructura de Pavimento son empleados en el método de AASHTO 93, para la carpeta de rodamiento utilizaremos $SN_1 = 1.8$

Figura N°36 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Sub base



Fuente: (AASHTO-93)

Se verifico mediante programa portable donde resuelve la ecuación AASHTO 93

Figura N°37 Programa de la Ecuación AASHTO 93

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 85% $Z_R = -1.037$ $S_0 = 0.45$

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante: $M_R = 15500 \text{ psi}$

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

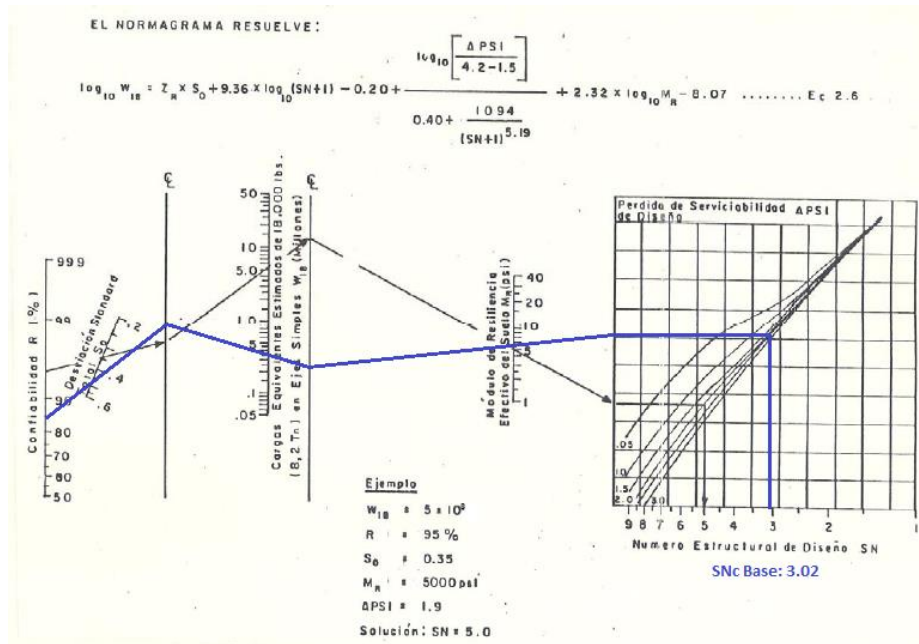
Tipo de Análisis: Calcular SN $W_{18} = 369612.19$ Calcular W_{18}

Número Estructural: $SN = 2.11$

Calcular Salir

Fuente: Propia:

Figura N°38 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Base



Se verifico mediante programa portable donde resuelve la ecuación AASHTO 93

Figura N°39 Programa de la Ecuación AASHTO 93

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (S_o): 85 % Z_R=-1.037 S_o 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 5800 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

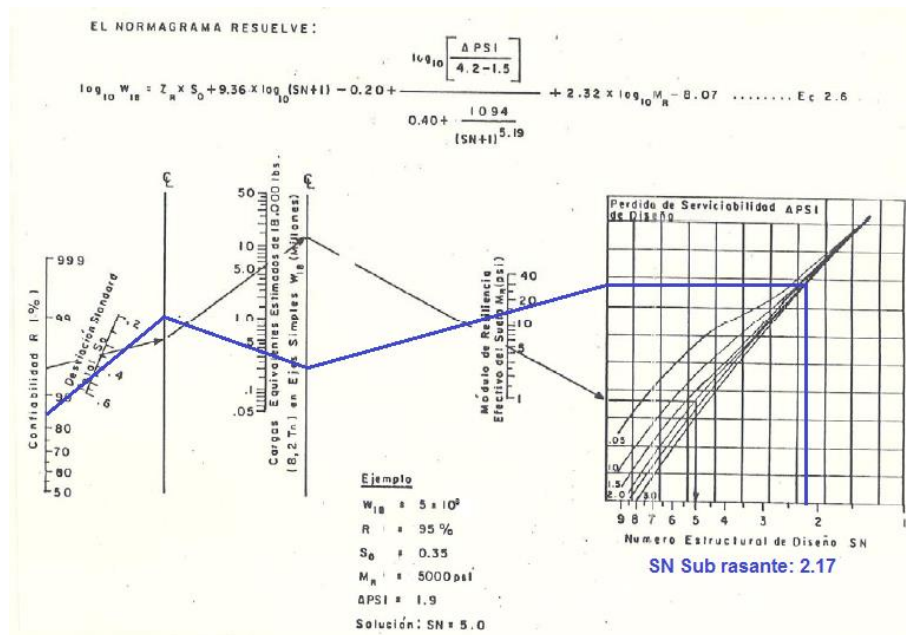
Tipo de Análisis: Calcular SN **W18 = 369612.19** Calcular W18

Número Estructural: **SN = 3.02**

Calcular Salir

Fuente: Propia:

Figura N°40 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexible, SN Sub Rasante



Se verifico mediante programa portable donde resuelve la ecuación AASHTO 93

Figura N°41 Programa de la Ecuación AASHTO 93

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento

Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)

85% $Z_R = -1.037$ So 0.45

Serviciabilidad inicial y final

PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante

M_R 14336 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)

Coefficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)

Coefficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis

Calcular SN **$W_{18} = 369612.19$**

Calcular W_{18}

Número Estructural

SN = 2.17

Calcular Salir

Fuente: Propia:

El número estructural requerido según el nomograma es $SN_c = 2.11$ para sub base, $SN_c = 3.02$ para la base, $SN_c = 2.17$ para sub rasante. (Ver figura N° 36, 38 y 40, Pág. 93, 94 y 95)

El cálculo del espesor D_2 de la base se calculó mediante el despeje de la siguiente ecuación:

$$SN_{req} = a_1 * D_1 * m_1 + a_2 * D_2 * m_2$$

$$D_2 = \frac{(SN_c - SN_1)}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{(3.02 - 1.8)}{0.1399 * 0.8} = 11 \text{ Pulg.}$$

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 = 0.139 * 11 * 0.8$$

$$SN_2^* = 1.2$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_{sr}$$

$$1.8 + 1.2 \geq 2.17$$

$$3 \geq 2.17 \text{ Cumple}$$

$$D_3 = \frac{SN_c - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.11 - (1.2 + 1.8)}{0.115 * 0.8} = -10 \text{ Pulg.}$$

El resultado de D_3 (espesor de la capa), muestra que no se necesita utilizar sub-base en el diseño de la estructura de pavimento. En síntesis, la estructura de pavimento articulado más la estructura de la base de suelo-cemento son capaces de transferir de forma adecuada las cargas originadas por el tráfico que circularan por la vía hasta la sub-rasante sin ocasionar daños.

8.4.5 Espesores de la estructura de pavimento.

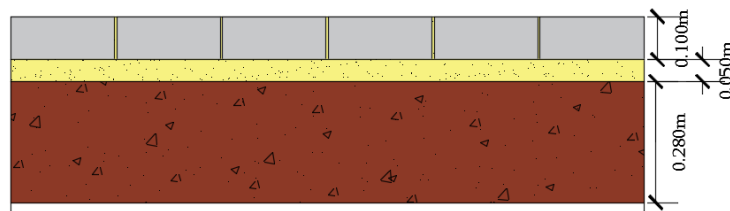
El diseño consiste en la construcción de una carpeta compuesta por una base estabilizada con suelo-cemento, la cama de arena y una superficie de rodadura de adoquín, colocados sobre una superficie preparada.

