UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción.

Monografía.

“DISEÑO GEOMÉTRICO USANDO CIVIL 3D Y DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 3.0 KILÓMETROS DEL SUB-TRAMO EMPALME ZOMPOPERITA–COMUNIDAD EL CARMEN, MUNICIPIO SANTA MARÍA DE PANTASMA, DEPARTAMENTO DE JINOTEGA APLICANDO EL MÉTODO DE LA AASHTO 93”.

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Ivania Del Carmen Espinoza Coronado.

Br. Kelvin Antonio Castro Luna.

Br. Juan José Hernández Herrera.

Tutor

DR. Sergio Junior Navarro Hudiel

Managua, octubre 2021

Managua, 14 de octubre 2021

Sustituir con carta del tutor

Doctor

ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA

Decano

Facultad de Tecnología de la Construcción – UNÍ

Su Oficina.

Estimado Dr. Gutiérrez:

Por este medio tengo a bien informarle que la monografía que lleva por nombre: **"DISEÑO GEOMÉTRICO USANDO CIVIL 3D Y DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 3.0 KILÓMETROS DEL SUB-TRAMO EMPALME ZOMPOPERITA–COMUNIDAD EL CARMEN, MUNICIPIO SANTA MARÍA DE PANTASMA, DEPARTAMENTO DE JINOTEGA APLICANDO EL MÉTODO DE LA AASHTO 93",** está lista para entrar en el proceso de defensa final, la cual fue realizada por los Bachilleres: Ivania Del Carmen Espinoza Coronado, Kelvin Antonio Castro Luna y Juan José Hernández Herrera, Bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha monografía, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente,

_____

DR. Sergio J. Navarro Hudiel

CC: Archivo

SUSTITUIR CON CARTA DE APROBACIÓN

DEDICATORIA.

Br. Ivania Del Carmen Espinoza Coronado.

Br. Kelvin Antonio Castro Luna.

Br. Juan José Hernández Herrera.

AGRADECIMIENTO.

Br. Ivania Del Carmen Espinoza Coronado.

Br. Kelvin Antonio Castro Luna.

Br. Juan José Hernández Herrera.

RESUMEN EJECUTIVO.

El presente estudio tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño geométrico usando civil 3D y de estructura de pavimento flexible de 3.0 kilómetros ubicado en el departamento de Jinotega- Municipio de Santa María de Pantasma, aplicando el método de la AASHTO-93.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

Este capítulo aborda las generalidades del proyecto como donde estará ubicado, una breve introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de los 3.0 kilómetros de pavimento flexible y objetivos planteados necesarios para lograr con éxito su diseño final.

CAPÍTULO II: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Se realizó en colaboración con Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma, los cuales muestran los resultados que se obtuvieron durante la realización de dicho estudio, se muestra detalladamente todo lo relacionado con la planimetría y altimetría del terreno, donde se identificaron las pendientes máximas y mínimas con sus respectivas estaciones, luego se elaboró un consolidado de las obras de drenajes existentes a lo largo del tramo en análisis, así como el levantamiento de los BMs, curvas y rectas importantes a lo largo del tramo, con la finalidad de tener una perspectiva clara de las condiciones del terreno y poder realizar los planos finales.

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO.

Para cumplir con el primer objetivo propuesto, se realizó un conteo vehicular en la estación 0+000 (inicio del proyecto) donde se captó el 100% de los vehículos, luego se estimó TPDi (Tráfico Promedio Diurno) el cual se calculó por medio de los datos recolectados en el conteo vehicular, realizado durante 5 días consecutivos 12 horas diurnas (6 am-6 pm), con el objetivo de estimar el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), para el cual se utilizaron factores de ajustes de la estación de corta duración (Estación ECD-111 Condega -Shell Palacagüina).

Los factores utilizados fueron: FD (factor día), FS (Factor semana) y FE (Factor expansión).

Luego se realizaron correlaciones de los registros de TPDA-ECD111 Vs PIB (producto interno bruto) y TPDA-ECD111 Vs POB (población) con la finalidad de estimar una tasa de crecimiento para proyectar el tráfico actual, esto en un periodo de diseño luego se estimó el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL s) o W18.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Se analizó el estudio de suelos realizado por GEONIC (Ingenieros Consultores), con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo existente y bancos de materiales cercanos al proyecto. De los 13 sondeos de línea a cada 250 metros se tomaron 25 muestras. Los bancos de préstamos se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019 (Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes), para determinar si cumplen para ser utilizados como base o subbase. Posterior se realizó el cálculo del CBR de la subrasante para determinar su módulo resiliente.

CAPÍTULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL.

El contenido de este capítulo expone resultados corresponden al establecimiento y/o definición de la Geometría Vial del tramo de Proyecto **Empalme Zompoperita –Comunidad El Carmen** (**3.0 kilómetros)**, adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 3ra Edición 2011).

Se definieron los parámetros tal como; Radio Mínimo (Rmin), distancia entre ejes (L), coeficiente de fricción longitudinal (fmax), Grado de curvatura máximo (Dc), pendiente transversal (%), distancia de visibilidad de parada (DVP) y rebase (DVR); en función de la velocidad de diseño (Vd).

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento, se utilizaron los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño (**ESAL's**), confiabilidad **(R)**, serviciabilidad **(Po, Pt)**, desviación estándar **(So)**, y el CBR de diseño; el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliencia **(Mr)**, el valor de los coeficientes estructurales **(a_1, a_2, a_3)**, y el valor de los números estructurales **(SN_1, SN_2, SN_3)**. Posterior se comprobó los espesores requeridos en la estructura de pavimento; utilizando el software WinPAS 12.

Contenido

GENERALIDADES CAPITULO I

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

ESTUDIO TOPOGRÁFICO CAPITULO II

2.1 Metodología. 5
2.2. Levantamiento Topográfico. 5
2.3. Planimetría. 6
2.3.1. Alineamiento Horizontal. 6
2.3.2. Eje de la carretera. 7
2.3.3. Perfil Longitudinal. 7
2.4. Altimetría. 8
2.4.1. Establecimiento de BMs. 8
2.4.2. Curvas de nivel. 8
2.4.3. Características de la Topografía existente. 9
2.4.3.1. Bombeo de la sección transversal. 10
2.4.3.2. Sobreelevación o Peralte. 10
2.4.3.3. El Derecho de Vía y otras obras. 10
2.4.4. Pendiente Longitudinal. 11
2.5. Drenaje Pluvial. 13
2.5.1. Drenaje Longitudinal. 13
2.5.2. Alcantarillas. 13
2.5.3. Drenaje Mayor. 14
2.6. Elaboración de Planos. 14

ESTUDIO DE TRÁNSITO CAPITULO III

3.1. Generalidades. 15
3.2. Recopilación de Datos. 15

3.2.1. Tipos de Vehículos. 16
3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes. ...17
3.3. Procesamiento de Información. 17
3.4. Análisis de la Información Obtenida. 17
3.5. Estación de Conteo Vehicular. 17
3.6. Procesamiento de Datos. 18
3.6.1. Resumen del aforo vehicular. 19
3.6.2. Cálculo del TPDA. 21
3.6.3. Composición Vehicular. 25
3.7. Determinación de las Tasas de Crecimiento. 26
3.7.1. Tasas de Crecimiento. 26
3.7.2. Correlación de Datos entre ECD N°111 y PIB. 28
3.7.3. Correlación de Datos entre ECD 111 y Población (POB). 32
3.7.4. Cálculo de Proyección de Tránsito. 35
3.8. Selección de la Tasa de Crecimiento. 37
3.9. Determinación del Tránsito de Diseño. 37
3.9.1. Período de Diseño (PD). 37
3.9.2. Factor de Crecimiento (FC). 38
3.9.3. Factor Distribución Por Dirección (FD). 38
3.9.4. Factor Distribución Por Carril (fc). 39
3.9.5. El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po). 40
3.9.6. El Índice de Serviciabilidad Final (Pt). 40
3.9.7. Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI). 40
3.9.9. Factor de Equivalencia (FESAL). 41
3.9.10. Ejes Equivalentes (ESAL o W18). 42

ESTUDIO GEOTÉCNICO CAPITULO IV

4.1. Metodología. 44
4.2. Ensayos de Suelos en Línea. 44
4.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea. 45
4.2.2. Análisis de los Resultados. 48
4.3. Resultados de Ensayos a Bancos de Préstamo. 48
4.3.1. Consideraciones para Elección del Banco a Utilizar. 51
4.4. Banco de Materiales Propuesto para la Capa Base. 52

4.5. Banco de materiales propuesto para la capa Sub-Base.....53
4.6. Estabilización con cemento del material de Bancos Préstamos.....55
4.7. Determinación del CBR de Diseño.....59
4.7.1. Identificación de la Subrasante.....59

DISEÑO GEOMÉTRICO CAPITULO V

5.1. Metodología.....64
5.2. Establecimiento y definición de los Parámetros Geométricos.....65
5.2.1. Localización del Proyecto.....65
5.2.2. Clasificación Funcional.....66
5.2.3. Reconocimiento e Inventario vial.....66
5.2.3.1. Estructura de Pavimento y Suelos.....66
5.2.3.2. Drenaje.....67
5.2.3.3. Alcantarillas.....67
5.2.3.4. Vados.....67
5.2.3.5. Drenaje Mayor.....67
5.2.3.6. Cunetas.....68
5.2.3.7. Pendiente transversal ó Bombeo.....68
5.2.3.8. Sobreelevación o Peralte.....68
5.2.3.9. Taludes.....69
5.2.3.10. Hombros o Acotamientos.....69
5.2.4. Volumen de tránsito Actual y Esperado.....69
5.2.5. Vehículo de Diseño.....70
5.3. Justificación de Criterios Adoptados.....71
5.3.1. Velocidad de diseño (Vd).....71
5.3.2. Superficie de rodamiento.....72
5.3.3. Número de carriles.....72
5.3.4. Ancho de Carril de rodamiento.....73
5.3.5. Ancho de Hombros y Aceras.....73
5.3.6. Ancho de corona.....74
5.3.7. Pendiente transversal.....74
5.3.8. Pendiente Transversal de la franja de Hombro.....74
5.3.9. Sección Típica Propuesta.....74
5.3.10. Distancia de visibilidad.....75

5.4. Alineamiento Horizontal de la Carretera. 80
5.4.1 Curvatura Horizontal y Sobreelevación. 80
5.4.2. Pendiente transversal (bombeo). 80
5.4.3. Coeficiente de Fricción Lateral (f). 81
5.4.4. Sobreelevación máxima. 81
5.4.5. Radios Mínimos y sus Grados Máximos de Curva. 82
5.4.6. Peralte (e_d). 83
5.4.7. Longitud de transición (LT). 86
5.4.7.1. Pendiente Relativa. 86
5.4.8. Sobre anchos en curvas. 87
5.5. Alineamiento Vertical. 88
5.5.1. Curvas Verticales. 88
5.5.2. Curvas verticales en cresta. 90
5.5.3. Curvas verticales en columpio. 91
5.6. Diseño Planimétrico del Proyecto. 92
5.7. Diseño Altimétrico del Proyecto. 93
5.8. Software Civil-3D. 96
5.8.1. Determinación de la superficie y el eje de la vía. 96
5.8.2. Creación de Alineamiento Horizontal. 97
5.8.2. Creación de Perfil Longitudinal. 99
5.8.3. Criterios de Superelevation (peralte). 100
5.8.4. Criterios de Sobreanchos (Sa). 101
5.8.5. Alineamiento Vertical. 102

DISEÑO DE PAVIMENTO CAPITULO VI

6.1. Metodología de Diseño AASHTO 93. 103
6.2. Variables de Diseño por considerarse en el Método AASHTO 93. 104
6.2.1. Variables en Función del Tiempo. 104
6.2.1.1. La vida útil del Pavimento. 104
6.2.2. Variables en Función del Tránsito. 104
6.2.2.1. Factores Equivalente de Carga (FEi). 104
6.2.2.2. Peso por Ejes Simples Equivalentes. 105
6.2.2.3. Confiabilidad (R). 105
6.2.2.4. Desviación Estándar (So). 106

6.2.2.5. Serviciabilidad. 107
6.3. Características de los Materiales que Conforman el Pavimento. 107
6.3.1. Módulo de Resiliencia (MR). 107
6.3.2. Coeficiente de Drenaje (mi). 108
6.3.3. Coeficientes Estructurales de Capa (ai). 109
6.3.4. Números Estructurales (SN). 110
6.3.5. Cálculo de los Números Estructurales (SN_1, SN_2, SN_3) 111
6.4. Cálculo de los espesores del Pavimento. 112
6.4.1. Espesores finales de Diseño. 114
6.5. Uso del programa WinPAS-12. 114
Conclusiones. 119
Recomendaciones. 120
Bibliografía. 123
Anexo Capítulo I: Generalidades.
Anexo Capítulo Ii: Estudio Topográfico.
Anexo Capítulo Iii: Estudio de Tránsito.
Anexo Capítulo Iv: Estudio Geotécnico.
Anexo Capítulo V: Diseño Geométrico.
Anexo Capítulo Vi: Diseño de Pavimento Flexible

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Tablas **Págs.**

Tabla 1: Coordenadas UTM del punto Inicial y Final del Proyecto. _____ 6
Tabla 2: Ubicación de BMs (BENCH MARCK o Banco de nivel de precisión). __ 8
Tabla 3: Clasificación de Terrenos en función de las Pendientes._____ 11
Tabla 4: Consolidado de Pendientes por Estaciones. _____ 11
Tabla 5: de Curvas horizontales identificadas a lo Largo del Tramo._____ 12
Tabla 6: de Rectas identificadas a lo Largo del Tramo._____ 13
Tabla 7: Tránsito Promedio Diurno (TPDi) / Ambos Sentidos._____ 19
Tabla 8: Vector Geográfico de Correspondencia. _____ 21
Tabla 9: Dependencia de Estaciones (Condega – Shell Palacagüina)._____ 22
Tabla 10: Factores /2do cuatrimestre del año (EMC-107). _____ 23
Tabla 11: Calculo del TPDA, Aplicando Factores de Ajuste (FD, FS, FE). ____ 24
Tabla 12: Registros Históricos del TPDA, PIB, y POB. _____ 26
Tabla 13: Evolución TPDA de la Estación ECD 111._____ 27
Tabla 14: Tasas de Crecimiento Anual para PIB. _____ 29
Tabla 15: Datos LN TPDA ECD-111 y LN PIB. _____ 30
Tabla 16: Resultados de Correlación TPDA (ECD-111) y PIB (Millones $). ___ 31
Tabla 17: Datos ECD-111 y Tasas de Crecimiento Anual para Población. ____ 32
Tabla 18: Datos LNTPDA ECD-111 y LN POB._____ 33
Tabla 19: Resultados de Correlación TPDA (ECD-111) y POB (Miles/Hab).___ 34
Tabla 20: Datos Históricos (TPDA ECD-111, PIB, POB). _____ 35
Tabla 21: Consolidado de las Tasas de Crecimiento (TPDA, PIB, POB). _____ 36
Tabla 22: Período de Diseño (N). _____ 38
Tabla 23: Factor de Distribución por Dirección (FD)._____ 38
Tabla 24: Factor de Distribución por Carril (FC). _____ 39
Tabla 25: Tránsito de Diseño. _____ 39
Tabla 26: Factores de ejes Kips a Interpolar._____ 41
Tabla 27: Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño. _____ 43
Tabla 28: Tipos de Ensayos para Estudio de Suelos. _____ 44

Tabla 29: Banco de Materiales Identificados. _____ 48
Tabla 30: Especificaciones de Materiales Empleados en una Base Granular. _ 51
Tabla 31: Especificaciones de los Materiales para la Sub – base. _____ 51
Tabla 32: Requerimientos Mínimos para la Capa Base y Subbase. _____ 52
Tabla 33: Requerimientos Mínimos para Capa Subbase. _____ 53
Tabla 34: Requerimientos Mínimos para Capa Subbase. _____ 54
Tabla 35: Normativa de la Nic-2019 para Bases Estabilizadas con cemento. __ 55
Tabla 36: Evaluación de los Bancos Identificados para Estabilización. _____ 56
Tabla 37: Resultado de Muestras de Bancos Estabilizadas al 6% con cemento. 57
Tabla 38: Conversión de las muestras de dosificación al 4% de cemento. ____ 58
Tabla 39: Bancos Diseño Seleccionados. _____ 58
Tabla 40: Muestras Tomadas en Base a la Subrasante Propuesta. _____ 60
Tabla 41: Muestras Tomadas en Base a la Subrasante Propuesta. _____ 61
Tabla 42: Selección de CBR de diseño para la subrasante. _____ 62
Tabla 43: Valores CBR de Menor a Mayor y Valores Iguales o Mayores. _____ 62
Tabla 44: Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño. ___ 63
Tabla 45:Clasificación del CBR._____ 63
Tabla 46: Dimensiones del Vehículo de Diseño. _____ 71
Tabla 47: Anchos mínimos de Hombros y Aceras. _____ 72
Tabla 48: Anchos mínimos de Hombros y Aceras. _____ 73
Tabla 49: Secciones típicas por Tramos._____ 75
Tabla 50: Distancia de Visibilidad parada en función de la Velocidad. _____ 76
Tabla 51: Distancia de Adelantamiento para carreteras de dos carriles._____ 78
Tabla 52: Elementos para cálculo de Distancia de Visibilidad de Rebase. ____ 78
Tabla 53: Coeficiente de fricción lateral en función de la Velocidad. _____ 81
Tabla 54: La sobreelevación o peralte según Tipo de Área. _____ 81
Tabla 55: Radios mínimos para distintas Velocidades de Diseño (Peralte 8%). 82
Tabla 56: Distribución de Peralte para cada uno de los Radios presentados.__ 85
Tabla 57: Valores de Pendiente Relativa. _____ 87
Tabla 58: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta (DVP). _____ 91
Tabla 59: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta (DVA). _____ 91

Tabla 60: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio (DVP). ____ 92
Tabla 61: Parámetros de diseño adoptadas (ítem 1-27).____ 95
Tabla 62: Niveles de Confiabilidad R en función del tipo de carretera.____ 105
Tabla 63: Valores de Zr en función de la confiabilidad R. ____ 106
Tabla 64: Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio._ 106
Tabla 65: Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para subrasante. __ 108
Tabla 66: Calculo de Modulo Resiliente de la Subrasante ____ 108
Tabla 67: Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.____ 108
Tabla 68: Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación.____ 109
Tabla 69: Espesores mínimos sugeridos por capa. ____ 113
Tabla 70: Espesores de Diseño. ____ 114
Tabla 71: Datos para calcular espesores en el Software WinPAS-12. ____ 116

Imágenes **Págs.**

Imagen- 1: Ubicación del aforo vehicular. ____ 18
Imagen- 2: Determinación de la superficie de la vía. ____ 96
Imagen- 3: Eje central de la vía. ____ 97
Imagen- 4: Propiedades de Alineamiento Horizontal y criterios de diseño. ____ 97
Imagen- 5: Curvas Horizontales trazadas.____ 98
Imagen- 6: Curva Horizontal No. 1 (PI 0+305.00).____ 98
Imagen- 7: Verificación de Curvas Horizontales. ____ 99
Imagen- 8: Delimitación del perfil longitudinal de la vía. ____ 99
Imagen- 9: Definición de Parámetros de Peralte (Superelevation). ____ 100
Imagen- 10: Proyección de Peralte de Curva Horizontal No. 1(PI 0+305). ___ 100
Imagen- 11: Proyección de Sobreancho de Curva Horizontal No.1(PI 0+305). 101
Imagen- 12: Curvas Vericales Trazadas.____ 102
Imagen- 13: Estructura de Final de Pavimento Flexible. ____ 114
Imagen- 14: Software de diseño WinPAS.____ 115
Imagen- 15: Selección del Tipo de Pavimento a diseñar. ____ 115
Imagen- 16: Introducción de Datos en WinPAS. ____ 116

Imagen- 17: Calculo de SN requerido en WinPAS. _____ 117
Imagen- 18: SN requerido._____ 117
Imagen- 19: Introducción de Layers de Diseño._____ 118
Imagen- 20: Estructura de Pavimento Flexible Por Software WinPAS. _____ 118

Gráficos Págs.

Gráfico 1: Comportamiento del Tránsito Diurno TPDi por día._____ 20
Gráfico 2: Composición del Tránsito Diurno por vehículo. _____ 20
Gráfico 3: Composición de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). _____ 25
Gráfico 4: Correlación de años ECD 111 (Condega–Shell Palacagüina)._____ 28
Gráfico 5: Correlación TPDA (EDC-111) Vs PIB (Millones $). _____ 29
Gráfico 6: Correlación LN TPDA (ECD-111) y LN PIB (Millones $). _____ 31
Gráfico 7: Correlación TPDA (ECD-111) y Población (Miles $). _____ 33
Gráfico 8: Correlación LN TPDA (ECD 111) y LN Población (Miles $)._____ 34

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO

I

GENERALIDADES

UNI RUACS - 2021

1.1 Introducción.

El municipio de Santa María de Pantasma, se encuentra ubicado en el departamento de Jinotega, sus coordenadas UTM son E614273, N1475951, esta se encuentra a 246 kilómetros de la capital Managua. **(Ver Anexos Imagen 21 pág. I)**. Sus vías poseen 11.6 Kilómetros de adoquín, 24 kilómetros de Asfalto, 243 kilómetros de revestimiento con Macadán (MTI, 2018).

La Zompoperita es una comunidad de Pantasma perteneciente a la micro región IV, su actividad económica está meramente dedicada a la agricultura y ganadería, destacando también el turismo nacional e internacional, ya que, es ruta a la reserva protegida Kilambé. La comunidad se divide en diferentes sectores Casa Baleada, Empalme Los Placeres y Empalme El Comal.

El tramo de carretera tiene su inicio en la Estación: 0+000, Pkm: 235+17 y finaliza en la Comunidad el Carmen Estación: 3+000, Pkm: 238+17. Su clasificación funcional está catalogada como una vía colectora secundaria, la cual, se encuentra sobre la carretera NIC-43. (MTI, 2018). **(Ver Anexos Imagen 22 pág. II).**

Para realizar el diseño geométrico y de la estructura de pavimento se realizó un levantamiento topográfico en colaboración con la alcaldía municipal, así como la revisión de la geometría existente de la vía, también se realizó un estudio de tránsito para conocer el flujo vehicular, luego se caracterizaron las propiedades físico-mecánicas de los suelo y bancos de préstamos identificados para su posible uso como Base-subbase o terraplén, por último, se realizó el diseño de pavimento flexible para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

La metodología utilizada en este estudio fue el método AASHTO-93, la cual incorpora todos los parámetros necesarios para realizar un diseño confiable y duradero, dicho diseño cumple con los criterios y especificaciones de la (Nic, 2019). En el diseño geométrico se empleó las Normas del Manual Centro Americano para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) y el Manual Centro Americano para el Diseño de Pavimento (SIECA, 2002).

1.2 Antecedentes.

El tramo Empalme Zompoperita– Comunidad El Carmen de 3.0 km de longitud total, es de mucha importancia para la región norte del país, principalmente para las personas que transportan su producción hacia la frontera norte con la República de Honduras y occidente del país. Las actividades económicas predominantes en la zona refieren a la agricultura y ganadería esta última con un mayor crecimiento con el traslado de ganado en pie a los mataderos locales de la región.

Según el diagnóstico Municipal de la Alcaldía de Santa María de Pantasma realizado en el año 2019, la población actual de la comunidad La Zompoperita es de 1,005 habitantes, esta se divide en varios sectores (Casa Baleada, Los Placeres, El Bojazo), en sus linderos se encuentra la zona escolar Zompoperita y una capilla católica. La comunidad El Carmen también llamada Cuá Abajo posee una población de 1,224 habitantes, tiene la mayor parte de sus viviendas ubicadas a lo largo del tramo, limita por el lado sur con la comunidad el Comal y al norte con la comunidad la Marañosa. (INIDE, 2019)

El mal estado de la vía se debe a la ausencia de un mantenimiento adecuado lo cual ha provocado desgaste y baches en la superficie de rodamiento lo que genera un impacto negativo en las diferentes actividades que impulsan la economía de los pobladores de la zona. La rehabilitación de este tramo ya aparece en el plan Nacional de Transporte de Nicaragua, dicha gestión fue realizada en el año 2012 por los líderes comunitarios el Sr. Máximo Blandón Díaz de la comunidad Zompoperita y el Sr. José Benavides de la comunidad El Carmen. **(Ver anexos, Fotos 1-6, págs. III-V).**

El último mantenimiento realizado en las cercanías de la comunidad fue realizado en el año 2015 según el MTI (Ministerio de transporte e infraestructura), el cual consistió en un revestimiento de la superficie de rodamiento con material macadán.

1.3 Justificación.

La rehabilitación del tramo de camino Empalme Zompoperita – El Carmen es muy significativo por su alta actividad económica, donde se destacan cultivos de granos básicos, arroz, café y producción ganadera. Las tecnologías de siembra que prevalecen son: la tradicional, semi tecnificada con bueyes y la semi tecnificada con maquinaria.

El deterioro actual del camino aumenta los costos y tiempos de viaje tanto de los habitantes como de la producción comercializable. La construcción de la carretera incrementará la movilización del transporte y población, habrá mayor comunicación entre las diferentes comunidades de los municipios beneficiados y mayor cobertura para acceder a los centros de educación, salud y social de los usuarios de la vía.

Las facilidades que brindará este tramo de carretera al transporte de bienes y personas una vez construido será principalmente el intercambio comercial dinamizando la actividad económica en el área de influencia directa e indirecta, además de reducir los tiempos de viaje, costo de operación vehicular y transportación de la producción agropecuaria, favoreciendo de esta manera una mayor producción y disminución de pobreza.

Las comunidades que serán beneficiadas indirectamente son; Comunidad Las Torres (83 viviendas- 349 Hab), Arenal (60 viviendas- 255 Hab), Comunidad Flor de Pino (266 viviendas -1,522 Hab), San Vicente (34 viviendas- 170 Hab). (INIDE, 2019)

La población total beneficiada directa e indirectamente será alrededor de 4,525 habitantes, tanto para las comunidades que se encuentran sobre la vía como las que se encuentran alrededor de sus linderos (INIDE, 2019).

Este estudio servirá para afianzar los conocimientos adquiridos a lo largo de los años de carrera, contribuyendo con las problemáticas sociales y económicas de nuestro país.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

- Realizar el diseño geométrico vial y de estructura de pavimento flexible del tramo Empalme Zompoperita– Comunidad El Carmen, departamento de Jinotega.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Realizar el levantamiento topográfico que permita la caracterización digital altiplanimétrica para definir la rasante optima del tramo.

- Realizar un estudio de tráfico por medio de un conteo vehicular, para el cálculo del tráfico Promedio Diario Anual y las cargas del tránsito que actuarán sobre la estructura de pavimento.

- Caracterizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la vía y de los bancos de materiales, para su adecuado uso en la estructura de pavimento.

- Realizar el Diseño geométrico del subtramo en estudio, aplicando las normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2011) con el Software Civil 3D 2020.

- Determinar los espesores de la estructura de pavimento Flexible, aplicando el método de la AASHTO-93 empleando los nomogramas y Software WinPAS 12 (versión 1.0.0).

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

UNI RUACS - 2021

2.1 Metodología.

El levantamiento topográfico del subtramo de 3.037 kilómetros de longitud se realizó con apoyo de la alcaldía de Santa María de Pantasma, iniciando en la comunidad Zompoperita (**Estación 0+000**), hasta finalizar en la Comunidad El Carmen (**Estación 3+037.05**). El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales considerando que es el más adecuado para carreteras.

Este levantamiento nos permitió conocer las condiciones actuales del terreno, así como su altimetría y planimetría con lo que se obtendrá una descripción exacta de la zona en cuanto a relieve y detalles a escala en el tramo en estudio.

Los datos obtenidos nos permitieron determinar de modo gráfico las formas y los detalles naturales y artificiales del tramo en estudio, los cuales fueron procesados mediante el software Civil 3D año 2020.

2.2. Levantamiento Topográfico.

Los trabajos correspondientes al levantamiento topográfico se realizaron de manera secuencial, dentro de los Alcances del Proyecto al levantamiento de toda la información básica de la configuración y composición del terreno en todo el entorno del camino, lo cual fue realizado a partir de la brigada de topografía bien estructurada; la que, haciendo uso de equipo topográfico del tipo Electrónico, realizaron levantamientos de información topográfica.

El alineamiento dio inicio en el estacionamiento 0+000 y finalizó en el estacionamiento 3+037.05, cuyas coordenadas UTM (Universal transversal Mercator), se presentan a continuación.

Tabla 1: Coordenadas UTM del punto Inicial y Final del Proyecto.

Punto LC No.	Estación	Sistema de Coordenadas UTM WGS84		
		X (Este)	Y (Norte)	Z(ELEV)
"Comunidad Zompoperita"				
PI (1)	0+000	626,378.043	1,491,778.848	415.75 msnm
"Comunidad El Carmen"				
PF (153)	3+037.05	627,817.658	1,494,110.168	338.46 msnm

Observación:
LC: Línea Central. **PI:** Punto Inicial. **PF:** Punto Final. **msnm:** metros sobre el nivel del mar.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

La ejecución del Proceso de Levantamiento de la información Topográfica conllevó el desarrollo de las diferentes fases de trabajo que generalmente están establecidas y comprendidas en los levantamientos topográficos de caminos y carreteras y que corresponden principalmente a las siguientes.

- ✓ Monumentación de Puntos de Línea Base o Puntos BMS.
- ✓ Medición de Poligonal de Línea Base.
- ✓ Levantamiento Planialtimétrico ó Seccionamiento del camino.
- ✓ Levantamiento del Obras de Drenaje existente.

2.3. Planimetría.

2.3.1. Alineamiento Horizontal.

Para el alineamiento horizontal del eje longitudinal se realizó mediante el Método de que consiste en levantamiento de las secciones transversales (a cada 20 metros en las rectas, y a cada 10 en las curvas), sobre la poligonal abierta.

El levantamiento topográfico en este proyecto se ejecutó con la estación total modelo Leica TS06 Plus, un prisma reflector y un bastón sobre porta prisma. Los datos serán procesados mediante el software Civil 3D año 2020.

El alineamiento da comienzo en el estacionamiento **00+000**, propiamente en el Comunidad Zompoperita y finaliza en el estacionamiento **03+037.05**, en la entrada a la comunidad El Carmen del Municipio de Jinotega.

2.3.2. Eje de la carretera.

Eje de la carretera: El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos. Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 20 metros o menos hasta llegar al punto final de carretera (PF).

Para lograr esto se requirió definir la forma dimensional del terreno, lo cual se logró levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera (en una vía se refiere a la línea que separa los sentidos de circulación). Se debió brindar la localización topográfica o detalles de interés, tales como: Tendido eléctrico, tendido telefónico, drenaje de aguas servidas o pluviales, red de agua potable, pozos de visita y tragantes de agua pluvial existente, localización de derecho de vía, Mojones, BMs, puntos de referencia (arboles de gran tamaño, arroyos, cauces, etc.), vías de acceso y construcciones existentes.

2.3.3. Perfil Longitudinal.

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma, debido a este paralelismo, dicha proyección mostrara la longitud real del eje de la vía, a este eje también se lo denomina rasante, aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas.

Se denota la línea verde que representa el perfil del terreno natural sobre el que se construirá el proyecto que a su vez será denotado con la línea celeste. También se indican las alturas de corte y de relleno, variables a lo largo del eje del proyecto**.**

El punto 153 (**Este= 627817.658**, **Norte= 1494110.17**), de la Línea Central del consolidad topográfico que se encuentra ubicado en la estación **3+037.05** (Comunidad El Carmen) es el fin del estudio a realizar para la rehabilitación del camino. Los resultados del levantamiento topográfico para el Proyecto en análisis se muestran en el ***Anexo Cap. II, Tablas 72-75, pág. IX-XII****.*

2.4. Altimetría.

2.4.1. Establecimiento de BMs.

Se establecieron 13 puntos de BMs (**BENCH MARCK),** los cuales están debidamente marcados con coordenadas UTM y referenciados en las distintas estaciones, para poder realizar el cálculo de las diferentes elevaciones (Z) las cuales se aprecian en el siguiente **Tabla 2**.

Tabla 2: Ubicación de BMs (BENCH MARCK o Banco de nivel de precisión).

Listado de BM			
BM N°	X (ESTE)	Y(NORTE)	Z (ELEV)
BM1	626385.108	1491794.68	415.553
BM2	626480.197	1491880	416.089
BM3	626582.18	1492006.79	410.84
BM4	626578.786	1492174.62	412.334
BM5	626696.078	1492276.47	395.016
BM6	627059.836	1492283.83	397.327
BM7	627183.477	1492357.99	394.552
BM8	627221.145	1492783.57	384.399
BM9	627216.836	1492851.54	384.832
BM10	627246.971	1493032.88	374.184
BM11	627385.778	1493293.9	365.114
BM12	627731.355	1493972.86	344.542
BM13	627768.936	1494082.36	338.692

Fuente: Sustentantes - Alcaldía de Santa María de Pantasma.

2.4.2. Curvas de nivel.

Se determinaron las elevaciones de **1,235** puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software CivilCAD 2020 generando así el mapa de curvas de nivel que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que servirá de apoyo para el diseño de las obras de drenajes.

2.4.3. Características de la Topografía existente.

El tramo de camino que corresponde a este Proyecto, producto de las características de la configuración topográfica del terreno en que se enmarca dicho tramo, siendo del tipo ondulado (**Tabla 3-4, pág. 11**), con bastante lomerío bien densificado en que predomina en todo su entorno zonas de bosques con árboles de grandes dimensiones en toda su trayectoria.

Se presenta una Geometría Planimétrico bien sinuosa con curvas horizontales con radios de curvatura cuyos valores en la mayoría de los casos son de baja magnitud, observándose en diferentes sectores, su presencia bien seguidas una de otra, y en muchos casos del tipo curvas reversas en que la distancia en recta entre dichas curvas corresponde a valores bien reducidos, dichas curvas ahí contenidas se observa que se ubican en situaciones geométricas bien complejas, ya sea en relación a la ubicación de una infraestructura existente que por lo general corresponde a una obra de drenaje mayor del tipo puente, ó situaciones en que la configuración topográfica del terreno corresponde a la existencia de irregularidades de forma desproporcionada respecto a la plataforma de la vía, en que puede ser taludes de relleno bien inclinados y/o taludes de corte, que en ambos casos de magnitudes considerable, que conllevan a una limitación en lo que corresponde a ampliación lateral de dicha plataforma.

La mayor parte de la trayectoria de la ruta del camino con un ancho de rodamiento variable entre los 5.50 metros y hasta 6.00 metros en determinados sectores, se enmarca en las laderas de las lomas que conforman el tipo de terreno montañoso, observándose transversalmente en uno de los lados la existencia de laderas de considerable magnitud, y al otro lado la presencia de taludes de corte del tipo trinchera, de pendientes bien inclinada, que en algunos sectores se observan de forma casi vertical, esto producto de que la mayor parte de la trayectoria del camino se enmarca en las laderas de las lomas existentes en la ruta del Proyecto.

2.4.3.1. **Bombeo de la sección transversal.**

A pesar de que durante los procesos constructivos de mantenimiento que se brindan a estos caminos en que la superficie de rodado la constituye un revestimiento de material granular que generalmente proviene de banco de préstamo; se intenta en la formación de la pendiente transversal ó Bombeo, lo cual se logra en lo mínimo sin alcanzar lo establecido del 3%, resultando en el mayor de los casos un 2%, que con el paso ó circulación de los vehículos se producen deformación, además de las condiciones climatológicas que inciden de manera considerable en dicha deformación.

En el tramo en estudio, la formación de la pendiente transversal o bombeo en la mayoría de los sectores en recta ó tangente del camino, se encuentra deformada, en algunos casos por la deformación de la superficie producto de la existencia de baches ó por la formación de surcos en forma de ligeros tumbos que se extienden en toda la superficie de rodamiento; en la mayoría de los casos, esto se debe principalmente a la ausencia ó carencia de cunetas laterales y por consiguiente las aguas se distribuyen de forma laminar en la superficie de rodamiento, que adicional a la circulación vehicular generan los efectos antes descritos.

2.4.3.2. Sobreelevación o Peralte.

En el caso del Tramo de Proyecto en estudio, se observa que en cada curva se presenta la misma situación, lo cual hace falta agregar que por lo general los vehículos al transitar sobre la curva horizontal, se arriman hacia el lado de la curva, aunque circulen en sentido contrario, por lo que el carril interno es el más circulado en las curvas horizontales, incidiendo esto de manera considerable en la deformación y desgaste de la superficie de rodamiento de manera irregular.

2.4.3.3. El Derecho de Vía y otras obras.

En relación con el derecho de vía, este tramo de Proyecto presenta en toda su trayectoria, anchos que corresponden y/o en que se enmarca la franja del Derecho de Vía, de 13.00 metros hasta valores de 15. 00 y 18.00 metros.

2.4.4. Pendiente Longitudinal.

Estas pendientes se determinaron a partir de la siguiente ecuación:

$$\textbf{Pendiente} = \frac{\Delta H}{D} * 100 \qquad \textbf{[Ec. 1]}$$

Donde:

P = pendiente del terreno en %.

∆**H=**Diferencia de Altura.

D = distancia horizontal entre los puntos considerados.

Tabla 3: Clasificación de Terrenos en función de las Pendientes.

TIPO DE TERRENO	RANGO DE PENDIENTES (%)		
Llano o Plano	P	≤	5
Ondulado	5	≥	15
Montañoso	15	≤	30

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 116).

Tabla 4: Consolidado de Pendientes por Estaciones.

ESTACIONES		PENDIENTE		TIPO DE TERRENO
INICIO METROS	FIN METROS			
00+000.00	00+097.93	0.75%	Subida	PLANO
00+157.93	00+219.65	-4.81%	Bajada	PLANO
00+279.65	00+446.14	-0.52%	Bajada	PLANO
00+546.14	00+673.91	-12.01%	Bajada	ONDULADO
00+748.91	00+783.06	0.00%	-	ONDULADO
00+843.06	00+921.84	9.50%	Bajada	PLANO
01+021.84	01+321.28	-2.46%	Bajada	ONDULADO
01+401.28	01+411.08	-8.33%	Bajada	PLANO
01+531.08	01+553.39	4.85%	Subida	ONDULADO
01+643.39	01+727.55	-7.64%	Bajada	PLANO
01+807.55	02+093.26	-2.43%	Bajada	ONDULADO
02+213.26	02+224.60	6.61%	Bajada	ONDULADO
02+329.60	02+338.15	-8.54%	Bajada	ONDULADO
02+418.15	02+438.95	-7.40%	Bajada	PLANO
02+498.95	02+624.70	-2.17%	Bajada	PLANO
02+704.70	02+956.73	-4.17%	Bajada	PLANO
03+016.73	03+037.05	-1.27%	Bajada	PLANO
		5.15%	**Bajada**	**ONDULADO**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

La pendiente máxima de este tramo es de -12.01**% (Ondulado)**, y se encuentra en los estacionamientos 00+546.14 hasta 00+673.91. La pendiente mínima de este tramo es de -**0.52% (Plano)**, y se encuentra en los estacionamientos 00+279.65 hasta 00+446.14.

Basados en el levantamiento topográfico, en el sitio existen 8 curvas horizontales identificadas de las cuales 2 poseen radios mayores a 500 metros y 6 poseen radios menores a 500 metros. Cabe mencionar que la curva de mayor importancia se ubicada entre las estaciones **00+584.040** y **00+654.579**, con un Radio de **90 metros** y una longitud de **69.54 metros**, los datos de cada curva se presentan en la **Tabla 5** a continuación:

Tabla 5: de Curvas horizontales identificadas a lo Largo del Tramo.

N°	CURVAS HORIZONTALES			LONG. METROS	RADIO METROS
	EST. INICIAL	C.C	EST. FINAL		
1	0+252.510	0+303.736	0+354.960	102.45	125
2	0+407.890	0+455.619	0+503.350	95.46	110
3	0+585.040	0+619.810	0+654.570	69.54	90
4	0+976.820	1+077.833	1+178.840	202.03	135
5	1+507.360	1+559.635	1+611.910	104.55	5000
6	1+735.600	1+785.433	1+835.270	99.67	250
7	2+632.640	2+694.485	2+756.330	123.69	700
8	2+915.080	2+971.716	3+028.350	113.27	150

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Luego de haberse identificados las curvas horizontales también se ubicaron las rectas a lo largo del tramo desde su punto de inicio hasta su final, encontrando en el tramo de estudio un total de 9 tramos rectos, de los cuales la recta de mayor importancia se ubicada entre las estaciones **1+835.270** y **2+632.640**, con una longitud de **797.37 metros**, los datos de cada recta se presentan en la **Tabla 6** a continuación:

Tabla 6: de Rectas identificadas a lo Largo del Tramo.

N°	RECTAS EST. INICIAL	EST. FINAL	LONGITUD METROS
1	0+000.000	0+252.510	252.51
2	0+354.960	0+407.890	52.93
3	0+503.350	0+585.040	81.69
4	0+654.570	0+976.820	322.25
5	1+178.840	1+507.360	328.52
6	1+611.910	1+735.600	123.69
7	1+835.270	2+632.640	797.37
8	2+756.330	2+915.080	158.75
9	3+028.350	3+037.050	8.70

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

2.5. Drenaje Pluvial.

El levantamiento topográfico del drenaje en cada sitio fue realizado a partir del método de seccionamiento Planialtimétrico tomando como referencia el eje del cauce, para el drenaje menor en cada sitio se levantaron 20 metros aguas arriba y 20 metros aguas abajo, se tomaron además las dimensiones de las alcantarillas y las cotas de desagües en ambos extremos, los detalles topográficos de los cabezales, muros de encabezamientos, pretiles y otras defensas contra la erosión. En el caso de las estructuras de drenaje mayor, se levantaron 200 metros aguas arriba y 200 metros aguas abajo.

2.5.1. Drenaje Longitudinal.

En los sectores urbanos se ha proyectado las estructuras de cunetas tipo “L”, para conducir el caudal, para la captación se proyectó el uso de tragantes y vertederos o deflectores laterales que dirijan el caudal hacia los canales y de estos hacia los puntos de entrega que son las alcantarillas.

2.5.2. Alcantarillas.

Se ha proyectado alcantarillas en todos los estacionamientos donde existen vados de cruce de agua de tal manera que se levantará la rasante y se estará cortando para darle lugar a la alcantarilla a que alcance con todos sus cabezales. *(**Ver Anexo Cap. II, Tabla 76, pág. XIII**)*

2.5.3. Drenaje Mayor.

En la tabla siguiente se encuentra el estacionamiento y el tipo de estructura existente y su condición. *(**Ver Anexo Cap. II, Tabla 77, pág. XIII**)*

2.6. Elaboración de Planos.

La información del levantamiento topográfico fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta - perfil los cuales muestran la línea central, límites de derecho de vía, datos de curva del cambio de línea, referencias de línea central, BM's y sus referencias, el perfil longitudinal y el anteproyecto de la rasante.

En el juego de planos constructivos se incluyen, además, hojas que contienen detalles constructivos de drenaje, sondeos y estratigrafía. Todo ello fue editado en el software Autodesk Civil 3D 2020 y se presentan en 18 Laminas formato tabloide, el contenido es el siguiente:

I. Presentación.

II. Ubicación del Proyecto.

III. Sección Típica Vial.

IV. Planta-Perfil.

V. Secciones Transversales.

Las escalas usadas en el dibujo de las fueron:

- **Secciones transversales: 1:400**
- **Planta-Perfil:** H = 1:1000 V = **1:100.**

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO

III

ESTUDIO DE TRÁNSITO

UNÍ RUACS - 2021

3.1. Generalidades.

En este capítulo se realizó la proyección del tránsito actual de la vía, dependiendo de los resultados que exprese este estudio, se proyectaron los niveles de servicio, que deberá ofrecer el tramo en análisis, para su período de diseño, el tránsito posiblemente es la variable más importante para el diseño de una vía, pues si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento para poder calcular los espesores de pavimento.