Tabla N°34 Espesores de Pavimentos

| Capa | Espesor | |
|--|----------------|--------------|
| Adoquín (carpeta de rodamiento) | 4 Pulg | 10 cm |
| Cama de arena para Adoquín | 2 Pulg | 5 cm |
| Base estabilizada con cemento | 11 Pulg | 28 cm |
| Total | 17 Pulg | 43 cm |

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°42 Estructura de Pavimento.



Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IX. Presupuesto

9.1 Introducción

El Presupuesto del Proyecto consiste en una serie de costos que determinaran la factibilidad de la obra a ejecutarse. Dichos costos se evalúan determinando la cantidad de obras (cuantificadas por unidades de medida características de cada actividad) y designando valores unitarios a cada una de ellas.

Hay muchos factores que se deben tomar en cuenta al momento de realizar un presupuesto, entre ellos, la cantidad de materiales, la mano de obra, el factor transporte, la disponibilidad de recursos (agua, electricidad por ejemplo), la accesibilidad y una serie de gastos indirectos que de alguna manera u otra definirán el costo total de proyecto con el fin de garantizar su adecuada ejecución.

La metodología consiste en gran parte en la experiencia adquirida como profesionales de la construcción, siguiendo una serie de pasos y tomando en cuenta criterios en beneficio de la obra.

Primeramente se realizó el Take Off de materiales, que es sencillamente, la cantidad de materiales necesarios para la ejecución del proyecto. Es importante para esto caso, la precisión de los resultados, ya que un cálculo incorrecto podría significar grandes pérdidas económicas para el dueño de la Obra. Una vez obtenida la cantidad de materiales, se deben afectar por factores de desperdicio para luego realizar un listado de materiales con sus respectivas unidades de medidas.

Posteriormente se definen los costos unitarios, que son los valores por unidad necesarios para realizar cada actividad, esto incluye los precios de materiales y la mano de obra, resultado de cotizaciones y cálculos de rendimiento horario. Podemos comprender este concepto con un simple ejemplo: costo unitario es el valor monetario que necesito para fundir 1 m³ de concreto. También se debe tener en cuenta los costos de transporte de materiales (generalmente se utilizan factores en dependencia de la ubicación del proyecto).

Finalmente, el producto entre la cantidad de material y los costos unitarios se denomina Costos Totales por Actividad, que sumados constituyen el Presupuesto Directo del Proyecto.

También existen gastos que no están directamente relacionados con la ejecución de la obra pero que significan un golpe al bolsillo para el ejecutor de la obra, los conocidos Costos Indirectos incluyen los gastos de técnicos-administrativos que para fines de cálculo andan entre 8% a 10% de los Costos Totales Directos.

En nuestro país, al momento de realizar un presupuesto, se incluyen también los impuestos municipales (1%), Impuestos sobre la Renta (IR-2%) y el 15% correspondiente del I.V.A. El resultado de la suma de Costos Directos, Costos Indirectos e Impuestos será el Presupuesto General del Proyecto.

A continuación detalle del Presupuesto:

Tabla N°35 Take Off de Materiales

| TAKE OFF GENERAL | | | | | |
|---|--|----------------|------------|-----------------|--------------------------|
| Proyecto: Construcción de 3360 m de Pavimento Articulado y Obras de Drenaje Tramo de Camino Los Puntalitos - Valle El Limón | | | | | |
| Fecha: Octubre 2016 | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | U/M | CANTIDAD | PRECIO UNIT C\$ | TOTAL C\$ |
| 01 | TRAZO Y NIVELACIÓN | | | | 20,875.00 |
| | Cuarton 2"X2"X5 vrs | C/U | 120.00 | 90.00 | 10,800.00 |
| | Regla 1"X3"X4 vrs | C/U | 80.00 | 80.00 | 6,400.00 |
| | Clavos 2.5" | Lbs | 35.00 | 25.00 | 875.00 |
| | Lienza | C/U | 20.00 | 140.00 | 2,800.00 |
| 02 | MOVIMIENTO DE TIERRA | | | | 4,050,000.00 |
| | PREPARACION DE BASE MEJORADA | | | | |
| | Material Selecto (Incluye Transporte) | m ³ | 1,350.00 | 250.00 | 337,500.00 |
| | Cemento | Bolsa | 13,500.00 | 275.00 | 3,712,500.00 |
| 03 | CUNETAS, VADOS, BORDILLO Y VIGA DE REMATE | | | | 2,562,638.00 |
| | Cemento | Bolsa | 5,814.00 | 275.00 | 1,598,850.00 |
| | Arena | m ³ | 680.00 | 550.00 | 374,000.00 |
| | Grava | m ³ | 640.00 | 720.00 | 460,800.00 |
| | Acero 3/8" | QQ | 25.00 | 1,320.00 | 33,000.00 |
| | Formaleta (3 usos) | m ² | 505.20 | 190.00 | 95,988.00 |
| 04 | CARPETA DE RODAMIENTO | | | | 4,722,400.00 |
| | Adoquines | C/U | 350,175.00 | 12.00 | 4,202,100.00 |
| | Arena | m ³ | 946.00 | 550.00 | 520,300.00 |
| 05 | SEÑALIZACION VIAL | | | | 70,020.00 |
| | Tubo de Acero mas rotulo de Señalización | C/U | 20.00 | 1,500.00 | 30,000.00 |
| | Pintura Tipo Tráfico | m | 3,335.00 | 12.00 | 40,020.00 |
| SUBTOTAL | | | | | C\$ 11,425,933.00 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°36 Gasto de Renta de Equipos

| GASTOS RENTA HORARIA DE EQUIPOS | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|--------------|------------------|---------------------|--------------|
| ITEM | EQUIPO | RENDIMIENTO | VOLUMENES | HORAS DE TRABAJO | COSTO HORARIO (C\$) | COSTO TOTAL |
| 01 | BULLDOZER D6 XL CAT | | | | | 1,797,600.00 |
| | Corte de Material | 38 m3/h | 24,162.24 m3 | 636.00 | 2,800.00 | 1,780,800.00 |
| | Escarificar terreno natural | 425 m3/h | 2,500.00 m3 | 6.00 | 2,800.00 | 16,800.00 |
| 02 | CARGADORA FRONTAL CAT 930 | | | | | 264,600.00 |
| | Cargar Material a Volquetes para desalojo | 150 m3/h | 16,926.52 m3 | 113.00 | 1,960.00 | 221,480.00 |
| | Cargar Material a Volquetes en Explotacion de Banco | 150 m3/h | 3,160.71 m3 | 22.00 | 1,960.00 | 43,120.00 |
| 03 | MOTONIVELADORA CAT 120G | | | | | 564,480.00 |
| | Conformación Terreno Escarificado | 350 m2/h | 16,675.00 m2 | 48.00 | 3,360.00 | 161,280.00 |
| | Conformación de Base de e=0.28m | 140 m2/h | 16,675.00 m2 | 120.00 | 3,360.00 | 403,200.00 |
| 04 | VIDROCOMPACTADORA CAT CS 563D | | | | | 130,000.00 |
| | Compactar terreno escarificado de e= 0.15m | 240 m3/h | 3,251.00 m3 | 14.00 | 2,500.00 | 35,000.00 |
| | Compactar Base de e=0.28m | 120 m3/h | 4,515.30 m3 | 38.00 | 2,500.00 | 95,000.00 |
| 05 | CAMION CISTERNA 2000 GAL | | | | | 173,250.00 |
| | Riego para Conformación | 3 m ³ /h / 158 m ² /h | 315.00 m3 | 105.00 | 1,650.00 | 173,250.00 |
| 06 | CAMION VOLQUETE 12 M3 | | | | | 652,500.00 |
| | Desalojar material de Corte | 45 m3/h | 16,926.52 m3 | 377.00 | 1,500.00 | 565,500.00 |
| | Transportar material de prestamo hacia el sitio | 55 m3/h | 3,160.71 m3 | 58.00 | 1,500.00 | 87,000.00 |
| 07 | EXCAVADORA CAT 215 | | | | | 249,660.00 |
| | Explotar material de Banco | 70 m3/h | 5,065.00 m3 | 73.00 | 3,420.00 | 249,660.00 |
| SUBTOTAL | | | | | C\$ 3,832,090.00 | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°37 Detalle de Mano de Obra