Para la elaboración de este capítulo se dividió en las siguientes etapas:

3.2. Recopilación de Datos.

Se realizó por medio de conteo vehicular, que consiste en medir el volumen de tránsito que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas diurnas. La recolección de datos se realizó durante 5 días consecutivos, en las fechas del 05 hasta al 9 de agosto del año 2020, entre las 06:00 horas y las 18:00 horas, a fin de evaluar las condiciones de tránsito normales, basándonos para esto en la Tipología y Descripción Vehicular que brinda la Revista Anuario de Tránsito del Ministerio de Transporte 2018. Para realizar el aforo, se utilizó el Formato mostrado en el ***Anexo Cap. III, Tabla 78, pág. XIV***.

Los datos de Tránsito Promedio Diario Anual, (TPDA) así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete, la estación de Conteo Vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.0 horas), del tramo en estudio se muestran en el siguiente anexo. ***(Ver Anexo Cap. III, Tablas 79-83, págs. XIV-XV).***

3.2.1. Tipos de Vehículos.

Para el levantamiento de la información de campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, en nuestro país actualmente hay una gran variedad de vehículos, en total el MTI presenta una clasificación vehicular compuesta por 17 tipos de vehículos, por lo que es conveniente agruparlos en cuatro categorías**. *(Ver Anexo Cap. III, Tabla 86, pág. XVIII)***

3.2.1.1. Motocicletas.

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, en esta categoría incluyen scooter, motonetas, motonetas y otros triciclos a motor.

3.2.1.2. Vehículos Livianos.

Son los vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, los Automóviles, Camionetas, Pick – Ups y Jeep.

3.2.1.3. Vehículos Pesados de Pasajeros.

Son los vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros) y Microbuses Medianos (hasta 25 pasajeros) y los Buses medianos y grandes.

3.2.1.4. Vehículos Pesados de Carga.

Son vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres Toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (C2R2), los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos especiales, presenta la Tipología y Descripción Vehicular.

3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles. ***(Ver Anexo Cap. III, Tablas 90- 91, pág. XXI)***

3.3. Procesamiento de Información.

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se procesó toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tránsito del Ministerio de Transporte 2018.

3.4. Análisis de la Información Obtenida.

En este proceso se usó los criterios de la AASHTO-93, SIECA 2002 y NIC-2019 para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos.

3.5. Estación de Conteo Vehicular.

La estación de conteo vehicular se ubicó en la estación: **0+000 Empalme Zompoperita** (inicio del tramo) en las coordenadas geográficas norte **13°29'28.5" oeste 85°49'57.4"**, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tránsito vehicular, que circula en la vía, la estación de conteo se ubicó en un lugar estratégico, que permitiera captar el 100% del tránsito en ambos sentidos de la vía.

En la **Imagen 1, pág. 18** se puede observar el tramo en estudio el cual se encuentra clasificada según la red vial de nicaragua 2018 como colectora secundaria perteneciente a la NIC. 43, su punto inicial la Est: 0+000 a la Est. 3+037.5 ubicado en las coordenadas geográficas norte 13°30'43.5" oeste 85°49'09.7" con una longitud aproximada de (3.037 kilómetros)***.***

Imagen- 1: Ubicación del aforo vehicular.

Fuente: Google Earth.

En la **Est: 0+000** (inicio del tramo) se realizó el aforo vehicular de 5 días de duración, la actividad inicio a partir del miércoles 05 de agosto y concluyo el domingo 09 de agosto del año 2020, realizando un conteo y clasificación vehicular de 12.0 horas diurnas en ambos sentidos de la vía.

3.6. Procesamiento de Datos.

Se refiere a la tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo esta procesada en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo.

De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tránsito vehicular diurno de 12 horas, durante un conteo de 5 días consecutivos (miércoles, jueves, viernes, sábado, domingo). En la **Tabla 7, pág. 19** se muestran los conteos del tránsito, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

3.6.1. Resumen del aforo vehicular.

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularan en ambas direcciones de la estación de conteo (0+000).

Para obtener el Tránsito Promedio Diurno (TPDi) fue necesario aplicar la **ecuación 2**:

$$TPDi = \frac{Total\ \text{Diurno}}{5\ dias} \qquad \textbf{[Ec.2]}$$

Tabla 7: Tránsito Promedio Diurno (TPDi) / Ambos Sentidos.

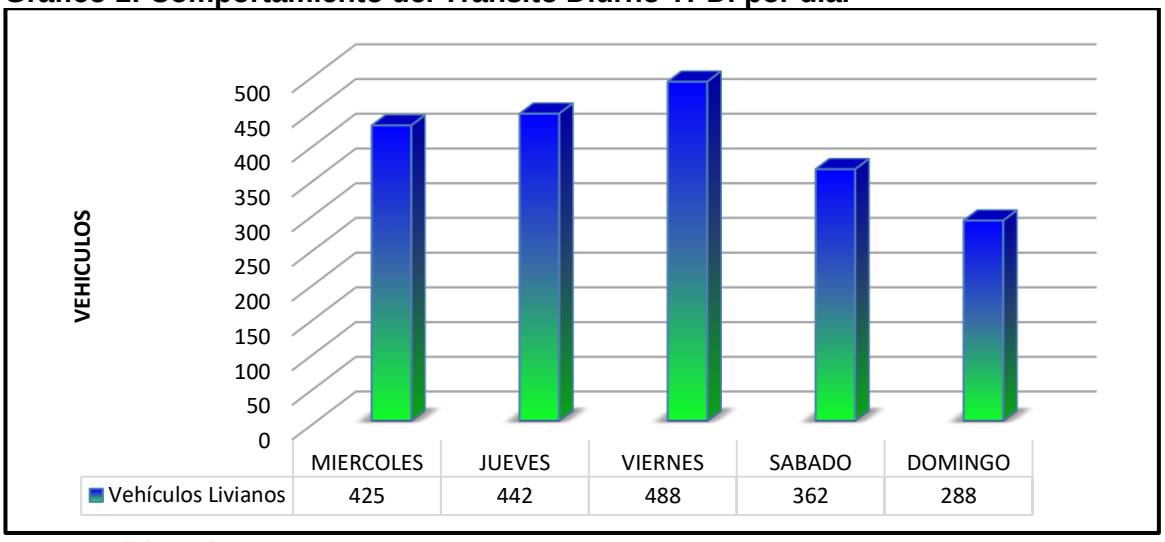
ESTACIÓN: EMP. ZOMPOPERITA Est: (0+000)													
Días	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga				V.A.	TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	T3-S2≥5		
MIÉRCOLES	122	60	32	108	6	2	20	22	24	13	12	4	425
JUEVES	113	78	30	119	3	3	20	16	39	6	10	5	442
VIERNES	128	69	35	134	3	5	20	29	33	8	18	6	488
SÁBADO	117	31	19	90	9	3	22	21	18	15	14	3	362
DOMINGO	96	27	38	48	7	4	0	20	27	10	9	2	288
Total	576.00	265.00	154.0	499.0	28.0	17.0	82.0	108.0	141.0	52.0	63.0	20.0	2005
TPDi (Vehículos/12 hrs)	116.0	53.0	31.0	100.0	6.0	4.0	17.0	22.0	29.0	11.0	13.0	4.0	**406**
% de vehículos	28.57%	13.05%	7.64%	24.63%	1.48%	0.98%	4.19%	5.42%	7.14%	2.71%	3.20%	0.99%	100%
Composición	73.89%				6.65%			18.47%				0.99%	100%

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Al finalizar el conteo de 5 días consecutivo durante 12 horas diurnas en la Est **0+000 (inicio del tramo)** y posterior realizar el consolidado en Microsoft Excel pudimos tener una perspectiva bastante clara de cómo se comporta el tránsito a lo largo de los días en el tramo de estudio, para luego calcular el Tránsito Promedio Diurno (TPDi) en base a la **ecuación 2,** obteniendo un valor de total de **406** vehículos por 12 horas diurnas.

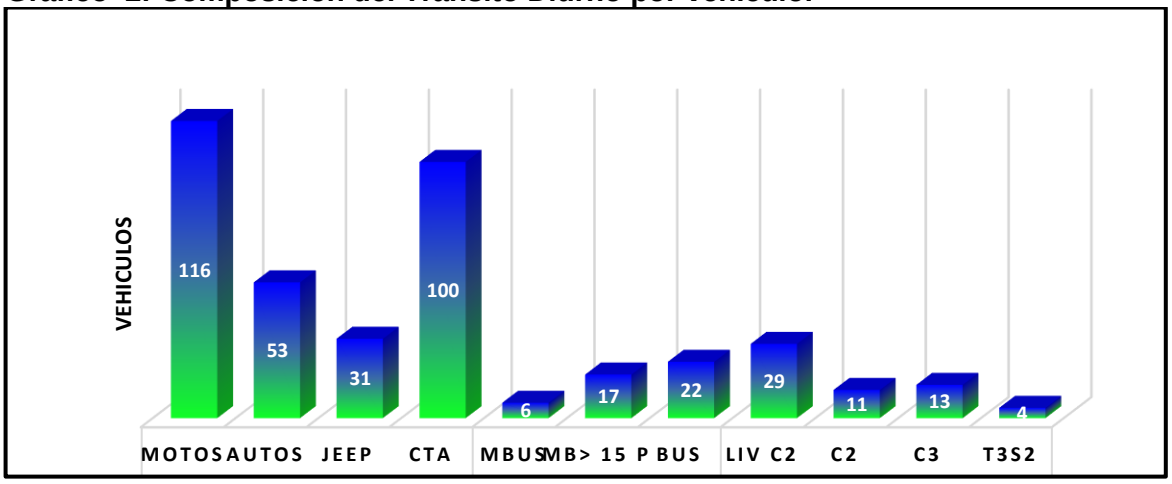
Luego se procedió a realizar un gráfico con los datos obtenidos donde se refleja el comportamiento del tránsito diurno (TPDi), de igual manera otro Gráfico donde se muestra su composición en periodo de 12 horas**. (Ver gráfico a continuación).**

Gráfico 1: Comportamiento del Tránsito Diurno TPDi por día.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico 2: Composición del Tránsito Diurno por vehículo.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En el **Gráfico -1 pág. 20** se muestra el comportamiento del tránsito vehicular diurno, donde se aprecia que los días con mayor demanda de vehículos es el viernes seguido del jueves y por último el domingo.

En el **Gráfico-2 pág. 20** se aprecia claramente, el comportamiento de la composición vehicular predominando los Vehículos Livianos (motos, autos, camionetas, jeep) seguido de los vehículos pesados (Liv C2, C2, C3, T3S2), y en menor cantidad los vehículos de pasajeros (bus micro bus>15p, y vehículo V.A).

3.6.2. Cálculo del TPDA.

Para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) fue necesario usar factores de ajustes diarios, semanales y de expansión, obtenidos del anuario de aforos de tráfico del MTI año 2018, publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura–DAV. Para expandir ($TPDi_{12\ hrs}$ a TPDA), se consideró utilizar una estación que cumpla con características similares al tramo de estudio. para ello se hizo uso de los vectores de correspondencia (vector geográfico, volumen de tránsito vehicular (TPDA) y el porcentaje de tránsito vehicular).

Utilizando la metodología del (Anuario de tráfico-2018 del MTI), el vector geográfico para el tramo de estudio departamento de Jinotega (ubicación del proyecto), corresponde a la región central norte entre ellos encontramos varios departamentos.

Tabla 8: Vector Geográfico de Correspondencia.

Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
R5	AN	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Tráfico 2018. MTI, pág. 16 pdf

Según el vector geográfico el tramo de estudio localizado en el departamento de Jinotega se ubica en la región central norte vector R3. En base al vector de correspondencia se identificaron tres estaciones de corta duración **ECD** cercanas al tramo en estudio como la ECD **4104 Bocas de Vilan-Emp Maleconcito**, la ECD **4105 Emp Maleconcito-Wiwilí**, y **la ECS 4108 Wiwilí-Wamblán**, las cuales están bajo la dependencia de la **EMC 1802 San Marcos Masatepe**, sin embargo, estas estaciones poseen registros muy escasos, por lo cual, no podría realizarse una correlación de variables que sea confiable, para estimar una tasa de crecimiento acorde a la actividad económica del país. Los registros de estas estaciones pueden verificarse en el siguiente ***(Ver Anexo Cap. III, Tablas 87, pág. XIX)***

Debido a lo anteriormente expuesto y utilizando el vector geográfico R3 se identificó la estación de corta duración ECD N° 111 Condega -Shell Palacagüina la cual se encuentra situado en el departamento de Estelí, bajo la dependencia de la EMC-107 Sébaco-Emp. San Isidro. El Anuario de tráfico del MTI-2018 indica, que se deberá trabajar con una estación de corta duración cuando el vector volumen de su TPDA sea de 300 a 5000 vehículos por día / en este caso el estudio da como resultado un **TPDA de 513 Vehículos por día**. Ver Tabla 11

Tabla 9: Dependencia de Estaciones (Condega – Shell Palacagüina).

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
107 Sébaco - Emp. San Isidro **Posee 14 ECD y 2 ECS**	NIC-1	110	ECD	Estelí - Condega
	NIC-1	111	ECD	Condega - Shell Palacagüina ✓ **Aplica**
	NIC-1	114	ECD	Shell Palacagüina - Emp. Yalagüina
	NIC-4	405	ECD	Emp. Guanacaste - Emp. Nandaime
	NIC-4B	434	ECD	Rtda Tisma - Rtda. Las Flores (circunvalacion)
	NIC-4B	433	ECD	Rtda.Coyotepe - Rtda. Tisma (circunvalación)
	NIC-10	1006	ECD	Emp. Villa Carlos Fonseca - Emp. Masachapa(Inter Nic-8)
	NIC-11A	1100	ECD	Emp. Coyotepe - Emp. Zambrano

Fuente: *Anuario de Aforos de Tráfico, MTI (Año 2018) pág. 47 pdf.*

Utilizando la metodología del anuario de aforos del MTI, se eligió la estación ECD Condega Shell Palacagüina, ya que, su dependencia está en la región central norte, su perfil de flujo vehicular es similar al del tramo en estudio, manteniendo similitud en los porcentajes de vehículos que transitan en esta zona, esto se debe a que son zonas productoras agrícolas, además cabe mencionar que esta estación presenta registros continuos en sus años, lo cual, permite realizar correlaciones para estimar una tasa de crecimiento acorde al crecimiento económico del país. Se procedió a realizar la expansión del $TPDi_{12hrs}$ a TPDA bajo la dependencia de la EMC-107 Sébaco – Emp.

La expansión de Tránsito Promedio Diurno de 12.0 horas ($TPDi_{12hrs}$), se realizó en base a factores de ajuste, estos factores se aplican para estaciones de corta duración o conteo sumario (ECD o ECS) que se encuentran bajo la dependencia de una estación de mayor cobertura. En este estudio dichos factores se aplicaron para la ECD-111 Condega-Shell Palacagüina, ya que, su dependencia corresponde a la estación de mayor cobertura EMC-107 Sébaco–Emp. San Isidro.

El anuario de tráfico del MTI-2018 presenta factores para tres cuatrimestres del año, ya que, éstos se realizan en tres periodos enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre. Los factores de ajuste utilizados en este estudio para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), comprenden los del segundo cuatrimestre del año (mayo-agosto), ya que, los conteos de aforo vehicular se realizaron en el mes de agosto-2020. Ver tabla a continuación

Tabla 10: Factores /2do cuatrimestre del año (EMC-107) Emp. Sébaco San Isidro.

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx=>5	V.A
Factor Día →	1.20	1.27	1.16	1.20	1.20	1.43	1.15	1.30	1.40	1.38	1.46	1.13
Factor Semana →	1.01	1.02	0.97	0.95	0.91	0.92	0.97	0.87	0.89	0.88	0.97	0.79
Factor Fin de Semana	0.97	0.96	1.07	1.17	1.32	1.27	1.07	1.60	1.43	1.50	1.08	2.90
Factor Expansión a TPDA →	0.94	1.04	1.15	1.06	1.02	1.18	1.05	1.06	1.08	1.22	1.23	1.31

Fuente: Anuario de Tráfico 2018. MTI pág. 279 pdf.

Para expandir el Tráfico Promedio Diurno $TPDi_{12hrs}$, solo fue necesario utilizar el Factor Día (FD), Factor Semana (FS) y Factor Expansión (FE).

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se utilizó la **ecuación 3**:

$$\mathbf{TPDA = TPDi_{12hrs} * FD * FS * FE} \qquad \textbf{[Ec. 3]}$$

$\mathbf{TPDi_{12}}$:Tránsito Promedio Diurno de 12 horas.

FD: Factor Día.

FS: Factor Semana.

FE: Factor Expansión (Expansión a TPDA).

Tabla 11: Calculo del TPDA, Aplicando Factores de Ajuste (FD, FS, FE) / ambos sentidos.

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA). EST: 0+00													
Factor / Tipo de Vehículo	**Vehículos Livianos**				**Pesados de Pasajeros**			**Pesados de Carga**				**Equipo Pesado**	**Total**
	Moto	**Auto**	**Jeep**	**Cta.**	**Mbus**	**Mb> 15 P**	**Bus**	**Liv C2**	**C2**	**C3**	**T3S2**	**V.A**	
$TPDi_{12HRS}$	116.0	53.0	31.0	100.0	6.0	4.0	17.0	22.0	29.0	11.0	13.0	4.0	**406**
FACTOR DIA	1.20	1.27	1.16	1.20	1.20	1.43	1.15	1.30	1.40	1.38	1.46	1.13	
FACTOR SEMANA	1.01	1.02	0.97	0.95	0.91	0.92	0.97	0.87	0.89	0.88	0.97	0.79	
FACTOR EXPANSIÓN	0.94	1.04	1.15	1.06	1.02	1.18	1.05	1.06	1.08	1.22	1.23	1.31	
TPDA INVIERNO	133	72	41	121	7	7	20	27	40	17	23	5	**513**
%TPDA	25.93%	14.04%	7.99%	23.59%	1.36%	1.36%	3.90%	5.26%	7.80%	3.31%	4.48%	0.97%	100%
% Vehículos	**71.54%**				**6.63%**			**20.86%**				**0.97%**	100%

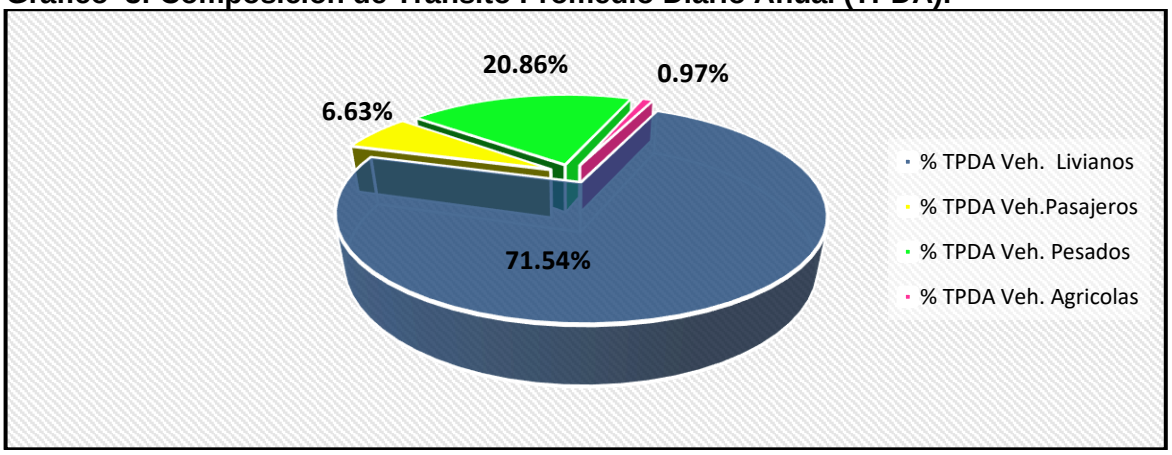
Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 3**. El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resultó de: **513 vpd** (vehículos por día), se trabajó con la estación de corta duración ECD-111 Condega Shell Palacagüina para realizar la estimación de una tasa de crecimiento acorde al desarrollo económico del país y proyectar el TPDA calculado a un periodo de años.

3.6.3. Composición Vehicular.

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera obteniendo una composición vehicular de: vehículos livianos **71.54%,** vehículos de pasajeros **6.63%**, vehículos de carga **20.86%** y vehículo agrícola **0.97%,** obteniendo así un porcentaje de tránsito vehicular total de **100%**, cabe mencionar que dichos porcentajes mantienen una similitud considerable con los porcentajes de la estación Condega-Shell Palacagüina **(Ver Gráfico- 3)**

Gráfico 3: Composición de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

El tramo está clasificado como una vía colectora rural según la clasificación funcional de la vía (SIECA 2011). predomina un tránsito promedio de **513 vpd** vehículos por día, este se encuentra en el rango de 500 a 3000 vehículos tal como se muestra en los ***Anexos Cap. III, Tabla-108, pág. XLIV.*** Esta vía alimenta las arterias troncales así mismo mueve el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderías importantes puertos o embarcaderos.

3.7. Determinación de las Tasas de Crecimiento.

Para determinar las tasas de crecimiento del tráfico vehicular futuro, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA de la ECD-111" y el producto interno bruto "PIB", así como con la población "POB", a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos. Partiendo del informe anual del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB), Población (POB) y el TPDA de la estación seleccionada, en los últimos 15 años. ***(Ver Anexos cap. III, Tabla-85, pág. XVII).***

Tabla 12: Registros Históricos del TPDA, PIB, y POB.

AÑO	TPDA ECD 111	PIB (Miles $)	POB (Miles de habitantes)
2004	1979	4465	5381
2005	2110	4872	5450
2006	2521	6764	5638
2007	2508	7423	5708
2008	2955	8497	5779
2009	2880	8299	5850
2010	-	8759	5923
2011	2740	9774	5997
2012	2622	10533	6071
2013	-	10983	6134
2014	-	11880	6198
2015	4361	12757	6263
2016	-	13286	6328
2017	3074	13844	6394
2018	3245	13118	6460

Fuente: BCN Informe Anual 2018 pág. 8 y Anuario de Tráfico MTI-2018 pág. 108 .

3.7.1. Tasas de Crecimiento.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación 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. Para el presente tramo se utilizaron los datos históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA" de la Estación N°111 de corta duración (ECD Condega-Shell Palacagüina), la cual fue seleccionada en base a los vectores de correspondencia. Los registros de la ECD-111 fueron obtenidos del anuario de tráfico 2018.

En los registros de la estación N°111 ECD (Condega–Shell Palacagüina), podemos observar crecimientos altos en relación a los años anteriores, hasta llegar al 2015 que se encuentra con una TPDA mucho mayor a los anteriores, elevando su tasa de crecimiento con relación a los años (2011-2012), algunos años no poseen registros por lo cual se realizaran correlaciones de las variables para saber si estos datos son confiables para la determinación de una tasa de crecimiento que se ajuste al crecimiento económico del país. ***(Ver Anexos Cap. III, Tabla-89, pág. XXI)***

Las tasas de crecimiento interanual se calcularon usando la **ecuación 4:**

$$\mathbf{TC} = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o}\right)^{1/n}\right] - 1 \qquad \textbf{[Ec. 4]}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento.

$TPDA_i$: Tráfico Promedio Diario Actual

$TPDA_o$: Año anterior.

n= La diferencia de años.

Tabla 13: Evolución TPDA de la Estación ECD 111 Condega-Shell Palacagüina.

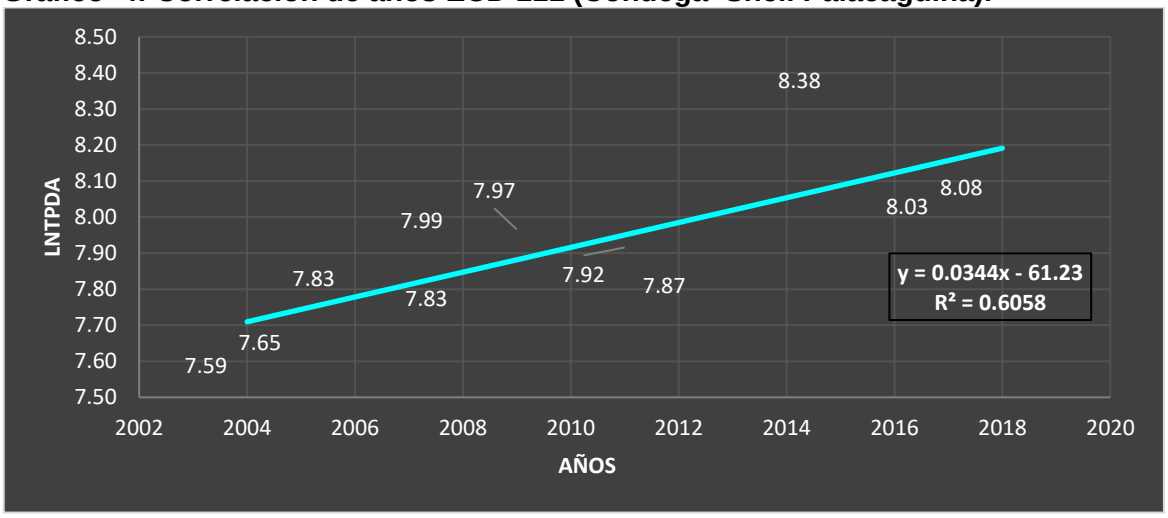
AÑO	TPDA ECD-111	Diferencia de años	TCA	LN TPDA ECD 111	
2004	1979			7.59	
2005	2110	1	6.62%	7.65	
2006	2521	1	19.48%	7.83	
2007	2508	1	-0.52%	7.83	
2008	2955	1	17.82%	7.99	
2009	2880	1	-2.54%	7.97	
2010	-	-		-	
2011	2740	2	-2.46%	7.92	
2012	2622	1	-4.31%	7.87	
2013					
2014	-	-		-	
2015	4361	3	18.48%	8.38	
2016	-	-		-	
2017	3074	2	-16.04%	8.03	
2018	3245	1	5.56%	8.08	
Promedio	**2,818**		**4.21%**		

TCA Aplicando la Ec-4

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2018, MTI– DAV pág. 107).

A partir de los registros históricos de la estación ECD-111 se dispuso a realizar una correlación de sus variables no sin antes aplicar logaritmo natural (ln), esto para ver la confiabilidad de sus datos, utilizando los registros de los últimos 15 años desde el año 2004 hasta el año 2018.

Gráfico 4: Correlación de años ECD 111 (Condega–Shell Palacagüina).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

La correlación de los años de la estación Condega Shell Palacagüina ECD-111 versus LN TPDA, da como resultado un coeficiente de determinación R^2=0.6058, se utilizó dicha estación para el cálculo de las tasas de crecimiento y proyectar nuestro tráfico a un periodo de años.

3.7.2. Correlación de Datos entre ECD N°111 y Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo del informe anual del Banco Central de Nicaragua (BCN), se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del producto interno bruto (PIB), de los últimos 15 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2004 al año 2018. **Ver Tabla-14, Pág. 29**

El PIB promedio de los últimos 15 años que presenta el informe de Banco Central de Nicaragua BCN corresponde a 9,667 $ Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 8.40%. La determinación de esta se calculó usando la **ecuación N° 4. (Ver Pág. 27)**

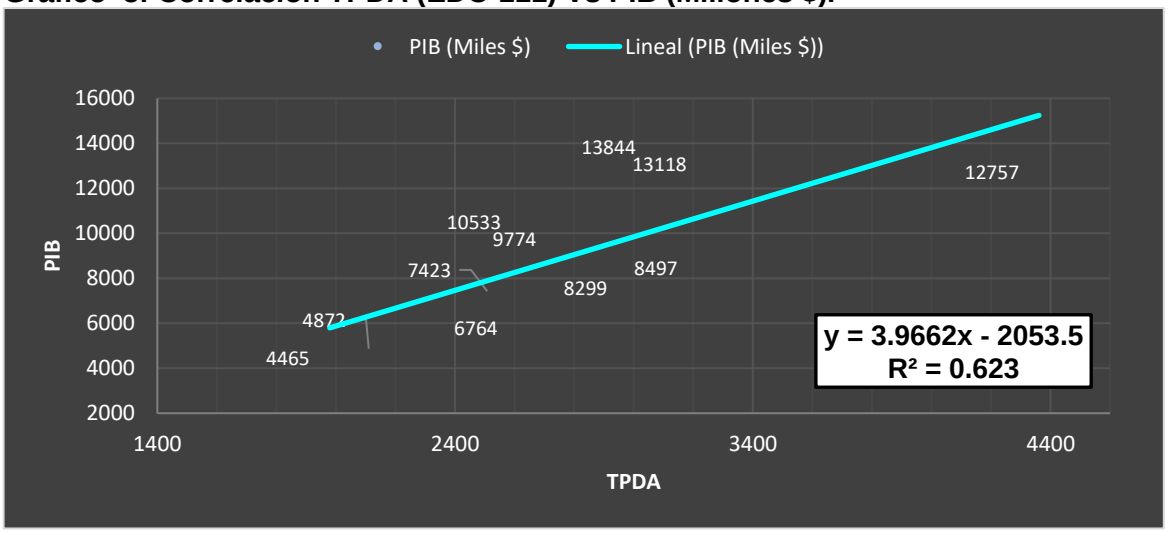
Tabla 14: Tasas de Crecimiento Anual para PIB.

AÑO	TPDA ECD-111	PIB (Miles $)	Dif. de años	Tasa Crecimiento Anual (PIB)	
2004	1979	4465			
2005	2110	4872	1	9.12%	
2006	2521	6764	1	38.83%	
2007	2508	7423	1	9.75%	
2008	2955	8497	1	14.46%	
2009	2880	8299	1	-2.33%	
2010	-	8759	1	5.54%	**TCA Aplicando la Ec-4**
2011	2740	9774	1	11.60%	
2012	2622	10533	1	7.76%	
2013	-	10983	1	4.28%	
2014	-	11880	1	8.17%	
2015	4361	12757	1	6.15%	
2016	-	13286	1	4.55%	
2017	3074	13844	1	5.00%	
2018	3245	13118	1	-5.24%	
Promedio	**2,818 Veh/ día**	**9,667 millones $**		**$TC_{PROMEDIO}$ 8.40%**	

Fuente: BCN Informe Anual 2018 pág. 8 y Anuario de Tráfico MTI-2018 pág. 107.

Se obtendrá la elasticidad de los indicadores como lo son TPDA de la estación de corta duración ECD-111 Condega-Shell Palacagüina y el producto interno bruto del país de los últimos 15 años. Estas variables serán sometidas a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación que existe entre ellas.

Gráfico 5: Correlación TPDA (EDC-111) Vs PIB (Millones $).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se muestra en el **Gráfico–5** la correlación entre los datos de TPDA Vs PIB posee una buena correlación de variables, por lo cual la línea de tendencia presenta continuidad. En este caso se obtuvo un R^2 de **0.623** este presenta una elasticidad de **3.9662.**

Luego se procede a mejor la fórmula de R^2, realizando el mismo procedimiento de correlación no sin antes aplicar Logaritmo Natural a los datos de la **Tabla-14,** con ellos se elaboran rectas de regresión y se calcula el coeficiente de correlación entre las variables en cuestión. A continuación, se muestra el cálculo de los logaritmos naturales necesarios previo al cálculo de la correlación:

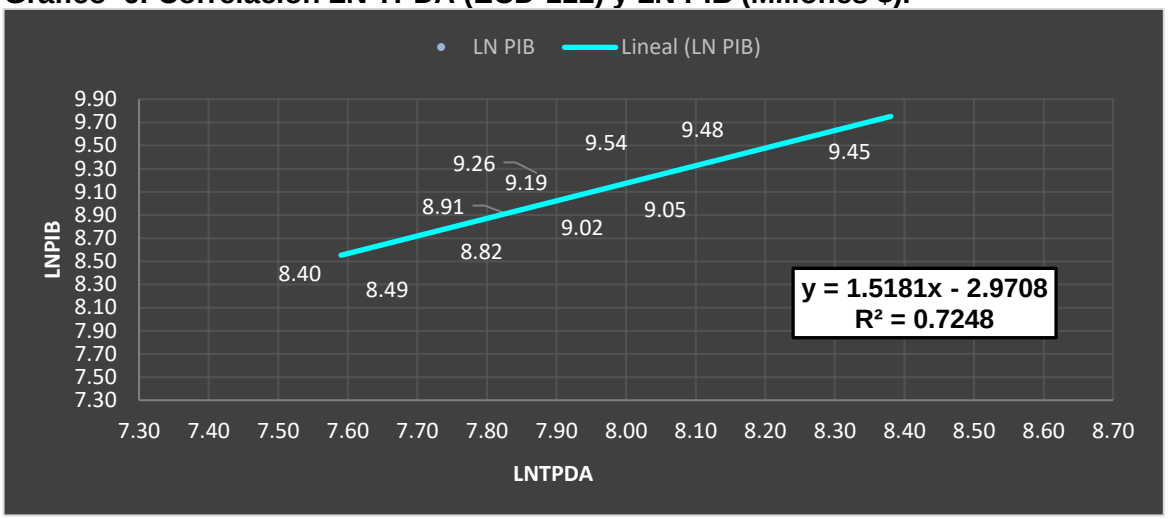
Tabla 15: Datos LN TPDA ECD-111 y LN PIB.

AÑOS	TPDA ECD 111	PIB (Miles $)	LN TPDA ECD 111	LN PIB (Miles $)
2004	1979	4465	7.59	8.40
2005	2110	4872	7.65	8.49
2006	2521	6764	7.83	8.82
2007	2508	7423	7.83	8.91
2008	2955	8497	7.99	9.05
2009	2880	8299	7.97	9.02
2010	-	8759		9.08
2011	2740	9774	7.92	9.19
2012	2622	10533	7.87	9.26
2013	-	10983	-	9.30
2014	-	11880	-	9.38
2015	4361	12757	8.38	9.45
2016	-	13286	-	9.49
2017	3074	13844	8.03	9.54
2018	3245	13118	8.08	9.48

Fuente: BCN Informe Anual 2018 pág. 8 y Anuario de Tráfico MTI-2018 pág. 107.

A continuación, en el **Gráfico-6** se muestra el resultado de la correlación entre las variables de los datos **LNTPDA Vs LNPIB** de la **Tabla 15,** el cual dio como resultado un coeficiente de determinación **R^2=0.7248**, en un periodo de 15 años del año 2004 al año 2018.

Gráfico 6: Correlación LN TPDA (ECD-111) y LN PIB (Millones $).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes constantes de la ecuación, en la comparativa de gráficos se escoge la elasticidad del gráfico con el R^2 más alto. De la correlación de las variables **TPDA Vs PIB** y **LN TPDA Vs PIB** se obtiene lo siguiente:

Tabla 16: Resultados de Correlación TPDA (ECD-111) y PIB (Millones $).

Correlación de TPDA ECD-111 Vs PIB (Gráfico -5)	
Coeficiente de Determinación (R^2)	**0.623**
Elasticidad	**3.9662**
Correlación de LN TPDA ECD -111 Vs LN PIB (Gráfico -6)	
Coeficiente de Determinación (R^2)	**1.5181**
Elasticidad	**0.7248**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se aprecia en la **Tabla-16**, se escoge la segunda elasticidad de la correlación de las variables de **LNTPDA Vs LNPIB** ya que el coeficiente de determinación R^2 es más alto que la correlación de variables entre **TPDA Vs PIB** así que esta se utilizará para determinar las tasas de crecimiento del tránsito de carga, que son los vehículos que mueven la producción hacia los mercados nacionales e internacionales, lo mismo que los insumos para la producción.

3.7.3. Correlación de Datos entre ECD 111 y Población (POB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes de población (POB) de los últimos 15 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2004 al año 2018.

El POB promedio de 5,972 Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de 1.32%. Las tasas de crecimiento interanual de los últimos 16 años se calcularon usando la **ecuación Nº 4.**

Tabla 17: Datos ECD-111 y Tasas de Crecimiento Anual para Población.

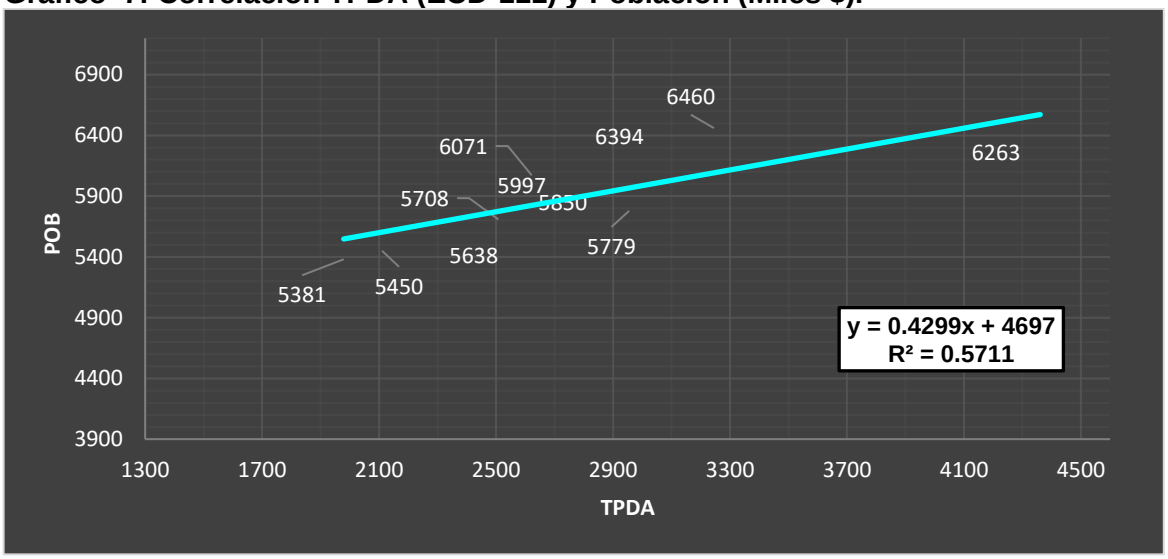
AÑO	TPDA ECD 111	POB (Miles/hab)	Tasa Crecimiento Anual (Pob)
2004	1979	5381	1.30%
2005	2110	5450	3.44%
2006	2521	5638	1.24%
2007	2508	5708	1.24%
2008	2955	5779	1.24%
2009	2880	5850	1.24%
2010	-	5923	1.24%
2011	2740	5997	1.24%
2012	2622	6071	1.04%
2013		6134	1.04%
2014	-	6198	1.04%
2015	4361	6263	1.04%
2016	-	6328	1.04%
2017	3074	6394	1.04%
2018	3245	6460	1.30%
Promedio	**2,818 Veh/día**	**5,972 miles/hab**	**TC PROMEDIO: 1.32%**

Fuente: BCN Informe Anual 2018 pág. 8 y Anuario de Tráfico MTI-2018 pág. 107.

Las variables de TPDA de la ECD 111 (Condega-Shell Palacagüina) y de Población serán sometidas a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación entre ellas, de forma que se establezca su crecimiento con los diferentes tipos de tránsito a los cuales se deben realizar proyecciones.

A continuación, en el **Gráfico-7** se muestra el resultado de la correlación entre datos de la **Tabla-17:**

Gráfico 7: Correlación TPDA (ECD-111) y Población (Miles $).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

A continuación, se muestra en el **Tabla -18** el cálculo de los logaritmos naturales necesarios previo al cálculo de la correlación:

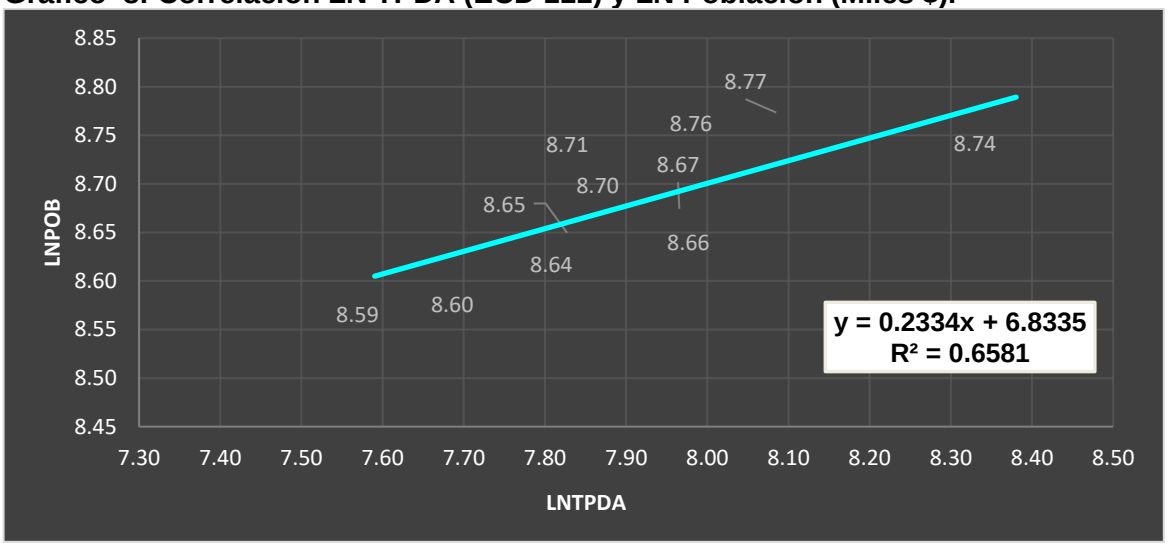
Tabla 18: Datos LNTPDA ECD-111 y LN POB.

AÑO	LN TPDA ECD 111	LN POB (Miles/Hab)
2004	7.59	8.59
2005	7.65	8.60
2006	7.83	8.64
2007	7.83	8.65
2008	7.99	8.66
2009	7.97	8.67
2010	-	8.69
2011	7.92	8.70
2012	7.87	8.71
2013	-	8.72
2014	-	8.73
2015	8.38	8.74
2016	-	8.75
2017	8.03	8.76
2018	8.08	8.77

Fuente: BCN Informe Anual 2018 pág. 8 y Anuario de Tráfico MTI-2018 pág. 107.

En el **Gráfico-8** se muestra el resultado de la correlación entre datos del **Tabla 18:**

Gráfico 8: Correlación LN TPDA (ECD 111) y LN Población (Miles $).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes constantes de la ecuación, en la comparativa de gráficos se escoge la elasticidad del gráfico con el R^2 más alto de la correlación de las variables **TPDA Vs Población y LNTPDA Vs LNPOB** se obtiene lo siguiente:

Tabla 19: Resultados de Correlación TPDA (ECD-111) y POB (Miles/Hab).

Correlación de TPDA Vs POB (Gráfico -7)	
Coeficiente de Correlación (R^2)	**0.5711**
Elasticidad	**0.4299**
Correlación de LNTPDA Vs LNPOB (Gráfico -8)	
Coeficiente de Correlación (R^2)	**0.6581**
Elasticidad	**0.2334**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se muestra en la **Tabla-35**, se escoge la segunda elasticidad porque el coeficiente (R^2) de la correlación de las variables de **LNTPDA Vs POB** es más alto, que la correlación de **TPDA Vs POB** así que esta se utilizara para determinar las tasas de crecimiento del tránsito de pasajeros, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población hacia los diferentes destinos (laborales, compras, estudios, recreativos y de otras índoles).

3.7.4. Cálculo de Proyección de Tránsito.

Procedemos a calcular las tasas de crecimiento utilizando los datos históricos de TPDA ECD-111, PIB, POB, para cada uno de ellos.

Tabla 20: Datos Históricos (TPDA ECD-111, PIB, POB).