| DETALLE DE MANO DE OBRA | | | | | |
|-------------------------|---|----------------|-----------|-----------------|--------------|
| ITEM | DESCRIPCION | U/M | CANTIDAD | PRECIO UNIT C\$ | TOTAL C\$ |
| 01 | LIMPIEZA INICIAL | | | | 40,020.00 |
| | Limpiar area de proyecto | m | 3,335.00 | 12.00 | 40,020.00 |
| 02 | TRAZO Y NIVELACIÓN | | | | 50,025.00 |
| | Replanteo Topográfico | m | 3,335.00 | 7.00 | 23,345.00 |
| | Trazar eje de adoquinado y cunetas | m | 3,335.00 | 8.00 | 26,680.00 |
| 03 | MOVIMIENTO DE TIERRA | | | | 45,150.00 |
| | Mezclar Homogeneamente Material de Prestamo, Material Selecto y Cemento | m ³ | 4,515.00 | 10.00 | 45,150.00 |
| 04 | CUNETAS, VADOS, BORDILLO Y VIGA DE REMATE | | | | 443,016.00 |
| | Armar y Colocar Formaleta | m ² | 505.20 | 80.00 | 40,416.00 |
| | Armar y Colocar Acero 3/8" | Lbs | 2,500.00 | 6.00 | 15,000.00 |
| | Fundir Concreto | m ³ | 646.00 | 600.00 | 387,600.00 |
| 05 | CARPETA DE RODAMIENTO | | | | 500,250.00 |
| | Tender Colchon de Arena y Colocar Adoquin | m ² | 16,675.00 | 30.00 | 500,250.00 |
| 06 | SEÑALIZACION VIAL | | | | 59,920.00 |
| | Armar y Colocar Señales | C/U | 20.00 | 500.00 | 10,000.00 |
| | Pintar Linea Central de la Carretera | m | 3,328.00 | 15.00 | 49,920.00 |
| SUBTOTAL | | | | | 1,138,381.00 |

Fuente: Elaboración Propia

TOTAL GENERAL: C\$ 16,396,404.00

Tabla N°38 Presupuesto General

PRESUPUESTO GENERAL

Proyecto: Construcción de 3360 m de Pavimento Articulado y Obras de Drenaje Tramo de Camino Los Puntalitos - Valle El Limón

Fecha: Octubre 2016

| ITEM | DESCRIPCION | U/M | CANTIDAD | PRECIO UNIT C\$ | TOTAL C\$ |
|------------------------------|---|--------|-----------|-----------------|--------------------------|
| 10 | LIMPIEZA INICIAL | | | | 117,648.00 |
| 10.1 | LIMPIEZA INICIAL | m² | 19,608.00 | 6.00 | 117,648.00 |
| 20 | TRAZO Y NIVELACION | | | | 139,776.00 |
| 20.1 | TRAZO Y NIVELACION PARA ADOQUINADO. INCLUYE REPLANTEO TOPOGRAFICO | m² | 19,968.00 | 7.00 | 139,776.00 |
| 30 | ROTULO | | | | 12,500.00 |
| 30.1 | ROTULO TIPO FISE DE 1.22 m x 2.44 m PARA PGC (ESTRUCTURA METALICA & ZINC LISO) CON BASES DE CONCRETO | c/u | 1.00 | 12,500.00 | 12,500.00 |
| 40 | TRAZO Y NIVELACION PARA CUNETAS | | | | 55,050.00 |
| 40.1 | TRAZO Y NIVELACION PARA CUNETAS | ml | 3,670.00 | 15.00 | 55,050.00 |
| 50 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION | Km | | | 37,500.00 |
| 50.1 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO (INC. MODULO) | Km | 300.00 | 125.00 | 37,500.00 |
| 60 | MOVIMIENTO DE TIERRA | Global | | | 5,208,179.40 |
| 60.1 | EXCARIFICACION Y/O CORTE CON TRACTOR SOBRE ORUGAS EN TERRENO NATURAL | m² | 24,162.24 | 75.00 | 1,812,168.00 |
| | RELLENO Y CONFORMACIÓN DE TERRENO A NIVEL DE SUB-BASE | m² | 7,235.72 | 45.00 | 325,607.40 |
| 60.2 | MEZCLA DE SUELO-CEMENTO (1:7), CONFORMACIÓN COMPACTACION DE BASE e=0.28m (CON MODULO) | m² | 4,515.30 | 680.00 | 3,070,404.00 |
| 70 | CARPETA DE RODAMIENTO | m² | | | 7,003,500.00 |
| 70.1 | ADOQUINADO Resistencia=3,500 PSI Ancho=0.22m, Largo=0.24m,Alto=0.10m CON CAMA DE ARENA DE 5 cms | m² | 16,675.00 | 420.00 | 7,003,500.00 |
| 80 | CUNETAS, VADOS, ANDENES Y BORDILLOS | ml | | | 4,021,800.00 |
| 80.1 | CUNETA DE CAITE DE CONCRETO DE 2500 PSI SIN REF. Ancho=0.50 m, Alto 1=0.20m,Alto 2=0.15 m CON REPELLO | ml | 3,430.00 | 480.00 | 1,646,400.00 |
| 80.2 | CUNETA TRIANGULAR CONCRETO DE 2500 PSI SIN REF. Ancho=1.20 m, Alto 1=0.95,Alto 2=0.45 m CON REPELLO | ml | 240.00 | 520.00 | 124,800.00 |
| 80.3 | VIGA DE REMATE DE CONCRETO DE 2500 PSI, DE 0.15 x 0.30 m, TRANSVERSAL P/ADOQUINES | ml | 645.00 | 280.00 | 180,600.00 |
| 80.4 | BORDILLO DE CONCRETO DE 2500 PSI SIN REF. Ancho = 0.15 m, Alto = 0.30 m CON REPELLO | ml | 6,670.00 | 280.00 | 1,867,600.00 |
| 80.5 | VADOS DE CONCRETO 3000 PSI Ancho= 5.00m Largo=4.00 m | c/u | 8.00 | 25,300.00 | 202,400.00 |
| 90 | SEÑALIZACION HORIZONTAL Y VERTICAL | c/u | | | 266,240.00 |
| 90.1 | SEÑALES DE INFORMACION | | | | 133,120.00 |
| 90.1.1 | SEÑAL INFORMATIVA ESTANDAR (PARAL DE ACERO CON BASE DE CONCRETO DE 3000 | c/u | 20.00 | 2,200.00 | 44,000.00 |
| 90.2 | SEÑALES VIALES PERMANENTES | | | | 133,120.00 |
| 90.2.1 | SEÑALIZACION HORIZONTAL (PINTADA CON EQUIPO) | M | 3,328.00 | 40.00 | 133,120.00 |
| 100 | LIMPIEZA Y ENTREGA | Global | | | 98,040.00 |
| 100.1 | LIMPIEZA FINAL | m2 | 19,608.00 | 5.00 | 98,040.00 |
| COSTO TOTAL DIRECTO | | | | | C\$ 17,093,353.40 |
| COSTO TOTAL INDIRECTOS (10%) | | | | | C\$ 1,709,335.34 |
| SUBTOTAL | | | | | C\$ 18,802,688.74 |
| IMPUESTO I.V.A 15% | | | | | C\$ 2,820,403.31 |
| IMPUESTO MUNICIPAL 1% | | | | | C\$ 188,026.89 |
| IMPUESTO RENTA 2% | | | | | C\$ 376,053.77 |
| COSTO TOTAL DEL PROYECTO | | | | | C\$ 22,187,172.71 |

Fuente: Elaboración propia

El costo total de la obra será de C\$ 22, 187,172.71 (Veintidós Millones, Ciento Ochenta y Siete Mil, Ciento Setenta y Dos córdobas con 71/100)

Conclusiones

Se han realizado todos los estudios necesarios para el diseño estructural de pavimento articulado en el tramo de camino Los Puntalitos – Valle El Limón. Mediante el uso de equipos topográficos (Estación Total) se hizo el levantamiento topográfico del área de estudio, permitió crear perfiles verticales del terreno y tener una visión clara de las características del terreno, se clasificó la zona como terreno “Ondulado” según lo establecidos por las Normas Centroamericanas. El estudio topográfico jugó un papel indispensable en el diseño geométrico, ya que se notaron restricciones topográficas que limitan cumplir ciertas normas de diseño, se diseñó por lo tanto con velocidades de diseño no mayores a 40 km/h y con radio mínimos desde los 13.70 m. Utilizando el software de diseño vial CIVIL3D se obtuvieron los volúmenes de movimiento de tierra y los detalles de secciones transversales.

En el caso del estudio Hidrológico, consistió en el análisis de la estación meteorológica Los Puntalitos, se determinó la lluvia de Diseño y posteriormente la máxima intensidad. Utilizando el software ArcGis se limitaron las áreas de las cuencas de aporte, facilitando el cálculo del Caudal de Diseño por el método racional y Tránsito de Avenida. Una vez conocidas las micro cuencas y sus caudales, se diseñaron obras de drenaje como cunetas y vados utilizando el programa HCanales.

Paralelamente se trabajaron los estudios geológicos y geotécnicos, mediante visitas de campo, se hizo un análisis geológico de la zona, notándose el deterioro provocado en la sección del camino debido al efecto del agua, que ha creado surcos longitudinales que evidencian la vulnerabilidad de estos suelos ante la erosión hídrica. A la vez, mediante el método de la calicata, se extrajeron muestras de suelos (8 calicatas en puntos estratégicos), a las cuales se le practicaron estudios granulométricos, límites de consistencia (Limite Líquido y Limite Plástico), CBR y Próctor Estándar, con el fin de valorar la calidad del material para efectos estructurales. El material de la zona se clasifica como A-1-a y A-1-b según la AASHTO, aptos para Sub Base, pero descartado para base. Se propone entonces utilizar material de préstamo del Banco de Material Santa Bárbara, que estabilizado con suelo cemento al 7% nos garantiza un CBR de 80%.

Se realizaron estudios de tránsito mediante aforos vehiculares de 12 horas durante una semana, para conocer el comportamiento y el flujo vehicular de la zona, se determinó de esta manera el vehículo de diseño (C3), el TPDA de 443 vehículos proyectados al 2035 con una tasa de crecimiento de 2.6% y el número estructural ESAL'S de 369,612.19

Se determinaron en que Tramos se van a ubicar Tanto las Vigas Transversales, como las vigas de remate

Se trabajó a la vez en la señalización vial, con el fin de brindar seguridad al conductor, se establecieron tanto señales verticales (Rótulos) como horizontales (Líneas Pintadas)

Se procedió entonces al cálculo estructural de la sección transversal de la carretera, el resultado, una carpeta de rodamiento de 4" de pavimento articulado sobre colchón de arena de 2" y una base de 12" de espesor estabilizada con suelo-cemento.

Finalmente se establece el Presupuesto general de la Obra, teniendo en cuenta gastos de materiales, mano de obra y transporte, para crear una idea clara de la inversión necesaria para este proyecto y poder evaluar la factibilidad del mismo.

Recomendaciones

- ✓ Se debe garantizar un adecuado trazo de alineamientos y niveles del proyecto, para asegurar las pendientes necesarias para un buen drenaje y comodidad en la conducción. Se recomienda para eso, colocar niveletas sencillas cada 10m máximo.
- ✓ Es necesario que los equipos del módulo se encuentre en buen estado para asegurar la correcta conformación del terreno y evitar retrasos en la obra.
- ✓ Se recomienda realizar una mezcla homogénea de Suelo-Cemento para obtener la resistencia buscada de 21 kg/cm².
- ✓ Es importante certificar la calidad de materiales utilizados en el proyecto ya que deben cumplir con las normas establecidas en la NIC-2000.
- ✓ Es indispensable respetar los espesores de capas establecidos en el diseño estructural.
- ✓ También son inviolables las secciones transversales de las obras de drenajes menores, así como las pendientes establecidas en el diseño, por lo que se recomienda una supervisión continua por parte del contratante.

Bibliografía

- ❖ AASHTO. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (3ra edición). San Juan: instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

- ❖ Bervis, I. E. (2004). Guía Hidráulica para el Diseño de Obras de Drenaje menor en Caminos Rurales.

- ❖ Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geometrico de Carreteras Regionales (Vol. 2). (2004).

- ❖ MTI. (2008). Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de drenaje menor.

- ❖ MTI. (2008). Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos.

- ❖ NIC. (2000). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.
- ❖ SIECA. (2000) Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito.

- ❖ SIECA. (2004). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

- ❖ UNI. Guías de Laboratorios Mecánica de suelos I

Anexos

Tabla N° I.

Cuadro 4.17 Clasificación de los Terrenos en función de las Pendientes Naturales

| Tipo de Terreno | Rangos de Pendientes (%) |
|-----------------|--------------------------|
| Llano o plano | $G \leq 5$ |
| Ondulado | $5 > G \leq 15$ |
| Montañoso | $15 > G \geq 30$ |

G= Pendiente

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla N° II

Cuadro 3.1

Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento

| TPDA | >20,000 | | 20,000-10,000 | | 10,000-3,000 | | 3,000-500 | |
|---------------------------|---------|---------|---------------|---------|--------------|---------|-----------|---------|
| | No. C | Superf. | No.C | Superf. | No.C | Superf. | No.C | Superf. |
| AR- Autopistas Regionales | 6-8 | Pav. | 4-6 | Pav. | | | | |
| TS- Troncales Suburbanas | 4 | Pav. | 2-4 | Pav. | 2 | Pav. | | |
| TR- Troncales Rurales | 4 | Pav. | 2-4 | Pav. | 2 | Pav. | | |
| CS- Colectoras Suburbanas | | | 2-4 | Pav. | 2 | Pav. | 2 | Pav. |
| CR- Colectoras Rurales | | | | | 2 | Pav. | 2 | Pav. |

No.C : Número de carriles; Superf. : Superficie de rodamiento; Pav : Pavimento asfáltico o de cemento Portland.

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla N° III.