AÑO	TPDA ECD-111	TC	PIB (Miles $)	TC	POB (miles)	TC
2004	1979		4465		5381	
2005	2110	6.62%	4872	9.12%	5450	1.30%
2006	2521	19.48%	6764	38.83%	5638	3.44%
2007	2508	-0.52%	7423	9.75%	5708	1.24%
2008	2955	17.82%	8497	14.46%	5779	1.24%
2009	2880	-2.54%	8299	-2.33%	5850	1.24%
2010	-	-	8759	5.54%	5923	1.24%
2011	2740	-2.46%	9774	11.60%	5997	1.24%
2012	2622	-4.31%	10533	7.76%	6071	1.24%
2013	-	-	10983	4.28%	6134	1.04%
2014	-	-	11880	8.17%	6198	1.04%
2015	4361	18.48%	12611	6.15%	6263	1.04%
2016	-	-	13184	4.55%	6328	1.04%
2017	3074	-16.04%	13844	5.00%	6394	1.04%
2018	3245	5.56%	13118	-5.24%	6460	1.04%
TC Promedio Histórico		**4.21%**		**8.40%**		**1.32%**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

- **Tasa de crecimiento Vehículos Livianos:** se obtuvo aplicando la **ecuación-4 pág. 27** a cada uno de los años que presenta registro y posterior realizando un promedio de las tasas de crecimientos calculadas, como lo dispone el anuario de tráfico del MTI-2018 pág. 25**,** la cual resultó de:

$$\mathbf{TC_{TPDA} = 4.21\%}$$

- **Tasa de crecimiento Vehículos de Carga:** se obtuvo aplicando la **ecuación-4 pág. 27** a cada uno de los años de **PIB** y posterior realizando un promedio de las tasas de crecimientos calculadas, como lo dispone el anuario de tráfico del MTI-2018 pág. 25**,** la cual resultó de:

$$\mathbf{TC_{PIB} = 8.40\ \%}$$

Posterior se afectó el resultado con la elasticidad escogida de **1.5181 del PIB.**

$$\mathbf{TC =} Tc_{PIB} * \text{Elasticidad PIB}$$

$$\mathbf{TC}= 8.40\ \% * 1.5181$$

$$\mathbf{TC}=\mathbf{12.75\%}$$

Tasa de crecimiento Vehículos de Pasajeros se obtuvo aplicando la **ecuación -4** para cada uno de los años de **POB** y posterior realizando un promedio de las tasas de crecimientos calculadas, como lo dispone el anuario de tráfico del MTI-2018 pág. 25**,** la cual resultó de:

$$\mathbf{Tc_{POB}= 1.32\%}$$

Afectando la Tasa crecimiento resultante con Elasticidad escogida de **0.2334** del POB.

$$\mathbf{TC =} Tc_{POB} * \text{Elasticidad POB}$$

$$\mathbf{TC =}\ 1.32\ \% * 0.2334 =$$

$$\mathbf{TC =}\ \mathbf{0.31\%}$$

A continuación, se realizó el consolidado de las tasas de crecimientos calculadas **(TPDA ECD-111, PIB, POB),** las cuales fueron afectadas por las elasticidades o coeficiente de ajustes. Ver la siguiente tabla

Tabla 21: Consolidado de las Tasas de Crecimiento Calculadas (TPDA, PIB, POB).

TC = (TPDA, PIB, POB) Afectadas Por Elasticidad de las Correlaciones		
Calculado TC TPDA= 4.21% ACEPTABLE	Calculado TC PIB= 12.75% MUY ALTA	Calculado TC POB= 0.31% MUY BAJA

Fuente: Elaborado por Sustentante.

Se obtuvieron tres tasas de crecimiento sin embargo la tasa más aceptable para realizar la proyección del tráfico es la tasa de 4.21%, ya que se ajusta al crecimiento económico del país.

3.8. Selección de la Tasa de Crecimiento.

La tasa de (4.21%), se ajusta al comportamiento económico de los últimos 10 años (2010-2018 Anuario BCN 2018), el cual presenta un valor promedio de 4.13% similar a la tasa de TPDA calculada En base a esta tasa se realizó la proyección del tránsito en un periodo de 15 años la cual se definió en base a su clasificación funcional de la vía. ***(Ver anexos Cap. III, Tabla 89, Pág. XXI)***

3.9. Determinación del Tránsito de Diseño.

El tránsito de Diseño (TD), determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía, para obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil. De manera general el Tránsito de diseño a emplear para fines de este proyecto está dada por la ecuación:

$$\mathbf{TD = TPDA * FC * FD * fc * 365} \qquad \textbf{(Ec. 5)}$$

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.
FC: Factor Crecimiento.
FD: Factor Dirección.
Fc: Factor Carril
365: Días del año.

3.9.1. 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. En este caso el tramo tiene una clasificación funcional **Colectora rural** según lo estipulado en la (SIECA 2011 Pág. 33). El **TPDA** debe estar en un rango de 500 a 3000 vpd, el cálculo de TPDA de este estudio es de: TPDA 513 vpd, en dependencia a este criterio el diseño de la vía será de **N=15 años. (Ver Anexos, Tabla-108, pág. XLIV)**

Tabla 22: Período de Diseño (N).

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	15 – 30
Colectoras Sub-Urbanas	10 – 20
Colectoras Rurales	**10 – 20 (15 años)**

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2002.

3.9.2. Factor de Crecimiento (FC).

Este se obtiene a partir del periodo 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 N°6:**

$$FC = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right) \qquad \textbf{(Ec. 6)}$$

Dónde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa de Crecimiento anua :**4.21%**

n: Periodo de Diseño: **15 años**

$$F_c = \left(\frac{(\mathbf{1 + 0.0421})^{\mathbf{15}} - \mathbf{1}}{\mathbf{0.0421}}\right) = \mathbf{20.34}$$

3.9.3. Factor Distribución Por Dirección (FD).

Este valor se pude deducir del estudio de tránsito (conteo), 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.

Tabla 23: Factor de Distribución por Dirección (FD).

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
2	**50**
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2002.

Considerando la condición ideal para vías de dos carriles en ambas direcciones; asignamos el valor de **0.5** para el tramo en estudio.

3.9.4. Factor Distribución Por Carril (fc).

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). En el **Tabla-24** se presenta el factor carril.

Tabla 24: Factor de Distribución por Carril (FC).

Número de carriles en una sola dirección	Fc'
1	**1.00**
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2002.

Se tomó el valor de **Fc' = 1.00** puesto que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación del Tránsito de Diseño (TD), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la siguiente **Ecuación N°5 de la pág. 37,** tal como se muestra en la **Tabla *-25*:**

Tabla 25: Tránsito de Diseño.

Tipo de vehículos	Tránsito Actual (2020)	F.C.	Días del año	Factor por carril(Fc)	Factor de Dirección (FD)	Tránsito para el carril de diseño
Autos	72.00	20.34	365	1.00	0.50	267,268.00
Jeep	41.00	20.34	365	1.00	0.50	152,195.00
Camionetas	121.00	20.34	365	1.00	0.50	449,159.00
McBus<15 pas	7.00	20.34	365	1.00	0.50	25,985.00
MnBus 15-30 pas	7.00	20.34	365	1.00	0.50	25,985.00
Bus	20.00	20.34	365	1.00	0.50	74,241.00
C2 liv	27.00	20.34	365	1.00	0.50	100,226.00
C2 5 +ton	40.00	20.34	365	1.00	0.50	148,482.00
C3	17.00	20.34	365	1.00	0.50	63,105.00
T3S2	23.00	20.34	365	1.00	0.50	85,378.00
V.A.	5.00	20.34	365	1.00	0.50	18,561.00
TOTAL DE DISEÑO EN UN PERIODO DE 15 AÑOS						**1,410,585.0**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Los resultados de la **Tabla -25** para el tramo Zompoperita- Comunidad El Carmen, utilizando un factor de crecimiento de **20.34**, con un periodo de diseño de **15** años**,** da como resultado un tránsito por carril de diseño de **1,410,585.0 Vehículos.** Este cálculo no toma en consideración el TPDA de las motos.

3.9.5. El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).

Es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos flexible fue de 4.2 según el manual SIECA Capitulo 3 Pág. 4.

En el Diseño de la Estructura de Pavimento flexible del tramo de carretera Zompoperita –El Carmen se trabajó con un valor de **Po=4.2.**

3.9.6. El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

Para camino vecinal y colectora rural se toma un valor de pt = 1.8– 2.0 según el manual SIECA Capitulo 3 Pág. 4.

En este caso se decidió tomar el valor de **Pt=2.0.**

3.9.7. 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 N°7:**

$$\Delta PSI = Po - Pt \qquad \textbf{(Ec. 7)}$$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento flexible del tramo Zompoperita-El Carmen se trabajó con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$
$$\Delta PSI = 2.2$$

3.9.8. Número Estructural Asumido (SN).

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. 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 seleccionamos el valor **SN=5.**

3.9.9. Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes sencillos y dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (Pt=2.0) y un número estructural recomendado (SN=5) para pavimento articulado, los pesos de las tablas están dados en kips en números enteros. Sin embargo, la mayoría de los factores para este estudio no son valores enteros, por lo cual se tuvieron que interpolar, ya que, no se encuentran representados en las tablas. A continuación, se muestran dichos valores una vez ya conocidos los pesos por ejes en toneladas.

Se procede a interpolar los pesos en Kips para cada eje por tipo de vehículo:

Tabla 26: Factores de ejes Kips a Interpolar.

Tipo de vehículos	Peso X eje(Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de Eje
Autos	1.00	2.20	Simple
Camionetas	2.00	4.40	Simple
McBus<15 pas	4.00	8.80	Simple
MnBus 15-30 pas	8.00	17.60	Simple
Bus	5.00	11.00	Simple
C3	16.50	36.30	Doble
T3-S2	16.00	35.20	Doble
V.A	4.50	9.90	Simple
	6.50	14.30	Simple
Ejes Simples: *Ver Anexos Cap. III, Tabla – 92, págs. XXIII* **Ejes Dobles:** *Ver Anexos Cap. III, Tabla – 93, págs. XXIV*			

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.9.10. Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

En el Método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El transito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos del cálculo, se los transforma un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 KN o 18 Kips, los cuales se les denomina “equivalent simple axial load” o ESAL. Se calcula utilizando la siguiente expresión:

ESAL o W18= TD*FESAL **(Ec. 8)**

Dónde:
TD: Transito de Diseño.
FESAL: Factor de Equivalencia de carga por eje.

Ya conocido los valores del Tránsito de Diseño (TD) por tipo de vehículo cuyos resultados se muestran en la **Tabla 25** de la **pág. 39**. En donde el TPDA para motos no se tomó en cuenta en el cálculo del tránsito de Diseño, ya que se considera que el daño causado por este tipo de vehículo es imperceptible.

El cálculo de los ejes equivalentes a 18 KIPS para cada clasificación de vehículos se estimó en base al tránsito de diseño y los factores **ESAL** para cada eje, este último se determinó utilizando los ***Anexos Cap. IV, Tablas 92-93, págs. XXIII-XXIV*****,** de factores equivalentes de carga, considerando una serviciabilidad final de pt=2.0 y un SN=5, para lo cual se debió conocer los pesos de cada eje en toneladas y luego pasarlo a Kips fue necesario utilizar la tabla de diagramas de carga permisibles para la conversión.

Los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), los cuales se tuvieron que interpolar 7 valores de FESAL para ejes Simples (2.2, 4.4, 8.8, 9.9, 11, 14.30 17.60), y un 2 valor de FESAL para ejes Dobles (35.20 ,36.30). Solo el peso de 22 Kips no se interpolo ya que el FESAL (2.35), si se muestra en el cuadro AASHTO–93 apéndice D, para ejes Sencillos. El cálculo del **ESAL o W18** se muestra a continuación, en la **Tabla 27:**

Tabla 27: Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño.

Tipo de vehículos	Peso X eje(Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	TPDA 2020	TD	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	**2.20**	Simple	72	267,268	0.00038	102
	1.00	2.20	Simple			0.00038	102
Jeep	1.00	2.20	Simple	41	152,195	0.00038	58
	1.00	2.20	Simple			0.00038	58
Camionetas	1.00	2.20	Simple	121	449,159	0.00038	171
	2.00	**4.40**	Simple			0.0034	1527
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	7	25,985	0.0034	88
	4.00	**8.80**	Simple			0.0502	1304
MnBus > 15 pas	4.00	8.80	Simple	7	25,985	0.0502	1304
	8.00	**17.60**	Simple			0.9206	23922
Bus	5.00	**11.00**	Simple	20	74,241	0.1265	9391
	10.00	**22.00**	Simple			2.3500	174466
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	27	100,226	0.0502	5031
	8.00	17.60	Simple			0.9206	92268
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	40	148,482	0.1265	18783
	10.00	22.00	Simple			2.35	348933
C3	5.00	11.00	Simple	17	63,105	0.1265	7983
	16.50	**36.30**	Doble			1.433	90398
T3-S2	5.00	11.00	Simple	23	85,378	0.1265	10800
	16.00	**35.20**	Doble			1.260	107576
	16.00	35.20	Doble			1.260	107576
V.A.	4.50	**9.90**	simple	5	18,561	0.077	1429
	6.50	**14.30**	simple			0.378	7012
TOTAL				380 de 513			**1,010,285.00**
Nota: Las motos no se tomaron en cuenta por no ejercer una carga considerable al pavimento.							

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Para el tramo Epm. Zompoperita – El Carmen se obtuvo un ESAL´S **1.010 E +06 o 1,010,285** repeticiones equivalentes a 18 Kips o 18, 000 lbs para el carril de diseño, en un periodo de 15 años. Trabajando con Po=4.2, Pt=2.0, ΔPsi=2.2 y SN=5.

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO IV

ESTUDIO GEOTÉCNICO

UNÍ RUACS - 2021

4.1. Metodología.

En este capítulo se detallarán los procedimientos llevados a cabo a lo largo del tramo en análisis, con el propósito de evaluar y analizar las características físicas, mecánicas y condiciones de soporte del suelo, y así poder contar con la información básica necesaria para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento flexible. Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por la Alcaldía de Santa María de Pantasma, de un Estudio realizado por el laboratorio GEONIC (Ingenieros consultores) en el año 2018.

Todos los ensayos se realizaron en conformidad a lo establecido en las Normas de la ASTM (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), y AASHTO, entre ellas: Humedad, Valor de Soporte (CBR), Granulometria, Límites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico) y Densidad (Próctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 28: Tipos de Ensayos para Estudio de Suelos.

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría	D – 422	T – 2788
Límite Líquido	D – 423	T –8990 y 9087
Índice de Plasticidad	D – 424	T – 9097
Ensayo Próctor Modificado	D – 1557 – 91	T – 180 – 90
Ensayo CBR.	D – 1883 – 73	T – 193 – 81

Fuente: AASHTO, Tercero Edición. Año 2003. Páginas 53-85.

4.2. Ensayos de Suelos en Línea.

En base a los estudios realizados por la alcaldía de Santa María de Pantasma, en colaboración con el laboratorio de suelo GEONIC, se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 250 metros con una profundidad de hasta 1.50, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 (inicio del tramo) hasta la estación 3+000 (fin del tramo). Se efectuaron 13 sondeos manuales, en estos sondeos se encontraron 25 muestras alteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

4.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.

A continuación, se muestra un análisis de los tipos de suelos encontrados a lo largo del tramo en estudio, clasificados según la AASHTO-SUCS. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tablas 97-98, págs. XXVI-XXVII)***

Estaciones (0+000- 01+500), Sondeo (S1- S7).

En el primer estrato de la estación 0+000 inicio del tramo sondeo (S1), hasta la estación 01+500- sondeo (S7), encontramos tres tipos de suelo predominando un **A-2-4(0),** con índice de grupo cero, su clasificación SUCS **(SM),** este suelo se encuentra a una profundidad que varía entre 0.00-1.30 metros, situado en las estaciones (0+000–01+500), este material está catalogado según la clasificación de la AASHTO como un suelo de regular calidad, se encuentra dentro del grupo A-2, posee un límite liquido determinado de 31%, su índice de plasticidad de 9%, presenta un valor de CBR al 95% próctor modificado de 29%.

De manera puntual en la estación (0+500) sondeo (S3) se encuentra un tipo de suelo **A-2-6 (0)** con índice de grupo cero, se encuentra a una profundidad que va desde los 0.00-1.25 metros, catalogado según la AASHTO de regular calidad, posee un límite liquido de 35% y un índice de plasticidad de 15%. Su CBR al 95% Proctor modificado es de 18%. Posterior en la estación (0+750) se encuentra un tipo de suelo **A-1-b (0),** con índice de grupo cero, este suelo se encuentra a una profundidad que varía entre 0.00-0.35 metros, su límite liquido es de 25% y posee un índice de plasticidad de 5%, su CBR al 95% próctor modificado es de 33%.

En el segundo estrato se encuentran cuatro tipos de suelo a lo largo del tramo, inicia con un tipo de suelo **A-2-7(0)** con índice de grupo cero, su clasificación SUCS **(SM)**, este suelo se encuentra a una profundidad que varía entre 0.18 -1.50 metros, presenta una descripción de un material grava arcillo arenosa color café con pintas rojizas, este tipo de suelo según su clasificación AASHTO se encuentra dentro del grupo de suelo A-2, catalogado como un material de regular calidad, posee un límite líquido que varía entre 42 y 46%, tiene un índice de plasticidad que varía entre 15% y 17%, su CBR al 95% próctor modificado varía entre 33%.

En la estación (00+500 –01+000) en los sondeos (S3, S5) no se determinó ningún estrato ya que se encontró un material rocoso en las profundidades de 1.25-1.30 metros.

De manera puntual en la estación (00+750) sondeo (4) se encuentra un tipo de suelo **A-2-6(0)**, con índice de grupo cero, su clasificación SUCS **(GC),** este suelo se encuentra a una profundidad que varía entre 0.35 -0.84 metros, presenta una descripción de un material grava arcillo arenosa color verduzco, este tipo de suelo según su clasificación AASHTO se encuentra dentro del grupo de suelo A-2, catalogado como un material de regular calidad, posee un límite líquido que varía de 36 a 40%, posee un índice de plasticidad de 16 a 22%, su CBR al 95% próctor modificado es de 17%.

En la estación (01+200) sondeo (S6) de manera puntual se encuentra un tipo de suelo **A-7-5(19)**, con índice de grupo diecinueve, su clasificación SUCS **(MH),** este suelo se encuentra a una profundidad de 0.40 -1.50 metros, la AASHTO lo clasifica como un suelo de regular mala calidad, se encuentra dentro del grupo A-7, posee un límite liquido 62% y un índice de plasticidad de 22%, describe una materia limo arcillo arenoso color café con pintas amarillas, su CBR al 95% próctor modificado es de 5%.

En la estación (01+500) sondeo (S7) de manera puntual se encuentra un tipo de suelo **A-2-7(1)**, con índice de grupo uno, su clasificación SUCS **(GC),** este suelo se encuentra a una profundidad de 0.8 -0.65 metros, la AASHTO lo clasifica como un suelo de regular a mala calidad, se encuentra dentro del grupo A-2, posee un límite liquido 41% y un índice de plasticidad de 19%, describe una materia grava arcillo arenoso color café con pintas rojizas, su CBR al 95% próctor modificado es de 15%.

En el tercer estrato se encuentra únicamente en las estaciones (0+750,1+500), con un tipo de suelo A-2-4 (0), en la estación (1+500) un tipo de suelo A-1-a (0), su clasificación SUCS **(GP),** se encuentra a una profundidad de .065 a 1.50 metros, clasificado según la AASHTO como un material de excelente calidad.

Estaciones (1+750- 3+000) Sondeo (S8- S13).

En el primer estrato de la estación 1+750 sondeo (S8), hasta la estación 3+000-sondeo (S13), encontramos dos tipos de suelo a lo largo del tramo , iniciando con un **A-2-7(1),** con índice de grupo uno, su clasificación SUCS **(GC),** este suelo se encuentra a una profundidad que varía entre 0.00 -0.45 metros entre las estaciones (1+750–2+250,2+500,2+750,3+000) catalogado según la clasificación de la AASHTO como un suelo de regular a deficiente calidad, este se encuentra dentro del grupo A-2, su límite liquido determinado es de 42%, y su índice de plasticidad de 19%, su CBR al 95% próctor modificado es de 15%. De manera puntual se encuentra en la estación (2+000), sondeo (S9), un tipo de suelo **A-2-4(0)** con índice de grupo cero, este tipo de suelo presenta las mismas características descritas anteriormente en los sondeos (S1, S7).

En el segundo estrato se encuentran tres tipos de suelo iniciando con un tipo de suelo **A-2-4(0)** el cual se encuentra en las estaciones (01+750–02+750). Este suelo se encuentra a una profundidad que varía de 0.15-1.15 metros, su CBR al 95% Proctor modificado es de 24%, posee un límite liquido de 31% y un índice de plasticidad de 9%. De manera puntual en la estación (02+000) sondeos (S9), se encuentra un tipo de suelo **A-1-a (0)**, con índice de grupo cero, su clasificación SUCS **(GC),** este material se encuentra desde los 0.40-1.50 metros, catalogado según la clasificación de la AASHTO como un suelo de excelente calidad, no posee limite líquido, tampoco índice de plasticidad, su CBR al 95% próctor modificado es de 35%. Por el contrario, en los sondeos (S10, S12) no se determinó ningún estrato ya que se encontró un material rocoso en las profundidades de 0.28-1.50 metros.

En las estaciones (02+500–03+000) en los sondeos (S11, S13) se encuentra un tipo de suelo **A-2-6(0)**, con índice de grupo cero, su clasificación SUCS **(GC),** este material se encuentra desde los 0.25-1.50 metros, catalogado según la clasificación de la AASHTO como un suelo de regular a deficiente calidad, se encuentra dentro del grupo A-2, posee un límite liquido de 40% y un índice de plasticidad de 22%, su CBR al 95% próctor modificado es de 17%. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tabla 99, pág. XXVIII)***

4.2.2. Análisis de los Resultados.

En base a lo descrito anteriormente, podemos concluir que predominan los suelos **A-2-4, A-2-6, A-2-7, A-7-5**. son suelos de baja resistencia con calidad de regular a deficientes, limites líquidos e índices de plasticidad altos según su clasificación y características físico - mecánicas de la AASHTO. También están presentes, pero en menor cantidad los suelo **A-1-a, A-1-b,** se conoce que son suelos de buena calidad según la clasificación de la AASHTO. Para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se realizó la secuencia estratigráfica del sitio en análisis. ***(Ver Anexos Cap. IV, Gráficos 9-10, pág. XXIX - XXX)***

4.3. Resultados de Ensayos a Bancos de Préstamo.

En base en los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios realizados en colaboración con la Alcaldía de Santa María de Pantasma, se analizaron tres (3) Bancos de Préstamo identificados a lo largo del tramo en estudio; para así poder conocer la función que puede desempeñar estos, al ser usado ya sea como material base o subbase, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 29: Banco de Materiales Identificados.

Bancos Identificados	#1 Marvin Molina	#2 Zompoperita	#3 Úbeda
Estación	Est: 01+300	Est: 01+815	Est: (3+000) 4 km norte
Dueño	Sr Marvin Molina	Sra. Reyna Gutiérrez	Sr Alexis Rodríguez
Volumen Aproximado (m^3)	27,750 m^3	95,000 m^3	35,280
Uso Probable	Terracería Mejorada y Rellenos/Estabilizado con cemento uso: BASE/ Subbase	Capa de Relleno y Terracerías/Estabilizado con cemento Uso: Base o Sub-Base	De forma natural puede ser usado: Terracería Mejorada y rellenos
Clasificación	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)
Altura	25.00	22.00	21.00
Ancho	45.00	70.00	33.00
Largo	24.00	62.00	51.00
(Ver Anexos Cap. IV, Fotos 7-12, págs. VI-VIII)			

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma- Laboratorio GEONIC.

El **Banco de Préstamo Marvin Molina #1** se localiza en la estación 1+300 sobre el tramo en estudio, a 65 metros lado Izquierdo, en las coordenadas UTM X=626622, coordenada Y=1492274, ubicado en la comunidad Zompoperita. El propietario de este banco es el Sr. Marvin Molina. El volumen aproximado de este banco es de 27,750 m³, este banco ha sido usado.

El material de este banco corresponde principalmente a una grava con limo arcilloso y arena de baja compresibilidad tipo **A-1-a (0)** color marrón. Tiene 22% de Límite Líquido, 5% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 1 1/2", 42% el tamiz No.4, y 7% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,990 kg/m³, su humedad optima de 12.0%, su PVSS es de 1,410 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.41. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de **34, 43 y 51%**, respectivamente. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tabla 100, Pág. XXXI)***

Este material no presenta resultados de ensayes de Desgate de los Ángeles e Intemperismo se debe a que corresponden a materiales terrosos. Estos ensayes se aplican solamente en gravas, arenas y materiales rocosos. El Peso Específico es de 2.5 y la Absorción de 3.7%. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tabla 101-102, Pág. XXXII-XXXIII)***

Banco de Préstamo Zompoperita #2, se localiza en la estación 1+815 sobre el tramo en estudio, a 45 metros lado Derecho, en las coordenadas UTM X=629447, coordenada Y=1492155 comunidad Zompoperita. El propietario de este banco es el Sra. Reyna Gutiérrez. El volumen aproximado de este banco es de 95,000 m³. Este banco ha sido usado.

El material de este banco corresponde principalmente a una arena con limo y grava tipo **A-1-a (0)** color café claro. No tiene plasticidad limite liquido e índice plástico, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 2", 57% el tamiz No.4, y 8% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,935 kg/m³, su humedad optima de 13.8%, su PVSS es de 1,378 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.40. ***(Ver Anexos Cap. V, Tabla 100, Pág. XXXI)***

El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de **52, 73 y 94%**, respectivamente.

Este material no presenta resultados de ensayes de Desgate de los Ángeles e Intemperismo se debe a que corresponden a materiales terrosos. Estos ensayes se aplican solamente en gravas, arenas y materiales rocosos. El Peso Específico es de 2.19 y la Absorción de 8.0%. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tabla 103-104, Pág. XXXV-XXXVI)***

Banco de Préstamo Úbeda #3 se localiza a 1 kilómetro de la estación final (3+000) este se encuentra fuera del tramo, a 38 metros lado Izq, en las coordenadas UTM X=624639, coordenada Y=1491028, está ubicado en la comunidad Los Laureles. El propietario de este banco es el Sr. Alexis Rodríguez. El volumen aproximado de este banco es de 35,280 m³. Este banco ha sido usado.

El material de este banco corresponde a una arena limosa con grava tipo A-1-b (0) color amarillento posee un límite liquido de 24%, su límite plástico es de 17%, y su índice plástico de 4%, sus partículas pasan 100% el tamiz de 1 1/2", 41% el tamiz No.4, y 9% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,537 kg/m³, su Humedad Optima de 17.6%, su PVSS es de 1,350 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.22. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de **47, 55 y 67**%, respectivamente. ***(Ver Anexos Cap. V, Tabla 100, Pág. XXXI)***

Este material tiene 22% de Desgate de los Ángeles y 8% de Intemperismo acelerado. ***(Ver Anexos Cap. IV, Tabla 105-106, Pág. XXXVIII-XXXIX)***

Los materiales obtenidos de los Bancos de Préstamo identificados, de acuerdo con las exploraciones realizadas y a los ensayos de laboratorio efectuados por el laboratorio GEONIC, presentan de manera resumida las siguientes características físico-mecánicas.

4.3.1. Consideraciones para Elección del Banco a Utilizar.

4.3.1.1. Consideraciones para la Base.

Esta es la capa que se encuentra colocada por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación muy cercana a la aplicación de las cargas requiere materiales de gran calidad y resistencia. Por lo tanto, deben de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC-2019 que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30: Especificaciones de Materiales Empleados en una Base Granular.

ENSAYO	REQUERIMIENTOS	NORMA DE PRUEBA
Límite líquido	25% Máx.	AASHTO T-89
Limite plástico	0% Máx. (NP)	AASHTO T-90
CBR	**80% Mín.**	AASHTO T-193
Desgaste de los Ángeles	35% Máx.	AASHTO T-96
Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
Compactación	95% Próctor Modificado	AASHTO-191
Cumplir con requerimientos de granulometría (E) (Base) Cuadro 1003-6.		

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b).

4.3.1.2. Consideraciones para la Sub-Base.

Esta se puede definir como aquella capa que se coloca por debajo de la capa base y está alejada de las cargas que resiste directamente la capa de rodamiento, no se requieren materiales de gran resistencia como los de la capa base, por lo que su módulo de elasticidad es menor. Debe de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC-2019 que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31: Especificaciones de los Materiales para la Sub – base.

ENSAYO	REQUERIMIENTOS	NORMA DE PRUEBA
Límite líquido	25% Máx.	AASHTO T-89
Limite Plástico	6% Máx.	AASHTO T-90
CBR	**30% Mín.**	AASHTO T-193
Desgaste de los Ángeles	40% Máx.	AASHTO T-96
Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx.	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)
Cumplir con requerimientos de granulometría (B) (Subbase) Cuadro 1003-6.		

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b).

4.4. Banco de Materiales Propuesto para la Capa Base.

El **Banco de préstamo Zompoperita N°2** posee el CBR al 95% Proctor modificado más altos de los bancos identificados con un valor de 73**%,** se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos establecidos por la Nic-2019, los cuales debe cumplir un banco para poder utilizarse como base granular.

Tabla 32: Requerimientos Mínimos para la Capa Base y Subbase.

PRUEBA	REQUERIMIENTOS	BANCO Nº 2	VALORACIÓN/BASE	VALORACIÓN/SB
Graduación	Cuadro 1003-6	Cumple	**Cumple**	**Cumple**
Limite Liquido	25% máx.	No posee	**Cumple**	**Cumple**
Desgaste Los Ángeles	Máx. 35%	No posee	**Cumple**	**Cumple**
Intemperismo Acelerado	Máx. 12%	No posee	**Cumple**	**Cumple**
Índice de plasticidad	Máx. 0% (NP) base Máx. 6%/ subbase	No posee	**Cumple**	**Cumple**
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80% para base 30% subbase	**73%**	**No Cumple / base**	**Cumple / Subbase**
CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS BASE/ SUBBASE.				
TAMIZ (MM)	GRANULOMETRÍA % /BASE	GRANULOMETRÍA % SUBBASE	BANCO Nº 2	VALORACIÓN
75	100	100	100	**Cumple**
4.75	47-59	40-60	57	**Cumple**
0.075	4-8	0-12	8	**Cumple**

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8. tomo II inciso (a y b).

El banco de préstamo Zompoperita N°2 cumplió con el ensayo de desgaste de los ángeles, ensayo de Intemperismo acelerado y con los requisitos de graduación según la sección 1003.09 de la NIC 2000. Sin embargo, no cumple con el parámetro mínimo del ensayo CBR al 95% próctor modificado (80%) por lo tanto al evaluar el banco con el CBR más alto de todos y no cumplir con dicho parámetro, ninguno de los bancos se podrá utilizar como base granular por lo que se consideró estabilizar con cemento portland al 4% y al 6%.

4.5. Banco de materiales propuesto para la capa Sub-Base.

El material de **subbase** deberá ser seleccionado y tener mayor valor de soporte (C.B.R) que el material de subrasante y su espesor será variable según las condiciones y debe de cumplir con los requisitos propuestos por las normas NIC. 2019 inciso a y b tomo II Sección: 1003.8. pág. 809-810 Doc.

El **Banco de préstamo Marvin Molina N°1** posee el CBR más bajo de los bancos identificados que es de **43%** al 95% próctor modificado, se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos de la Nic-2019, que debe cumplir un banco para poder utilizarse como material subbase. **Ver tabla a continuación**

Tabla 33: Requerimientos Mínimos para Capa Subbase.

PRUEBA	REQUERIMIENTO MÍNIMO NIC-2019	BANCO Nº 1	VALORACIÓN
Graduación	Cuadro 1003-6	Cumple	**Cumple**
Limite liquido	25% Máx.	22%	**cumple**
Desgaste Los Ángeles	Máx. 40%	No posee	**Cumple**
Intemperismo Acelerado	Máx. 12 %	No posee	**Cumple**
Índice de plasticidad	Máx. 6%	5%	**Cumple**
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180)	Min. 30% para Sub-Base	43%	**Cumple**
CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS.			
TAMIZ (MM)	% QUE DEBE PASAR POR LOS TAMICES	BANCO Nº 1	VALORACIÓN
75	100	100	**Cumple**
4.75	40-60	42	**Cumple**
0.075	0-12	7	**Cumple**

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8. tomo II inciso (a y b).

De acuerdo la **Tabla 33** el Banco de préstamo **Marvin Molina N°1** cumple con los requerimientos mínimos de la Nic-2019 como lo son graduación, limite líquido, desgate de los ángeles, intemperismo acelerado y CBR Proctor modificado al 95%, por lo cual podrá utilizarse como fuente de material para la capa subbase granular, este banco se encuentra sobre el tramo en la estación 1+300.

El **Banco de préstamo Úbeda N°3** posee un CBR de **55%,** al 95% próctor modificado, se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos de la Nic-2019, que debe cumplir un banco para poder utilizarse como subbase.

Tabla 34: Requerimientos Mínimos para Capa Subbase.

PRUEBA	REQUERIMIENTO MÍNIMO NIC-2019	BANCO Nº 3	VALORACIÓN
Graduación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Limite liquido	25%	24%	Cumple
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	22%	Cumple
Intemperismo Acelerado	Máx. 12 %	8%	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 6%	4%	Cumple
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180)	Min. 30% para Sub-Base	55%	Cumple
CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS.			
TAMIZ (MM)	% SUBBASE	BANCO N.º 3	VALORACIÓN
75	100	100	**Cumple**
4.75	40-60	41	**Cumple**
0.075	0-12	9	**Cumple**

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8. tomo II inciso (a y b).

De acuerdo la **Tabla 34** el Banco de préstamo **Úbeda N°3** cumple con los requerimientos mínimos de la Nic-2019 como lo son graduación, limite líquido, desgate de los ángeles, intemperismo acelerado y CBR Proctor modificado al 95%, por lo cual podrá utilizarse como fuente de material para la capa subbase granular, este banco se encuentra sobre el tramo de la estación final 3+000 1 kilómetro al norte.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de la evaluación de cada banco de préstamo evaluado según las especificaciones de la Nic-2019. Posterior se realizó la estabilización de los bancos que cumplieron con la evaluación antes mencionada.

4.5.1. Resultados de Evaluación de Material base.

se evaluó el banco de préstamo **Zompoperita #2,** ya que, posee el CBR más alto de los tres bancos identificados al 95% Próctor modificado con **73%**, sin embargo, este no cumplió con la normativa mínima de un CBR de 80%, por lo cual ninguno de los tres bancos cumple para utilizarse como base granular. Se consideró estabilizar con cemento portland al 4% y al 6%. **Ver tabla 37 pág. 57**

4.5.1. Resultados de Evaluación de Material Subbase.

Se evaluaron los tres bancos identificados (Marvin Molina N°1, Zompoperita N°2, Úbeda N°3) según las normativas de la NIC-2019 para subbase granular, los tres bancos de préstamos cumplen con cada uno de los requerimientos mínimos para ser utilizado como material subbase. El banco propuesto a utilizarse para la capa subbase granular es el Banco Úbeda puede verificarse en la **tabla 39 pág. 58**.

4.6. Estabilización con cemento portland del material de Bancos Préstamos.

Los bancos de préstamos a estabilizarse deben cumplir con las siguientes normativas. La clasificación del material deberá estar comprendida ya sea en el grupo A-1 o ya sea en el grupo A-2 y el índice de grupo no deberá ser mayor de uno (1). El Valor Soporte (CBR) debe ser como mínimo de 30%. El cemento y el agua deben cumplir con lo dispuesto en las NIC 2019 – Cemento Articulo 1001.01 pág. 791 y el agua artículo 1012.01 pág. 874.

Tabla 35: Normativa de la Nic-2019 para Bases Estabilizadas con cemento.

PRUEBA	REQUERIMIENTO MÍNIMO NIC-2019
Clasificación AASTHTO	Grupo A-1 y A-2
Índice de Grupo	Menor de 1
CBR AASHTO T- 180	30% min.
Limite Liquido AASHTO T-89	30 máx.
Índice de Plasticidad AASHTO T-90	15 máx.
Desgaste de los Ángeles	50% máx.
Intemperismo Acelerado	Menor de 12%
Nota: Después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia última a la compresión, mínima de 2,100 KN/m2, que equivale a 21 Kg/cm2 o más bien 270 psi medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio. con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180) y el material tratado deberá tener un Índice de Plasticidad menor de 6.	

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.21.4 pág.

A continuación, se presenta la evaluación de los bancos de préstamos según la normativa para bases estabilizadas con cemento, cada banco de préstamo fue evaluado según la normativa con relación a sus propiedades físico-mecánicas.

Tabla 36: Evaluación de los Bancos Identificados para Estabilización.

BANCOS DE PRESTAMOS	CONDICIÓN DEL MATERIAL	NORMATIVA	RESULTADOS
Marvin Molina	A-1-a (0)	Pertenecer al grupo A-1 o A-2 Índice de grupo ≤1	cumple
Zompoperita	A-1-a (0)		cumple
Úbeda	A-1-b (0)		cumple
	CBR AL 95% PM	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
Marvin Molina	43%	CBR al 95% Próctor Modificado mínimo 30%	Cumple
Zompoperita	73%		Cumple
Úbeda	55%		Cumple
	LIMITE LIQUIDO	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
Marvin Molina	22%	Limite Liquido AASHTO T-89 30 máx.	Cumple
Zompoperita	NP		Cumple
Úbeda	NP		Cumple
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
Marvin Molina	5%	Índice de plasticidad AASHTO T-90 15 máx.	Cumple
Zompoperita	NP		Cumple
Úbeda	4%		Cumple
NOMBRES	DESGASTE LOS ÁNGELES	NORMATIVA NIC-2019	CONDICIÓN
Marvin Molina	No posee	Desgaste los Ángeles Menor a 50%	Cumple
Zompoperita	No posee		Cumple
Úbeda	22%		Cumple
	INTEMPERISMO ACELERADO	NORMATIVA NIC-2019	CONDICIÓN
Marvin Molina	No posee	Intemperismo Acelerado Menor a 12%	Cumple
Zompoperita	No posee		Cumple
Úbeda	8%		Cumple

Fuente: Elaborados por Sustentantes.

Como resultado se obtiene que los tres bancos de préstamos cumplieron para ser estabilizados.

A continuación, se muestran los resultados de estabilización al 4% y 6% de cemento portland para los tres bancos de materiales.

Tabla 37: Resultado de Muestras de Bancos Estabilizadas al 4% y al 6% con cemento portland.

BANCOS DE PRÉSTAMO	RESISTENCIA ALA COMPRESIÓN SIMPLE (7 DÍAS) (KG/CM²)			
	CBR%	DOSIFICACIÓN 4%	DOSIFICACIÓN 6%	DOSIFICACIÓN 7%
#1 Marvin Molina	**43%**	**22.3**	**24.6**	**26.8**
#2 Zompoperita	**73%**	**22.9%**	**25.7**	**-**
#3 Úbeda	**55%**	**21.7**	**25.2**	**-**

ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO ASTM D-1633-00								
ENSAYO No.	SONDEO	DOSIFICACIÓN DE CEMENTO	EDAD (DÍAS)	CARGA (lb)	CARGA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm^2)	NORMATIVA RESISTENCIA MÍNIMA 21 Kg/cm2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Lb/plg^2)
#1 Marvin Molina	STOCK	4%	7	3890	1,764	**22.3**	**CUMPLE**	**317. 23 lb/pulg²**
#2 Zompoperita	STOCK	4%	7	4020	1,823	**22.9**	**CUMPLE**	**325.77 lb/pulg²**
#3 Úbeda	STOCK	4%	7	3875	1,735	**21.7**	**CUMPLE**	**308.70 lb/pulg²**

Fuente: Alcaldía de Santa María de Pantasma Laboratorio GEONIC/ ingenieros consultores.

Las muestras de estabilización al 4% y 6% cumplen con la resistencia mínima a la compresión de 21 kg/cm², después de 7 días. Se decidió trabajar en este estudio con los valores de dosificación al 4% con cemento, ya que, esto significara un gran ahorro en cuanto a la cantidad de cemento a utilizar en la base estabilizada, además se conoce que el tramo es una colectora rural menor, ya que su TPDA resulto de 513 vpd y su mayor porcentaje de vehículos corresponde a vehículos livianos con 71.54%, por lo tanto, se consideró utilizar los valores de dosificación al 4% con cemento portland.

se procede a realizar la conversión de kg/cm² a lb/pulg², conociendo que los tres (3) bancos identificados cumplen La conversión de kg/cm² a lb/pulg² para los valores de **22.3 kg/cm²**, **22.9 kg/cm²**, **21.7 kg/cm²**, después de los 7 días al 4% se realizó de la siguiente manera:

$$\textbf{Resistencia (Kg/cm}^2\textbf{)} \ \text{x} \ \frac{2.205 \ \text{lb}}{1\text{kg}} \ \text{x} \ \frac{6.4516 \ \text{cm}^2}{\text{pulg}^2} \qquad \textbf{(Ec.9)}$$

Dónde:

1 kilogramo = 2.205 libras.
1 pulgada = 6.4516 cm^2.

Tabla 38: Conversión de las muestras de dosificación al 4% de cemento.

BANCOS	CONVERSIÓN A LB/ PULG²			VALOR A LA COMPRESIÓN
Marvin Molina	**22.3** kg/cm^2	2.205 lb / 1kg	6.4516 cm^2 / pulg^2	**317.23 lb/pulg²**
Zompoperita	**22.9** kg/cm^2	2.205 lb / 1kg	6.4516 cm^2 / pulg^2	**325.77 lb/pulg²**
Úbeda	**21.7** kg/cm^2	2.205 lb / 1kg	6.4516 cm^2 / pulg^2	**308.70 lb/pulg²**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

El valor más alto de resistencia a la compresión de la estabilización con cemento al 4%, lo obtuvo el banco de materiales Zompoperita, cabe mencionar que este banco posee el valor más alto de CBR (**73%**) de los tres bancos identificados.

Se decidió utilizar como base granular estabilizada el banco de préstamo Zompoperita, considerando que cumple con la resistencia mínima reglamentada por la NIC-2019, su valor a la compresión de 22.9 kg/cm² está por encima de 21 kg/cm², además de poseer el valor a la compresión más alto.

Tabla 39: Bancos Diseño Seleccionados.

BANCO DE DISEÑO	CAPA	UBICACIÓN	CONDICIÓN	RESISTENCIA
Zompoperita	Para Base	1+300	Estabilizado con cemento al 4% y compactado al 95%	**325.77 lb/pulg²**
Úbeda	Para Sub-base	Est 3+000 a 1.0 km	No Estabilizado, Compactado al 95%	**CBR 55%**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

4.7. Determinación del CBR de Diseño.

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASTHO T-193. Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.

2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

4.7.1. Identificación de la Subrasante.

La subrasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Para el cálculo del CBR de la subrasante se tomaron las muestras de las capas inmediatas por debajo de la línea de subrasante propuesta en planos, también se utilizaron las alturas del terreno natural y subrasante para determinar los tramos donde se tiene que realizar corte o relleno. en los tramos donde hay corte se seleccionó la capa inmediata mientras que donde hay relleno se propuso material de los bancos de préstamo **Marvin Molina** y **Zompoperita** esto en dependencia de su ubicación, el banco Úbeda no se utilizó, ya que, está situado fuera del tramo.

Tabla 40: Muestras Tomadas en Base a la Subrasante Propuesta.

ESTACIONES	SONDEO	Nº DE MUESTRAS TOMADAS	ELEVACIÓN TERRENO NATURAL (MSNM)	ELEV SUBRASANTE PROPUESTA (MSNM)	CORTE (-) METROS	RELLENO (+) METROS	CBR AL 95%	MATERIAL PARA TERRACERÍA/RELLENO
0+000	**S1**	1	415.75	415.89		0.14	43	Banco #1 A-1-a(0)
		1					41	
0+250	**S2**	1	411.08	411.4		0.32	43	Banco #1 A-1-a(0)
0+500	**S3**	1	408.04	407.81	-0.23		18	
	BOLONES							
0+750	**S4**	1	383.64	383.27	-0.37		17	
1+000	**S5**	1	397.49	397.95		0.46	43	Banco #1 A-1-a(0)
	BOLONES							
1+250	**S6**		391.68	392.09		0.41	43	Banco #1 A-1-a(0)
		1						
Banco #1 : Marvin Molina , Clasificación A-1-a (0) , posee un CBR al 95 Proctor modificado de 43%, ubicado en la estación 1+300.								

Elaborado por Sustentantes.

En la **Tabla-40** del sondeo (S1 al S6) se tomaron un total de 7 muestras de las cuales cinco (5) de ellas son del banco #1 **Marvin Molina**, ya que, la línea Subrasante propuesta está por encima del terreno natural. Se utilizó el banco Marvin molina como material para terracería / relleno, este el más cercano con respecto a los primeros 1500 metros.

Tabla 41: Muestras Tomadas en Base a la Subrasante Propuesta.

ESTACIONES	SONDEO	Nº DE MUESTRAS TOMADAS	ELEVACIÓN TERRENO NATURAL (MSNM)	ELEV SUBRASANTE PROPUESTA (MSNM)	CORTE (-) METROS	RELLENO (+) METROS	CBR TOMADO AL 95%	MATERIAL PARA TERRACERÍA/RELLENO
1+500	**S7**	1	381.53	382.15		0.62	43	Banco #1 A-1-a(0)
1+750	**S8**		375.77	374.98	-0.79			
		1					24	
2+000	**S9**	1	367.06	367.83		0.77	73	Banco #2 A-1-a (0)
2+250	**S10**	1	370.89	370.34	-0.27		15	
	ROCA							
2+500	**S11**	1	355.85	356.28		0.43	73	Banco #2 A-1-a (0)
2+750	**S12**	1	349.30	349.14	-0.16		24	
	BOLONES							
3+000	**S13**	1	339.98	339.16		0.18	73	Banco #2 A-1-a (0)
		1					15	
Banco #2 : Zompoperita, Clasificación A-1-a (0) , posee un CBR al 95 Proctor modificado de 73%, ubicado en la estación 1+815.								

Elaborado por Sustentantes.

En la **Tabla-41** del sondeo (S7 al S13) se tomaron un total de 8 muestras de las cuales cuatro (4) de ellas son del banco #2 Zompoperita, ya que, la línea Subrasante propuesta está por encima del terreno natural. Se utilizó el banco Zompoperita como material para terracería / relleno, es el más cercano con respecto a los ultimo 1500 metros.

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la subrasante:

Tabla 42: Selección de CBR de diseño para la subrasante.

CLASIFICACIÓN		CBR AL 95%	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	PORCENTAJES
AASHTO	SUCS				
A-2-7 (1)	**GC**	15	2	15	100.0%
A-2-6 (0)	**GC**	17	1	13	86.7%
A-2-4 (0)	**SC**	18	1	12	80.0%
A-1-a (0)	**GP**	24	2	11	73.3%
A-2-4 (0)	**SM**	41	1	9	60.0%
Banco #1 A-1-a (0)	**GW**	43	5	8	53.3%
Banco #2 A-1-a (0)	**GW**	73	3	3	20.0%
De 13 sondeos se tomaron 15 muestras de 25 valores CBR al 95% Próctor Modificado para el cálculo CBR de la subrasante.					

Elaborado por Sustentantes.

El valor de CBR de la subrasante es el más importante de definir, dado que a través de este se obtendrá el valor del Módulo de Resiliencia (MR) a ser utilizado en el diseño. Para ello se utilizaron los valores CBR de menor a mayor y porcentajes de los valores iguales o mayores.

Tabla 43: Valores CBR de Menor a Mayor y Valores Iguales o Mayores.

CBR al 95%	**15**	**17**	**18**	**24**	**41**	**43**	**73**
%	**100%**	**87%**	**80%**	**73%**	**60%**	**53%**	**20%**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR de Diseño, el cual recomienda elegir un valor adecuado ya sea de **60%, 75% o el 87.5%,** tomando en cuenta que el ESAL's previsto por el carril de diseño será de **1,010,285.00** por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **87.5%**, tal y como se indica a continuación.

Tabla 44: Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño.

Cargas Equivalentes Totales (ESAL´s)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL´s	60%
Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL´s	75%
> de 1,000,000 ESAL´s	**87.5%**

Fuente: Instituto de Asfalto. (MS-1) 1,991, pág.168.

Teniendo los valores CBR de menor a mayor, los porcentajes de las cantidades iguales o mayores y definido el percentil a tomar se procede a graficar el CBR de Diseño de la Subrasante, iniciando con una línea horizontal se intercepta la curva de la Subrasante luego con una línea vertical en 90 grados se intercepta el valor calculado en este caso el CBR resultante es de **16.90%.** ***(Ver Anexos Cap. IV,* Gráfico *11, Pág. XLI)***

El cual de acuerdo con la clasificación de CBR de la **Tabla 45**, clasifica a la subrasante existente como subbase buena, ya que, se encuentra en el rango de (10-20) como se muestra a continuación:

Tabla 45:Clasificación del CBR.

CBR	CLASIFICACIÓN
0-5	Subrasante mala
5-10	Subrasante regular
10-20	**Subrasante buena**
20-30	Subrasante muy buena
30-50	Subbase buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Fuente: Crespo Villalaz, C. (2008).

Una vez determinado el valor CBR de la Subrasante **16.90%** mediante el gráfico de CBR se dispuso a realizar una comprobación de este valor mediante interpolación lineal. ***(Ver Anexos Cap. IV,* Tabla 107*, Pág. XLII)***

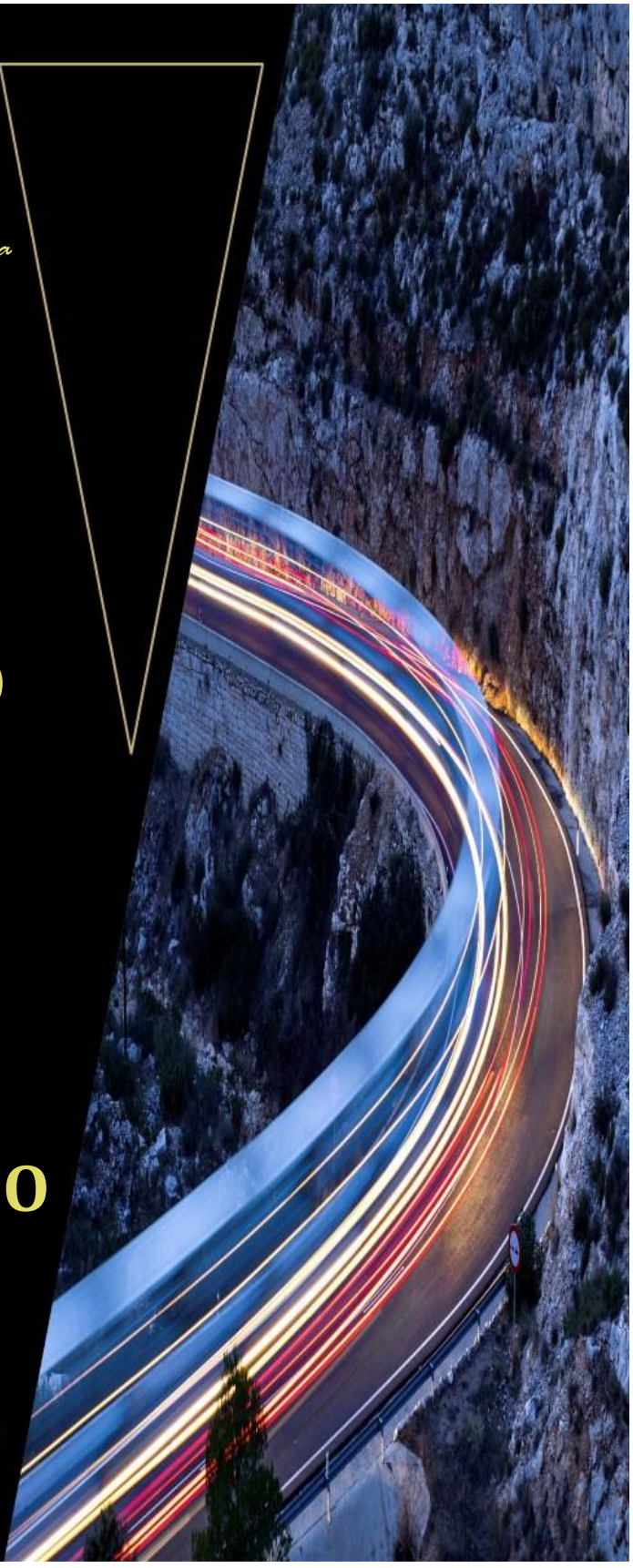
Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO

V

DISEÑO GEOMÉTRICO



UNI RUACS - 2021

5.1. Metodología.

Para el diseño del Subtramo, se realizaron las siguientes actividades:

a) Realización de Visita Técnica de Inspección, reconocimiento de campo con el objetivo de tener una visión amplia de la trayectoria y ruta del tramo de camino, así como conocer las características de la configuración topográfica del terreno y el medio ambiente del entorno al Proyecto.

b) Elaboración, propuesta y establecimiento de las Normas de Diseño del Proyecto.

c) Planos Topográficos de la trayectoria del tramo de camino, conteniendo la información base proveniente de campo, específicamente del levantamiento topográfico, conteniendo la siguiente información de campo:

- La trayectoria de la ruta del Proyecto y sus características.
- El Trazo del eje existente que corresponde al camino actual como referencia de ruta a seguir, demarcado por puntos al centro y puntos que demarcan la orilla de la vía actual, así como los puntos correspondientes a la franja del corredor del Proyecto.
- Curvas de nivel mostrando la configuración topográfica del terreno tal a como existe en la actualidad.
- Sitios de cruce de drenaje mayor y menor.
- Detalles de la infraestructura existente en toda la trayectoria del Proyecto, sobresaliendo principalmente lo correspondiente a las cercas de alambre de púas como delimitación del derecho de vía existente.

Con la información anteriormente descrita correspondiente a la planimetría del proyecto, y contando con las Normas de Diseño previamente establecidas y propuestas para su respectiva aprobación, se procedió a la realización del trazo Planimétrico, en el cual se aplicaron las siguientes consideraciones y criterios técnicos.

- Magnitud del valor de Radio Mínimo de curvatura a ser aplicado como el menor valor de Radio de curva en los respectivos sitios de curva horizontal.
- Realizar un trazo Planimétrico uniforme, ajustado y enmarcado en la trayectoria existente del camino, correspondiente a la ruta de camino actual.
- En los cruces de drenaje mayor, el trazo fue realizado procurando enmarcarse en el eje actual de la estructura de puente existente, coincidente dicho eje con el eje proyectado de la vía.
- En lo general y en cada situación considerada como alineamiento normal, en que se estableció curva horizontal, se procuró establecer y aplicar el mayor valor posible de Radio de curvatura, de tal forma que el menor valor de Radio de Curva que se aplicó corresponde al valor del radio mínimo de curvatura equivalente para la velocidad de diseño para este subtramo.

5.2. Establecimiento y definición de los Parámetros Geométricos.

Para la definición y establecimiento de estos parámetros y elementos técnicos que conformarán las Normas de diseño, se utilizó como principal los Manuales para Diseño Geométrico Vial de la AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATIONS OFFICIALS (**AASHTO** Edición **1994** y **2004**) y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 3ra" de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (**SIECA**- Edición **2004** y **2011**).

5.2.1. Localización del Proyecto.

La trayectoria de la ruta del Proyecto se encuentra enmarcada en el territorio de la zona Geográfica **16N** en que se ubica el departamento de Jinotega y corresponde a la ruta actual que funciona como vía terrestre para comunicar al poblado de Santa María de Pantasma y zonas poblacionales en su entorno con el poblado de Wiwilí. El inicio del Subtramo (**Est. 0+000**), de camino se localiza a **26.5 kilómetros** del municipio de Pantasma. ***(Ver Anexo Cap. V, Imagen 23, pág. XLIII)***

5.2.2. Clasificación Funcional.

El camino en estudio tal a como se encuentra actualmente tiene una clasificación como **Colectora Menor Rural** (**CMR**), dentro de la clasificación funcional del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). De igual manera el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA 2011), pertenece a la NIC-43. ***(Ver Anexo Cap. V, tabla 108, pág. XLIV)***

5.2.3. Reconocimiento e Inventario vial.

Durante la fase Investigaciones, verificaciones y levantamiento de información de campo, se realizó visitas de campo al sitio del Proyecto a fin de conocer y tener una mayor visión de la geometría vial en su estado y situación existente, tanto en su aspecto Planimétrico como en el aspecto Altimétrico, que permitiera contar con los criterios técnicos y consideraciones al respecto que permitiera a nivel de gabinete desarrollar un trabajo de diseño y proyección de los aspectos antes descritos acorde a las necesidades, objetivos y requerimientos del Proyecto en su realización como tal, lo cual será abordado en los dos aspectos que conforman la geometría vial del camino conforme a lo que a continuación se detalla.

Con el objeto de presentar una panorámica clara de la Situación Actual del camino del subtramo **Empalme Zompoperita–comunidad El Carmen** (3.037.05 Kilómetros), se abordaron los siguientes puntos:

5.2.3.1. Estructura de Pavimento y Suelos.

En general el camino actual del subtramo **Empalme Zompoperita–comunidad El Carmen** no posee estructura de pavimento, toda la superficie de rodamiento existente es de grava granular con pérdida del material y baches por la falta del drenaje longitudinal en varios tramos, posee un ancho de rodamiento promedio de **5.50 metros**.

5.2.3.2. Drenaje.

En general lo constituyen principalmente el drenaje transversal; conformado por los cruces de drenaje existente y en los sitios en que no existe estructura de drenaje, tanto los cruces de drenaje menor considerados como alcantarillas, y los de drenaje mayor que corresponden a las estructuras de drenaje del tipo puentes; y en segundo plano, el drenaje longitudinal que lo constituyen las cunetas laterales, que producto de la ausencia de un mantenimiento adecuado, dichas cunetas han desaparecido. La desaparición de las cunetas se debe principalmente a que las escorrentías de las aguas de lluvia se deslizan sobre la superficie de rodamiento, produciendo arrastre de sedimentos que paulatinamente se depositan en la cuneta hasta alcanzar un azolvamiento de la sección hidráulica de la cuneta.

5.2.3.3. Alcantarillas.

El sistema de drenaje menor sobre el tramo de carretera en estudio lo constituyen principalmente alcantarillas del tipo **TCR** (Tubos de Concreto Reforzado), de diámetros variables.

Los tipos y cantidades de alcantarillas encontradas sobre la trayectoria del camino se muestran en el ***Anexo Cap. II, Tabla 76, pág. XIII.***

5.2.3.4. Vados.

En la trayectoria de este Subtramo de camino, no se cuenta con la existencia de estructuras de drenaje del tipo Vados Secos clasificados como drenaje mayor.

5.2.3.5. Drenaje Mayor.

En lo que respecta al drenaje mayor, se cuenta con la existencia de una (1) estructura de drenaje del tipo puentes que en su mayoría corresponden a estructuras de dos vías de circulación vehicular, construido a base de obras de concreto y mampostería de piedra bolón, ubicado entre las estaciones **0+758** – **0+774**, con una longitud de 16.22 metros. **(Ver *Anexo Cap. II, Tabla 77, pág. XIII)***

5.2.3.6. Cunetas.

En este subtramo de camino es notoria la carencia de cunetas laterales de forma longitudinal para el drenaje a excepción de algunos sectores en que se detectan la existencia de cunetas (78 metros Lineales) a la orilla de la vía.

5.2.3.7. Pendiente transversal ó Bombeo.

A pesar de que durante los procesos constructivos de mantenimiento que se brindan a estos caminos en que la superficie de rodado la constituye un revestimiento de material granular que generalmente proviene de banco de préstamo; se intenta en la formación de la pendiente transversal ó Bombeo, lo cual se logra en lo mínimo sin alcanzar lo establecido del 3%, resultando en el mayor de los casos un 2%, que con el paso ó circulación de los vehículos se producen deformación.

En el subtramo en estudio, la formación de la pendiente transversal o bombeo en la mayoría de los sectores en recta ó tangente del camino, se encuentra deformada, en algunos casos por la deformación de la superficie producto de la existencia de baches ó por la formación de surcos en forma de ligeros tumbos que se extienden en toda la superficie de rodamiento; en la mayoría de los casos, esto se debe principalmente a la ausencia ó carencia de cunetas laterales y por consiguiente las aguas se distribuyen de forma laminar en la superficie de rodamiento.

5.2.3.8. Sobreelevación o Peralte.

Por lo general, en los caminos con pavimento a base de revestimiento que se ejecutan con material granular proveniente de banco de préstamo, en las situaciones en curvas horizontales casi siempre lo que corresponde a la sobreelevación o peralte, lo más que hacen es el revertido de corona que corresponde a elevar a manera de inversión de la pendiente transversal de la banda contraria al sentido de la curva, formando de esa forma la sobreelevación o peralte de dicha curva.

En el caso del subtramo en estudio, se observó que en cada curva se presenta la misma situación, lo cual hace falta agregar que por lo general los vehículos al transitar sobre la curva horizontal, se arriman hacia el lado de la curva, aunque circulen en sentido contrario, por lo que el carril interno es el más circulado en las curvas horizontales, incidiendo esto de manera considerable en la deformación y desgaste de la superficie de rodamiento de manera irregular.

5.2.3.9. Taludes.

Los taludes que conforman la sección transversal del camino en este subtramo de se presentan de forma variable en las tres diferentes modalidades o situaciones en que se observa la sección transversal del camino; estas situaciones corresponden a las siguientes:

Situación en Corte o Excavación.

Situación en Relleno o Terraplén.

Situación combinada en Excavación y en Relleno.

5.2.3.10. Hombros o Acotamientos.

El ancho de la corona del terraplén de la vía en la mayor parte de la trayectoria de este subtramo, se presenta bien variable y de manera irregular, resultando hasta cierto punto bien complejo definir lo que corresponde al ancho de rodamiento y lo que corresponde a la franja del hombro; observándose en las situaciones de la plataforma de la vía en corte o excavación, que en la mayoría de los casos el talud en el ancho de la cuneta se confunde o hace veces de hombro y por lo general así funciona en este tipo de camino para la circulación vehicular.

5.2.4. Volumen de tránsito Actual y Esperado.

El volumen de tránsito registrado actualmente es bajo, obteniéndose un TPDA de **513 vehículos/día,** en el año horizonte (2035), el número total de vehículos que circulen a lo largo del periodo de diseño será de ***1,010,285.00*** **vehículos** durante 15 años.

5.2.5. Vehículo de Diseño.

En la parte correspondiente al aspecto de tránsito, hemos expuesto los tipos de vehículos que en el estudio de tránsito hacen mayor presencia en la vía, y en todo caso apartando los vehículos livianos como el automóvil, camioneta, jeep, y otros, el camión C3 de los pesados de carga es que cuenta con mayor presencia como resultado de los estudios de tránsito realizados para el proyecto.

De lo anteriormente expuesto es importante no perder de vista ciertos elementos que corresponden a la longitud de la ruta del Proyecto (3.037Kilómetros), y al elemento carga, considerando además el primero, en que los orígenes y destinos podrían ser la cabecera departamental en la ciudad de Jinotega hacia Wiwilí, o en caso crítico desde la capital Managua hacia Wiwilí, en que se estaría hablando de distancias de recorrido de 98 Kilómetros y hasta Kilómetros respectivamente en dichas rutas; el elemento carga ameritará ser transportada en camiones de carga de mayores dimensiones, de lo cual se podría establecer el camión tipo **WB-15** de la AASHTO, que en nuestro país se le conoce como el camión cabezal del tipo **T3-S2.**

La otra situación corresponde a la aplicación del criterio de establecer como vehículo prototipo de proyecto, el que corresponde al transporte pesado, que en todo caso, estaríamos garantizando que las dimensiones de los vehículos livianos y livianos de carga están contenidos en el vehículo prototipo que consideremos seleccionado en el marco de este criterio, el camión del tipo **T3-S2** equivalente al **WB-15** de la AASHTO, de acuerdo a los resultados de los conteos de tránsito, hacen presencia menor a los C3 pero ahí están.

Una vez realizado el Proyecto en que se contará con un trazado con la geometría adecuada para que dicho tipo de camión (WB-15), realice las maniobras y operaciones vehiculares en el marco de la seguridad vial de la carretera, es por eso por lo que lo recomendado es diseñar la vía como vehículo de proyecto el Tipo **T3-S2**. ***(Ver Anexo Cap. V, Imagen 24, pág. XLIV)***

En este estudio los sobre anchos y radios de giros mínimos serán calculados utilizando como vehículo de diseño el **WB15**, a continuación, se muestra un esquema con las dimensiones típicas del vehículo de diseño.

Tabla 46: Dimensiones del Vehículo de Diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 38).

5.3. Justificación de Criterios Adoptados.

Considerando que la carretera se encuentra ubicada en un terreno ondulado y ciertos sectores en terreno montañoso, y que las restricciones topográficas y de uso de suelo (el derecho de vía actual oscila entre 10 y 20 metros, la carretera atraviesa varias comunidades), no permiten proyectar una vía con los siguientes criterios de diseño:

5.3.1. Velocidad de diseño (Vd).

Para el caso del Proyecto **Comunidad Zompoperita- Comunidad El Carmen** y a partir de los resultados del estudio de conteos de tránsito para este tramo de camino del Proyecto en estudio, hemos considerado establecer una Velocidad de Proyecto que se ajuste en todo lo posible a las necesidades, características y condiciones existentes en el corredor del camino, y que a la vez nos permita mejorar tanto la velocidad de recorrido actual como considerablemente la infraestructura existente, así como la transitabilidad y la confortabilidad de los usuarios del camino de toda el área de influencia del Proyecto.

Según la normativa SIECA (2011), para las carreteras colectoras, el rango de velocidades debe ser de 30-80 kilómetros/hora, para el proyecto se ha seleccionado **50 kilómetros/hora (Vd),** por el bajo tráfico y por las condiciones del tipo de terreno que permiten desarrollar esta velocidad sin que el proyecto sea muy costoso, proyectando una velocidad de Ruedo **47 kilómetros/hora (VR).**

Tabla 47: Anchos mínimos de Hombros y Aceras.

Velocidad de Diseño (VD)	Velocidad de Ruedo (VR)
20	20
30	30
40	40
50	**47**
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 85).

5.3.2. Superficie de rodamiento.

La superficie de rodamiento está contemplando el uso de pavimento flexible, se ejecutará de acuerdo con lo establecido en la **Sección 401.3** de las Especificaciones **NIC-2019** y consistirá en la colocación de una capa o carpeta de agregados pétreo y material asfáltico caliente, mezclados en una planta central, extendidas y compactadas sobre una superficie preparada de acuerdo con esta especificaciones y en conformidad con los alineamientos, pendientes, espesores y secciones transversales, mostrados en los planos.

5.3.3. Número de carriles.

Según la clasificación funcional y el tráfico proyectado para el proyecto, el número de carriles es de **2**. En la normativa SIECA 2011, para una Colectora Secundaria Rural el número de carriles es 2 para un tráfico de diseño en el rango de 500- 3000 vpd (Vehículos por día). (**Ver *Anexos Cap. III, Tabla-108, pág. XLIV*)**

5.3.4. Ancho de Carril de rodamiento.

La propuesta de usar **carriles** de **3.50 metros**, según la SIECA considerará recomendable su utilización cuando haya restricciones en el derecho de vía. Asumir un ancho de **3.50 metros** es lo más acertado para implementar en el subtramo en estudio, además es consistente para un presupuesto racional, también ofrece la garantía de seguridad y comodidad del usuario.

5.3.5. Ancho de Hombros y Aceras.

El Manual de la SIECA recomienda anchos de hombros entre 1.20 – 1.80 metros para las Colectoras Rurales (CS). Para este Proyecto en estudio se ha fijado el ancho mínimo de hombro de **1.20 metros**. Para este tramo se identificaron 3 zonas urbanas donde se prevea la circulación de peatones, estas estarán dotadas de aceras. El Manual de la SIECA edición 2004 recomienda los anchos de acera y hombros para Colectoras Rurales, como se aprecia en la **Tabla 48:**

Tabla 48: Anchos mínimos de Hombros y Aceras.

Tipo De Carretera		Acceso	Tipo De Superficie	Ancho Hombros (m)		Ancho Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas	Controlado	Alto	1.0 –1.5	2.5 – 3.0	
AR	Arteria Rurales	Controlado	Alto	1.0 –1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arteria Urbana	Controlado	Alto	1.0 –1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arteria Menor Rurales	–	Alto	–	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arteria Menor Urbana	–	Alto	–	1.2– 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rurales	Controlado	Alto	1.0 –1.5	2.5 –3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	–	Alto	0.5 –1.0*	1.2 –1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectora Menor Rurales	–	Intermedio	–	1.2 –1.6	1.0– 1.2
CS	Colectora Menor Urbana	–	Intermedio	–	1.2 –1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	–	Intermedio	–	0.75 –1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	–	Intermedio	–	0.75 –2.6	1.0 – 1.2
R	Rural	–	Bajo	–	–	–

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 142).

5.3.6. Ancho de corona.

En base a lo recomendado por el Manual de la SIECA edición 2004, tanto para las Zonas Urbanas y Rurales identificados a lo largo del tramo la distribución de los **9.40 metros** de corona será la siguiente **2.40 metros** de hombros, **1.20 metros** a cada lado, más 2 carriles de **3.50 metros**, para un total de **7.00 metros** de ancho de rodamiento.

5.3.7. Pendiente transversal.

Se está proponiendo para la pendiente transversal de la vía en recta para su implementación en la sección transversal típica, un valor equivalente al **3.00%**.

En materia de drenaje, el valor de la pendiente del **3.00%** corresponde a un valor que permite que el flujo de las aguas alcance una velocidad razonable sin producir efectos de erosión en los suelos naturales; considerando que la superficie de rodado de la vía estará constituida a base de pavimento de Concreto Asfaltico.

5.3.8. Pendiente Transversal de la franja de Hombro.

En esta ruta de Proyecto se ha considerado conveniente que la misma pendiente transversal de la superficie de rodamiento proyectada sea la que se establezca para el hombro, estableciéndose valores de pendiente variable, según sea la situación, en tangente (3%), y en curva, la pendiente será la correspondiente al peralte.

5.3.9. Sección Típica Propuesta.

Como parte del diseño y proyección de la planimetría fue necesario establecer una clasificación por sectores del tipo Rural y del tipo Urbano en toda la trayectoria del camino existente, a partir de lo cual se realizaron trazos de la trayectoria del camino de manera diferenciada para cada modalidad de sector de carretera.

Los sectores que establecieron según su clasificación como sectores urbanos y Rurales se especifican a continuación en la **tabla 49, pág. 75**.

Tabla 49: Secciones típicas por Tramos.

TRAMO	INICIO	FINAL	SECCIÓN TÍPICA
1	00+000.00	00+226	Urbana (Comunidad Zompoperita)
2	00+226	00+758	Rural
3	00+758	00+774	Puente (Quebrada Zompopera)
4	00+774	02+760	Rural
5	02+760	03+037	Urbana (Comunidad Zompoperita)

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se aprecia en la **Tabla 49** existen 2 tramos Urbanos los cuales contaran con la sección Típica de la ***Imagen 25, Anexo Cap. V, pág. XLVI***. Esta contara con cunetas Urbanas (Tipo Caite y Bordillo), y con aceras de 1.00 metros. Según la **Tabla 49** existen 2 tramos Rurales los cuales contaran con la sección Típica de la ***Imagen 26, Anexo Cap. V, pág. XLVI***. Esta contara con cunetas de mampostería (Tipo V), solamente donde se amerite dicho drenaje longitudinal.

5.3.10. Distancia de visibilidad.

La **distancia de visibilidad** es la longitud de la carretera que puede ver el conductor, la cual se puede distinguir entre visibilidad requerida para realizar con seguridad determinadas maniobras y visibilidad disponible. Para los fines de diseño del proyecto hemos considerado dos distancias: La distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

Distancia de Visibilidad de Parada:

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido la distancia de visibilidad de parada en su primer componente, d1, se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$\mathbf{d1} = 0.278\ v*t\ (\text{metros}) \quad \textbf{(Ec. 10)}$$

Dónde:

v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

t = Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 seg.

La distancia de frenado, **d2**, se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$\mathbf{d2} = \frac{V^2}{254\left[\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right]} \qquad \textbf{(Ec. 11)}$$

Dónde:

v = Velocidad, diseño o proyecto (KPH).

G= Pendiente longitudinal del tramo en m/m.

a= aceleración promedio, m / Seg^2.

Tabla 50: Distancia de Visibilidad parada en función de la Velocidad.

SISTEMA MÉTRICO				
Velocidad de Diseño (Km/h)	Distancia de Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	Distancia de Visibilidad parada	
			Calculada (m)	Diseño (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, pág.77.

Distancia de Visibilidad de parada (DVP): esta es la suma de la distancia de reacción más la distancia de frenado, por tanto, se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{DVP} = 0.278\ \text{vt} + \frac{V^2}{254\left[\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right]} \qquad \textbf{(Ec. 12)}$$

Datos Utilizados:

VD= 50 KPH.

a_1= 3.2 Seg.

t_1= 2.5 Seg.

G= La Pendiente longitudinal por estación, resultado de la diferencia algebraicas de la pendiente de entrada y salida para cada una de las curvas en cresta identificadas a lo largo del subtramo.

Resultados Obtenidos:

d1 (distancia de percepción): es de **34.8 metros**.

d2 (distancia de Frenado): es de **30.3 metros**.

La Distancia de Visibilidad de Parada (**DVP**), calculada fue de **64.8** metros, se decidió adoptar **65.0** metros. Los resultados del Control del aspecto de visibilidad en base a la velocidad de diseño se muestran en la ***tabla 109, Cap. V, pág. XLVII***.

Distancia de visibilidad de Rebase:

La distancia de visibilidad para pasar o rebasar un vehículo en una carretera de dos (2) carriles de rodamiento en ambos sentidos de circulación vehicular, se refiere a la distancia necesaria para que un vehículo pueda pasar a otro u otros que circulan por el mismo carril a menor velocidad, sin peligro de colisionar con los vehículos que puedan venir en dirección opuesta por la vía que generalmente se realizará la maniobra. Los aspectos por considerar requieren establecer los elementos siguientes, enmarcados en la operación de rebase:

d1: Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción en mt.

d2: Distancia recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase en mt.

d3: Distancia de seguridad una vez terminada la maniobra entre el vehículo que adelanta y el vehículo que circula en sentido contrario, en mt.

d4: Distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto durante la operación de sobrepaso en mt.

Tabla 51: Distancia de Adelantamiento para carreteras de dos carriles.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Velocidades Asumidas (Km/h)		Distancia mínima de Adelantamiento (m)
	Vehículo Rebasado	Vehículo que rebasa	De Diseño
30	29	44	200
40	36	51	270
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	485

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, pág.79.

Tabla 52: Elementos para cálculo de Distancia de Visibilidad de Rebase.

Component of passing maneuver	Metric				US Customary			
	Speed range (km/h)				Speed range (mph)			
	50-65	66-80	81-95	96-110	30-40	40-50	50-60	60-70
	Average passing speed (km/h)				Average passing speed (mph)			
	56.2	70.0	84.5	99.8	34.9	43.8	52.6	62.0
Initial maneuver:								
a = average acceleration[a]	2.25	2.30	2.37	2.41	1.40	1.43	1.47	1.50
t_1 = time (sec)[a]	3.6	4.0	4.3	4.5	3.6	4.0	4.3	4.5
d_1 = distance traveled	45	66	89	113	145	216	289	366
Occupation of left lane:								
t_2 = time (sec)[a]	9.3	10.0	10.7	11.3	9.3	10.0	10.7	11.3
d_2 = distance traveled	145	195	251	314	477	643	827	1030
Clearance length:								
d_3 = distance traveled[a]	30	55	75	90	100	180	250	300
Opposing vehicle:								
d_4 = distance traveled	97	130	168	209	318	429	552	687
Total distance, $d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	317	446	583	726	1040	1468	1918	2383

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 131.

La distancia de visibilidad de adelantamiento ó rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas. Cada una se determinó de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

La distancia preliminar de demora (**d1**), se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{d1} = 0.278\, t1\, [(v - m + a(\frac{t1}{2})] \qquad \textbf{(Ec. 13)}$$

Dónde:

v = velocidad promedio del vehículo de Adelantamiento, kilómetros por hora.

t1 = Tiempo de maniobra inicial, segundos.

a = Aceleración promedio del vehículo que efectúa el rebase, en kilómetros por hora por segundo durante el inicio de la maniobra.
m = Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa, kilómetros por hora.

Distancia de adelantamiento (**d2**) expresado por:

$$\mathbf{d2 =} \ 0.278 \ \mathrm{v} \ t_2 \qquad \textbf{(Ec. 14)}$$

Dónde:
v= velocidad promedio del vehículo que ejecuta el adelantamiento, kilómetros por hora
t2= Tiempo de ocupación del carril opuesto, segundos.

La Distancia de Seguridad (**d3**), la experiencia ha demostrado que valores entre 35 y 90 metros son aceptables para esta distancia. La Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario (**d4**), es práctica corriente fijar esta distancia en dos tercios (2/3) de la distancia **d2**.

Resultados Obtenidos:

- **d1** (distancia preliminar de demora): es de **48.1** metros.
- **d2** (distancia del vehículo adelantador): es de **152.5** metros.
- **d3** (Distancia de Seguridad): es de **40.00** metros.
- **d4** (Distancia recorrida por vehículo en el carril contrario), es de 2/3 de 152.5 metros, equivalente a **102.0** metros.

Por consiguiente, la Distancia de Visibilidad de Rebase (**DVR**), queda establecida de la siguiente forma:

$$\mathbf{DVR=} \ \mathrm{d1} + \mathrm{d2} + \mathrm{d3} + \mathrm{d4} \qquad \textbf{(Ec. 15)}$$

$$\mathbf{DVR=} \ 48.1 + 152.5 + 40.0 + 102.0$$

$$\mathbf{DVR=} \ 342.3 \ \mathrm{metros}$$

La Distancia de Visibilidad de Rebase calculada fue de **342.3** metros, se decidió adoptar **345** metros. Los resultados del Control del aspecto de visibilidad en base a la velocidad de diseño se muestran en la ***tabla 109, Cap. V, pág. XVII***.

5.4. Alineamiento Horizontal de la Carretera.

5.4.1 Curvatura Horizontal y Sobreelevación.

En el diseño de curvas horizontales se deben considerar dos casos:

Tangente seguida por curva horizontal: En esta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran y circulan por la curva.

Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical: Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobreelevación o peralte máximos, los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva. La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$(\boldsymbol{e_{max}} + \boldsymbol{f})_{\boldsymbol{D}} = \frac{(e_{max}+f)R_{min}}{R} \qquad \textbf{(Ec. 16)}$$

Dónde:

e = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

F = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

Rmin = Radio mínimo calculado, en metros.

R = Radio de curva, en metros.

5.4.2. Pendiente transversal (bombeo).

A partir de las especificaciones y recomendaciones del Manual Centroamericano de Normas que sugiere:

- La utilización de una pendiente transversal de entre 1.5 – 3.0% para las carreteras de la clasificación funcional aquí contenidas; y con el propósito de evacuar eficientemente las aguas superficiales de la calzada y propone la utilización del **3.00%** para el bombeo.

5.4.3. Coeficiente de Fricción Lateral (f).

La siguiente tabla contiene los parámetros geométricos correspondientes a los coeficientes de fricción lateral, y que, en función de los diferentes valores de velocidades de diseño y sobreelevación máxima, generan los correspondientes valores de Radios Mínimos de Curvatura en cada caso. Para el caso del proyecto en estudio, para la velocidad establecida de 50 Kilómetros/hora, le corresponde un valor **f** = **0.19**.

Tabla 53: Coeficiente de fricción lateral en función de la Velocidad.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima (f)
30	0.28
40	0.23
50	0.19
60	0.17
70	0.15
80	0.14

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 89.

5.4.4. Sobreelevación máxima.

Se estableció una Sobreelevación o peralte máximo del **8.0 %** porque se considera que está pendiente no presenta ningún inconveniente relacionado con la construcción, operación y mantenimiento del tipo de camino además que esta es una pendiente conveniente que debe tener la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos que circularán en las curvas horizontales.

Tabla 54: La sobreelevación o peralte según Tipo de Área.

Tasa de Sobreelevación *e* (%)	Consideración por Área.
12	puede utilizarse en algunos casos (Nieve o Hielo)
10	Áreas Rurales Montañosas
8	valor máximo razonable (Áreas Rurales Onduladas y Planas)
6	En áreas suburbanas
4	En áreas Urbanas
Nota: El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad.	

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 83.

5.4.5. Radios Mínimos y sus correspondientes Grados Máximos de Curva.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se calcularon utilizando la fórmula siguiente, que es la siguiente:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127\,(e+f)} \qquad \textbf{(Ec. 17)}$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva, en metros

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

Los valores recomendados de Radio Mínimos, el factor de fricción (**f=0.19**) y la tasa de superelevación ó peralte (**e=8.0%)** en base a la Velocidad de Diseño (**Vd=50km/h**), se muestra en la **Tabla 55:**

Tabla 55: Radios mínimos para distintas Velocidades de Diseño (Peralte 8%).

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima (f)	Peralte Máximo 8 %		
		Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado	
30	0.28	19.7	20	57° 18´
40	0.23	40.6	41	27° 57´
50	0.19	72.9	73	15° 42´
60	0.17	113.4	113	10° 08´
70	0.15	167.8	168	06° 49´
80	0.14	229.1	229	05° 00´

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 89.

Sustituyendo en la **ecuación 18**:

$$\mathbf{R_{min}} = \frac{50^2}{127\,(0.08+0.19)}$$

$$\mathbf{R_{min}} = \mathbf{72.91\ metros}$$

Se decidió adoptar el Radio mínimo recomendado **73.0** metros.

El grado de curva o de curvatura (**Gc**), es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 100 pies ó de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado.

Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo:

$$\mathbf{G_c} = \frac{1145.92}{\mathrm{R}} \text{ (Grados Decimales).} \qquad \textbf{(Ec. 18)}$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva, en metros.

Conociendo el Radio mínimo (**Rmin=73.0 metros**), se obtiene de igual forma el valor del Grado de Curvatura (**Gc**), debido a la relación mancomunada que existe entre ambos parámetros, lo cual se realiza a través de la ecuación anterior:

$$\mathbf{G_c} = \frac{1145.92}{80.0}$$

$$\mathbf{G_c} = \mathbf{15.697 \approx 15° 41' 51.12"}$$

5.4.6. Peralte (e_d).

Cuando los vehículos atraviesan las curvas horizontales, estos experimentan una fuerza centrífuga que tiende a sacarlo de la carretera; este problema se lo ha solucionado dándole una inclinación adecuada a la calzada de tal forma que la componente de su peso que es paralela a la calzada contrarreste el efecto de la fuerza centrífuga. Por lo que, en las curvas las secciones transversales sean muy distintas a la sección típica que comprende un bombeo normal.

El cálculo del peralte **(e_d),** para cada uno de los Radios se presenta en la ***tabla 110, Cap. V, pág. XLVIII*** se calculó con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{e_d} = [\,(emax\ +\ f\,)_D - f_{1\ \acute{o}\ 2}] * 100 \qquad \textbf{(Ec. 19)}$$

Dónde:

(emax + f) $_d$= Factor combinado de sobreelevación y coeficiente de fricción.

***f* =** Coeficiente de fricción de cada uno de los Radios, m.

El grado de desplazamiento de PI (**Dpi**)**,** se calculó con la siguiente ecuación**:**

$$\mathbf{Dpi} = \frac{145{,}506(emax)}{\boldsymbol{Vr^2}} \qquad \textbf{(Ec. 20)}$$

El desplazamiento de PI **(hpi),** se calculó con la siguiente ecuación**:**

$$\mathbf{hpi} = emax\left[\frac{Vd^2}{Vr^2}\right] - emax \qquad \textbf{(Ec. 21)}$$

$$\boldsymbol{Rpi} = \left[\frac{(Vr)^2}{(1.27\ x\ emax\ x\ 100)}\right] \qquad \textbf{(Ec. 22)}$$

La Pendiente de la Rama 1(**S1**) y Rama 2(**S2**):

$$\boldsymbol{L1} = \frac{1}{Rpi} \qquad \textbf{(Ec. 23)}$$

$$\boldsymbol{L2} = \frac{1}{Rmin} - \frac{1}{Rpi} \qquad \textbf{(Ec. 24)}$$

$$\boldsymbol{S1} = (hpi)(Rpi) \qquad \textbf{(Ec. 25)}$$

$$\boldsymbol{S2} = \left[\frac{(fmax - Hpi)}{L2}\right] \qquad \textbf{(Ec. 26)}$$

La media Ordenada (**Mo**), de la curva vertical asimétrica se obtuvo:

$$\boldsymbol{Mo} = \frac{(L1 * L2)(S2 - S1)}{2(L1 + L2)} \qquad \textbf{(Ec. 27)}$$

La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$(\boldsymbol{emax}\ +\ \boldsymbol{f}\ )_{\boldsymbol{D}} = \frac{(emax + fmax)Rmin}{\mathrm{Rc}} \qquad \textbf{(Ec. 28)}$$

Dónde:

V = Velocidad de Diseño, km/h.

R = Radio mínimo, m.

Rc = Radio de la curva, m.

f: Coeficiente de fricción lateral, S/D.

emax= Sobreelevación máxima, m / m.

El cálculo del coeficiente de fricción **(f),** para cada uno de los Radios presentados en la ***tabla 56***, se realizó en base de las siguientes condicionantes:

Si de X > L1, entonces:

$$f_1 = \text{Mo}\left[\frac{Rpi}{Rc}\right]^2 + \left(\frac{S1}{Rc}\right). \qquad \textbf{(Ec. 29)}$$

Si de X < L1, entonces:

$$f_2 = \text{Mo}\left[\frac{\left(\frac{1}{Rmin}\right)-\left(\frac{1}{Rc}\right)}{\left(\frac{1}{Rmin}\right)-(L1)}\right]^2 + Hpi + (S2\ (X - L1). \qquad \textbf{(Ec. 30)}$$

Dónde el cálculo de X, se realiza para cada uno de los Radios presentados en la **tabla 56**, con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{1}{Rc}. \qquad \textbf{(Ec. 31)}$$

Tabla 56: Distribución de Peralte para cada uno de los Radios presentados.

Rc	$((e_{max}+f)\ R_{min})\ /Rc$	$x = 1/Rc$	**L1 =1/R_{PI}**	f_1 ó f_2
125	0.157480315	0.008	0.004599366	0.08507369
110	0.178954903	0.00909091	0.004599366	0.10311039
90	0.21872266	0.01111111	0.004599366	0.1392275
135	0.145815106	0.00740741	0.004599366	0.07570707
5000	0.003937008	0.0002	0.004599366	0.00050537
250	0.078740157	0.004	0.004599366	0.02800625
700	0.028121485	0.00142857	0.004599366	0.00567652
150	0.131233596	0.00666667	0.004599366	0.06442556

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

5.4.7. Longitud de transición (LT).

La longitud de transición (**LT**), depende de la velocidad de diseño (**Vd**) y del ancho de la corona, porque el empate de la sección en tangente con la sección en curva se logra en los planos verticales ubicados en los bordes del camino.

Para determinar la longitud de transición y la transición del bombeo se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Longitud de Transición (LT):

$$\mathbf{LT} = \mathrm{m} * \mathrm{a} * \mathrm{e} \qquad \textbf{(Ec. 32)}$$

Dónde:

LT = Longitud de Transición, m.

a = Semiancho de calzada en tangente, m.

e = Peralte de la curva circular en valor absoluto, m/m.

m = Pendiente Relativa.

Transición del bombeo (N):

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{LT} \cdot \mathrm{b}}{\mathrm{e_D}} \qquad \textbf{(Ec. 33)}$$

Dónde:

LT: longitud de transición.

b: bombeo.

e_D: peralte de diseño.

5.4.7.1. Pendiente Relativa.

El valor de la Pendiente relativa (**mr**), para la determinación de los valores de las Longitudes de Transición (**LT**), así como la longitud para revertir corona (**N**), se determinó haciendo uso de la tabla adjunta del manual de Especificaciones Técnicas de la AASHTO, que se muestra adjunto, determinándose un valor de pendiente relativa de 0.65 % (**1:150**) para la Velocidad de Diseño establecida para el Proyecto.

Tabla 57: Valores de Pendiente Relativa.

SISTEMA MÉTRICO		
DISEÑO (KM/H)	PENDIENTE RELATIVA MÁXIMA (%)	PENDIENTE RELATIVA MÁXIMA EQUIVALENTE
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:150
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.50	1:200

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001.