Cuadro 4.10 Radios mínimos y grados máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño

| Velocidad de Diseño (Km/h) | Factor de Fricción Máxima | Peralte máximo 4% | | | Peralte máximo 6% | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------|----------------|-------------------|-------------|----------------|
| | | Radio (m) | | Grado de Curva | Radio (m) | | Grado de Curva |
| | | Calculado | Recomendado | | Calculado | Recomendado | |
| 30 | 0.17 | 33.7 | 35 | 32° 44' | 30.8 | 30 | 38° 12' |
| 40 | 0.17 | 60.0 | 60 | 19° 06' | 54.8 | 55 | 20° 50' |
| 50 | 0.16 | 98.4 | 100 | 11° 28' | 89.5 | 90 | 12° 44' |
| 60 | 0.15 | 149.2 | 150 | 7° 24' | 135.0 | 135 | 8° 29' |
| 70 | 0.14 | 214.3 | 215 | 5° 20' | 192.9 | 195 | 5° 53' |
| 80 | 0.14 | 280.0 | 280 | 4° 05' | 252.0 | 250 | 4° 35' |
| 90 | 0.13 | 375.2 | 375 | 3° 04' | 335.7 | 335 | 3° 25' |
| 100 | 0.12 | 492.1 | 490 | 2° 20' | 437.4 | 435 | 2° 38' |
| 110 | 0.11 | 635.2 | 635 | 1° 48' | 560.4 | 560 | 2° 03' |
| 120 | 0.09 | 872.2 | 870 | 1° 19' | 755.9 | 775 | 1° 29' |

| Velocidad de Diseño (Km/h) | Factor de Fricción Máxima | Peralte máximo 8% | | | Peralte máximo 10% | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|
| | | Radio (m) | | Grado de Curva | Radio (m) | | Grado de Curva |
| | | Calculado | Recomendado | | Calculado | Recomendado | |
| 30 | 0.17 | 28.3 | 30 | 38° 12' | 26.2 | 25 | 45° 50' |
| 40 | 0.17 | 50.4 | 50 | 22° 55' | 46.7 | 45 | 25° 28' |
| 50 | 0.16 | 82.0 | 80 | 14° 19' | 75.7 | 75 | 15° 17' |
| 60 | 0.15 | 123.2 | 120 | 9° 33' | 113.4 | 115 | 9° 58' |
| 70 | 0.14 | 175.4 | 175 | 6° 33' | 160.8 | 160 | 7° 10' |
| 80 | 0.14 | 229.1 | 230 | 4° 59' | 210.0 | 210 | 5° 27' |
| 90 | 0.13 | 303.7 | 305 | 3° 46' | 277.3 | 275 | 4° 10' |
| 100 | 0.12 | 393.7 | 395 | 2° 54' | 357.9 | 360 | 3° 11' |
| 110 | 0.11 | 501.5 | 500 | 2° 17' | 453.7 | 455 | 2° 31' |
| 120 | 0.09 | 667.0 | 665 | 1° 43' | 596.8 | 595 | 1° 56' |

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 156

Nota: Cifras redondeadas para radios y grados recomendados

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla N° IV

TABLA DE ELEMENTOS DE CURVA

| P.I. # | DIRECCION | DELTA | RADIO | T | L | Lc | E | M | PI | PC | PT | PI NORTE | PI ESTE |
|--------|-------------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|------------|-----------|
| PI=1 | N3.736915W | 65°59'56" | 62.09 | 40.32 | 71.52 | 67.64 | 11.94 | 10.02 | 0+078.01 | 0+037.69 | 0+109.21 | 1528475.23 | 588232.53 |
| PI=2 | N29.476740W | 14°31'08" | 299.61 | 38.17 | 75.92 | 75.72 | 2.42 | 2.40 | 0+695.13 | 0+556.97 | 0+632.89 | 1528896.96 | 587917.82 |
| PI=3 | N35.674145W | 26°54'50" | 162.90 | 38.98 | 76.52 | 75.82 | 4.60 | 4.47 | 0+765.10 | 0+726.12 | 0+802.64 | 1529054.69 | 587853.40 |
| PI=4 | N39.675954W | 18°54'37" | 39.89 | 6.64 | 13.16 | 13.11 | 0.55 | 0.54 | 0+813.32 | 0+806.68 | 0+819.85 | 1529087.19 | 587815.85 |
| PI=5 | N35.213854W | 9°59'09" | 208.00 | 18.17 | 36.25 | 36.21 | 0.79 | 0.79 | 0+883.71 | 0+865.54 | 0+901.79 | 1529148.11 | 587780.36 |
| PI=6 | N61.109665W | 41°48'20" | 152.56 | 58.27 | 111.32 | 108.86 | 10.75 | 10.04 | 1+065.71 | 1+007.44 | 1+118.76 | 1529287.17 | 587662.81 |
| PI=7 | N72.434260W | 19°09'22" | 52.00 | 8.77 | 17.39 | 17.30 | 0.74 | 0.72 | 1+162.49 | 1+153.71 | 1+171.10 | 1529301.35 | 587561.80 |
| PI=8 | N52.708236W | 20°17'45" | 52.00 | 9.31 | 18.42 | 18.32 | 0.83 | 0.81 | 1+266.45 | 1+257.14 | 1+275.56 | 1529348.85 | 587469.15 |
| PI=9 | N11.403010W | 62°18'52" | 20.00 | 12.09 | 21.75 | 20.70 | 3.37 | 2.88 | 1+366.11 | 1+354.01 | 1+375.77 | 1529422.40 | 587401.61 |
| PI=10 | N4.392851W | 48°17'39" | 50.75 | 22.75 | 42.78 | 41.52 | 4.87 | 4.44 | 1+411.11 | 1+388.36 | 1+431.14 | 1529467.05 | 587417.64 |
| PI=11 | N5.738439E | 68°33'24" | 56.13 | 38.26 | 67.16 | 63.22 | 11.80 | 9.75 | 1+511.90 | 1+473.65 | 1+540.80 | 1529557.98 | 587368.19 |
| PI=12 | N32.116602E | 15°48'02" | 28.00 | 3.89 | 7.72 | 7.70 | 0.27 | 0.27 | 1+692.70 | 1+688.82 | 1+696.54 | 1529627.03 | 587426.16 |
| PI=13 | N29.519495E | 10°36'22" | 73.61 | 6.83 | 13.63 | 13.61 | 0.32 | 0.32 | 1+645.44 | 1+638.60 | 1+652.23 | 1529675.17 | 587447.81 |
| PI=14 | N5.754679E | 58°08'09" | 28.00 | 15.56 | 28.41 | 27.21 | 4.03 | 3.53 | 1+732.80 | 1+717.23 | 1+745.64 | 1529746.92 | 587497.72 |
| PI=15 | N19.161494W | 8°18'13" | 126.54 | 9.19 | 18.34 | 18.32 | 0.33 | 0.33 | 1+817.96 | 1+808.77 | 1+827.11 | 1529827.62 | 587462.93 |
| PI=16 | N16.467097W | 2°54'53" | 663.97 | 16.89 | 33.78 | 33.77 | 0.21 | 0.21 | 1+977.21 | 1+960.32 | 1+994.10 | 1529981.47 | 587421.68 |
| PI=17 | N15.622665W | 4°36'13" | 36.00 | 1.45 | 2.89 | 2.89 | 0.03 | 0.03 | 2+093.21 | 2+091.77 | 2+094.66 | 1530091.85 | 587385.98 |
| PI=18 | N20.687121W | 14°43'57" | 100.08 | 12.94 | 25.73 | 25.66 | 0.83 | 0.83 | 2+158.56 | 2+145.62 | 2+171.36 | 1530155.44 | 587370.92 |
| PI=19 | N10.023029W | 36°03'38" | 50.00 | 16.28 | 31.47 | 30.95 | 2.58 | 2.46 | 2+323.19 | 2+306.31 | 2+338.38 | 1530300.85 | 587293.43 |
| PI=20 | N2.119919E | 11°46'29" | 28.00 | 2.89 | 5.75 | 5.74 | 0.15 | 0.15 | 2+386.51 | 2+383.63 | 2+389.38 | 1530364.63 | 587302.41 |
| PI=21 | N8.704727W | 9°52'28" | 28.00 | 2.42 | 4.83 | 4.82 | 0.10 | 0.10 | 2+446.40 | 2+443.98 | 2+448.81 | 1530424.41 | 587298.47 |
| PI=22 | N9.526674E | 46°20'14" | 28.00 | 11.98 | 22.64 | 22.03 | 2.46 | 2.26 | 2+499.83 | 2+487.85 | 2+510.50 | 1530476.35 | 587285.86 |
| PI=23 | N25.570431E | 14°14'59" | 28.00 | 3.50 | 6.96 | 6.95 | 0.22 | 0.22 | 2+534.62 | 2+531.12 | 2+538.08 | 1530506.73 | 587305.37 |
| PI=24 | N31.075612W | 99°02'32" | 15.00 | 17.58 | 25.93 | 22.82 | 8.11 | 5.26 | 2+595.55 | 2+577.97 | 2+603.90 | 1530564.56 | 587324.66 |
| PI=25 | N64.684154W | 31°49'31" | 48.00 | 13.68 | 26.66 | 26.32 | 1.91 | 1.84 | 2+634.00 | 2+620.32 | 2+646.98 | 1530572.35 | 587277.62 |
| PI=26 | N0.491576E | 98°31'35" | 12.50 | 14.51 | 21.50 | 18.94 | 6.65 | 4.34 | 2+681.35 | 2+666.83 | 2+688.33 | 1530604.02 | 587241.48 |
| PI=27 | N29.232439E | 41°02'40" | 81.46 | 30.49 | 58.35 | 57.11 | 5.52 | 5.17 | 2+897.96 | 2+867.47 | 2+925.82 | 1530748.83 | 587412.57 |
| PI=28 | N21.370754E | 25°19'16" | 157.87 | 35.46 | 69.77 | 69.20 | 3.93 | 3.84 | 2+995.87 | 2+960.40 | 3+030.17 | 1530848.21 | 587427.79 |
| PI=29 | N38.596177E | 9°07'47" | 18.00 | 1.44 | 2.87 | 2.87 | 0.06 | 0.06 | 3+077.24 | 3+075.80 | 3+078.67 | 1530916.61 | 587473.98 |
| PI=30 | N52.072541E | 17°49'23" | 52.22 | 8.19 | 16.24 | 16.18 | 0.64 | 0.63 | 3+131.77 | 3+123.58 | 3+139.82 | 1530956.39 | 587511.28 |
| PI=31 | N48.982958E | 24°00'08" | 186.16 | 39.57 | 77.99 | 77.42 | 4.16 | 4.07 | 3+228.56 | 3+188.98 | 3+266.97 | 1531003.40 | 587596.04 |
| PI=32 | N23.972532E | 26°01'07" | 18.00 | 4.16 | 8.17 | 8.10 | 0.47 | 0.46 | 3+272.03 | 3+267.87 | 3+276.04 | 1531039.05 | 587622.89 |
| PI=33 | N0.570710E | 20°47'06" | 18.00 | 3.30 | 6.53 | 6.49 | 0.30 | 0.30 | 3+312.61 | 3+309.31 | 3+315.84 | 1531079.04 | 587630.63 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° V