5.4.8. Sobre anchos en curvas.

Se adoptarán los sobre anchos en cada una de las curvas horizontales, de acuerdo con la SIECA, considerando que los conductores experimentan dificultades en mantener los vehículos en el centro del carril porque estos utilizan un espacio mayor cuando transitan en curvas que cuando transitan en rectas.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$\boldsymbol{Sa} = \mathrm{n}[\mathrm{R} - (\sqrt{\mathrm{R}^2 - \mathrm{L}^2})] + \frac{0.10\mathrm{V}}{\sqrt{\mathrm{R}}} \qquad \textbf{(Ec. 34)}$$

Donde:

Sa = Valor sobreancho, metros.

n = Número de carriles de la superficie de rodamiento.

L = Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

R = Radio de curvatura, metros.

V = Velocidad de diseño de la carretera, kilómetros por hora.

En la ***Tabla 111, Anexo Cap. V, pág. XLIX*** se presentan los datos utilizados para calcular los sobreanchos en el tamo **Comunidad Zompoperita- Comunidad El Carmen**:

Para una velocidad de 50 kilómetros/hora y utilizando como vehículo de diseño el **WB15** (**T3-S2**), solamente se requerirá sobreanchos para curvas con Radios < 700 metros, por tal razón la aplicación de sobreanchos no será generalizada para todas las curvas. El sobreancho mínimo (Smin), necesario fue de 1.40 metros para un radio de 250 metros (Curva N°6), y el sobreancho máximo (Smáx), calculado fue de 3.40 metros para un radio de 90 metros (Curva N°3), se tomó el mínimo recomendado de 1.80 metros. ***(Ver Anexo Cap. V, Tabla 111, pág. XLVIX)***

5.5. Alineamiento Vertical.

5.5.1. Curvas Verticales.

Aunque es bien sabido que para caminos que no son de altas velocidades el criterio a considerar para establecer la longitud de las curvas verticales es el de seguridad que satisfaga al menos la velocidad de parada, nosotros optamos definir la longitud de las curvas de acuerdo con los criterios de comodidad, de apariencia, drenaje y seguridad, sin perder de vista el aspecto económico del diseño.

Criterio de comodidad: Este criterio se aplica a las curvas en columpio en donde a la fuerza centrífuga que experimenta el vehículo al cambiar de dirección se le suma el propio peso de este. Si la aceleración centrífuga es superior a 0.305 m/seg² el usuario experimentará sensaciones de incomodidad, entonces la situación se resolvió aplicando el siguiente procedimiento:

$$\mathbf{ac =} \ V^2/R \leq 0.305 \text{ m/seg}^2 \qquad \textbf{(Ec. 35)}$$

Entones:

$$\mathbf{R =} \ V^2/0.305 = 3.28 \ V^2. \qquad \textbf{(Ec. 36)}$$

Si **L=** RΔ Entonces:

$$\mathbf{L=} \ 3.28 \ V^2 \ \Delta \qquad \textbf{(Ec. 37)}$$

De tal forma que: **L/ Δ=**3.28 V²

L/ Δ no es más que la variación de la pendiente por unidad de longitud conocida como K, de tal forma que:

$$\mathbf{K =} \; L/\Delta = 3.28\ V^2 \qquad \textbf{(Ec. 38)}$$

Dónde: la velocidad está en metros/seg, si expresamos la velocidad en Km/h y la pendiente en porcentaje, tendremos, la siguiente expresión:

$K=3.28\ V^2$; $V^2 3.28x1000x1000/3600x3600x100 = V^2\ 3280000/1296000000$

$K= V^2 328/129600 = V^2/395$

Calculando el valor de K para una velocidad de 60 Km/hora, tendremos:

K= 3,600/395= 9.1.

Para 50 Kms/hora, tendremos:

K= 2,500/395= 6.3.

Criterio de apariencia: Aunque este criterio sólo debe aplicarse a los caminos muy especiales se pretende cumplir con especificaciones de altas velocidades a pesar de las restricciones que imponen las características topográficas y de la región.

Empíricamente se ha establecido que en caminos muy especiales $\mathbf{K =} \; L/\Delta \geq 30$.

Criterio de drenaje: Este criterio se aplica a las curvas en cresta y columpio en cortes. La pendiente diseñada en cualquier punto de las curvas en corte asegura el escurrimiento fluido del agua. Para que esto ocurra se debe cumplir con la condición de que:

$$\mathbf{K =} \; L/\Delta \leq 51 \text{ (curvas en corte)} \qquad \textbf{(Ec. 39)}$$

Además, como el drenaje es un elemento fundamental en la conservación y operación de los caminos no sólo se trabajó en el cumplimiento de los requerimientos geométricos sino también en las características hidráulicas de las obras de drenajes longitudinales y transversales.

Criterio de seguridad: Este criterio se aplica a las curvas en cresta y columpio y se diseñan de tal forma que en todas las curvas la distancia de visibilidad es igual o mayor que la distancia de visibilidad de parada, porque las curvas diseñadas para distancias de visibilidad de rebase resultan de gran longitud y se recomiendan proyectar cuando los fondos disponibles sean mayores que los estimados para caminos de estas características o para niveles de servicios esperados en caminos de mayores velocidades. El procedimiento que se siguió en cada caso fue el siguiente:

5.5.2. Curvas verticales en cresta.

L≥ S S: Distancia de visibilidad de parada;

$$L=\Delta S^2/100[(2h1)^{1/2} + (2h2)^{1/2}]^2 \qquad \textbf{(Ec. 40)}$$

Donde:
L: Longitud de curva, metros.
Δ: Diferencia Algebraica.
S: Distancia de visibilidad de Parada, metros
h1 = 1.07 m: Altura del ojo arriba de la superficie del pavimento.
h2 = 0.15 m: Altura del objeto arriba de la superficie del pavimento.

Entonces:

$$L=\Delta S^2/100[(2x\ 1.07)^{1/2} + (2x0.15)^{1/2}]^2 = \Delta S^2/404$$

$$L/\Delta = K = \frac{S^2}{404} \qquad \textbf{(Ec. 41)}$$

Calculando el valor de K para velocidades de 50 km/hora:

$$K50= 63x63/404= 10$$

Los resultados se ajustan a lo recomendado por la Sieca, tal y como se muestra en la **tabla 58**:

Tabla 58: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta (DVP).

Velocidad de DiseñoKPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

Tabla 59: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta (DVA).

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)	Tasa de Curvatura Vertical, K
		Para Diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

5.5.3. Curvas verticales en columpio.

L≥ S S: Distancia de visibilidad de parada, mts; L: Longitud de curva, mts; Δ: Diferencia Algebraica

$$\mathbf{L} = \frac{\Delta S^2}{120 + 3.5S} \qquad \textbf{(Ec. 42)}$$

L en metros:

$$\mathbf{K} = L/\Delta = \frac{S^2}{120 + 3.5S} \qquad \textbf{(Ec. 43)}$$

Calculando el valor de K para velocidades de 50 km/hora

K50= 63x63/(120 + 3.5x63) = 3969/347.5 = 12

Para chequear, consultamos las siguientes tablas de la SIECA y comprobamos que el diseño y consideraciones del proyecto coinciden con las cifras de las tablas. Favor observar que nuestras condiciones de cálculo es que la distancia de la curva sea igual o mayor que la distancia de visibilidad de parada y las tablas de SIECA consideran distancias de visibilidad de parada y rebase.

Tabla 60: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio (DVP).

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

5.6. Diseño Planimétrico del Proyecto.

Una vez procesada la información topográfica se procedió a trazar el alineamiento horizontal de la carretera. El diseño del alineamiento horizontal se realizó en el Programa Autodesk Civil 3D 2020.

Es importante señalar que la nueva carretera se establecerá sobre un camino existente por lo tanto el trazo horizontal está prácticamente definido. El Consultor definió los controles Económicos – Políticos (población servida, zonas de producción) del Proyecto y los controles Técnicos (topográficos, hidráulicos, geotécnicos) y ajustó el trazo, en la medida de lo posible, a la topografía y al alineamiento horizontal existente.

Aplicación de normas generales: Para lograr una circulación cómoda y segura se siguieron las siguientes normas generales:

- La seguridad que ofrece el proyecto al usuario constituyó la condición principal del diseño.
- La topografía, el drenaje y los suelos y sus usos fueron los principales condicionantes de la velocidad del proyecto y los radios.
- La distancia de visibilidad fue tomada en todos los casos.
- Se proyectó el alineamiento más direccional posible, sin sacrificar la consistencia con la topografía, el uso del suelo, y la adaptación al trazado original.

- La tendencia general del trazado fue la presencia de curvas horizontales cortas, dejando el uso de la curvatura máxima permisible sólo para muy pocos casos críticos en cruces de ríos y zonas pobladas.
- Hasta donde las condiciones lo permitieron se proyectó un alineamiento uniforme.
- No se hizo ningún trazo de curvas compuestas.
- Se evitó el trazo de curvas inversas con cambios de dirección rápidos que obliguen a hacer maniobras incómodas y/o peligrosas, siempre se trazaron tangentes que aseguran comodidad y seguridad.
- Curvas en la misma dirección sólo se trazaron en muy pocos sitios críticos, dejando siempre tangentes rectas que brindan comodidad y seguridad al usuario.
- No existen tangentes excesivamente largas que produzcan somnolencias.

Resultados obtenidos: En los 3.037 kilómetros, se trazaron 8 curvas horizontales, cuyas características se detallan en la ***Tabla 112, Anexo Cap. V, pág. L***.

Para el tramo **Comunidad Zompoperita - Comunidad El Carmen** todas las curvas fueron proyectadas para una velocidad de 50 Km/h, predominando en un 75.0% los Radios de curvatura menores a 500 metros a lo largo del tramo. ***(Ver Anexo Cap. V, Gráfico 12, págs. LI)***

En las ***Tablas 114-117, Anexo Cap. V, págs. LII-LIII*** se muestran los datos de cada una de las curvas Horizontales trazadas en el tramo.

5.7. Diseño Altimétrico del Proyecto.

La rasante de diseño fue proyectada en principio, de conformidad a las necesidades de la búsqueda de una reducción considerable de los volúmenes de obra que conllevaran a alcanzar el nivel de rentabilidad técnica-económica del Proyecto, y en un segundo plano a los resultados del proceso de diseño de la estructura de pavimento.

Los resultados obtenidos del proceso de proyección y trazo altimétrico corresponden prácticamente en una buena parte de la trayectoria del proyecto, a la misma trayectoria y/o comportamiento del perfil del terreno debido a lo antes expuesto, en que se consideró reducir en todo lo posible la generación de excavaciones y rellenos de consideración que incidan de manera directa en el costo de inversión del proyecto, por efectos de alcanzar los niveles adecuados de rentabilidad económica antes descrito.

En algunos sectores de la vía no fue posible la aplicación de las directrices anteriormente descritas debido a que las características y la configuración topográfica del terreno ameritó proyectar una rasante cuya trayectoria se ajustara en todo lo posible a los parámetros técnicos geométricos establecidos en las Normas de Diseño en el aspecto altimétrico, sectores en los cuales se generaron alturas de cierta consideración en lo correspondiente a excavación y relleno.

Resultados obtenidos: Se proyectaron 16 PIV (Punto de Intersección Alineamiento Vertical), en los cuales se trazaron 16 curvas verticales, no se encontró PIV con diferencia algebraica menor a 0.5%.

En los ***Anexo Cap. V, Tabla 118-Grafico 13, pág. LIV- LV*****,** se presente un reporte del Alineamiento Vertical Proyectado para el Subtramo Comunidad Zompoperita (00+000) – Comunidad El Carmen (03+037.05):

A continuación, en la **tabla 61, pág. 95** se presentan los Parámetros de diseño adoptados para el Subtramo Comunidad Zompoperita (00+000) –Comunidad El Carmen (03+037.05):

Tabla 61: Parámetros de diseño adoptadas (ítem 1-27).

COMUNIDAD ZOMPOPERITA (00+000) – COMUNIDAD EL CARMEN (03+037.05)				
ITEM	DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.	ABREVIATURA	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES.
1	Clasificación Funcional.	COLECTORA SECUNDARIA (CS)		
2	Ancho del derecho de vía.	ADV	MT.	20.00
3	Velocidad de Diseño.	VD	KPH	50.00
4	Velocidad de Ruedo.	VR	KPH	47.00
5	Vehículo de proyecto.	VEH.	TIPO-AASHTO	WB-15
6	Radio de curvatura Mínimo.	RM	mt.	73.00
7	Grado de Curvatura máximo.	GC	G. MIN. SEG.	15° 41' 51.12"
8	Número de Carriles.	NC	UNID.	2.00
9	Ancho Carril.	AC	mt.	3.50
10	Ancho total de Rodamiento.	AR	mt.	7.00
11	Ancho de Hombros.	HM	mt.	1.20
12	Ancho de Corona.	AC	mt.	9.40
13	Pendiente transversal. (Bombeo)	B	%	3.00
14	Pendiente de Hombros.	HM%	%	3.00
15	Sobreelevación Máxima (peralte).	EMAX.	%	8.00
16	pendiente relativa.	MR	1/m	150
17	Factor (L) entre ejes vehículo Diseño.	LEE	MT.	16.15
18	Sobreancho Mínimo en curvas horiz.	SMIN	MT.	0.60
19	Sobreancho Máximo en curvas horiz.	SMAX	MT.	1.80
20	Coeficiente de fricción lateral.	f1	S/U	0.19
22	Distancia de Visibilidad de Parada	DVP	mt.	65.00
23	Distancia de Visibilidad de Rebase	DVR	mt.	345.00
24	Tránsito promedio Diario Anual	TPDA	Vpd.	513
25	Talud de relleno.	TR	S/U	2H; 1V.
26	Talud de corte.	TC	S/U	1H; 1V.
27	Talud de cuneta lateral.	TCL	S/U	3H; 1V

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

5.8. Software Civil-3D.

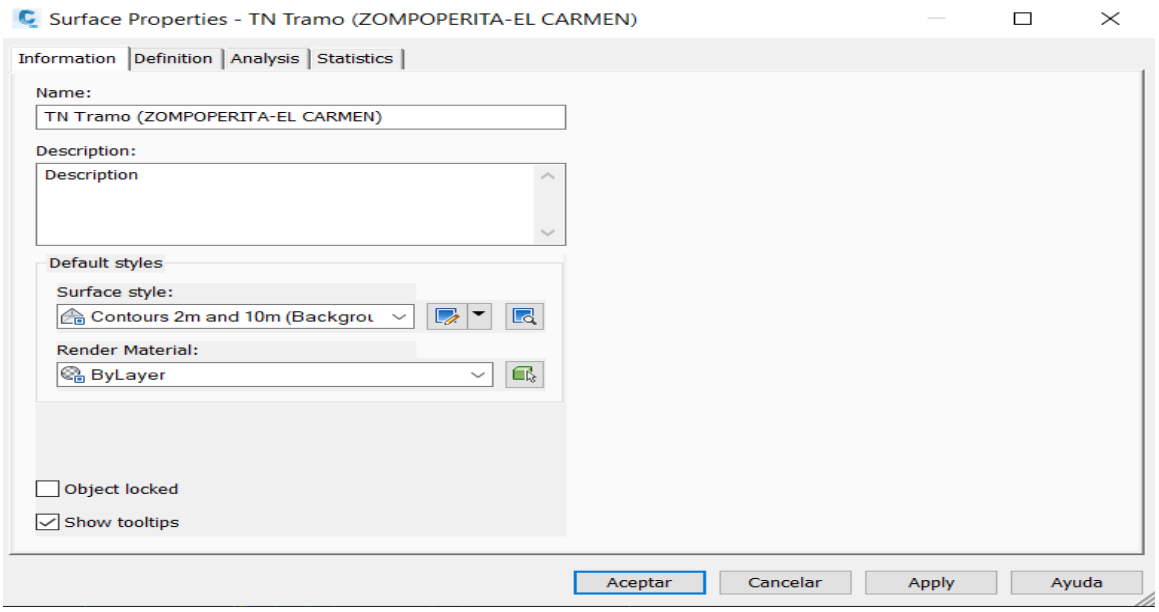
A continuación, se presenta el diseño geométrico de la vía en estudio desarrollado en su totalidad en el software CIVIL3D-2020 ya que se consideró este estudio como aspecto importante previo al diseño de la estructura de pavimento, el presente fue elaborado de manera concreta basándose en la normativa de la SIECA-2011.

AutoCAD Civil 3D nos permitió comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores (Alineamiento Horizontal y Vertical). El cual resulta una herramienta útil que agiliza y facilita el Diseño Geométrico de una vía.

5.8.1. Determinación de la superficie y el eje de la vía.

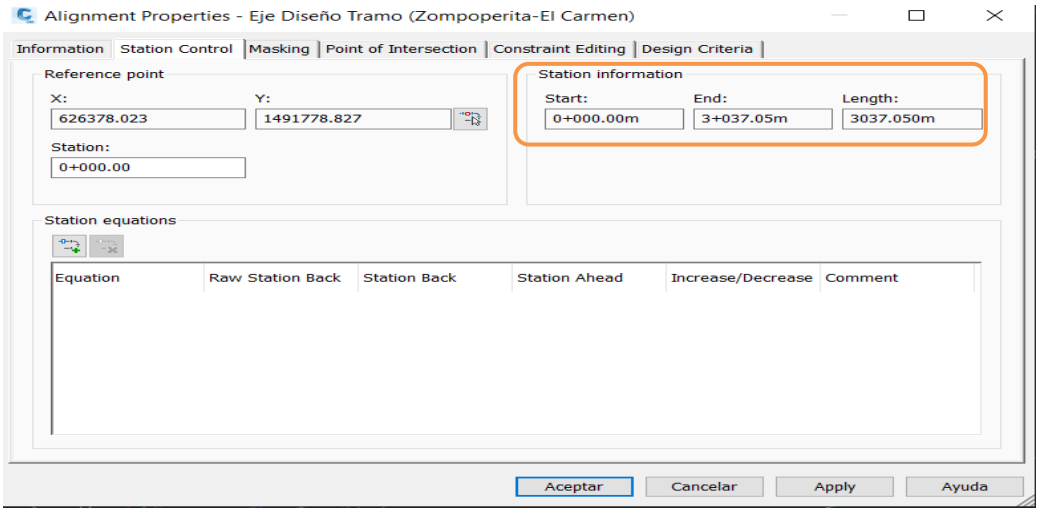
La superficie se generó por el levantamiento topográfico, es decir gracias a los puntos elevaciones y coordenadas obtenidas a través del estudio elaborado a lo largo del eje de la vía, posteriormente se definió la superficie automáticamente bajo el nombre de Terreno Natural y la definición de sus bordes y límites para obtener la superficie de trabajo.

Imagen- 2: Determinación de la superficie de la vía.



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

Imagen- 3: Eje central de la vía.

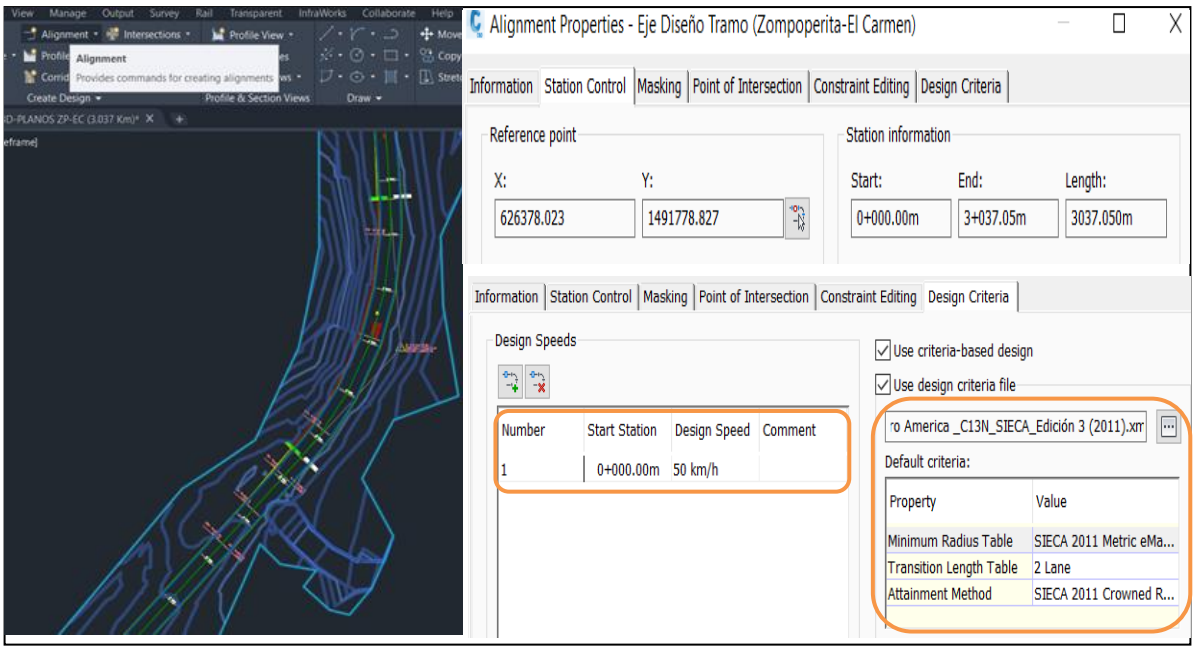


Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

5.8.2. Creación de Alineamiento Horizontal.

En la cinta de opciones **Home**, se ejecutó la opción **Alignment** (Alineamiento Horizontal), en el cual se definió el punto de Inicio (0+000.00) y el punto final (3+037.05), del tramo, indicando que se utilizaría los criterios de Diseño de la Sieca -2011.

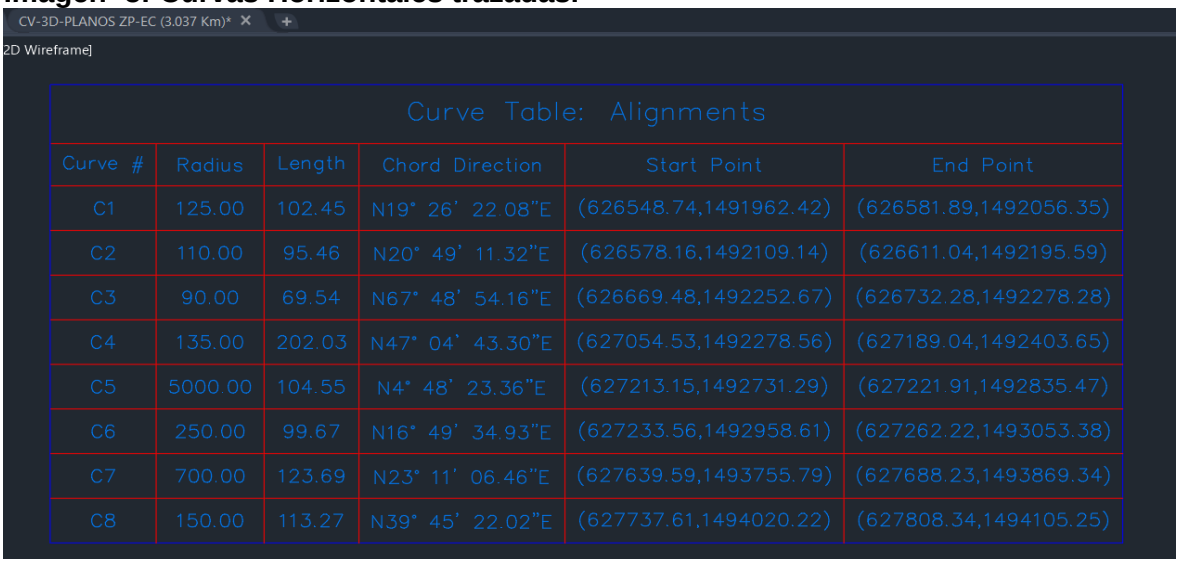
Imagen- 4: Propiedades de Alineamiento Horizontal y criterios de diseño.



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

Una vez predimensionado el eje central se procedió a verificar que las curvas horizontales trazadas (8 curvas), cumplieran con el Radio Mínimo permitido (**Criterio Sieca-2011),** el cual es de 73 metros para una velocidad de 50 Km/h.

Imagen- 5: Curvas Horizontales trazadas.

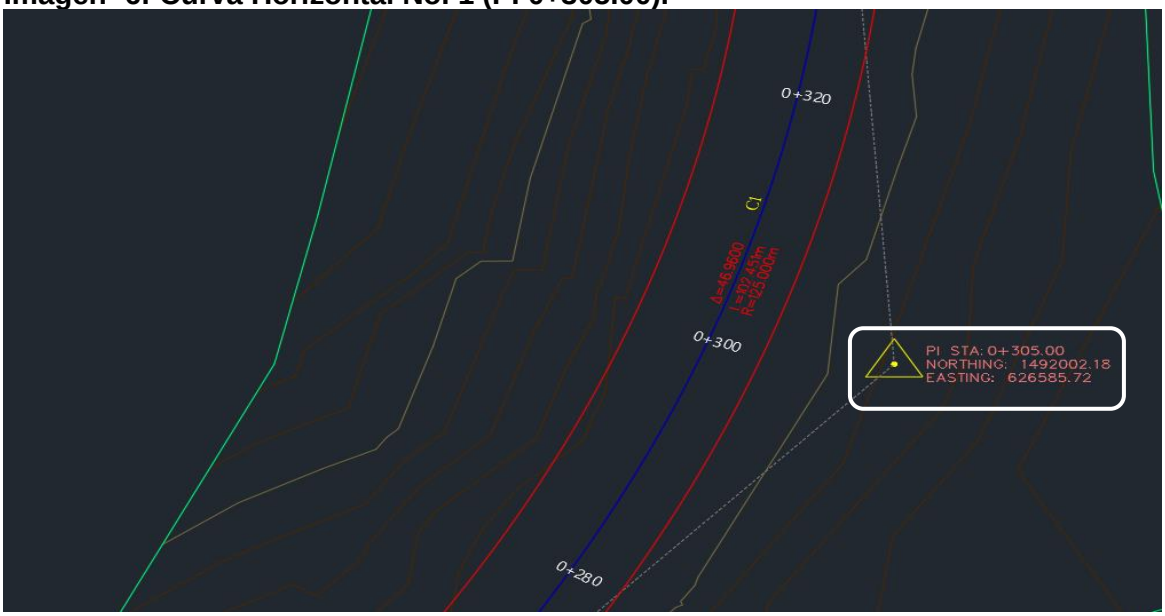


Curve Table: Alignments

Curve #	Radius	Length	Chord Direction	Start Point	End Point
C1	125.00	102.45	N19° 26' 22.08"E	(626548.74,1491962.42)	(626581.89,1492056.35)
C2	110.00	95.46	N20° 49' 11.32"E	(626578.16,1492109.14)	(626611.04,1492195.59)
C3	90.00	69.54	N67° 48' 54.16"E	(626669.48,1492252.67)	(626732.28,1492278.28)
C4	135.00	202.03	N47° 04' 43.30"E	(627054.53,1492278.56)	(627189.04,1492403.65)
C5	5000.00	104.55	N4° 48' 23.36"E	(627213.15,1492731.29)	(627221.91,1492835.47)
C6	250.00	99.67	N16° 49' 34.93"E	(627233.56,1492958.61)	(627262.22,1493053.38)
C7	700.00	123.69	N23° 11' 06.46"E	(627639.59,1493755.79)	(627688.23,1493869.34)
C8	150.00	113.27	N39° 45' 22.02"E	(627737.61,1494020.22)	(627808.34,1494105.25)

Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

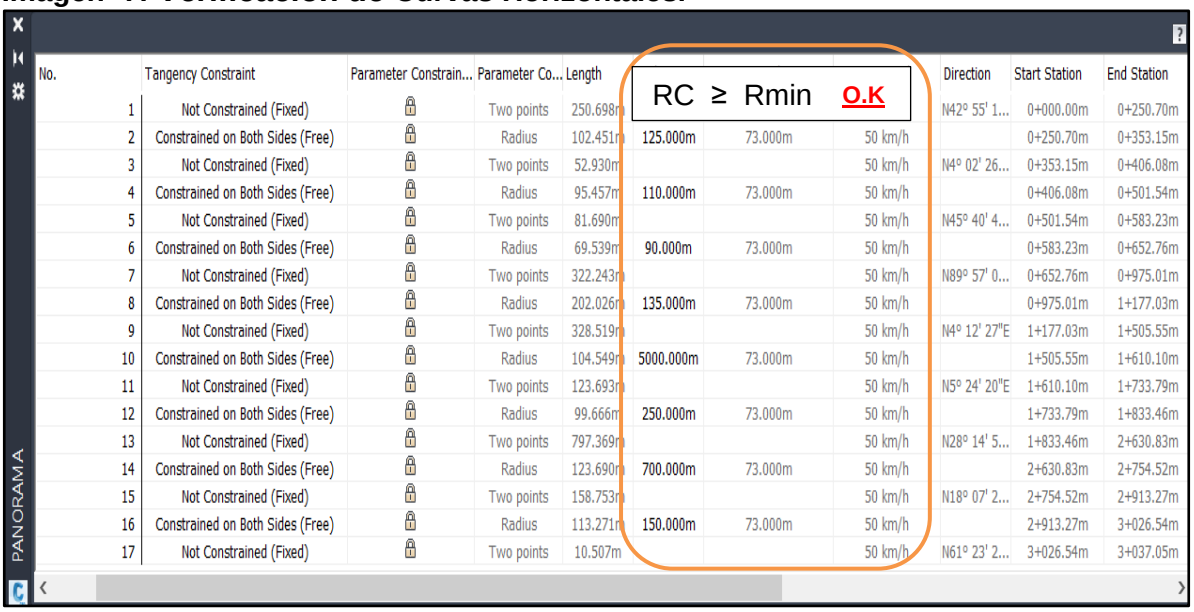
Imagen- 6: Curva Horizontal No. 1 (PI 0+305.00).



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

Tomando como ejemplo la curva No.1 (**Imagen-7**), con un **Rc** de **125 metros**, este está por encima del mimo permitido **Rm** de **73 metros**. A continuación, se muestra la verificación de c/u de los Radio trazados a lo largo del tramo (**Imagen-8**):

Imagen- 7: Verificación de Curvas Horizontales.



RC ≥ Rmin O.K

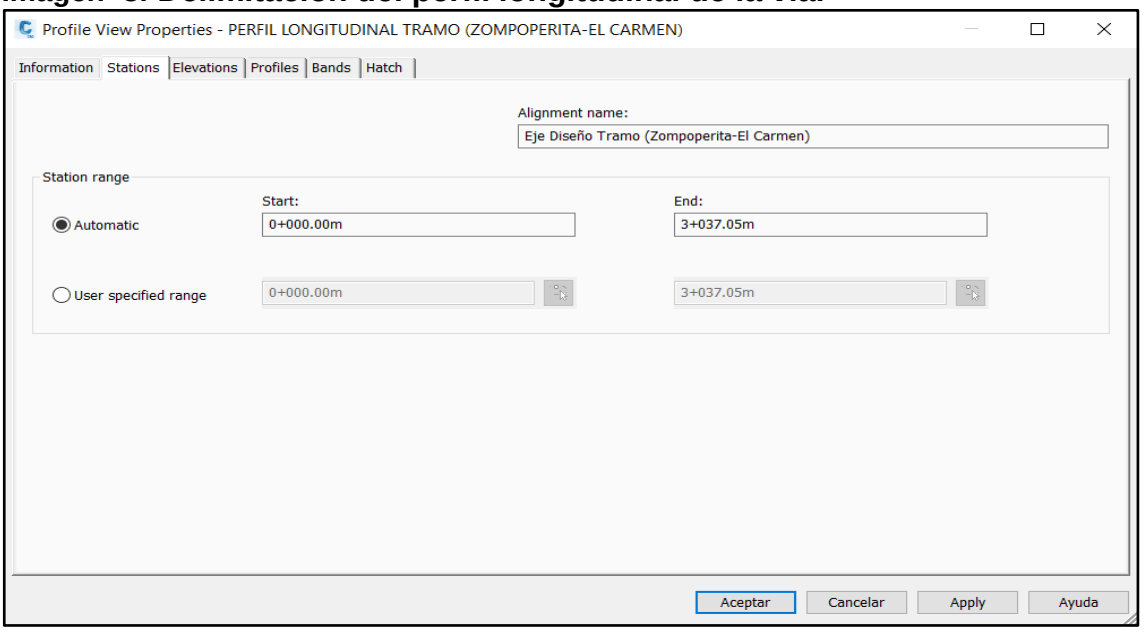
No.	Tangency Constraint	Parameter Constrain...	Parameter Co...	Length				Direction	Start Station	End Station
1	Not Constrained (Fixed)		Two points	250.698m				N42° 55' 1...	0+000.00m	0+250.70m
2	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	102.451m	125.000m	73.000m	50 km/h		0+250.70m	0+353.15m
3	Not Constrained (Fixed)		Two points	52.930m			50 km/h	N4° 02' 26...	0+353.15m	0+406.08m
4	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	95.457m	110.000m	73.000m	50 km/h		0+406.08m	0+501.54m
5	Not Constrained (Fixed)		Two points	81.690m			50 km/h	N45° 40' 4...	0+501.54m	0+583.23m
6	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	69.539m	90.000m	73.000m	50 km/h		0+583.23m	0+652.76m
7	Not Constrained (Fixed)		Two points	322.243m			50 km/h	N89° 57' 0...	0+652.76m	0+975.01m
8	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	202.026m	135.000m	73.000m	50 km/h		0+975.01m	1+177.03m
9	Not Constrained (Fixed)		Two points	328.519m			50 km/h	N4° 12' 27"E	1+177.03m	1+505.55m
10	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	104.549m	5000.000m	73.000m	50 km/h		1+505.55m	1+610.10m
11	Not Constrained (Fixed)		Two points	123.693m			50 km/h	N5° 24' 20"E	1+610.10m	1+733.79m
12	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	99.666m	250.000m	73.000m	50 km/h		1+733.79m	1+833.46m
13	Not Constrained (Fixed)		Two points	797.369m			50 km/h	N28° 14' 5...	1+833.46m	2+630.83m
14	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	123.690m	700.000m	73.000m	50 km/h		2+630.83m	2+754.52m
15	Not Constrained (Fixed)		Two points	158.753m			50 km/h	N18° 07' 2...	2+754.52m	2+913.27m
16	Constrained on Both Sides (Free)		Radius	113.271m	150.000m	73.000m	50 km/h		2+913.27m	3+026.54m
17	Not Constrained (Fixed)		Two points	10.507m			50 km/h	N61° 23' 2...	3+026.54m	3+037.05m

Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

5.8.2. Creación de Perfil Longitudinal.

En la realización de este proceso se obtuvo el perfil longitudinal de la carretera siguiendo los ejes el cual se muestra a continuación:

Imagen- 8: Delimitación del perfil longitudinal de la vía.

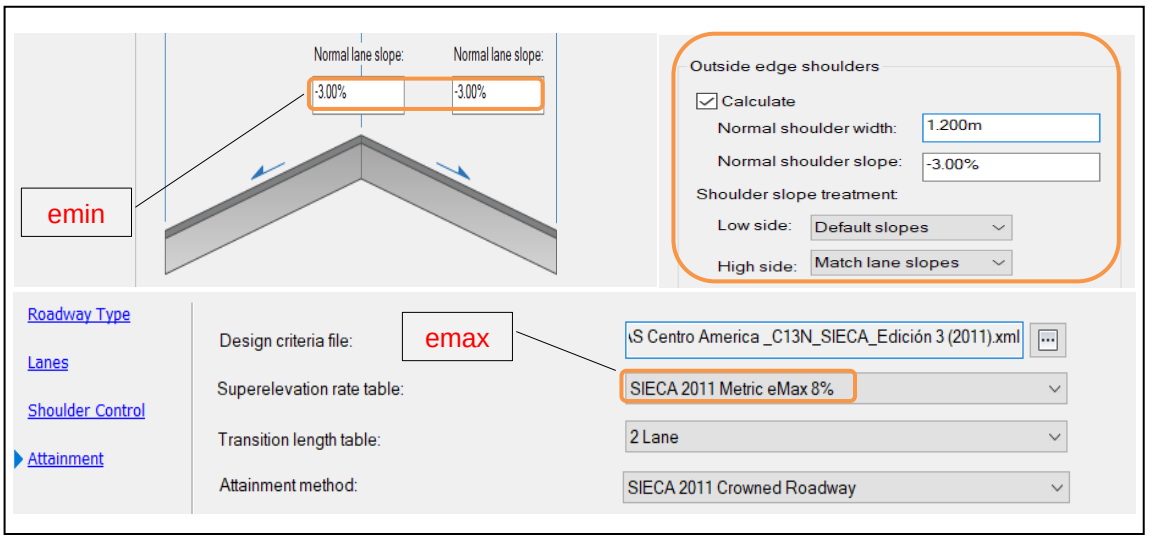


Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

5.8.3. Criterios de Superelevation (peralte).

En la pestaña **Superelevation** (peraltes), se estableció la calzada y sus componentes como son peralte mínimo (emin=3.00%) y son bombeo (emin=3.00%) y peralte máximo (emax=8.00%).

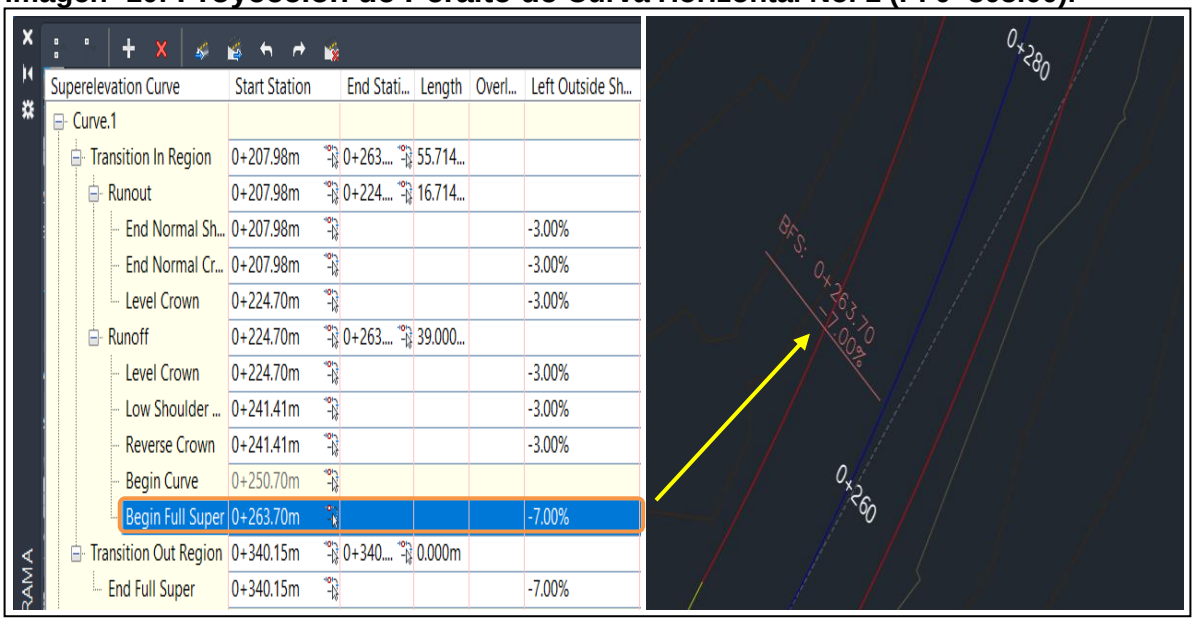
Imagen- 9: Definición de Parámetros de Peralte (Superelevation).



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

De a acuerdo a los criterios de la Sieca-2011previamente establecidos en Civil-3D, a continuación, se muestra el resultado de sobreelevación para la curva No.:

Imagen- 10: Proyección de Peralte de Curva Horizontal No. 1 (PI 0+305.00).



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

5.8.4. Criterios de Sobreanchos (Sa).

De igual, manera tomando como referencia la curva No. 1 **(PI 0+305.00),** se procedió a verificar los resultados obtenidos:

Datos:

Ac = Ancho de carriles (**3.5 m**).

n = Número de carriles (**2**).

Veh. = vehículo de diseño (**WB-15**).

C1 = Radio de curvatura (**Rc=125.00 m**).

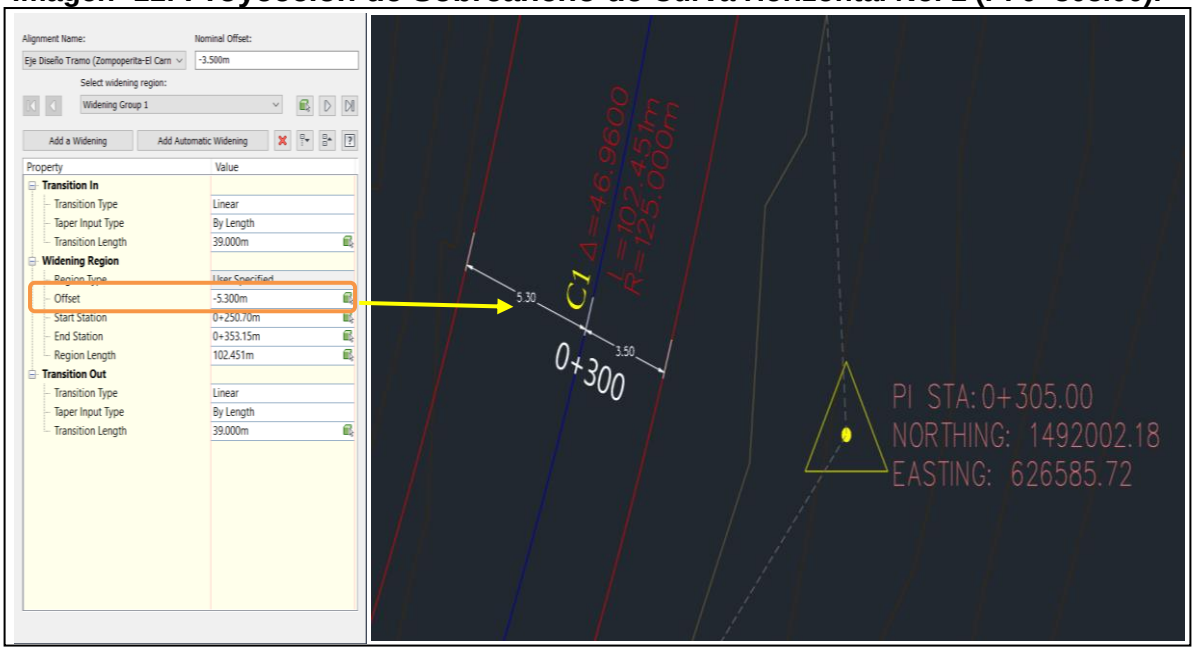
V = Velocidad de diseño de la carretera (**50km/h**).

Resultado:

- Sa (**C1, PI=0+305.00**) = 1.80 metros, por tanto para el carril interior el ancho total será de 5.30 metros:

CI= 3.50 m+ 1.80m=5.30 m

Imagen- 11: Proyección de Sobreancho de Curva Horizontal No. 1 (PI 0+305.00).