Cuadro 4.21

Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta basados en las Distancias de Visibilidad de Parada y de Adelantamiento

| Velocidad de Diseño Km/h | Velocidad de marcha Km/h | Distancia de parada para diseño (m) | Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G* | Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)* | Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de G* |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|---|---|
| 30 | 30-30 | 30-30 | 3-3 | 217 | 50 |
| 40 | 40-40 | 45-45 | 5-5 | 285 | 90 |
| 50 | 47-50 | 60-65 | 9-10 | 345 | 130 |
| 60 | 55-60 | 75-85 | 14-18 | 407 | 180 |
| 70 | 67-70 | 95-110 | 22-31 | 482 | 250 |
| 80 | 70-80 | 115-140 | 32-49 | 541 | 310 |
| 90 | 77-90 | 130-170 | 43-71 | 605 | 390 |
| 100 | 85-100 | 160-205 | 62-105 | 670 | 480 |
| 110 | 91-110 | 180-245 | 80-151 | 728 | 570 |

* Valores redondeados

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla N° VI

Cuadro 4.22

Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la Distancia de Visibilidad de Parada, DVP

| Velocidad de diseño Km/h | Rango de velocidad de marcha Km/h | Coeficiente de fricción | Valores DVP (m) | | Factor K de diseño * |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|---------|----------------------|
| | | | Menores | Mayores | |
| 30 | 30-30 | 0.40 | 30 | 30 | 4-4 |
| 40 | 40-40 | 0.38 | 45 | 45 | 8-8 |
| 50 | 47-50 | 0.35 | 60 | 65 | 11-12 |
| 60 | 55-60 | 0.33 | 75 | 85 | 15-18 |
| 70 | 63-70 | 0.31 | 95 | 110 | 20-25 |
| 80 | 70-80 | 0.30 | 115 | 140 | 25-32 |
| 90 | 77-90 | 0.30 | 130 | 170 | 30-40 |
| 100 | 85-100 | 0.29 | 160 | 205 | 37-51 |
| 110 | 91-110 | 0.28 | 180 | 245 | 43-62 |

* Cifras redondeadas

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla N° VII Análisis de Valores Extremos

| ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| m | I24 | lluvia en minutos | | | | | | |
| | | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 360 |
| 1 | 445.7 | 108.192 | 128.663 | 142.388 | 169.329 | 201.368 | 239.468 | 315.157 |
| 2 | 150.9 | 36.630 | 43.561 | 48.208 | 57.330 | 68.177 | 81.076 | 106.702 |
| 3 | 105.9 | 25.707 | 30.571 | 33.832 | 40.233 | 47.846 | 56.898 | 74.883 |
| 4 | 101.9 | 24.736 | 29.416 | 32.554 | 38.714 | 46.039 | 54.749 | 72.054 |
| 5 | 97.1 | 23.571 | 28.030 | 31.021 | 36.890 | 43.870 | 52.170 | 68.660 |
| 6 | 96.9 | 23.522 | 27.973 | 30.957 | 36.814 | 43.780 | 52.063 | 68.519 |
| 7 | 93.4 | 22.672 | 26.962 | 29.839 | 35.484 | 42.198 | 50.182 | 0.000 |
| 8 | 83.6 | 20.294 | 24.133 | 26.708 | 31.761 | 37.771 | 44.917 | 59.114 |
| 9 | 82.8 | 20.099 | 23.902 | 26.452 | 31.457 | 37.409 | 44.487 | 58.548 |
| 10 | 80.6 | 19.565 | 23.267 | 25.749 | 30.621 | 36.415 | 43.305 | 56.993 |
| 11 | 78.4 | 19.031 | 22.632 | 25.047 | 29.786 | 35.421 | 42.123 | 55.437 |
| 12 | 78 | 18.934 | 22.517 | 24.919 | 29.634 | 35.240 | 41.908 | 55.154 |
| 13 | 76 | 18.449 | 21.939 | 24.280 | 28.874 | 34.337 | 40.834 | 53.740 |
| 14 | 73.9 | 17.939 | 21.333 | 23.609 | 28.076 | 33.388 | 39.705 | 52.255 |
| 15 | 73.7 | 17.890 | 21.275 | 23.545 | 28.000 | 33.298 | 39.598 | 52.114 |
| 16 | 71.3 | 17.308 | 20.583 | 22.778 | 27.088 | 32.213 | 38.308 | 50.417 |
| 17 | 70 | 16.992 | 20.207 | 22.363 | 26.594 | 31.626 | 37.610 | 49.497 |
| 18 | 68.2 | 16.555 | 19.688 | 21.788 | 25.910 | 30.813 | 36.643 | 48.225 |
| 19 | 63.8 | 15.487 | 18.417 | 20.382 | 24.239 | 28.825 | 34.279 | 45.113 |
| 20 | 62.7 | 15.220 | 18.100 | 20.031 | 23.821 | 28.328 | 33.688 | 44.336 |
| 21 | 62.5 | 15.172 | 18.042 | 19.967 | 23.745 | 28.238 | 33.580 | 44.194 |
| 22 | 60.7 | 14.735 | 17.523 | 19.392 | 23.061 | 27.424 | 32.613 | 42.921 |
| 23 | 57.6 | 13.982 | 16.628 | 18.402 | 21.883 | 26.024 | 30.948 | 40.729 |
| 24 | 45.9 | 11.142 | 13.250 | 14.664 | 17.438 | 20.738 | 24.661 | 32.456 |
| 25 | 44.8 | 10.875 | 12.933 | 14.312 | 17.020 | 20.241 | 24.070 | 31.678 |
| 26 | 44.1 | 10.705 | 12.731 | 14.089 | 16.754 | 19.924 | 23.694 | 31.183 |
| 27 | 39.4 | 9.564 | 11.374 | 12.587 | 14.969 | 17.801 | 21.169 | 27.860 |
| 28 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 29 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 31 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración Propia

Figura A. Quebrada del Valle el Limón.