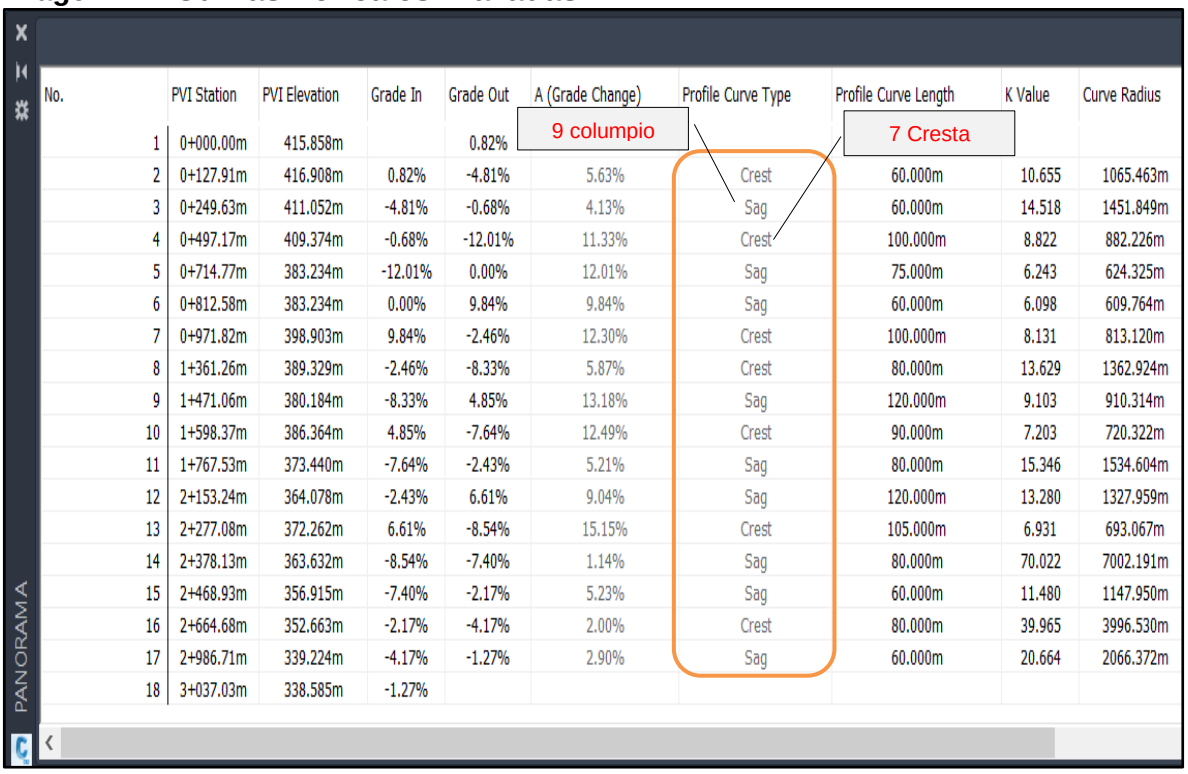


Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

5.8.5. Alineamiento Vertical.

A continuación, se muestra los resultados del Alineamiento Vertical del tramo (Zompoperita – El Carmen), en Civil-3D 2020. El consolidado se muestra en la **imagen-12,** se trazaron en total 16 Curvas Verticales (9 en Columpio, 7 en Cresta).

Imagen- 12: Curvas Vericales Trazadas.



No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000.00m	415.858m		0.82%					
2	0+127.91m	416.908m	0.82%	-4.81%	5.63%	Crest	60.000m	10.655	1065.463m
3	0+249.63m	411.052m	-4.81%	-0.68%	4.13%	Sag	60.000m	14.518	1451.849m
4	0+497.17m	409.374m	-0.68%	-12.01%	11.33%	Crest	100.000m	8.822	882.226m
5	0+714.77m	383.234m	-12.01%	0.00%	12.01%	Sag	75.000m	6.243	624.325m
6	0+812.58m	383.234m	0.00%	9.84%	9.84%	Sag	60.000m	6.098	609.764m
7	0+971.82m	398.903m	9.84%	-2.46%	12.30%	Crest	100.000m	8.131	813.120m
8	1+361.26m	389.329m	-2.46%	-8.33%	5.87%	Crest	80.000m	13.629	1362.924m
9	1+471.06m	380.184m	-8.33%	4.85%	13.18%	Sag	120.000m	9.103	910.314m
10	1+598.37m	386.364m	4.85%	-7.64%	12.49%	Crest	90.000m	7.203	720.322m
11	1+767.53m	373.440m	-7.64%	-2.43%	5.21%	Sag	80.000m	15.346	1534.604m
12	2+153.24m	364.078m	-2.43%	6.61%	9.04%	Sag	120.000m	13.280	1327.959m
13	2+277.08m	372.262m	6.61%	-8.54%	15.15%	Crest	105.000m	6.931	693.067m
14	2+378.13m	363.632m	-8.54%	-7.40%	1.14%	Sag	80.000m	70.022	7002.191m
15	2+468.93m	356.915m	-7.40%	-2.17%	5.23%	Sag	60.000m	11.480	1147.950m
16	2+664.68m	352.663m	-2.17%	-4.17%	2.00%	Crest	80.000m	39.965	3996.530m
17	2+986.71m	339.224m	-4.17%	-1.27%	2.90%	Sag	60.000m	20.664	2066.372m
18	3+037.03m	338.585m	-1.27%						

Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2020.

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción

CAPITULO

VI

DISEÑO DE PAVIMENTO

UNI RUACS - 2021

6.1. Metodología de Diseño AASHTO 93.

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de acuerdo con la siguiente formula.

$$\log_{10}Wt_{18}=Z_R S_O+9.36\log_{10}(SN+1)-0.20+\frac{\log_{10}\frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}}+2.32\log_{10}M_R-8.07$$

[Ec. 44]

Dónde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 KN acumuladas en el período de diseño (**n**).

ZR: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

So: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida deservicio.

Δ**PSI**: Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la plenitud (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial (**po**) y su plenitud al final del periodo de diseño *(*Serviciabilidad *Final (**pt**).*

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

SN: Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

6.2. Variables de Diseño por considerarse en el Método AASHTO 93.

6.2.1. Variables en Función del Tiempo.

6.2.1.1. La vida útil del Pavimento.

Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción de este y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

El periodo de diseño no debe ser confundido con la vida útil del pavimento, ni con el periodo de análisis; este último puede comprender varios periodos de diseño, como en el caso de la pavimentación por etapas.

Por otra parte, la vida útil de un pavimento pude extenderse indefinidamente con la colocación de carpetas de refuerzo y otras medidas de rehabilitación, o durar mucho menos que lo estimado en el periodo de diseño, debido a fallas prematuras, o sub-diseños del pavimento.

6.2.2. Variables en Función del Tránsito.

6.2.2.1. Factores Equivalente de Carga (FEi).

Una carga estándar para diseño de pavimentos flexibles de carreteras y calles es el eje de 8.2 Ton. (18,000 LBS).

El efecto de cargas diferentes a esta se tiene en cuenta para el diseño aplicado los llamados Factores de Equivalencia de Carga por Ejes, los cuales se obtienen en base a los resultados de AASHTO Road Test.

Existen para el pavimento flexible diferentes factores equivalentes (FE_i) para distintos tipos de cargas por eje, y distintos índices de serviciabilidad, para este caso un índice de serviciabilidad final de $P_t = 2.0$.

6.2.2.2. Peso por Ejes Simples Equivalentes.

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño F=1.

En el tramo en estudio, el ESAL de diseño es **1,010,285.00 (Ver Capitulo II, Tabla 27, pág. 43)**

6.2.2.3. Confiabilidad (R).

Se entiende por confiabilidad de un proceso de diseño y comportamiento de un pavimento, a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportara satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **80%,** que corresponde a un valor recomendado para el tipo de vía, como colectora secundaria la cual se muestra a continuación.

Tabla 62: Niveles de Confiabilidad R en función del tipo de carretera.

Tipo de Carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-95	75-95
Colectoras Secundaria	50-80	**50-80**

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2002.

Una vez seleccionado el valor de confiabilidad (**R** = de **80%),** se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la Confiabilidad, el valor escogido se muestra a continuación en la siguiente Tabla**:**

Tabla 63: Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	**-0.841**
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

6.2.2.4. Desviación Estándar (So).

La desviación estándar del sistema toma en cuenta las variaciones en las ecuaciones, las mediciones y los materiales. Se selecciona un nivel de confiabilidad para determinar con que confianza se espera que el pavimento dure el periodo de tiempo para el que fue diseñado. La AASHTO 93 recomienda para construcciones nuevas de pavimentos flexibles una desviación estándar (So), de **0.45**.

Tabla 64: Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio.

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
En construcción nueva	0.35	**0.45**
En sobre capas	0.39	0.49

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

6.2.2.5. Serviciabilidad.

Se define como la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos. El índice de serviciabilidad varía de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo).

El método AASHTO 93 predice el porcentaje de pérdidas de serviciabilidad (Δ PSI), para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI), mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar. Los valores recomendados por la AASHTO y por experiencia son:

Serviciabilidad Inicial:

Po = 4.5 para pavimentos rígidos.

Po = 4.2 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad Final:

Pt = 2.5 ó más para caminos principales.

Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor.

Para el presente diseño se utilizó:

Serviciabilidad Inicial **Po =** 4.2 y **Pt =** 2.0 **[Ec. 44]**

Por lo tanto, el valor de la pérdida de la Serviciabilidad sustituyendo la Ecuación N 11 es:

Perdida de serviciabilidad **Δ PSI =** 4.2 – 2.0

Δ PSI = 2.2

6.3. Características de los Materiales que Conforman el Pavimento.

6.3.1. Módulo de Resiliencia (MR).

El CBR de diseño de este tramo es de **16.90%**. Este se obtuvo con un percentil de 87.5%. ***(Ver Anexos Cap. III,* Gráfico *11, Pág. XLI)***

Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la subrasante.

Tabla 65: Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para subrasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	Mr= 1500 * CBR **[Ec. 45]**
CBR > 10%	Mr= 4326* Ln(CBR) + 241 **[Ec. 46]**

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Se utiliza la segunda ecuación sabiendo que nuestro CBR de la subrasante calculado fue de **16.90%**

Tabla 66: Calculo de Modulo Resiliente de la Subrasante

Aplicando Ecuación. 46		
Mr= 4326* Ln(CBR) + 241	$Mr = 4326 * \ln(16.90\%) + 241$	**Mr = 12,472.0 psi**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

6.3.2. Coeficiente de Drenaje (mi).

El Método AASHTO '93 para el diseño de pavimentos flexibles proporciona un sistema para ajustar los coeficientes estructurales en forma tal que tomen en consideración de los niveles de drenaje sobre el comportamiento del futuro pavimento. Los niveles de drenaje que han sido definidos en este método son:

Tabla 67: Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	**2 a 5 horas**
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Tabla 68: Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación.

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	**1.00**
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: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

6.3.3. Coeficientes Estructurales de Capa (ai).

Los Coeficientes Estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Mediante el uso de las figuras de la guía AASHTO que se presentan en el Anexo C (Figuras), se determina el coeficiente estructural de cada capa del pavimento, según el método de diseño.

Se presentan 3 categorías de estos coeficientes de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada; carpeta de rodamiento (a_1), base(a_2) y subbase(a_3).

6.3.3.1. Carpeta de rodamiento: (a_1)

El valor del coeficiente estructural de la superficie de rodamiento se definió utilizando la estabilidad Marshall conociendo que el volumen de tráfico que transita en el tramo en estudio corresponde en mayor porcentaje a vehículos livianos seguido de vehículos pesados definiéndolo como un tráfico medio, se consideró una Estabilidad mezcla (N) de 1400 lb /cm², se obtuvo un coeficiente estructural de capa **(a_1)= 0.37**, con un módulo resiliente de **300,000 psi** a **20°C (68°F) , *(Ver Anexos Cap. VI, Tabla: 119, Pág. 56,* Gráficos *14-15, Pág. LVI- LVII)***

6.3.3.2. Base Granular estabilizada con cemento Portland (a_2).

El valor del coeficiente estructural de capa de base estabilizada con cemento (a_2) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO **(Ver Gráfico 13).** Tomando como parámetro de entrada el valor a la compresión del **Banco de préstamo No.2 (Zompoperita)**, con un valor de resistencia a la compresión de **325.77 lb/pulg²,** en base a este valor se estima el valor (a_2), se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha e izquierda el valor de coeficiente estructural (**a_2**) de **0.140** y un Módulo de Resiliencia (**MR**) de **57,000 psi**. ***(Ver Anexos Cap. VI,* Gráfico *16, Pág. LVII)***

6.3.3.3. Subbase granular no tratada (a_3).

El valor del coeficiente estructural de capa de subbase granular no tratada (a_3) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO**.** Tomando como parámetro de entrada el valor del CBR de la subbase del **Banco No. 2 (Úbeda)**, de **55%**, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha e izquierda con el valor de **a_3 = 0.129 y un MR=17,800.** ***(Ver Anexos Cap. VI,* Gráfico *17, Pág. LVIII)***

6.3.4. Números Estructurales (SN).

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil.

Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa. El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \qquad \text{[Ec- 46]}$$

Dónde:

$D_{1, 2, 3}$= espesores de capas asfálticas, base y subbase respectivamente en (pulgadas).

a_i= coeficiente estructural de capa i, dependiente de su módulo.

m_i= coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

6.3.5. Cálculo de los Números Estructurales (SN_1, SN_2, SN_3).

El valor del número estructural de capa de granular se determina con el uso del nomograma de la guía AASTHO. Tomando como parámetro de entrada los valores anteriormente escogidos como lo son la Confiabilidad (**R=80%**), Desviación Entandar (**So=0.45**), el ESAL de Diseño de **1,010,285.00**, Módulos de Resiliencia de Cada Capa **(M_{BG}=57,000PSI, M_{SBG}=17,800 PSI, M_{SR}=12,472.0 psi)** y la Perdida de Serviciabilidad (∆**PSI=2.2**).

Para conocer los valores correspondientes a los números estructurales (SN_1, SN_2, SN_3) se utiliza el módulo resiliente de la capa inmediatamente por debajo, es decir para conocer el número estructural SN_1, es necesario utilizar el módulo resiliente de la capa base en este caso tiene un valor de 57,0000 psi. Al utilizar los módulos resilientes de las capas inmediatas se garantiza proteger las capas de la estructura de pavimento.

El cálculo del número estructural SN_1, utilizando el valor MR de la base resulta de **SN_1=1.45** para proteger la base. ***(Ver Anexos Cap. VI, imagen 27, pág. LVIII)***

Para el cálculo de **SN_2** y **SN_3 ($SN_{requerido}$),** se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un **SN_2** de **2.60 para proteger la subbase** y un **SN_3** de **2.30** para proteger la subrasante. ***(Ver Anexos Cap. VI,* Gráfico *18, Pág. LVIX)***

6.4. Cálculo de los espesores del Pavimento.

Determinar el espesor del pavimento (D_1):

$$SN_1 = a_1 * D_1 \qquad \textbf{[Ec. 47]}$$

Se conoce el coeficiente **a_1=0.37 y SN_1= 1.45**, se despeja **D_1**.

$$\boldsymbol{D_1} = \frac{SN_1}{a_1} \qquad \textbf{[Ec. 48]}$$

$$\boldsymbol{D_1} = \frac{1.45}{0.37}$$

$$\boldsymbol{D_1} = 3.92" \cong \boldsymbol{Optar\ 4.0\ pulgadas}$$

Se corrige el número estructural SN_1 utilizando el valor D_1 calculado.

$$SN_1^* = a1 * D1$$

$$SN_1^* = 0.37 * 4.0$$

$$SN_1^* = 1.480$$

El espesor de **4.0** pulgadas cumple con el espesor mínimo (**Ver Tabla 69, pág. 113**), teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN_1, entonces el valor del espesor la base se obtiene de la siguiente manera:

Determinar el espesor para la base (D_2):

$$D_2 = (SN_2\text{-}SN_1) / (a_2 * m_2) \qquad \textbf{[Ec. 49]}$$

$$D_2 = (2.30\text{-}1.480) / (0.140 * 1.00)$$

D_2=**5.86"** pulgadas "No cumple con espesor mínimo"

Comprobando el espesor de la base.

$$D_2 = (SN_3\text{-}SN_1) / (a_2 * m_2) \qquad \textbf{[Ec. 50]}$$

$$D_2 = (2.60\text{-}1.480) / (0.140 * 1.00)$$

D_2=8.0" requiere $\cong \boldsymbol{Optar\ 8.5\ pulgadas}$

Se optará a **8.5 pulgadas** y se corregirá el número estructural SN_2, comprobando este espesor de acuerdo con la **tabla 69**, en base al número de ESAL´s cumple con el espesor mínimo".

Tabla 69: Espesores mínimos sugeridos por capa.

Numero de ESAL´s	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfaltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	**3**	**6**
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 175.

Se corrige el número estructural $\mathbf{SN_2}$:

$$\mathbf{SN_2} = a_2 * D_2 * m_2 \qquad \text{[Ec-51]}$$

$$\mathbf{SN_2} = (0.140) * (8.5) * (1.00)$$

$$\mathbf{SN_2} = 1.19$$

Determinar el espesor para la Sub-base (D_3):

$$\mathbf{D3} = SN_3 - (SN_2 + SN_1) / (a_3 * m_3) \qquad \text{[Ec. 52]}$$

$$\mathbf{D3} = 2.60 - (1.190 + 1.480) / (0.129 * 1.00)$$

$$\mathbf{D3} = \mathbf{-0.543" \text{ pulgadas}}$$

Los criterios de la AASHTO 93, indican que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo, este no necesita dicha capa.

Comprobación:

$$\mathbf{SN_1 + SN_2 + SN_3} \geq \mathit{SNrequerido} \qquad \text{[Ec. 53]}$$

$$1.480 + 1.19 + 0.00 \geq \mathbf{2.60}$$

$$2.67 \geq \mathbf{2.60} \quad \text{"O. K Cumple"}$$

6.4.1. Espesores finales de Diseño.

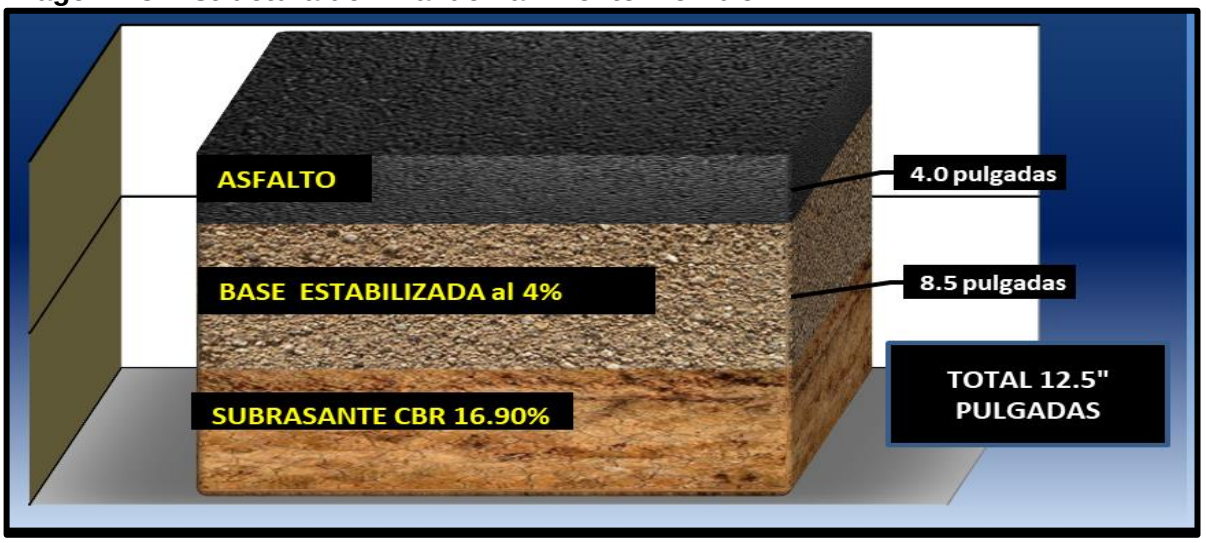
En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento será de **4.0 pulgadas** de Concreto Asfaltico, la Base granular será de **8.5 pulgadas**, y subbase no necesita tal y como se muestra en la **Tabla 70** y en la **Imagen 13** la estructura total es de **12.5" pulgadas** equivalentes a **31.75 centímetros**.

Tabla 70: Espesores de Diseño.

Capa	Condiciones	Espesor	
		Pulgadas	Centímetros
Capa de rodamiento **(Asfalto)**	Modulo elástico 300,000 psi	4.0"	10.16 cm
Base granular **Zompoperita**	Estabilizada al 4%	8.5"	21.59 cm
Subbase granular **Úbeda**	—	—	—
Espesor Total Requerido	**12.5**"		**31.75 cm**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Imagen- 13: Estructura de Final de Pavimento Flexible.

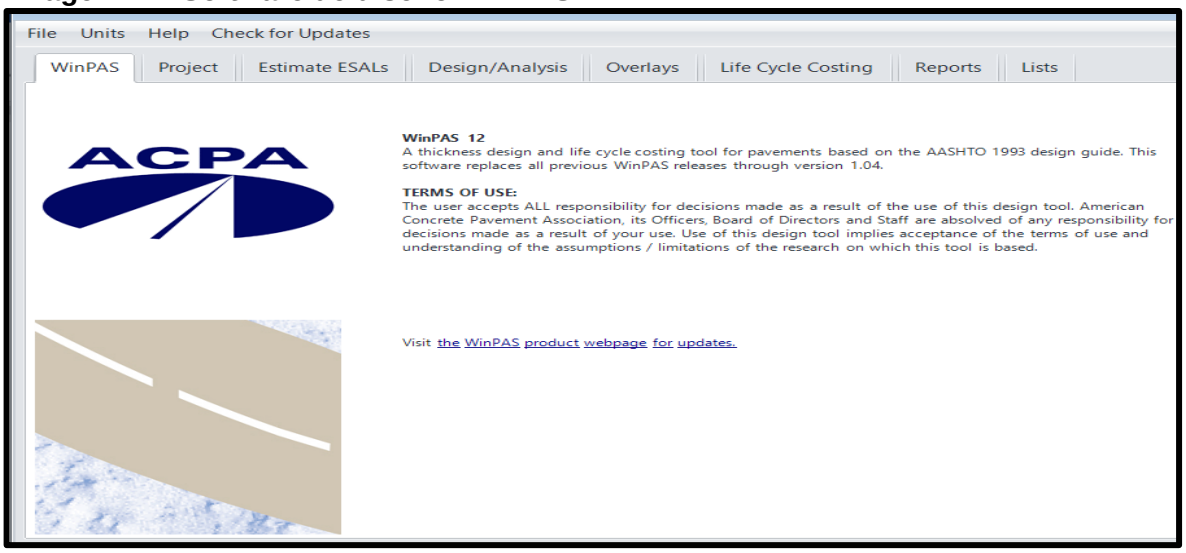


Fuente: Elaborado por Sustentantes.

6.5. Uso del programa WinPAS-12.

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa WinPAS. El cual resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño.

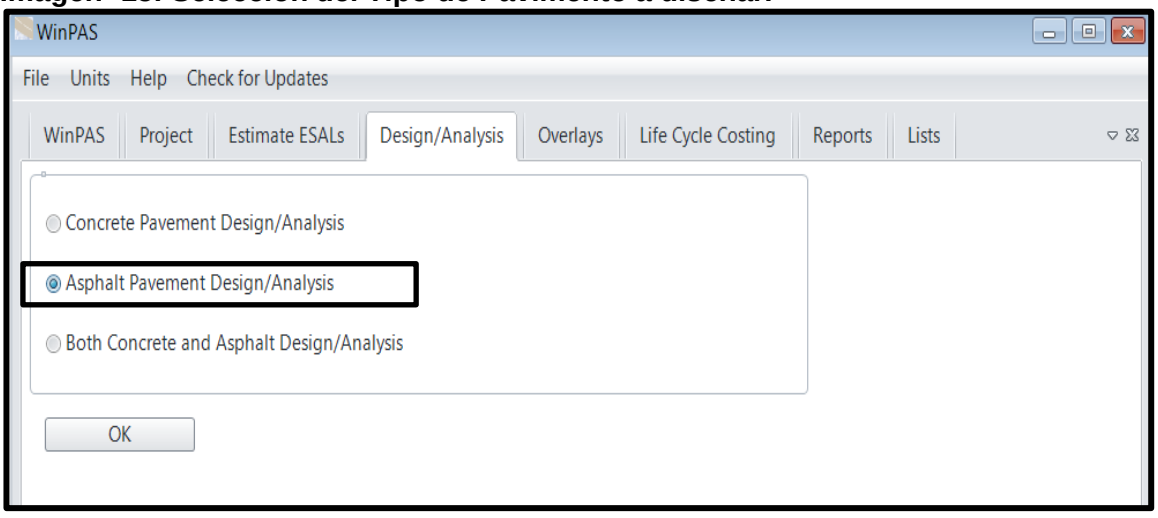
Imagen- 14: Software de diseño WinPAS.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

El primer paso es seleccionar la pestaña de diseño/análisis, donde se nos abrirá una nueva ventana que nos mostrará tres opciones de diseño, donde en este caso se tendrá que elegir la opción 2 de diseño/análisis de pavimento asfaltico.

Imagen- 15: Selección del Tipo de Pavimento a diseñar.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

Luego se abrirá otra ventana que es donde se deben introducir los datos iníciales para el diseño:

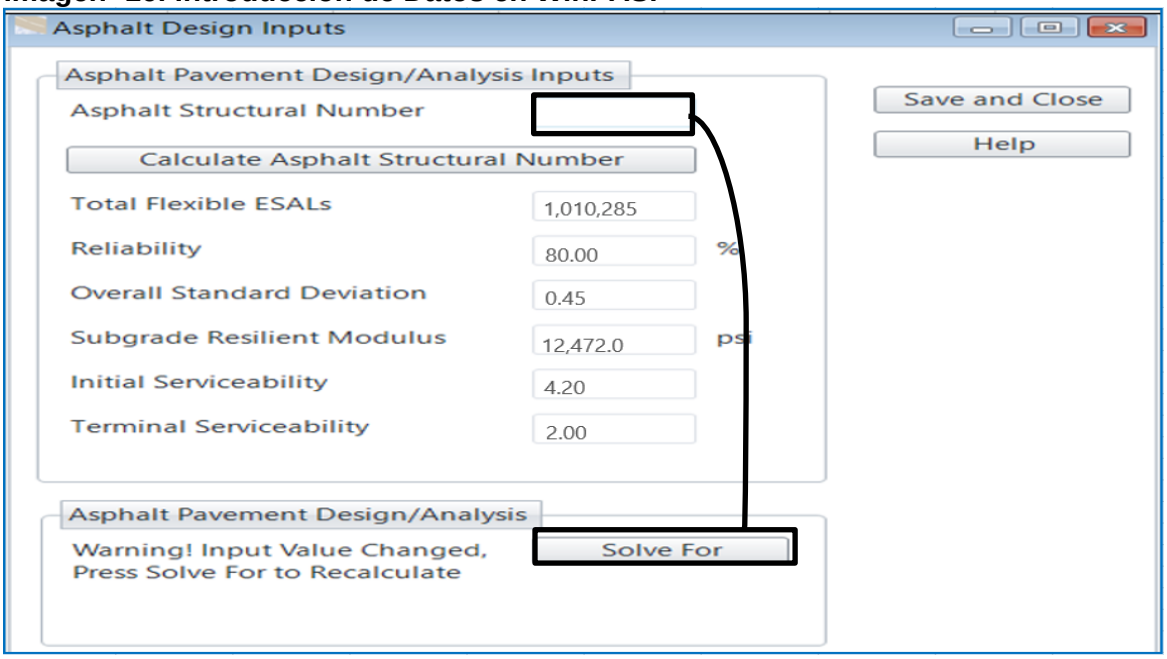
Tabla 71: Datos para calcular espesores en el Software WinPAS-12.

Consideraciones del Diseño AASHTO 93		Valores
ESAL de diseño	**tabla 27, pág. 43.**	**1,010,285.00**
Confiabilidad	**tabla 62, pág. 98.**	80%
Valor desviador (Zr)	**tabla 63, pág. 99.**	-0.841
Desviación Estándar (So)	**tabla 64, pág. 99.**	0.45
Módulo de Resiliencia de Subrasante	**tabla 66, pág. 101**	12,472.10
Serviciabilidad inicial (Po)	**pág. 100**	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	**pág. 100**	2.0
ΔPSI	**pág. 100**	2.2
Coeficiente de drenaje (mi)	**tabla 68, pág. 102**	1.00
Coeficiente de capa, Asfalto (a_1)	**Grafico.14, pág. LVI**	0.37
Coeficiente de capa, Base granular(a_2)	**Grafico.16, pág. LVII**	0.140

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

No se debe escribir el número estructural, ya que, este lo calcula el programa después de haber digitado el resto de los datos, dando click en la pestaña resolver *(Solve for).*

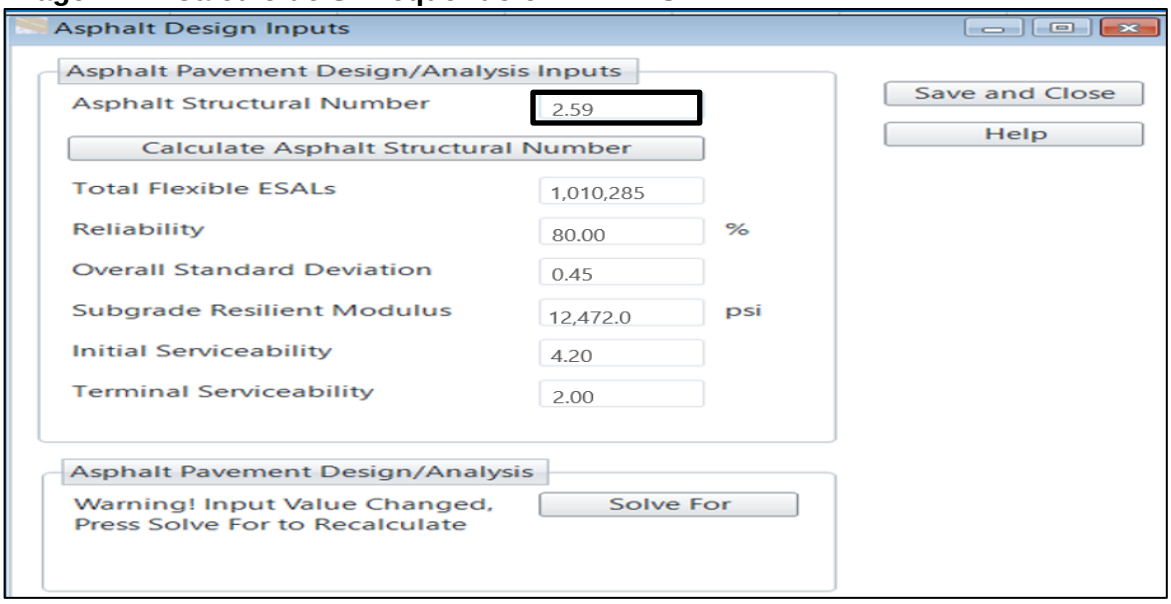
Imagen- 16: Introducción de Datos en WinPAS.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

Después de haber dado click en la pestaña *resolver (Solve for).* Según el software WinPAS se requiere un **SN=2.59**.

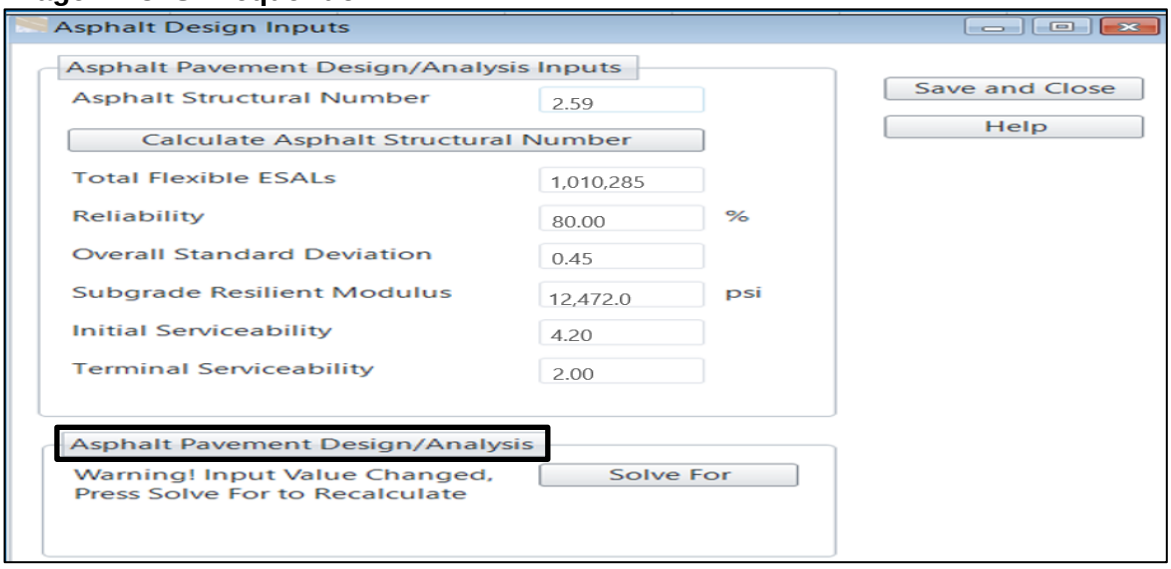
Imagen- 17: Calculo de SN requerido en WinPAS.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

Lo siguiente será proponer la estructura de pavimento, entrando en la pestaña Asphalt Pavement Desing/ Analysis.

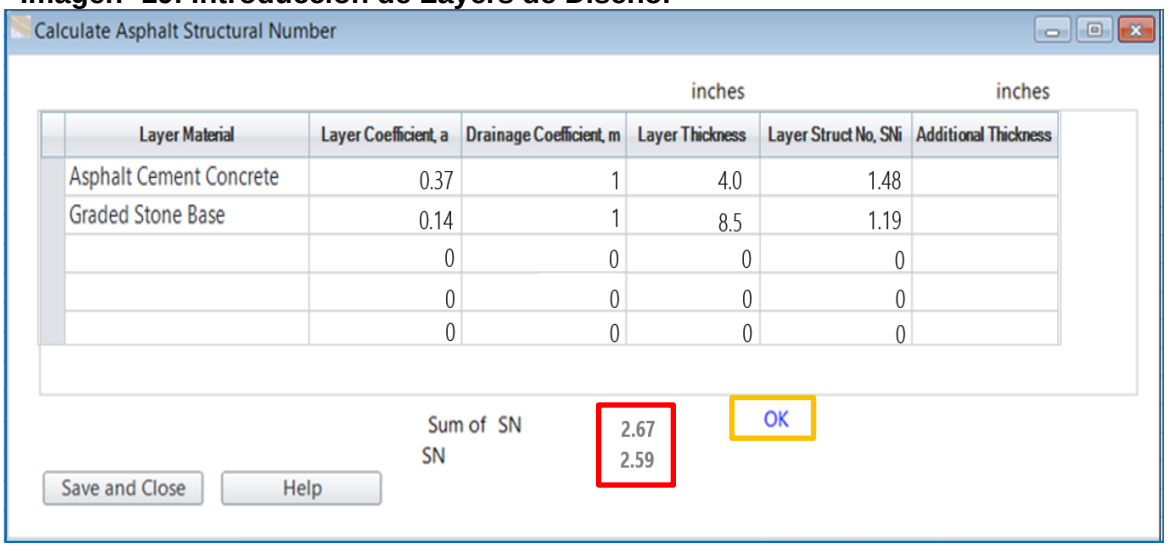
Imagen- 18: SN requerido.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

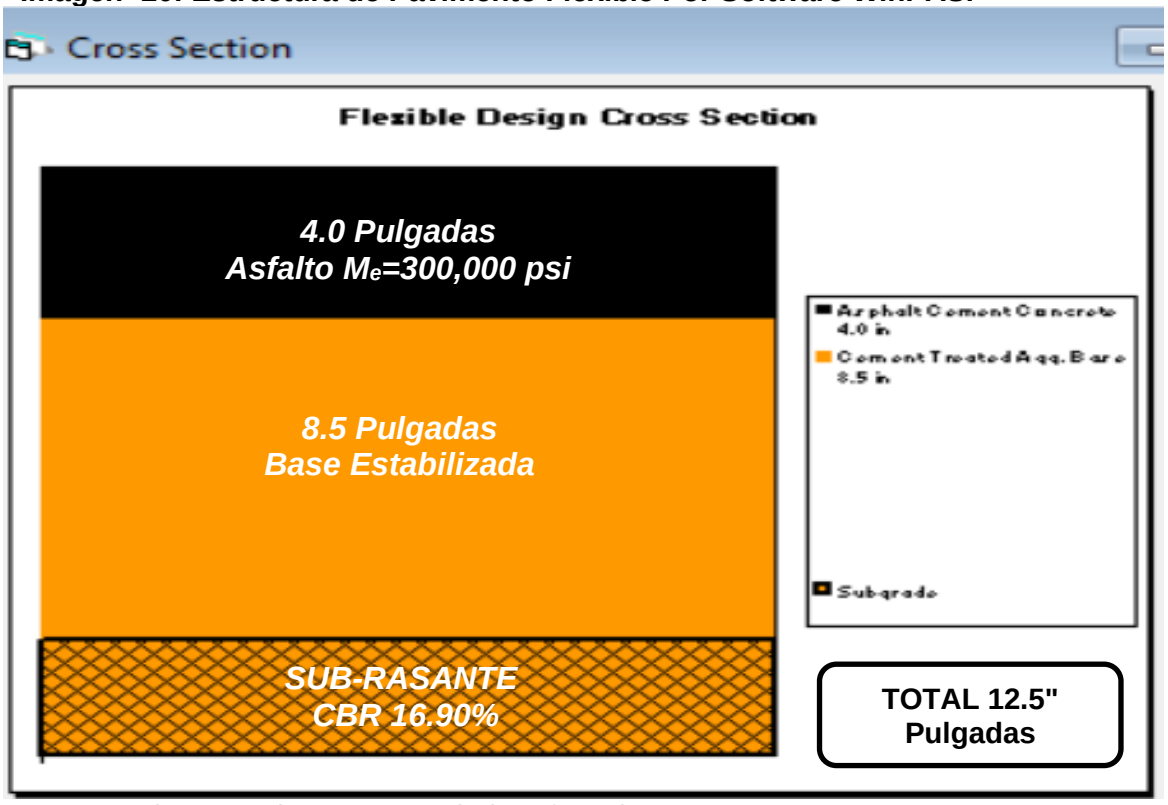
Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1, a_2), los coeficientes de drenaje (m_1, m_2), y por último los espesores (D_1, D_2). Se puede observar que, al proponer los espesores calculados manualmente, estos cumplen, ya que, ΣSN=2.67, es mayor que el SN requerido=2.59.

Imagen- 19: Introducción de Layers de Diseño.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

Imagen- 20: Estructura de Pavimento Flexible Por Software WinPAS.



Fuente: WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

El paquete de la estructura de pavimento flexible tendrá un espesor total de 12.5” pulgadas, 4.0” pulgadas de rodamiento, 8.5” pulgadas base estabilizada.

CONCLUSIONES.

- De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:
- El Tramo en estudio presenta un terreno **Plano** - **Ondulado**, la pendiente máxima de este tramo es de **-7.56%** (0+546.14 – 0+673.91), y la pendiente mínima de este tramo es de **-0.52%** (0+279.65 – 0+446.14).
- Cabe mencionar que se encontraron 9 tramos rectos y 8 tramos curvos a lo largo del tramo, la curva de mayor importancia se ubicada entre las estaciones 00+584.04 y 00+654.57, con un Radio de **90 metros** y una longitud de 67.82 metros.
- Del aforo vehicular de 12 horas diurnas, se obtuvo un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) de 513 vehículo/día.
- Posteriormente se estimó el número de repeticiones de ejes equivalentes basado en el (TD) y factor ESAL's obteniendo un (ESAL's) o W18=1,010,285.00 en un periodo de 15 años trabajando con un Po=4.2, pt=2.0, ∆psi=2.2 y un SN=5 asumido.
- Después de analizar los **estudios de suelo** se concluye que los suelos predominantes en la línea de la plataforma de camino son A-2-4, A-2-6, A-2-7, y A-7-5, en menor cantidad se encontraron suelos como A-1-a (0), A-1-b (0).
- Se propone como base granular el banco de materiales **Nº2 (Zompoperita),** el cual fue estabilizado con cemento al 4%. cumple con las especificaciones de la NIC-2019 Sección: 1003.09 (a y b) para ser utilizado como material Base.
- El uso del software Civil 3D 2020 para el **Diseño Geométrico** del tramo, nos permitió comprobar los cálculos realizados optimizando tiempos y nos permitió presentar planos de manera más ordenada, de tal manera que facilita la identificación de cada elemento del proyecto.

- Se definieron los parámetros tal como; distancia entre ejes (16.15 metros – T3S2), coeficiente de fricción longitudinal (0.19), radio de curvatura máximo (73 metros), pendiente transversal (3%), distancia de visibilidad de parada (63 metros) y rebase (345 metros); en función de la velocidad de diseño (50 kilómetros/hora).

- Los espesores resultantes fueron, de: **4.0 pulgadas** para la carpeta de rodamiento (Asfalto), **8.5 pulgadas** para la base granular estabilizada con cemento al 4%, utilizando material del banco de préstamo Zompoperita, el cálculo del espesor de la subbase resultó negativo por lo cual no necesita dicha capa.

- Finalmente se realizó la comprobación del software WinPAS el SN requerido resulto de 2.59, similar al calculado de manera manual SN=2.60, el cual indico que la sumatoria de los $SN_1+SN_2+SN_3$ =2.67 ≥ 2.59 este cumple para soportar las cargas a la cual estará sometida durante su periodo de diseño.

RECOMENDACIONES.

- La excavación en la vía no deberá sobre pasar los niveles de corte indicados en los planos por medio de la subrasante proyectada en el diseño geométrico a lo largo de los 3.037 kilómetros.

- El material cortado producto de la excavación en la vía deberá ser desalojado en su totalidad y depositado en los botaderos debidamente autorizados por la Alcaldía Municipal de Pantasma.

- Los espesores de diseño deben de ser 8.5 pulgadas de base granular estabilizada al 4%, y por último colocar 4.0 pulgadas de Mezcla Asfáltica en Caliente (M.A.C), para garantizar una estructura adecuada y de buena calidad.

- Antes de colocarse el material de préstamo de base, se recomienda limpiar y escarificar la superficie de subrasante o rodamiento existente al menos en 15 centímetros de profundidad y compactarla a un mínimo de 95% Próctor Estándar (ASTM D 698).

- Durante el proceso de curado no se permitirá el tráfico sobre la capa de material granular estabilizada (Base) se deberá mantener la capa continuamente húmeda, el agua deberá ser aplicada a presión mediate boquillas que produzcan roció fino y uniforme.

- En caso de que se encontrara suelos finos limos arcillosos del grupo A-7 caracterizados por ser suelos altamente deformables con contenidos de humedad alto y de baja resistencia, deberán ser sub-excavado y reemplazado con material de préstamo del banco de Marvin Molina o Zompoperita analizados en el estudio.

- Se debe constatar que el material la capa base esté libre de cualquier otro material contaminante, como basura, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto podría afectar la resistencia de la estructura.

- Inmediatamente antes de proceder a la aplicación del material asfáltico, deberá quitarse toda tierra suelta, polvo y otros materiales objetables que hubiese en la superficie, empleando una barredora mecánica o un soplador o ambos, según fuese necesario. Según lo indicado en la sección 401.3.2 tomo I de la Nic-2019.

- Las temperaturas de aplicación de los materiales asfálticos deberán ajustarse a lo establecido en el Artículo-1002.10 de la Nic-2019.

- Ningún asfalto sobrante deberá ser desechado en bancos de préstamo, cunetas o arroyos sección 401.3.3 tomo I de la Nic-2019.

- Después de aplicado el riego de asfalto, deberá dejarse curar no menos de 24 horas 401.3.4 tomo I de la Nic-2019.

- Las emulsiones y los rebajados asfálticos serán evaluados mediante certificaciones y por medio de mediciones y ensayos de calidad (División I, Art. 102.21) y bajo el Artículo-1002.4 Nic-2019.33.

- Los agregados se deberán ajustar a los requisitos estipulados en los siguientes artículos

    - Agua.....Artículo-1012.1
    - Agregado para lechadas superficiales.....Artículo-1003.13
    - Emulsión Asfáltica.....Artículo-1002.4

- El cemento asfáltico será de composición homogénea, no deberá formar espuma al ser calentado a 177º C (350ºF) y deberá cumplir con los requisitos para cemento asfáltico graduados por viscosidad (AASHTO M226).

- La clase de carpeta de concreto asfáltico en caliente será del tipo “A”.

- El procedimiento que debe ser seguido para el diseño de mezclas asfálticas en caliente es el Método Marshall Norma AASHTO T245 (o ASTM D-1559).

Bibliografía.

AASHTO. (93). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of state Highways and Transportation Officials. (3.a ed.). Washington, D.C.: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

Ayllón Acosta, J. (2004). Guia de pavimentos de concreto Asfaltico. Cochabamba Bolivia: Cochabamba.

Cal y Mayor, R. (2007). Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones. México: 8va Edición Alfa Omega, Grupo Editorial, S.A.

Cárdenas, J. (2013). Diseño geometrico de carreteras. (2. a ed.). Bogota: ECOE Ediciones.

Casanova, L. (2002). Topografía plana. Universidad de los Andes facultad de ingenieria departamento de vias. Mérida: Taller de Publicaciones Facultad de ingeniería, ULA.

Hoel, N. J. (2005). Ingenería de Tránsito y carreteras. Mexico, D.F: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

INIDE. (2019). Santa Maria de Pantasma en cifras. 1-59.

Montejo, A. (2001). Ingenería de Pavimentos para carreteras, (2.a ed). Bogota D.C: Stella Valbuena de Fierro.

Montes de Oca, M. (1989). Topografía. (4. a ed). México D.F: Ediciones AlfaOmega.

MTI. (2008). Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos, Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua: Division General de Planificacion DGP.

MTI. (2018). Anuario de Aforos de Tráfico, Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua: División de Administración Vial.

MTI, M. d. (2019). Red Vial de Nicaragua.

NIC. (2019). Especificaciones Generales para construccion de caminos, calles y puentes. Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua.

SIECA. (2002). Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Guatemala: USAID/SIECA No. 0596-0184.20.

SIECA. (2011). Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geometrico de Carreteras, Secretaia de Integracion Economica (3.a ed.). Guatemala: USAID/SIECA.

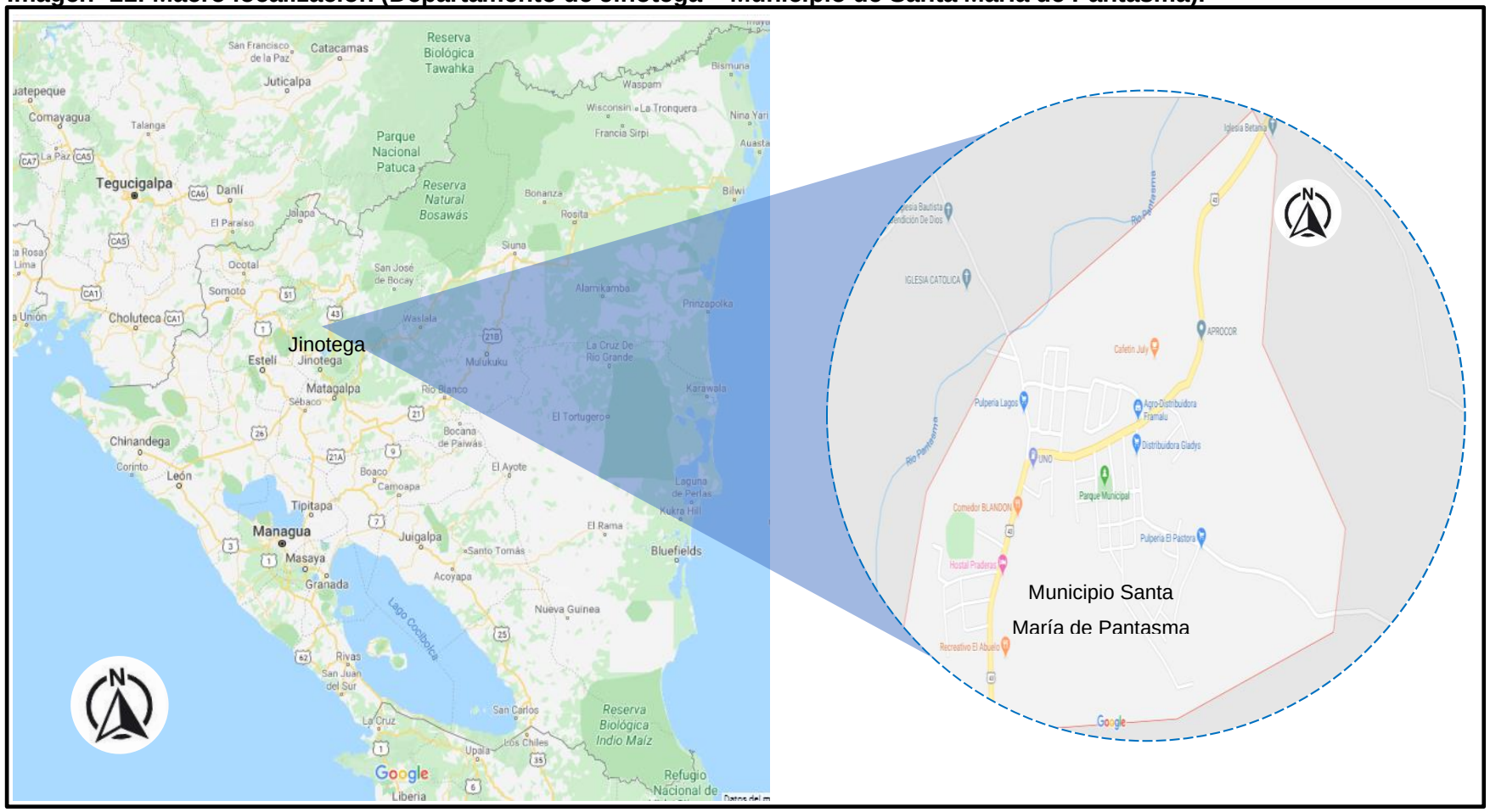
Torres, A., Villate E. (2001). Topografía. (4. a ed). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, Pearson Educación de Colombia Ltda.

Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones, (5. a Ed). Monterrey - México: Limusa Noriega Editores.

ANEXOS

ANEXO CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

Imagen- 21: Macro localización (Departamento de Jinotega – Municipio de Santa María de Pantasma).



Fuente: Google Maps (2020).

Imagen- 22: Micro localización (Empalme Zompoperita –Comunidad el Carmen- Sobre la NIC-43).

Fuente: Google Earth (2020).

Fotos de Situación Actual del Tramo.

Foto N°1: Inicio del tramo en Estudio Comunidad Zompopera (Est. 0+000).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°2: Inexistencia de Cunetas (Est. 0+600).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°3: tramo en buen Estado (Est. 0+920).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°4: Erosión Alta de la superficie de Rodamiento (Est. 2+340).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°5: Desgaste en la superficie de Rodamiento (Est. 2+718).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°6: Fin del tramo (Est. 3+000).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Fotos de Bancos Utilizados.

Foto N°7: Banco de préstamo #1 Est: 1+ 300, a 65 m BI.

Fuente: Levantado por sustentantes.

Foto N°8: Banco de préstamo #1 Marvin Molina (Sr Marvin Molina).

Fuente: Levantado por sustentantes.

Foto N°9: Banco de préstamo #2 Zompoperita Est: 1+815 a 45 metros BI.

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°10: Banco de préstamo #2, propietario (Sra. Reyna Gutiérrez).

Fuente: Levantado por Sustentantes.

Foto N°11: Banco de préstamo #3 Úbeda Est: 3+000, 1 km al norte, 38 BI.

Fuente: Levantado por sustentantes.

Foto N°12: Banco de préstamo #3 Úbeda Propietario (Sr. Alexis Rodríguez).

Fuente: Levantado por sustentantes.

ANEXO CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Tabla 72: Consolidad de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

EST	Poligonal LC		Long	Rumbo	Coordenadas corregidas	
	PI	PF			X	Y
0+000					626378.043	1491778.85
0+020	1	2	20.0	N 42º55'10.1" E	626391.663	1491793.49
0+040	2	3	20.0	N 42º55'10.1" E	626405.282	1491808.14
0+060	3	4	20.0	N 42º55'10.1" E	626418.902	1491822.79
0+080	4	5	20.0	N 42º55'10.1" E	626432.521	1491837.43
0+100	5	6	20.0	N 42º55'10.1" E	626446.14	1491852.08
0+120	6	7	20.0	N 42º55'10.1" E	626459.76	1491866.73
0+140	7	8	20.0	N 42º55'10.1" E	626473.379	1491881.37
0+160	8	9	20.0	N 42º55'10.1" E	626486.999	1491896.02
0+180	9	10	20.0	N 42º55'10.1" E	626500.618	1491910.66
0+200	10	11	20.0	N 42º55'10.1" E	626514.237	1491925.31
0+220	11	12	20.0	N 42º55'10.1" E	626527.857	1491939.96
0+240	12	13	20.0	N 42º55'10.1" E	626541.476	1491954.6
0+260	13	14	20.0	N 41º55'18.6" E	626554.835	1491969.48
0+280	14	15	20.0	N 34º03'31.2" E	626566.024	1491986.03
0+300	15	16	20.0	N 24º53'28.8" E	626574.433	1492004.15
0+320	16	17	20.0	N 15º43'26.5" E	626579.847	1492023.39
0+340	17	18	20.0	N 06º33'24.1" E	626582.128	1492043.23
0+360	18	19	20.0	N 02º04'06.1" W	626581.407	1492063.21
0+380	19	20	20.0	N 04º02'26.0" W	626579.998	1492083.16
0+400	20	21	20.0	N 04º02'26.0" W	626578.588	1492103.11
0+420	21	22	20.0	N 01º30'23.5" W	626578.063	1492123.08
0+440	22	23	20.0	N 08º26'04.8" E	626580.993	1492142.84
0+460	23	24	20.0	N 18º51'07.5" E	626587.446	1492161.74
0+480	24	25	20.0	N 29º16'10.2" E	626597.211	1492179.16
0+500	25	26	20.0	N 39º41'12.9" E	626609.965	1492194.53
0+520	26	27	20.0	N 45º39'02.3" E	626624.267	1492208.51
0+540	27	28	20.0	N 45º40'48.6" E	626638.576	1492222.49
0+560	28	29	20.0	N 45º40'48.6" E	626652.885	1492236.46
0+580	29	30	20.0	N 45º40'48.6" E	626667.194	1492250.43
0+600	30	31	20.0	N 50º10'26.3" E	626682.526	1492263.22
0+620	31	32	20.0	N 62º44'38.8" E	626700.269	1492272.36
0+640	32	33	20.0	N 75º28'35.5" E	626719.59	1492277.37
0+660	33	34	20.0	N 87º22'09.9" E	626739.547	1492278.28
0+680	34	35	20.0	N 89º56'59.7" E	626759.547	1492278.3
0+700	35	36	20.0	N 89º56'59.7" E	626779.547	1492278.32
0+720	36	37	20.0	N 89º56'59.7" E	626799.547	1492278.33
0+740	37	38	20.0	N 89º56'59.7" E	626819.547	1492278.35
0+760	38	39	20.0	N 89º56'59.7" E	626839.547	1492278.37
0+780	39	40	20.0	N 89º56'59.7" E	626859.547	1492278.39
0+800	40	41	20.0	N 89º56'59.7" E	626879.547	1492278.4
0+820	41	42	20.0	N 89º56'59.7" E	626899.547	1492278.42
0+840	42	43	20.0	N 89º56'59.7" E	626919.547	1492278.44

PI= Punto Inicial, **PF=** Punto Final, **LC=** Línea Central, **Long=** Longitud

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma.

Tabla 73: Consolidad de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

EST	Poligonal LC		Long	Rumbo	Coordenadas corregidas	
	PI	PF			X	Y
0+860	43	44	20.0	N 89º56'59.7'' E	626939.547	1492278.46
0+880	44	45	20.0	N 89º56'59.7'' E	626959.547	1492278.47
0+900	45	46	20.0	N 89º56'59.7'' E	626979.547	1492278.49
0+920	46	47	20.0	N 89º56'59.7'' E	626999.547	1492278.51
0+940	47	48	20.0	N 89º56'59.7'' E	627019.547	1492278.53
0+960	48	49	20.0	N 89º56'59.7'' E	627039.547	1492278.54
0+980	49	50	20.0	N 89º56'59.7'' E	627059.549	1492278.56
1+000	50	51	20.0	N 83º39'09.7'' E	627079.485	1492280.78
1+020	51	52	20.0	N 74º42'49.4'' E	627098.711	1492286.03
1+040	52	53	20.0	N 66º35'52.6'' E	627117.049	1492293.97
1+060	53	54	20.0	N 58º06'34.9'' E	627134.014	1492304.53
1+080	54	55	20.0	N 49º37'17.1'' E	627149.236	1492317.47
1+100	55	56	20.0	N 41º07'59.4'' E	627162.38	1492332.52
1+120	56	57	20.0	N 32º38'41.6'' E	627173.159	1492349.35
1+140	57	58	20.0	N 24º09'23.9'' E	627181.336	1492367.58
1+160	58	59	20.0	N 15º40'06.1'' E	627186.733	1492386.82
1+180	59	60	20.0	N 07º16'30.9'' E	627189.263	1492406.64
1+200	60	61	20.0	N 04º12'26.9'' E	627190.731	1492426.59
1+220	61	62	20.0	N 04º12'26.9'' E	627192.198	1492446.53
1+240	62	63	20.0	N 04º12'26.9'' E	627193.665	1492466.48
1+260	63	64	20.0	N 04º12'26.9'' E	627195.133	1492486.42
1+280	64	65	20.0	N 04º12'26.9'' E	627196.6	1492506.37
1+300	65	66	20.0	N 04º12'26.9'' E	627198.068	1492526.32
1+320	66	67	20.0	N 04º12'26.9'' E	627199.535	1492546.26
1+340	67	68	20.0	N 04º12'26.9'' E	627201.002	1492566.21
1+360	68	69	20.0	N 04º12'26.9'' E	627202.47	1492586.15
1+380	69	70	20.0	N 04º12'26.9'' E	627203.937	1492606.1
1+400	70	71	20.0	N 04º12'26.9'' E	627205.404	1492626.05
1+420	71	72	20.0	N 04º12'26.9'' E	627206.872	1492645.99
1+440	72	73	20.0	N 04º12'26.9'' E	627208.339	1492665.94
1+460	73	74	20.0	N 04º12'26.9'' E	627209.806	1492685.88
1+480	74	75	20.0	N 04º12'26.9'' E	627211.274	1492705.83
1+500	75	76	20.0	N 04º12'26.9'' E	627212.741	1492725.78
1+520	76	77	20.0	N 04º22'24.1'' E	627214.266	1492745.72
1+540	77	78	20.0	N 04º36'09.2'' E	627215.871	1492765.65
1+560	78	79	20.0	N 04º29'48.1'' E	627217.439	1492785.59
1+580	79	80	20.0	N 05º20'00.4'' E	627219.298	1492805.5
1+600	80	81	20.0	N 04º45'33.6'' E	627220.958	1492825.44
1+620	81	82	20.0	N 05º24'19.8'' E	627222.842	1492845.35
1+640	82	83	20.0	N 05º24'19.8'' E	627224.726	1492865.26
1+660	83	84	20.0	N 05º24'19.8'' E	627226.61	1492885.17
1+680	84	85	20.0	N 05º24'19.8'' E	627228.494	1492905.08
1+700	85	86	20.0	N 05º24'19.8'' E	627230.378	1492924.99

PI= Punto Inicial, **PF=** Punto Final, **LC=** Línea Central, **Long=** Longitud

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Fantasma en colaboración con Sustentantes.

Tabla 74: Consolidad de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

EST	Poligonal LC		Long	Rumbo	Coordenadas corregidas	
	PI	PF			X	Y
1+720	86	87	20.0	N 05º24'19.8" E	627232.262	1492944.9
1+740	87	88	20.0	N 05º37'41.5" E	627234.224	1492964.81
1+760	88	89	20.0	N 09º07'34.3" E	627237.395	1492984.55
1+780	89	90	20.0	N 13º42'35.4" E	627242.134	1493003.97
1+800	90	91	20.0	N 18º17'36.6" E	627248.41	1493022.96
1+820	91	92	20.0	N 22º52'37.8" E	627256.183	1493041.38
1+840	92	93	20.0	N 27º12'49.1" E	627265.328	1493059.16
1+860	93	94	20.0	N 28º14'50.0" E	627274.793	1493076.78
1+880	94	95	20.0	N 28º14'50.0" E	627284.259	1493094.4
1+900	95	96	20.0	N 28º14'50.0" E	627293.724	1493112.02
1+920	96	97	20.0	N 28º14'50.0" E	627303.19	1493129.63
1+940	97	98	20.0	N 28º14'50.0" E	627312.655	1493147.25
1+960	98	99	20.0	N 28º14'50.0" E	627322.121	1493164.87
1+980	99	100	20.0	N 28º14'50.0" E	627331.586	1493182.49
2+000	100	101	20.0	N 28º14'50.0" E	627341.052	1493200.11
2+020	101	102	20.0	N 28º14'50.0" E	627350.518	1493217.73
2+040	102	103	20.0	N 28º14'50.0" E	627359.983	1493235.34
2+060	103	104	20.0	N 28º14'50.0" E	627369.449	1493252.96
2+080	104	105	20.0	N 28º24'28.5" E	627378.964	1493270.55
2+100	105	106	20.0	N 28º05'11.6" E	627388.38	1493288.2
2+120	106	107	20.0	N 28º14'50.0" E	627397.845	1493305.82
2+140	107	108	20.0	N 28º14'50.0" E	627407.311	1493323.44
2+160	108	109	20.0	N 28º14'50.0" E	627416.776	1493341.05
2+180	109	110	20.0	N 28º14'50.0" E	627426.242	1493358.67
2+200	110	111	20.0	N 28º14'50.0" E	627435.707	1493376.29
2+220	111	112	20.0	N 28º14'50.0" E	627445.173	1493393.91
2+240	112	113	20.0	N 28º14'50.0" E	627454.639	1493411.53
2+260	113	114	20.0	N 28º14'50.0" E	627464.104	1493429.14
2+280	114	115	20.0	N 28º14'50.0" E	627473.57	1493446.76
2+300	115	116	20.0	N 28º14'50.0" E	627483.035	1493464.38
2+320	116	117	20.0	N 28º14'50.0" E	627492.501	1493482
2+340	117	118	20.0	N 28º14'50.0" E	627501.966	1493499.62
2+360	118	119	20.0	N 28º14'50.0" E	627511.432	1493517.24
2+380	119	120	20.0	N 28º14'50.0" E	627520.897	1493534.85
2+400	120	121	20.0	N 28º14'50.0" E	627530.363	1493552.47
2+420	121	122	20.0	N 28º14'50.0" E	627539.828	1493570.09
2+440	122	123	20.0	N 28º14'50.0" E	627549.294	1493587.71
2+460	123	124	20.0	N 28º14'50.0" E	627558.76	1493605.33
2+480	124	125	20.0	N 28º14'50.0" E	627568.225	1493622.95
2+500	125	126	20.0	N 28º14'50.0" E	627577.691	1493640.56
2+520	126	127	20.0	N 28º14'50.0" E	627587.156	1493658.18
2+540	127	128	20.0	N 28º14'50.0" E	627596.622	1493675.8
2+560	128	129	20.0	N 28º14'50.0" E	627606.087	1493693.42
PI= Punto Inicial, **PF=** Punto Final, **LC=** Línea Central, **Long=** Longitud						

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Fantasma en colaboración con Sustentantes.

Tabla 75: Consolidad de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

Listado de BM	Poligonal LC		Long	Rumbo	Coordenadas corregidas	
	PI	PF			X	Y
2+580	129	130	20.0	N 28º24'28.5" E	627615.602	1493711.01
2+600	130	131	20.0	N 28º05'11.6" E	627625.018	1493728.65
2+620	131	132	20.0	N 28º14'50.0" E	627634.484	1493746.27
2+640	132	133	20.0	N 28º14'50.0" E	627643.95	1493763.89
2+660	133	134	20.0	N 26º30'09.1" E	627652.875	1493781.79
2+680	134	135	20.0	N 25º02'19.3" E	627661.339	1493799.91
2+700	135	136	20.0	N 23º24'06.0" E	627669.282	1493818.26
2+720	136	137	20.0	N 21º45'52.7" E	627676.698	1493836.84
2+740	137	138	20.0	N 20º07'39.4" E	627683.58	1493855.62
2+760	138	139	20.0	N 18º33'09.7" E	627689.943	1493874.58
2+780	139	140	20.0	N 18º07'22.9" E	627696.164	1493893.58
2+800	140	141	20.0	N 18º07'22.9" E	627702.386	1493912.59
2+820	141	142	20.0	N 18º07'22.9" E	627708.607	1493931.6
2+840	142	143	20.0	N 18º07'22.9" E	627714.828	1493950.61
2+860	143	144	20.0	N 18º07'22.9" E	627721.049	1493969.61
2+880	144	145	20.0	N 18º07'22.9" E	627727.27	1493988.62
2+900	145	146	20.0	N 18º07'22.9" E	627733.491	1494007.63
2+920	146	147	20.0	N 18º33'32.3" E	627739.856	1494026.59
2+940	147	148	20.0	N 24º31'25.2" E	627748.152	1494044.77
2+960	148	149	20.0	N 32º09'47.1" E	627758.79	1494061.69
2+980	149	150	20.0	N 39º48'09.1" E	627771.584	1494077.04
3+000	150	151	20.0	N 47º26'31.1" E	627786.305	1494090.56
3+020	151	152	20.0	N 55º04'53.1" E	627802.692	1494102.00
3+037.05	152	153	17.05	N 61º23'21.2" E	627817.658	1494110.17
	Longitud Total Lc del proyecto:		3,037.05 metros ≈ 3.04 kilómetros ≈ 9,964.08 pies			

PI= Punto Inicial, **PF=** Punto Final, **LC=** Línea Central, **Long=** Longitud

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Fantasma en colaboración con Sustentantes.

Tabla 76: Estructuras del drenaje menor existente.

DRENAJE MENOR									
COD N°	ESTACIÓN	Coordenadas UTM84 - 16N		Obra Existente		LONG. (m)	Flujo	PEND. (%)	Observación
		X (ESTE)	Y (Norte)	Material	DIAM. (Pulg.)				
Alc1	00+041.80	626,405.4	1,491,808.3	TCR	2-60"	21.25	Der.	5.73%	Presenta entrada atascada por ramas de árboles.
Alc2	00+237.23	626,539.5	1,491,952.2	TCR	1-24"	15.00	Der.	1.00%	No está funcionando. Vegetación densa entrada y salida
Alc3	00+446.54	626,582.5	1,492,148.8	TCR	1-36"	18.75	Der.	3.01%	Amerita conformar el cauce de entrada.
Alc4	01+471.95	627,210.6	1,492,696.7	TCR	1-24"	20.61	Izq.	-1.00%	En buen estado de conservación.
Alc5	02+147.08	627,410.7	1,493,329.7	TCR	1-24"	16.75	Der.	5.89%	En buen estado de conservación.
Alc6	02+218.17	627,443.8	1,493,391.4	TCR	1-24"	13.72	Der.	2.00%	Basura atascada en la entrada.
Alc7	02+533.80	627,593.2	1,493,669.4	TCR	1-24"	12.50	Der.	1.00%	Taludes erosionados entrada y salida.
Alc8	02+764.39	627,691.2	1,493,878.9	TCR	1-36"	20.10	Der.	2.00%	En buen estado de conservación.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 77: Estructuras del drenaje mayor existente.

DRENAJE MAYOR								
COD N°	Coordenadas UTM84 - 16N Estación				LONG. (m)	Ancho (m)	Observación
	Inicial		Final				
	X (ESTE)	Y (Norte)	X (ESTE)	Y (Norte)			
Pt1	00+758		00+774		16.22	10.70	En buen estado de conservación. Amerita conformar quebrada de entrada y salida.
	626,836.1	1,492,278.3	626,852.0	1,492,278.4			

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Anexo Capítulo III: Estudio de Tránsito.

Tabla 78: Formato para conteo de Tránsito Vehicular por Día.

HORA		FECHA DE CONTEO:														SENTIDOS:			
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00	08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Anuario de aforos de tráfico del MTI 2018.

Tabla 79: Conteo de Tránsito Vehicular Diurno (miércoles 05/08/2020).

HORA		FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 05 DE AGOSTO 2020						SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS								UBICACIÓN: 0+000 EMPALME ZOMPOPERITA COMUNIDAD EL CARMEN.			
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	17	4	3	8	0	0	2	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	40
07:00	08:00	10	5	4	6	1	1	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	32
08:00	09:00	9	2	2	6	0	0	2	1	4	1	0	0	0	0	2	0	0	29
09:00	10:00	6	6	1	9	1	0	2	2	2	0	0	0	0	3	0	0	0	32
10:00	11:00	11	3	2	10	0	0	2	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0	34
11:00	12:00	13	7	2	12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	38
12:00	13:00	7	8	5	7	1	0	1	3	2	1	0	0	0	1	0	0	0	36
13:00	14:00	12	4	3	11	1	1	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	39
14:00	15:00	8	3	1	13	0	0	1	2	3	1	0	0	0	0	1	0	0	33
15:00	16:00	10	6	3	5	1	0	2	4	5	0	0	0	0	1	0	0	0	37
16:00	17:00	8	5	2	13	0	0	1	3	1	3	0	0	0	2	0	0	0	38
17:00	18:00	11	7	4	8	1	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	37
TOTAL		122	60	32	108	6	2	20	22	24	13	0	0	0	12	4	0	0	425

Fuente: Levantamiento por Sustentantes.

Tabla 80: Conteo de Tránsito Vehicular Diurno (jueves 06/08/2020).

HORA		FECHA DE CONTEO: JUEVES 06 DE AGOSTO 2020						SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS								UBICACIÓN: 0+000 EMPALME ZOMPOPERITA COMUNIDAD EL CARMEN EST.			
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	11	6	3	13	0	0	2	0	4	1	0	0	0	2	2	0	0	44
07:00	08:00	9	8	2	9	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	36
08:00	09:00	11	5	4	6	0	0	2	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	36
09:00	10:00	3	3	1	5	1	0	2	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	20
10:00	11:00	13	10	0	8	0	1	2	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	39
11:00	12:00	16	4	2	12	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	39
12:00	13:00	9	8	5	15	0	0	1	1	4	1	0	0	0	1	0	0	0	45
13:00	14:00	5	9	3	6	0	1	2	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	30
14:00	15:00	6	10	1	11	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	33
15:00	16:00	8	4	4	7	0	0	2	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	33
16:00	17:00	7	6	2	10	0	0	1	3	6	0	0	0	0	2	1	0	0	38
17:00	18:00	15	5	3	17	0	0	2	2	2	0	0	0	0	1	2	0	0	49
TOTAL		113	78	30	119	3	3	20	16	39	6	0	0	0	10	5	0	0	442

Fuente: Levantamiento por Sustentantes.

Tabla 81: Conteo de Tránsito Vehicular Diurno (viernes 07/08/2020).

HORA		FECHA DE CONTEO: VIERNES 07 DE AGOSTO 2020 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: 0+000 EMPALME ZOMPOPERITA COMUNIDAD EL CARMEN																
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga							Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	18	4	3	15	1	0	2	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	48
07:00	08:00	10	6	2	12	0	0	1	2	1	2	0	0	0	2	0	0	0	38
08:00	09:00	8	8	1	10	1	1	2	5	4	0	0	0	0	0	2	0	0	42
09:00	10:00	6	7	0	9	0	0	2	2	2	0	0	0	0	3	0	0	0	31
10:00	11:00	9	6	3	12	0	1	2	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	38
11:00	12:00	14	4	4	9	0	0	2	4	4	0	0	0	0	1	0	0	0	42
12:00	13:00	8	9	5	13	1	0	1	3	2	2	0	0	0	2	0	0	0	46
13:00	14:00	12	5	3	8	0	2	2	1	6	0	0	0	0	1	0	0	0	40
14:00	15:00	7	8	2	11	0	0	1	2	3	0	0	0	0	3	0	0	0	37
15:00	16:00	9	3	5	13	0	0	2	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	39
16:00	17:00	12	6	2	10	0	1	1	3	1	0	0	0	0	2	2	0	0	40
17:00	18:00	15	3	5	12	0	0	2	4	2	2	0	0	0	1	1	0	0	47
TOTAL		128	69	35	134	3	5	20	29	33	8	0	0	0	18	6	0	0	488

Fuente: Levantamiento por Sustentantes.

Tabla 82: Conteo de Tránsito Vehicular Diurno (sábado 08/08/2020).

HORA		FECHA DE CONTEO: SABADO 08 DE AGOSTO 2020 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: 0+000 EMPALME ZOMPOPERITA COMUNIDAD EL CARMEN.																
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga							Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	9	3	2	8	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	26
07:00	08:00	11	3	3	6	1	1	2	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	33
08:00	09:00	6	2	0	7	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	20
09:00	10:00	9	1	1	8	3	0	2	0	2	0	0	0	0	2	1	0	0	29
10:00	11:00	7	3	0	7	0	1	2	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0	26
11:00	12:00	12	2	2	13	2	0	2	3	3	1	0	0	0	3	0	0	0	43
12:00	13:00	16	3	1	5	1	0	2	2	2	2	0	0	0	1	1	0	0	36
13:00	14:00	7	3	3	9	0	1	2	0	1	3	0	0	0	2	0	0	0	31
14:00	15:00	8	2	0	7	2	0	1	1	3	0	0	0	0	2	0	0	0	26
15:00	16:00	14	4	3	9	0	0	2	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	39
16:00	17:00	8	2	2	5	0	0	1	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	26
17:00	18:00	10	3	2	6	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
TOTAL		117	31	19	90	9	3	22	21	18	15	0	0	0	14	3	0	0	362

Fuente: Levantamiento por Sustentantes.

Tabla 83: Conteo de Tránsito Vehicular Diurno (domingo 09/08/2020).

HORA		FECHA DE CONTEO: DOMINGO 09 DE AGOSTO 2020 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: 0+000 EMPALME ZOMPOPERITA COMUNIDAD EL CARMEN.																
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga							Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.									
06:00	07:00	15	5	3	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	30
07:00	08:00	6	1	4	3	2	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	21
08:00	09:00	7	2	3	7	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	25
09:00	10:00	9	4	4	5	0	2	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	30
10:00	11:00	5	3	0	3	0	0	0	0	3	2	0	0	0	1	0	0	0	17
11:00	12:00	12	3	2	9	2	0	0	1	2	1	0	0	0	3	0	0	0	35
12:00	13:00	3	2	5	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	17
13:00	14:00	10	0	3	3	0	1	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	24
14:00	15:00	3	2	4	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15
15:00	16:00	5	1	3	3	1	0	0	4	3	1	0	0	0	1	0	0	0	22
16:00	17:00	15	2	5	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	31
17:00	18:00	6	2	2	2	1	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	21
TOTAL		96	27	38	48	7	4	0	20	27	10	0	0	0	9	2	0	0	288

Fuente: Levantamiento por Sustentantes.

Tabla 84: Factores de Ajustes para ECD-111 bajo la dependencia de la EMC-107 Empalme Sébaco San Isidro.

Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.25	1.33	1.21	1.26	1.30	1.20	1.17	1.32	1.43	1.44	1.00	1.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.18
Factor Semana	1.01	1.02	1.07	0.95	0.99	1.10	1.00	0.88	0.89	0.87	1.00	0.92	1.00	1.00	0.88	1.00	0.90
Factor Fin de Semana	0.98	0.96	0.86	1.14	1.03	0.81	1.01	1.48	1.43	1.60	1.00	1.28	1.00	1.00	1.51	1.00	1.41
Factor Expansión a TPDA	1.09	0.96	0.91	0.93	0.94	0.99	0.95	0.91	0.99	0.92	13.67	0.82	1.00	1.00	1.08	1.13	0.84

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.20	1.27	1.16	1.20	1.20	1.43	1.15	1.30	1.40	1.38	1.69	1.46	1.00	1.00	1.13	1.00	1.13
Factor Semana	1.01	1.02	0.97	0.95	0.91	0.92	0.97	0.87	0.89	0.88	1.00	0.97	1.00	1.00	0.79	1.00	0.86
Factor Fin de Semana	0.97	0.96	1.07	1.17	1.32	1.27	1.07	1.60	1.43	1.50	1.00	1.08	1.00	1.00	2.90	1.00	1.65
Factor Expansión a TPDA	0.94	1.04	1.15	1.06	1.02	1.18	1.05	1.06	1.08	1.22	0.35	1.23	1.00	1.00	1.31	1.13	1.24

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.24	1.29	1.18	1.23	1.22	1.30	1.16	1.28	1.49	1.33	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10
Factor Semana	1.00	1.01	0.94	0.96	0.96	1.14	0.98	0.87	0.90	0.92	1.00	0.92	1.00	1.00	0.88	1.00	0.93
Factor Fin de Semana	1.00	0.98	1.20	1.12	1.11	0.76	1.07	1.59	1.41	1.27	1.00	1.26	1.00	1.00	1.50	1.00	1.24
Factor Expansión a TPDA	0.99	1.00	0.97	1.02	1.05	0.88	1.00	1.04	0.94	0.91	13.67	1.04	1.00	1.00	0.76	0.81	1.01

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017, Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) Pág. 281.

Tabla 85: Indicadores Macroeconómicos de PIB, POB.

Conceptos-Concept	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PIB (a precios constantes)[1/] - Real GDP[1/]										
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	4,026.0	4,101.5	4,464.7	4,872.0	6,763.7	7,423.4	8,497.0	8,298.7	8,758.6	9,774.3
PIB (en millones US$) - GDP (million of US$)	5,244.7	5,312.7	5,380.5	5,450.4	5,638.0	5,707.9	5,778.8	5,850.5	5,923.1	5,996.6
Población (miles de habitantes)[8/] - Population (thousands)[8/]	3,623.2	4,498.4	5,345.5	6,338.1	8,121.8	9,847.8	10,369.5	12,425.7	14,549.8	18,278.0
Base monetaria - Monetary base	23,471.3	26,708.3	31,155.9	35,238.4	38,792.8	45,454.7	48,776.4	56,489.1	70,400.3	82,043.5
Depósitos totales[9/] - Total deposits[9/]	11,327.1	14,724.6	18,776.3	24,415.5	31,941.8	42,026.3	47,198.6	44,241.7	45,289.1	53,852.4
Cartera de crédito bruta[10/] - Gross credit portfolio[10/]	(2,903.1)	(3,754.8)	(3,565.5)	(3,616.2)	(3,464.2)	(2,905.7)	(4,875.2)	(6,576.7)	(4,121.9)	(3,457.3)
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(1,117.5)	(1,404.8)	(965.9)	(790.0)	578.6	1,311.1	(1,027.8)	(2,195.7)	(1,101.6)	354.2
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)										

Conceptos-Concept	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PIB (a precios constantes)[1/] - Real GDP[1/]							
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP							
PIB (en millones US$) - GDP (million of US$)	10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,756.7	13,286.0	13,843.7	13,117.9
Población (miles de habitantes)[8/] - Population (thousands)[8/]	6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9	6,393.8	6,460.4
Base monetaria - Monetary base	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0	33,113.6	30,132.7
Depósitos totales[9/] - Total deposits[9/]	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1	160,719.0	127,434.1
Cartera de crédito bruta[10/] - Gross credit portfolio[10/]	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6	167,150.3	152,240.2
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.3)	(9,906.2)	(11,823.3)	(12,742.6)	(19,449.3)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	(626.5)	(3,024.2)	(4,541.5)	(5,593.4)	(7,580.1)	(8,453.7)	(16,945.1)

Fuente: Informe Anual del BCN -2018. (Descarga de archivo de Excel digital)

Tabla 86: Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tránsito.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimotos, Cuadraciclos,Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasejeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. Tambien se incluyen las fugonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi - Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos **(Tractores - Arados - Cosechadoras)**
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, **Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.**
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, tambien se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2018.

.

Tabla 87: Estaciones ECD cercanas al tramo de estudio según vector de correspondencia.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
243	NIC-43	4104	ECD	Bocas de Vilán - Emp. Maleconcito	Jinotega	2015	155	2	19	102			11	9	34	5		1					1	339
						2011	64	1	4	35			12	12	16	3								147
						1999	5		14	37			9	3	17	5							1	91
				EMC: 1802																				
				Tasa Crecimiento:	7.32%	2018	192	2	23	126			14	11	42	6		1					1	419
244	NIC-43	4105	ECD	Emp. Maleconcito - Wiwili	Jinotega	2015	241	3	15	119			15	12	24	4		1						434
						2011	85	1	11	21			10	7	16	1								152
						2008	191		7	49			18	8	21	1								295
						2002	45		13	43			17	3	17	2		1					1	142
						1999	10		6	48			17	21	20	13						3		139
				EMC: 1802																				
				Tasa Crecimiento:	7.32%	2018	298	4	19	147			19	15	30	5		1						536
245	NIC-43	4108	ECS	Wiwilí - Wamblán	Jinotega	2015	147		3	58			1	10	33	1								253
						2011	53		2	15				1	15	1								87
						1999	6		1	15			9		3	1								35
					7.32%	2018	182		4	72			1	12	41	1								313

Bocas de Vilan- Emp. Maleconcito (NIC-43)

	AÑOS	REGISTRO
EST. ECD 4104 NO POSEE SUFICIENTES REGISTROS	2018	419
	2015	339
	2011	147
	1999	91

Emp. Maleconcito- Wiwilí (NIC-43)

	AÑOS	REGISTRO
EST. ECD 4105 NO POSEE SUFICIENTES REGISTROS	2018	536
	2015	434
	2011	152
	2008	295
	2002	142

Wiwilí- Wamblán (NIC-43)

	AÑOS	REGISTRO
EST. ECD 4108 NO POSEE SUFICIENTES REGISTROS	2018	313
	2015	253
	2011	87
	1999	35

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2018. Pág. 183.

Tabla 88: Listado Histórico TPDA ECD-111 (Condega-Shell Palacagüina).

NIC-1	111	ECD	Condega - Shell Palacagüina		447	438	227	953	29	5	134	266	173	49	56	294			1		2	3,074
				2015	988	541	220	1258	81	10	170	270	403	50	3	348	1				18	4,361
				2012	416	292	187	784	17	3	162	260	215	42		238				1	5	2,622
				2011	282	288	230	821	22	8	156	260	294	62		313					4	2,740
				2009	442	381	223	927	18	4	176	230	189	39	1	245					6	2,880
				2008	394	403	215	921	22	5	202	226	216	44		299			2		6	2,955
				2007	196	332		814	19	4	193	188	210	44	14	288		1			3	2,508
				2006	180	328	224	825	13	4	185	200	226	42		290					3	2,521
				2005	82	262	187	691	13	5	166	145	222	29	12	293					2	2,110
				2004	76	254	180	654	12	3	159	123	200	28		287			1		2	1,979
				2003	106	228	194	676	14	2	164	124	200	37	1	254	1		0		4	2,005
				2002	88	161	157	633	12		141	95	171	38		119					1	1,615
				2001	95	90	157	619	9	1	124	93	197	63		92			1		3	1,544
				2000	90	99	158	594	7	1	129	89	185	33		127			3	0	3	1,516
				1999	64	93	177	578	6	2	128	86	245	51	1	99		1	1	1	5	1,537
				1998	66	106	150	549	5		98	51	176	19	1	61					1	1,283
				1997	61	84	120	470	6		81	46	132	24		56			2		2	1,084
				1996	50	104	104	498	6	21	84	67	186	16	1	45		1	14		12	1,209
5.56%				2018	472	462	240	1006	31	5	141	281	183	52	59	310			1		2	3,245

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2018. Pág. 107.

Tabla 89: Crecimiento Económico de Nicaragua Año-2010-2018.

Principales indicadores macroeconómicos - Main macro

Conceptos - Concepts	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Actividad económica[1/] y empleo[2/] - Economic activity[1/] and employment[2/]									
PIB a precios constantes (tasas de crecimiento) - Real GDP growth (%)	4.4	6.3	6.5	4.9	4.8	4.8	4.6	4.7	(3.8)
PIB per-cápita (en US$) - GDP per cápita (US$)	1,478.7	1,630.0	1,734.9	1,790.4	1,916.8	2,036.9	2,099.6	2,165.2	2,030.5
PIB per-cápita (tasas de crecimiento) - GDP per cápita growth (%)	4.2	10.2	6.4	3.2	7.1	6.3	3.1	3.1	(6.2)
Tasa de desempleo abierto - Unemployment rate (%)	7.9	5.9	5.9	5.7	6.6	5.9	4.5	3.7	5.5
Porcentaje de ocupados con subempleo - Underemployment as a percent of employed persons (%)	50.5	51.8	51.0	50.1	49.9	50.2	44.4	42.9	44.2
Precios y tipo de cambio - Prices and exchange rate									
Inflación anual acumulada nacional (IPC año base=2006) - National annual inflation (CPI 2006=100)	9.2	8.0	6.6	5.7	6.5	3.1	3.1	5.7	3.9
Inflación anual acumulada (Managua)[3/] - Managua annual inflation[3/]	9.1	8.6	7.1	5.4	6.5	2.8	3.1	5.8	3.3
Devaluación anual (%) - Annual devaluation (%)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Tipo de cambio oficial promedio (C$ x US$) - Average exchange rate (C$ x US$)	21.4	22.4	23.5	24.7	26.0	27.3	28.6	30.1	31.6
Tipo de cambio oficial a fin de período (C$ x US$) - Exchange rate, end of period (C$ x US$)	21.9	23.0	24.1	25.3	26.6	27.9	29.3	30.8	32.3
Sector monetario (tasas de crecimiento) - Monetary sector (percentage growth)									
Base monetaria - Monetary base	17.1	25.6	4.9	6.7	14.8	26.2	(1.8)	13.6	(9.0)
RIB / base monetaria (número de veces) - Gross international reserves/monetary base (number of times)	2.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.3	2.5	2.6	2.4
Depósitos totales - Total deposits	24.4	17.6	5.5	13.9	19.0	13.9	8.6	10.7	(20.7)
Cartera de crédito bruta - Banks' gross portfolio	2.9	19.1	29.2	21.3	19.5	23.0	18.5	13.9	(8.9)
Saldo de reservas internacionales netas (millones US$) - Net international reserve (million of US$)	1,631.6	1,710.5	1,718.1	1,840.0	2,153.2	2,401.2	2,387.5	2,716.2	2,038.9
Saldo de reservas internacionales brutas (millones US$) - Gross international reserve (million of US$)	1,799.0	1,892.3	1,887.2	1,993.0	2,276.2	2,492.3	2,447.8	2,757.8	2,261.1
Sector Público No Financiero (% del PIB)[4/] - Non-financial public sector - NFPS (as % GDP)[4/]									
Balance antes de donaciones - Balance of Non-Financial Public Sector (before grants)	(2.2)	(1.6)	(1.7)	(2.1)	(2.6)	(2.8)	(3.1)	(3.1)	(4.7)
Balance después de donaciones - Balance of NFPS (after grants)	(0.6)	0.2	(0.3)	(1.1)	(1.5)	(1.6)	(2.0)	(2.0)	(4.1)
Financiamiento externo - External financing NFPS	2.5	1.9	2.0	2.3	2.5	2.6	2.3	3.2	1.9
Financiamiento interno[5/] - Internal financing NFPS[5/]	(1.9)	(2.0)	(1.7)	(1.1)	(1.0)	(1.0)	(0.3)	(1.2)	2.2
Sector externo (millones US$)[6/] - External sector (millions of US$)[6/]									
Cuenta corriente (% del PIB) - Current account (as % GDP)									

Fuente: Informe Anual BCN-2018 Pág. 8 pdf.

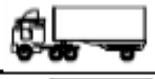
Nota: *La tasa de crecimiento promedio de los últimos 10 años corresponde a 4.13%.*

Tabla 90: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Livianos y pasajeros).

Tipo de Vehiculo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 91: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Pesados).

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 92: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Simples.