Fuente: Propia.

Se encuentra en la estación 1+190 transversal a vía y no hay ninguna obra de drenaje existente.

Figura N° C y D. Calicatas realizadas a lo largo del tramo a diseñar.



Fuente: Propia

Tabla VIII. Clasificación Suelo, Método AASHTO

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200) | | | | | | | Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200) | | | |
|---|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|---|------------------|-------------------|----------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Grupo: | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | |
| Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm) | 50 máx 30 máx 15 máx | - 50 máx 25 máx | - 51 mín 10 máx | - - 35 máx | | | | - - 36 mín | | | |
| Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad | - 6 máx | | - NP (1) | 40 máx 10 máx | 41 mín 10 máx | 40 máx 11 mín | 41 mín 11 mín | 40 máx 10 máx | 41 mín 10 máx | 40 máx 11 mín | 41 mín (2) 11 mín |
| Constituyentes principales | Fracmentos de roca, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Características como subgrado | Excelente a bueno | | | | | | | Pobre a malo | | | |

Fuente: Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos

Tablas IX, CBR Muestra 3

| Probeta N° | Penetración | | Presión (PSI) | Presión (Mpa) | Carga patrón | % de CBR | |
|------------|-------------|----------|---------------|---------------|--------------|----------|------|
| | mm | Pulgadas | | | | | |
| 1 | 56 | 2.54 | 0.1 | 529.5 | 10 | 6.9 | 145% |
| | | 5.08 | 0.2 | 741.3 | 14 | 10.3 | 136% |
| 1 | 25 | 2.54 | 0.1 | 52.95 | 1 | 6.9 | 14% |
| | | 5.08 | 0.2 | 105.9 | 2 | 10.3 | 19% |
| 1 | 10 | 2.54 | 0.1 | 0 | 0 | 6.9 | 0% |
| | | 5.08 | 0.2 | 0 | 0 | 10.3 | 0% |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla X. CBR Muestra 5

| Probeta N° | Penetración | | Presión (PSI) | Presión (Mpa) | Carga patrón | % de CBR | |
|------------|-------------|----------|---------------|---------------|--------------|----------|-----|
| | mm | Pulgadas | | | | | |
| 1 | 56 | 2.54 | 0.1 | 52.95 | 1 | 6.9 | 14% |
| | | 5.08 | 0.2 | 105.9 | 2 | 10.3 | 19% |
| 1 | 25 | 2.54 | 0.1 | 105.9 | 2 | 6.9 | 29% |
| | | 5.08 | 0.2 | 211.8 | 4 | 10.3 | 39% |
| 1 | 10 | 2.54 | 0.1 | 105.9 | 2 | 6.9 | 29% |
| | | 5.08 | 0.2 | 158.85 | 3 | 10.3 | 29% |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla XI. CBR Muestra 7

| Probeta N° | Penetración | | Presión (PSI) | Presión (Mpa) | Carga patrón | % de CBR | |
|------------|-------------|----------|---------------|---------------|--------------|----------|-----|
| | mm | Pulgadas | | | | | |
| 1 | 56 golpes | 2.54 | 0.1 | 52.95 | 1 | 6.9 | 14% |
| | | 5.08 | 0.2 | 105.9 | 2 | 10.3 | 19% |
| 1 | 25 golpes | 2.54 | 0.1 | 105.9 | 2 | 6.9 | 29% |
| | | 5.08 | 0.2 | 158.85 | 3 | 10.3 | 29% |
| 1 | 10 golpes | 2.54 | 0.1 | 105.9 | 2 | 6.9 | 29% |
| | | 5.08 | 0.2 | 158.85 | 3 | 10.3 | 29% |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla XII. Resumen de Granulometría de Calicatas

| Estacion | Sondeo N° | Estrato N° | Profundidad (Cm) | Granulometria | | | | | | | | | LL | IP | Clasificacion (HRB) | CBR (95%) |
|----------|-----------|------------|------------------|---------------|------|-----|------|----|----|----|----|-------|------|------|---------------------|-----------|
| | | | | 3" | 0.75 | 0.5 | 0.38 | 4 | 10 | 20 | 40 | 200 | | | | |
| 0+000 | 1 | 1 | 0 - 0.5 | 100 | 100 | 99 | 98 | 91 | 78 | 76 | 31 | 10.06 | 8 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+000 | 1 | 2 | 0.50 - 0.20 | 100 | 100 | 100 | 95 | 95 | 69 | 69 | 4 | 1 | 17 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+000 | 1 | 3 | 0.20 - 0.10 | 100 | 100 | 95 | 82 | 82 | 16 | 16 | 2 | 1.12 | 15 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+000 | 1 | 4 | 0.10 - 0.40 | 100 | 100 | 89 | 75 | 75 | 11 | 11 | 3 | 1.32 | 9.2 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+250 | 2 | 1 | 0 - 0.60 | 100 | 87 | 62 | 57 | 45 | 33 | 15 | 8 | 4 | 19.4 | 9 | A-2-4 | 29% |
| 0+250 | 2 | 2 | 0.60 - 0.60 | 100 | 100 | 99 | 97 | 84 | 54 | 18 | 7 | 3 | 6 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+600 | 3 | 1 | 0 - 0.25 | 100 | 92 | 90 | 81 | 65 | 35 | 20 | 15 | 8.03 | 11.2 | 0 | A-1-a | 19% |
| 0+600 | 3 | 2 | 0.25 - 0.41 | 100 | 97 | 93 | 90 | 81 | 66 | 32 | 8 | 4.14 | 21.4 | 1.4 | A-1-b | 39% |
| 0+600 | 3 | 3 | 0.41 - 0.55 | 100 | 98 | 98 | 97 | 83 | 47 | 15 | 2 | 0.87 | 30 | 0 | A-1-a | 19% |
| 0+900 | 4 | 1 | 0 - 0.16 | 100 | 98 | 91 | 85 | 78 | 68 | 41 | 11 | 5 | 23.2 | 0 | A-1-b | 39% |
| 0+900 | 4 | 2 | 0.16 - 0.60 | 100 | 100 | 98 | 94 | 86 | 74 | 17 | 5 | 3 | 27 | 2 | A-1-b | 39% |
| 0+900 | 4 | 3 | 0.60 - 0.44 | 100 | 100 | 98 | 96 | 92 | 81 | 24 | 7 | 3 | 27 | 7 | A-2-4 | 29% |
| 1+950 | 5 | 1 | 0 - 1.20 | 100 | 95 | 90 | 87 | 62 | 26 | 5 | 1 | 0.16 | 25.4 | 1.92 | A-1-b | 39% |
| 2+700 | 6 | 1 | 0 - 0.35 | 100 | 100 | 99 | 99 | 91 | 63 | 31 | 19 | 8.87 | 35.6 | 10 | A-2-4 | 29% |
| 2+700 | 6 | 2 | 0.35 - 0.10 | 100 | 100 | 99 | 91 | 69 | 24 | 4 | 2 | 1 | 50.8 | 26 | A-2-4 | 29% |
| 2+700 | 6 | 3 | 0.10 - 0.75 | 100 | 100 | 100 | 100 | 83 | 40 | 8 | 3 | 1.5 | 31.2 | 3 | A-1-a | 19% |
| 2+920 | 7 | 1 | 0 - 0.15 | 100 | 84 | 76 | 69 | 49 | 26 | 8 | 3 | 1.46 | 40.2 | 0 | A-1-a | 19% |
| 2+920 | 7 | 2 | 0.15 - 0.50 | 100 | 100 | 91 | 85 | 70 | 43 | 14 | 8 | 3.36 | 7.4 | 0 | A-1-a | 19% |
| 2+920 | 7 | 3 | 0.50 - 0.55 | 100 | 98 | 96 | 90 | 70 | 42 | 13 | 4 | 1.01 | 31.6 | 8 | A-2-4 | 29% |
| 3+290 | 8 | 1 | 0 - 0.57 | 100 | 95 | 74 | 68 | 51 | 33 | 15 | 2 | 2.53 | 17.6 | 0 | A-1-a | 19% |
| 3+290 | 8 | 2 | 0.57 - 0.30 | 100 | 94 | 83 | 76 | 59 | 38 | 10 | 3 | 1 | 10 | 0 | A-1-a | 19% |

Fuente: Elaboración Propi

Tabla XIII Granulometría de Banco de Material

LABORATORIO NICARAGÜENSE DE MATERIALES, S.A.
CALLE 14, MANAGUA, NICARAGUA

INFORME DE ENSAYES DE SUELOS

Cliente _____ Operador _____
Proyecto _____ Fecha: _____

| | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|
| Ensaye No. | | | | | |
| Sondeo No. | | | | | |
| Muestra No. | | | | | |
| Profundidad | | | | | |
| Ubicación | | | | | |
| | | | | | |

Granulometría

| | | | |
|-----------------------|----|--|--------------------------------|
| % Que pasa (tamiz 2") | 97 | | Pero Volumétrico de 100 MAXIMO |
| 1 1/2" | 90 | | 145/m ³ |
| 1" | 78 | | |
| 3/4" | 71 | | 1348 |
| 1/2" | 62 | | |
| 3/8" | 57 | | Humedad Optimo. |
| No. 4 | 45 | | 9.3. |
| No. 10 | 33 | | |
| No. 40 | 19 | | |
| No. 200 | 12 | | Pero Volumétrico de 100 |

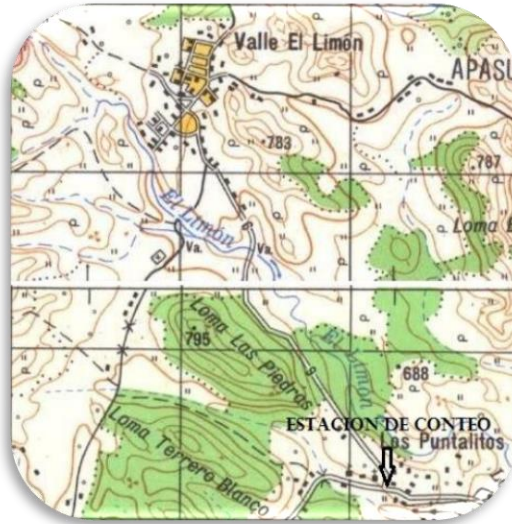
Ensayes Adicionales

| | | | |
|-----------------------|--------|--|--------------------------|
| Límite Líquido | 46 | | 1400 kg/m ³ . |
| Índice de Elasticidad | 8 | | |
| Clasificación U.R.E. | | | Factor de compactación |
| | | | 1.32. |
| | G: 55 | | |
| | D: 33 | | |
| | F: 12. | | |
| | | | |
| | | | |

Observaciones:

Fuente: Elaboración Propia

Figura E Estación de conteo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura F y G. Fotos de Estación de Conteo 0+000, Empalme de Puntalitos.



Fuente: Propia

Tabla N° XV. Período de Diseño

| Tipo de Carretera | Período de Diseño |
|--------------------------|--------------------------|
| Autopista Regional | 20 – 40 años |
| Troncales suburbanas | 15 – 30 años |
| Troncales Rurales | |
| Colectoras Suburbanas | 10 – 20 años |
| Colectoras Rurales | |

Fuente: (SIECA, Noviembre 2002)

Tabla N° XVI. Niveles de Confiabilidad

| Niveles recomendados de confiabilidad R | | |
|--|------------------|----------------|
| Tipo de Carretera | Suburbana | Rural |
| Autopistas Regionales | 85-99.9 | 80-99.9 |
| Troncales | 80-99 | 75-95 |
| Colectoras | 80-95 | 75-95 |

Fuente: (SIECA, 2002)

Tabla XVII. Tabla de Valores de Zr

| Valores de ZR en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| Confiabilidad R | 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 99.9 | 99.99 |
| Valor de ZR | 0 | -0.253 | -0.52 | -0.674 | -0.841 | -1.037 | -1.282 | -1.340 | -1.405 | -1.476 | -1.555 | -1.645 | -1.75 | -1.881 | -2.05 | -2.327 | -3.090 | -3.750 |

Fuente: (AASHTO-93)

Tabla XVIII Desviación estándar recomendada

| Desviación Estandar del Sistema (S_o) | |
|---|---------------------|
| Condicion de Diseño | Desviación Estandar |
| Para Pavimentos Flexibles | 0.40 - 0.50 |
| En Construccion Nueva | 0.35 - 0.40 |
| En Sobre-capas | 0.5 |

Fuente: (SIECA, 2002)

Tabla XIX. Valores de M_i recomendados

| Calidad de drenaje | Valores de M_i recomendados | | | |
|--------------------|--|-------------|-------------|----------------|
| | porcentaje de tiempo al cual esta expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad proxima a saturacion | | | |
| | Menor del 1% | 1 - 5 % | 5 - 25% | Mayor del 25 % |
| Excelente | 1.40 - 1.35 | 1.35 - 1.30 | 1.30 - 1.20 | 1.20 |
| Buena | 1.35 - 1.25 | 1.25 - 1.15 | 1.15 - 1.00 | 1.00 |
| Regular | 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 |

Fuente: (AASHTO-93)

Tabla XX. Criterio del instituto para determinar el CBR de Diseño

| Criterio del instituto de Asfalto para determinar el CBR de Diseño | |
|--|---------------------------------------|
| Numero de Ejes de 8.2 Tn en el Carril de Diseño (Esal's) | Percentil Seleccionado para el Diseño |
| Menor a 10,000 | 60 |
| 10,000 - 1,000,000 | 75 |
| Mayor a 1,000,000 | 87.5 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla XXI. Tabla de Ecuación de correlación

| Modulo resiliente (Mr) | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Valores de C.B.R | Consideracion |
| C.B.R < 7.2% | Mr = 1500*CBR |
| 7.2% < CBR < 20% | $Mr = 3000 * CBR^{0.65}$ |
| C.B.R > 20% | Mr = 4326 * LN(CBR) + 241 |

Fuente: (AASHTO-93)

Tabla xxii.

| Modulo resiliente (Mr) | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Valores de C.B.R | Consideracion |
| C.B.R < 7.2% | Mr = 1500*CBR |
| 7.2% < CBR < 20% | $Mr = 3000 * CBR^{0.65}$ |
| C.B.R > 20% | Mr = 4326 * LN(CBR) + 241 |

Fuente: (AASHTO-93)