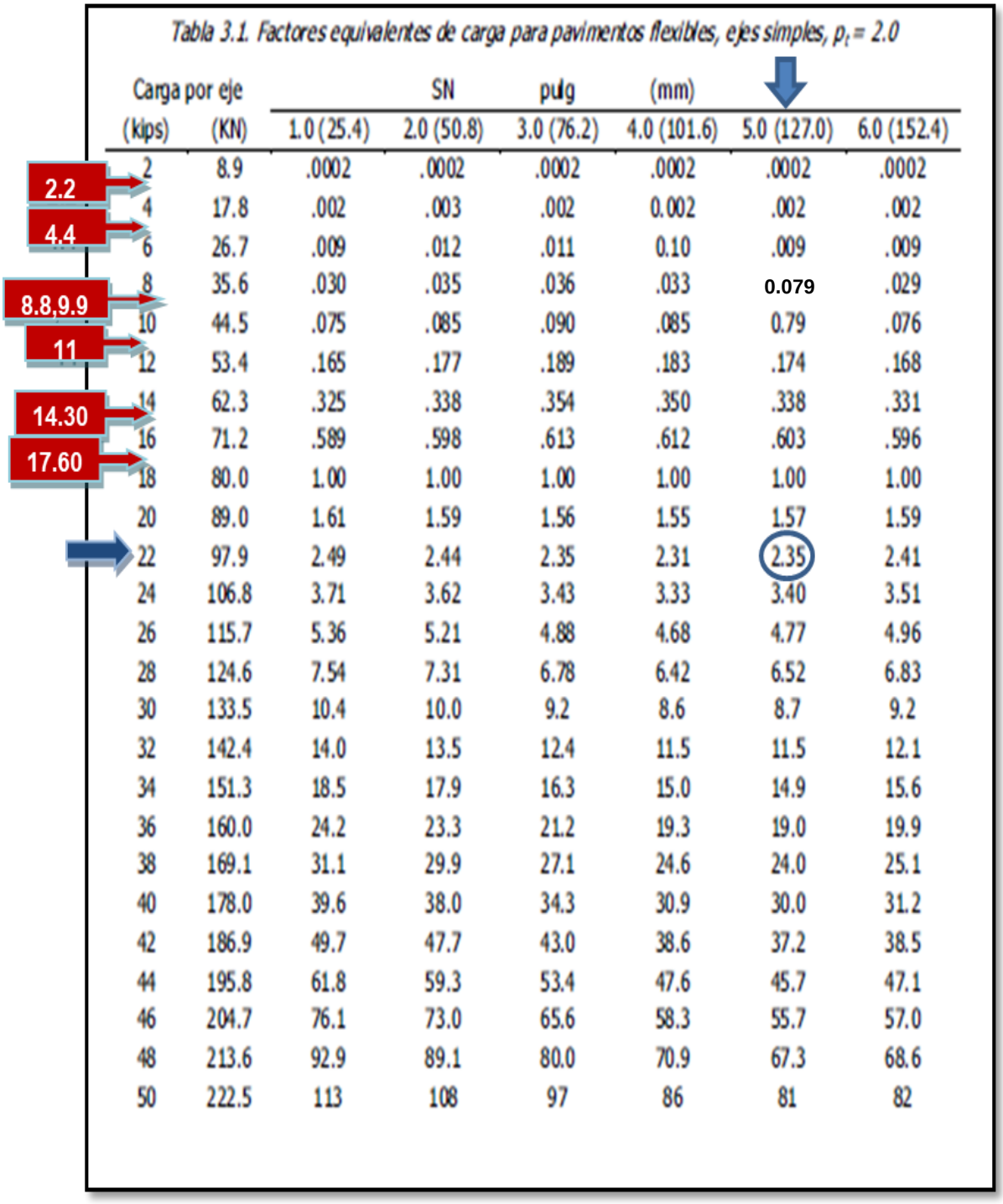


Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips)	Carga por eje (KN)	SN 1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	pulg 3.0 (76.2)	(mm) 4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	0.079	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.79	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Tabla 93: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips)	Carga por eje (KN)	SN 1.0 (25.4) pulg	SN 2.0 (50.8) pulg	SN 3.0 (76.2) pulg	SN 4.0 (101.6) (mm)	SN 5.0 (127.0)	SN 6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14,7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17,0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41,2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0.	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0

35.20

36.30

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

En las **Tablas 94, 95 y 96** se realizaron los cálculos de interpolación obteniendo los factores ESAL para cada peso por eje por cada tipo de vehículo.

Tabla 94: Interpolación Lineal (2.2, 4.4, 8.8).

EJE SIMPLE= 2.2 kips		EJE SIMPLE= 4.4 kips		EJE SIMPLE= 8.8 kips	
(kips)	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**
2.0	*0.0002*	*4.0*	*0.002*	*8.0*	*0.031*
2.2	***X***	***4.4***	***X***	***8.8***	***X***
4.0	*0.002*	*6.0*	*0.009*	*10.0*	*0.079*
X = 0.00038		***X = 0.0034***		***X = 0.0502***	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 95: Interpolación Lineal (9.9, 11, 14.30).

EJE SIMPLE= 9.9 kips		EJE SIMPLE= 11 kips		EJE SIMPLE= 14.30 kips	
(kips)	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**
8.0	*0.031*	*10.0*	*0.079*	*14.0*	*0.338*
9.9	***X***	***11.0***	***X***	***14.30***	***X***
10.0	*0.079*	*12.0*	*0.0174*	*16.0*	*0.603*
X = 0.077		***X = 0.1265***		***X = 0.378***	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 96: Interpolación Lineal (17.60, 35.20 y 36.30).

EJE SIMPLE= 17.60 kips		EJE DOBLE= 35.20 kips		EJE DOBLE= 36.30 kips	
(kips)	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**	**(kips)**	**SN=5**
16.0	*0.603*	*34*	*1.08*	*36.0*	*1.38*
17.60	***X***	***35.20***	***X***	***36.30***	***X***
18.0	*1.00*	*36*	*1.38*	*38.0*	*1.73*
X = 0.9206		**X = 1.26**		***X = 1.43***	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

ANEXO CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Tabla 97: Clasificación de suelos AASHTO M-145.

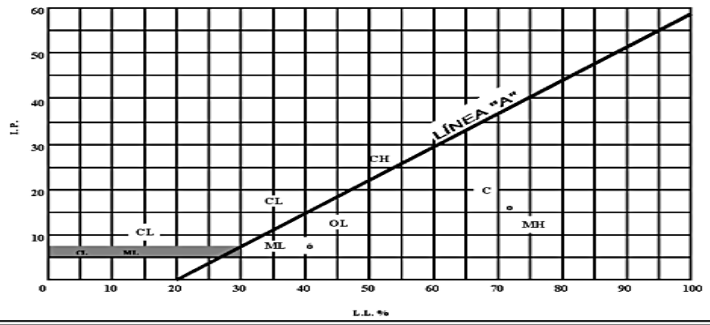
CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del35% que pasa el tamiz Nº 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
% que pasa el Tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno					Regular a Deficiente					

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, (Norma AASHTO M-145).

Tabla 98: Clasificación de suelos S.U.C.S.

DIVISIÓN MAYOR					SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%:GW,GP,SW,SP; más del 12%: GM,GC,SM,SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. **	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$
					GP	Gravas mal graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
				GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. / Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					GC	Gravas arcillosas,mezclas de gravas,arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.
					SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
				ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM d u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. / Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕		LIMOS Y ARCILLAS	Límite Líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad
					CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
					OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		LIMOS Y ARCILLAS	Límite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	
					CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
					OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	



Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO-93.

Tabla 99: Sondeos del Tramo en Estudio (Est 00+000, 03+000).

REPORTE DE LABORATORIO

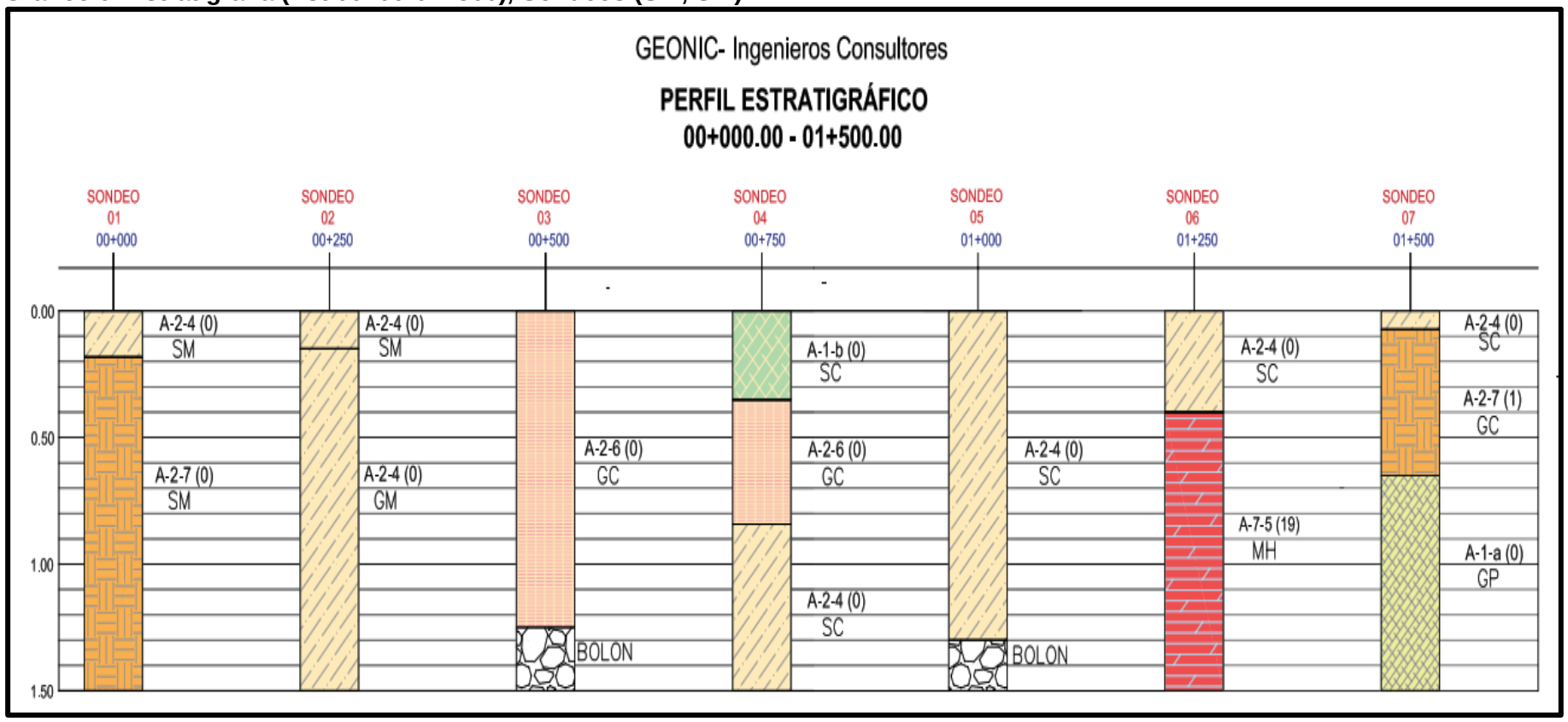
Resultados de las propiedades físicas y capacidad soporte de suelos

PROYECTO:	Estudio de factibilidad y diseño para el mejoramiento del camino Empalmel Zompoperita - El Carmen (3.0 Kms.)	CLIENTE:	Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI		SUPERVISIÓN:	TEC

Localización de Sondeo		Identificacion de Muestras		Estratigrafía			NORMA: AASHTO T 27 y AASHTO T 11											NORMA: AASHTO T 90			Clasificación	AASHTO T 99		AASHTO T 193			Clasificación SUCS
							Granulometría (% que pasa)												Limites de Atterberg				Densidad máxima	Humeda d óptima	Valores de CBR			
Estación	Banda	Sondeo No.	Muestra No.	desde (cm)	hasta (cm)	espesor (cm)	3" 75	2 1/2" 63	2" 50	1 1/2" 38	1" 25	3/4" 19	1/2" 13	3/8" 10	No. 4 5	No. 10 2	No. 40 0.425	No. 200 0.075	L.L %	L.P %	I.P %	NORMA: AASHTO M 145	(kg/m3)	(%)	90 (%)	95 (%)	100 (%)	
00+000	Izquierda	1	1	0	18	18	100	100	100	97	93	88	81	74	60	40	27	20	31	24	7	A-2-4 (0)	2,000	16	33	41	44	SM
00+000	Izquierda	1	2	18	150	132	100	100	100	100	100	100	96	90	79	56	33	20	46	29	17	A-2-7 (0)	1,976	16	27	33	36	SM
00+250	L.C.	2	3	0	15	15	100	100	100	97	93	88	81	74	60	40	27	20	31	24	7	A-2-4 (0)	2,000	16	33	41	44	SM
00+250	L.C.	2	4	15	150	135	100	100	97	89	81	73	64	58	46	34	25	14	35	25	10	A-2-4 (0)	2,010	18	35	42	42	GM
00+500	Derecha	3	5	0	125	125	100	100	100	100	94	88	81	72	54	42	30	20	35	20	15	A-2-6 (0)	1,970	12	10	18	26	GC
00+500	Derecha	3		125	a mas		Bolones																					
00+750	Izquierda	4	6	0	35	35	100	100	100	97	91	87	78	71	57	46	31	12	25	20	5	A-1-b (0)	2,031	6	16	33	50	SC
00+750	Izquierda	4	7	35	84	49	100	100	100	100	95	90	82	74	56	46	32	23	36	20	16	A-2-6 (0)	1,975	13	9	17	25	GC
00+750	Izquierda	4	8	84	150	66	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	29	44	SC
01+000	L.C.	5	9	0	130	130	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	29	44	SC
01+000	L.C.	5		130	a mas		Bolones																					
01+250	Derecha	6	10	0	40	40	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	29	44	SC
01+250	Derecha	6	11	40	150	110	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	81	74	62	40	22	A-7-5 (19)	1,564	21	4	5	8	MH
01+500	Izquierda	7	12	0	8	8	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	29	44	SC
01+500	Izquierda	7	13	8	65	57	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
01+500	Izquierda	7	14	65	150	85	100	100	82	68	53	43	32	26	12	10	5	3	N.P.	N.P.	N.P.	A-1-a (0)	2,020	8	20	35	52	GP
01+750	L.C.	8	15	0	40	40	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
01+750	L.C.	8	16	40	150	110	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	24	41	SC
02+000	Derecha	9	17	0	40	40	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	29	44	SC
02+000	Derecha	9	18	40	150	110	100	100	82	68	53	43	32	26	12	10	5	3	N.P.	N.P.	N.P.	A-1-a (0)	2,020	8	20	35	52	GP
02+250	Izquierda	10	19	0	78	28	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
02+250	Izquierda	10		78	a mas		Roca																					
02+500	L.C.	11	20	0	25	25	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
02+500	L.C.	11	21	25	150	125	100	100	100	93	87	82	73	64	49	37	25	20	40	18	22	A-2-6 (0)	1,975	13	9	17	25	GC
02+750	Derecha	12	22	0	15	15	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
02+750	Derecha	12	23	15	105	90	100	100	100	97	93	89	82	80	73	65	39	27	31	22	9	A-2-4 (0)	1,890	9	13	24	41	SC
02+750	Derecha	12		105	a mas		Bolones																					
03+000	Izquierda	13	24	0	46	46	100	100	100	96	92	88	82	76	62	53	38	27	41	22	19	A-2-7 (1)	1,815	17	8	15	22	GC
03+000	Izquierda	13	25	46	150	104	100	100	100	93	87	82	73	64	49	37	25	20	40	18	22	A-2-6 (0)	1,975	13	9	17	25	GC

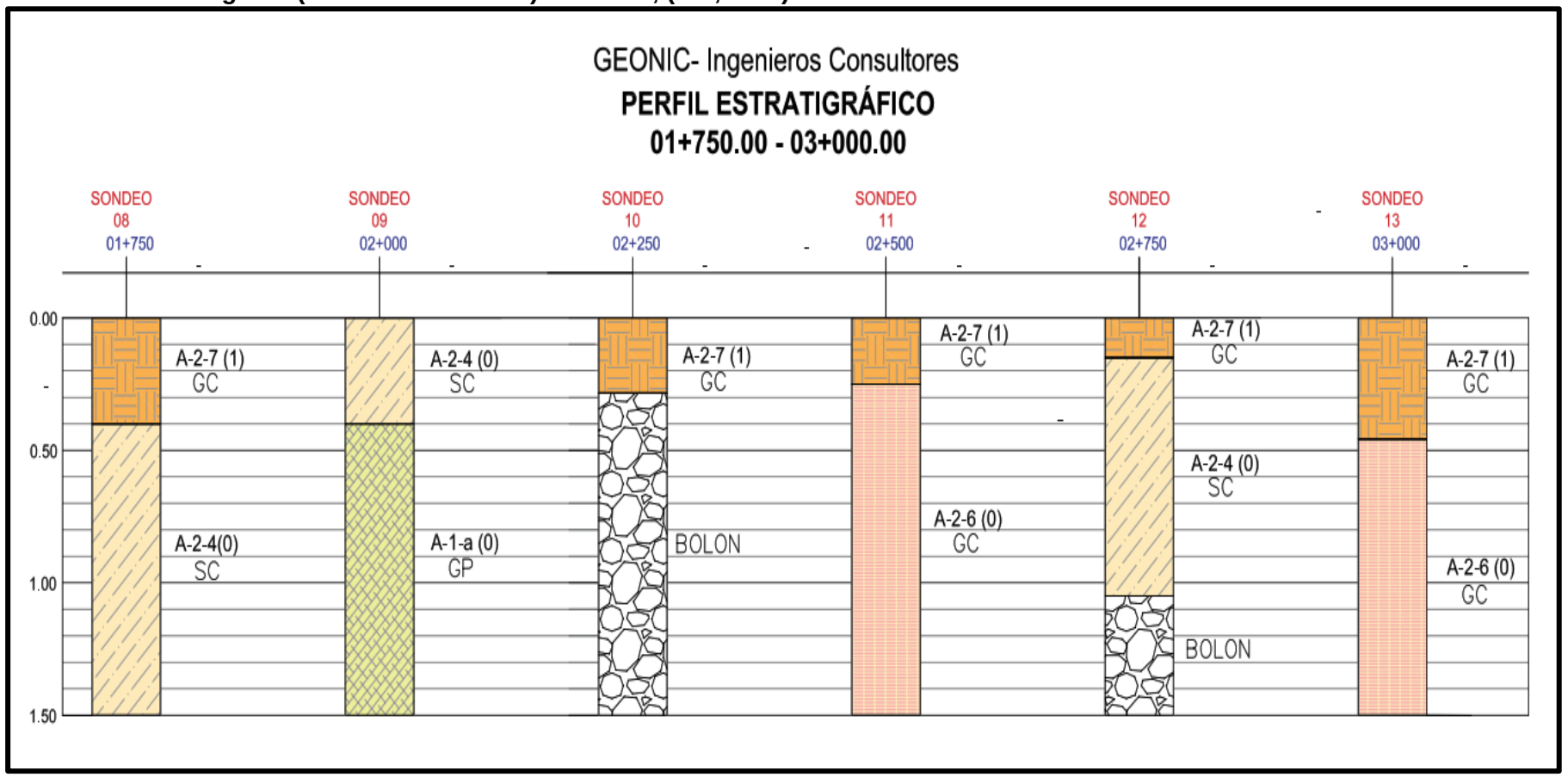
Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Gráfico 9: Estratigrafía (Est 00+00-01+500), Sondeos (S-1, S-7).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico 10: Estratigrafía (Est 01+750-03+000) Sondeos, (S-8, S-13).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 100: Características físico-mecánicas de los Bancos de Prestamos Identificados.

Proyecto:	Estudios de Factibilidad y Diseño del mejoramiento del camino Emp Zompoperita -El Carmen (3.0 Kms).												
Dueño del proyecto:	MINISTERIO DE TANSPORTE E INFRAESTRUCTURA (M.T.I.)				Bancos:	#1 Marvin Molina		#2 Zompoperita			#3 Ubeda		
GEONIC	ESTACION	Distancia del Camino (m, Izq/Der)	Muestra No.	DESCRIPCION DEL MATERIAL	Clasificación AASHTO		PVSS (kg/m^3)	PVS Max (kg/m^3)	PVSC (kg/m3)	% Humedad	Valor de CBR (%)		
					Grupo	IG					90%	95%	100%
#1 Marvin Molina	1+300	65 metros. Lado Izq/ Comunidad Zompoperita	1	Fragmentos de roca grava y arena, color marron	A-1-a(0)	0	1410	1990	1537	12%	34	43	51
	Coordenadas UTM	X:626622 Y:1492274											
#2 Zompoperita	1+815	45 metros. Lado Derecho/ Comunidad Zompoperita	1	Arena con limo y grava, color café claro	A-1-a (0)	0	1378	1935	1488	13.8%	52	73	94
	Coordenadas UTM	X:629447 Y:1492155											
#3 Ubeda	De la 3+000 4 km al norte	38 metros. Lado Izq/ Comunidad Los Laureles	1	Arena limosa con grava color amarillento.	A-1-b (0)	0	1350	1537	1445	15.0%	47	55	67
	Coordenadas UTM	X:624639 Y:1491028											

IG=Indice de Grupo m = metros km = Kilometros Izq= Izquierda Der= Derecha Pvss: Peso Volumetrico seco suelto Pvs Max: Peso Volumetrico seco Maximo Pvsc: Peso volumetrico seco compacto

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS

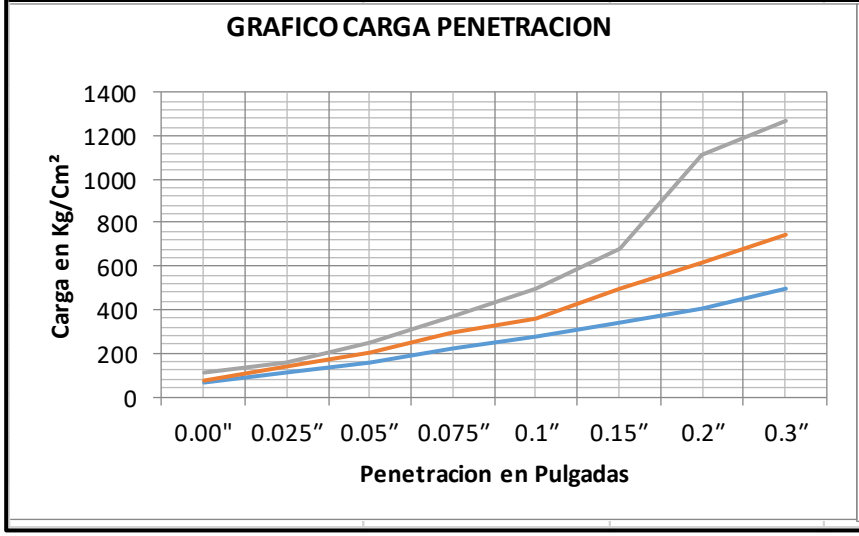
BANCO No.	UBICACIÓN	SONDEO	% QUE PASA POR TAMIZ										LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASIFICACIÓN AAHSTO	CBR AL 95%
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8	N°4	N°10	N°40	N°200					95%
#1 Marvin Molina	Zompoperita	STOCK	100	100	90	74	51	47	42	13	9	7	22%	17%	5%	A-1-a (o)	43
#1 Zompoperita	Zompoperita	STOCK	100	96	95	92	83	76	57	45	22	8	NP	NP	NP	A-1-a (o)	73
#3 Úbeda	Los Laureles	STOCK	100	100	97	88	75	66	41	28	16	9	24	20	4	A-1-b (o)	55

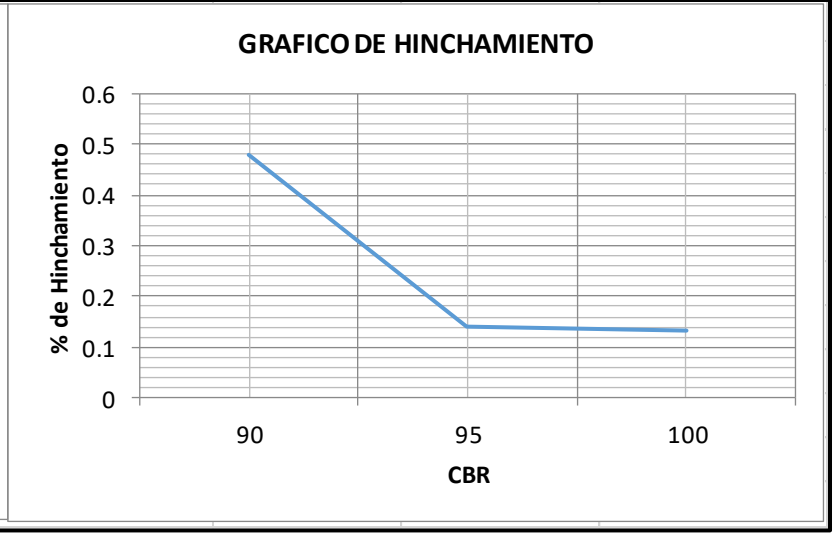
Nota: El Banco de préstamos N°2 no posee LL: Limite liquido LP: Limite Plástico IP: Índice plástico, NP: No posee valor.

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma- Laboratorio GEONIC.

Tabla 101: Resultados de Laboratorio del Banco de Préstamo N#1 Marvin Molina.

Ensayo carga Penetración						
Anillo	Molde 1		Molde 2		Molde3	
	Dial	Carga	Dial	Carga	Dial	Carga
0.025″	20	98	25	205	35	308
0.05″	36	138	44	307	50	455
0.075″	50	179	66	397	80	655
0.1″	70	298	95	512	120	833
0.15″	90	498	115	654	160	978
0.2″	110	740	160	876	220	1080
0.3″	130	1008	200	1115	360	1222
0.4″	160	1210	240	1309	410	1455
C.B.R		34		43		51



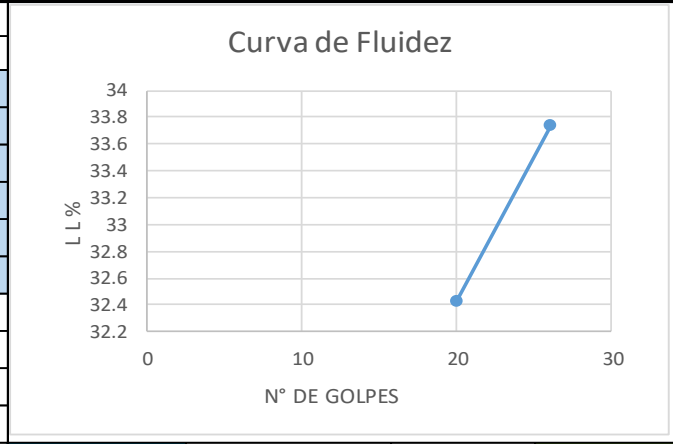


Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Tabla 102: Ensaye Desgaste Los Ángeles Banco N#1 Marvin Molina.

DESGASTE DE LOS ANGELES/ BANCO DE PRESTAMO MARVIN MOLINA	
DETERMICACION No.	-
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO	-
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.12	-
DIFERENCIA	-
% APROXIMADO DE DESGASTE	-
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.12	-
% DEFINITIVO DE DESGASTE	-
RESULTADO DE INTEMPERISMO	

LIMITE LIQUIDO			**LIMITE PLASTICO**	
AASHTO T 89, METODO A			**AASHTO T 90**	
No. Golpes de cierre:	20	26		
Factor	0.973	1.005		
No. Tara:	20	26	66	A-1
Peso de Tara (gr):	15.8	17.7	16.1	15.9
P de Tara + Mat. Húmedo (gr)	35	36.4	29.4	28.7
P de Tara + Mat. Seco (gr)	30.2	31.7	26.9	26.2
Peso del Material Humedo (gr)	19.2	18.7	13.3	12.8
Peso del Material Seco (gr):	14.4	14	10.8	10.3
Peso del Agua (gr):	4.8	4.7	2.5	2.5
% Límite Líquido:	32.43	33.74	23.15	24.27
RESULTADO	LIMITE LIQUIDO:	22	LIMITE PLASTICO	17
LL-30	-8.00		**Clasificación AASHTO**	



IP	5	Tipo de Suelo:	Plástico
A-1-a (0)		INDICE	0

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Las muestras que no presentan resultados de ensayes de Desgate de los Ángeles e Intemperismo se debe a que corresponden a materiales terrosos. Estos ensayes se aplican solamente en gravas, arenas y materiales rocosos.

Foto N°13: Sondeos (Marvin Molina- Est: 1+300 a 65 metros, Izq).

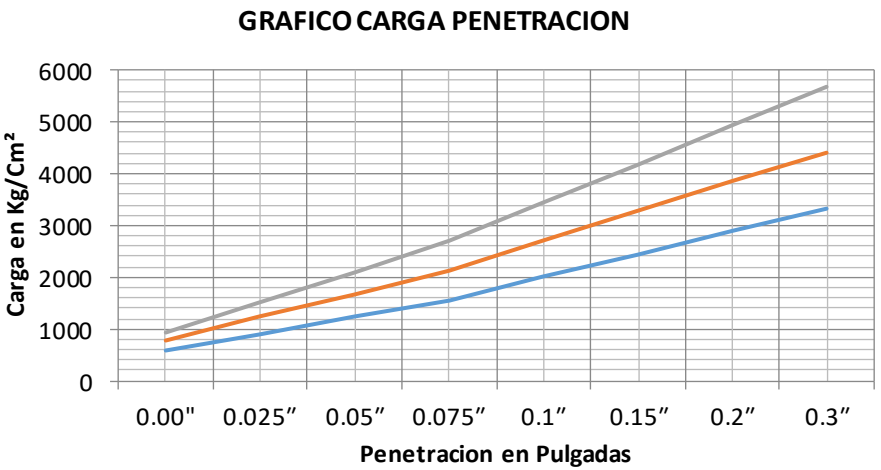
Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

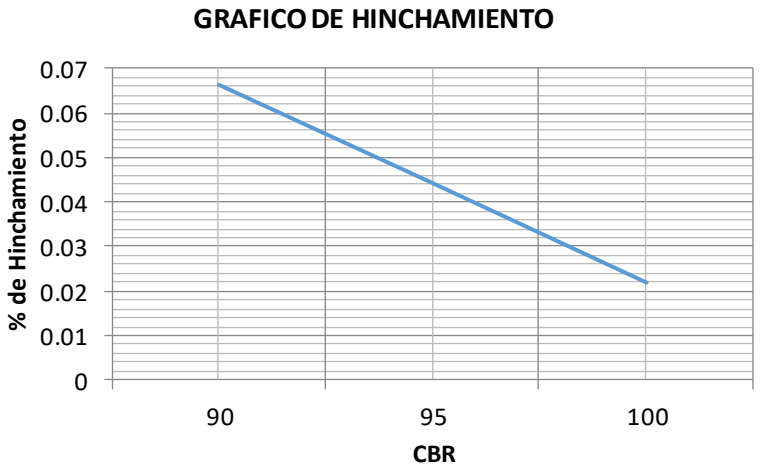
Foto N°14: Sondeos (Marvin Molina- Est: 1+300 a 65 metros, Izq).

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Tabla 103: Resultados de Laboratorio del Banco de Préstamo N#2 ZOMPOPERITA.

Ensayo carga Penetración Zompoperita						
Anillo	Molde 1		Molde 2		Molde3	
	Dial	Carga	Dial	Carga	Dial	Carga
0.025″	28	570	39	794	45	916
0.05″	44	896	60	1222	74	1507
0.075″	60	1222	81	1649	103	2097
0.1″	77	1568	105	2138	133	2708
0.15″	98	1995	133	2708	169	3441
0.2″	115	2341	161	3278	208	4235
0.3″	142	2891	190	3868	243	4947
0.4″	164	3339	217	4418	279	5680
C.B.R		52		73		94



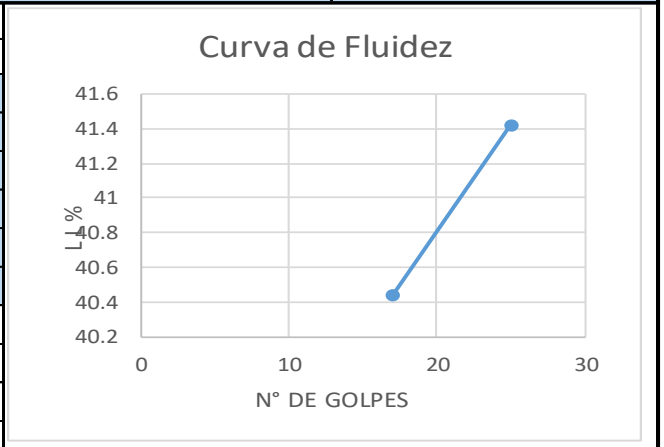


Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Tabla 104: Ensaye Desgaste Los Ángeles Banco N#2 ZOMPOPERITA.

DESGASTE DE LOS ANGELES / BANCO ZOMPOPERITA	
DETERMICACION No.	-
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO	-
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.12	-
DIFERENCIA	-
% APROXIMADO DE DESGASTE	-
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.12	-
% DEFINITIVO DE DESGASTE	-
RESULTADO DE INTEMPERISMO	-

LIMITE LIQUIDO			**LIMITE PLASTICO**	
AASHTO T 89, METODO A			**AASHTO T 90**	
No. Golpes de cierre:	17	25		
Factor	0.954	1		
No. Tara:	p-77	p-49	p-45	p-50
Peso de Tara (gr):	7.4	7.37	11.13	11.34
P de Tara + Mat. Húmedo (gr)	31.62	30.04	25.4	25.2
P de Tara + Mat. Seco (gr)	24.41	23.4	22.5	22.4
Peso del Material Humedo (gr)	24.22	22.67	14.27	13.86
Peso del Material Seco (gr):	17.01	16.03	11.37	11.06
Peso del Agua (gr):	7.21	6.64	2.9	2.8
% Límite Líquido:	40.44	41.42	25.51	25.32
RESULTADO	LIMITE LIQUIDO:	NP	LIMITE PLASTICO	NP
LL-30	NP		**Clasificación AASHTO**	



IP	NP	Tipo de Suelo:	Plástico
A-1-a (0)		INDICE	0

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Las muestras que no presentan resultados de ensayes de Desgate de los Ángeles e Intemperismo se debe a que corresponden a materiales terrosos. Estos ensayes se aplican solamente en gravas, arenas y materiales rocosos.

Foto N°15: Sondeos (Zompoperita- Est: 1+815 a 45 metros, Derecho).

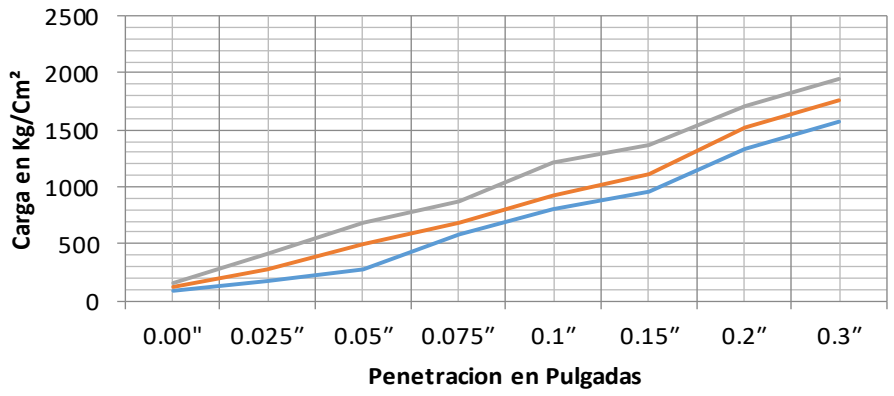
Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

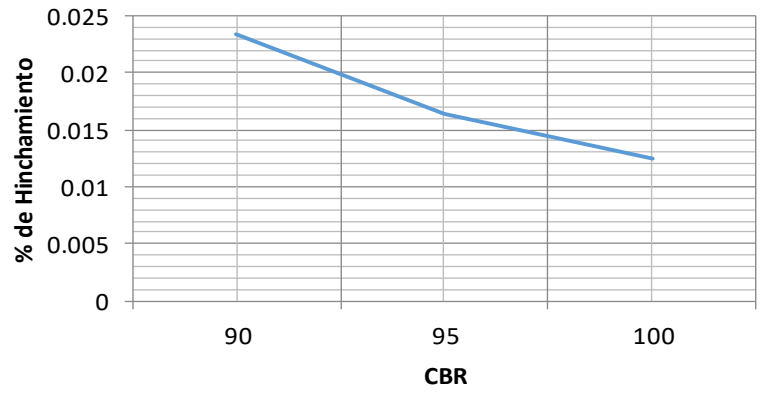
Foto N°16: Sondeos (Zompoperita- Est: 1+815 a 45 metros, Derecho).

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Tabla 105: Resultados de Laboratorio del Banco de Préstamo N#3 Úbeda.

Ensayo carga Penetración						
Anillo	Molde 1		Molde 2		Molde3	
	Dial	Carga	Dial	Carga	Dial	Carga
0.025″	30	93	40	124	50	155
0.05″	55	170	90	279	130	402
0.075″	90	279	160	495	220	681
0.1″	190	588	220	681	280	867
0.15″	260	805	300	929	390	1207
0.2″	310	960	360	1114	440	1362
0.3″	430	1331	490	1517	550	1702
0.4″	510	1579	570	1764	630	1950
C.B.R		47		55		67



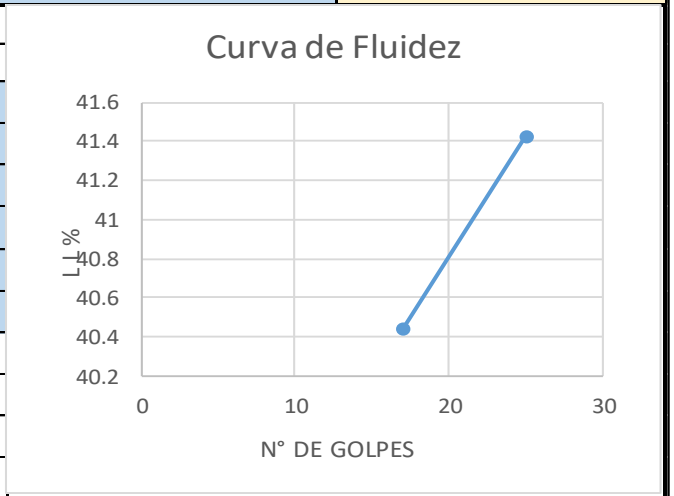


Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Tabla 106: Ensaye Desgaste Los Ángeles Banco N#3 Úbeda.

DESGASTE DE LOS ANGELES	
DETERMICACION No.	1
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO	5000
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.2	3950
DIFERENCIA	1050
% APROCIMADO DE DESGASTE	21
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.2	3900
% DEFINITIVO DE DESGASTE	22
RESULTADO DE INTEMPERISMO	**8**

LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
AASHTO T 89, METODO A			AASHTO T 90	
No. Golpes de cierre:	17	25		
Factor	0.954	1		
No. Tara:	p-77	p-49	p-45	p-50
Peso de Tara (gr):	9	16	17.1	18.1
P de Tara + Mat. Húmedo (gr)	33	33.24	29.4	29.4
P de Tara + Mat. Seco (gr)	30	28.8	27.4	27.4
Peso del Material Humedo (gr)	24	17.24	12.3	11.3
Peso del Material Seco (gr):	21	12.8	10.3	9.3
Peso del Agua (gr):	3	4.44	2	2
% Límite Líquido:	13.63	34.69	19.42	21.51
RESULTADO	LIMITE LIQUIDO:	24	LIMITE PLASTICO	20
LL-30	-6.00		Clasificación AASHTO	



IP	4	Tipo de Suelo:	Plástico
A-1-b		INDICE	0

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Foto N°17: Sondeos (Úbeda - Est: 3+000 1 km al norte, 36 metros, Izquierda).

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Foto N°18: Sondeos (Úbeda - Est: 3+000 1 km al norte 36 metros, Izquierda).

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa María de Pantasma-Laboratorio GEONIC.

Gráfico 11:Selección del CBR de Diseño.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

El CBR de diseño obtenido para la subrasante del tramo en estudio resulto de 16.90 %.

Tabla 107: Comprobación del CBR subrasante calculado.

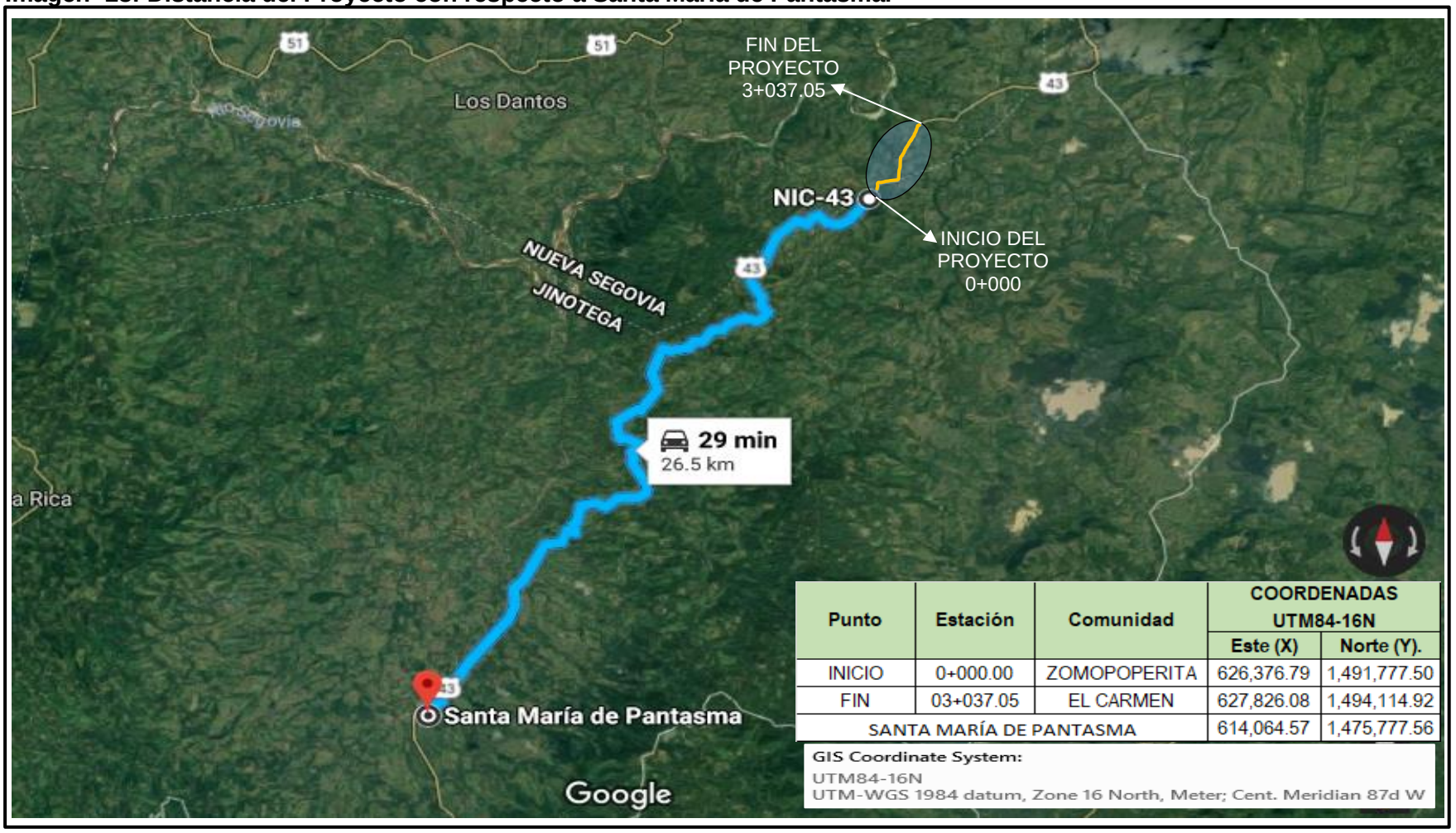
INTERPOLACIÓN LINEAL DEL VALOR DE 87.5%		
%		**CBR 95%**
100%	→	15%
87.5%		**X**
86.70%	→	17%
86.70-100= -0.133 87.5-100= -0.125	Multiplicación Cruzada	17-15=2 X-15
Solución		
-0.133(X-15) = -0.125 (2) -0.133 (X-15) = -0.25 X-15=-0.25/-0.133 X=1.879+15 X=16.88 ≈16.90	Despejando la X	
RESULTADO: 16.90 %		

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En la **Tabla 107** se observa que al interpolar el valor CBR de 87.5% el cual se desconoce se obtiene un CBR de **16.90%** igual al calculado manualmente con la curva de la subrasante en el **Gráfico 11, pág. XLI** por lo cual cumple para utilizar en la obtención del módulo resiliente de la subrasante (MR).

ANEXO CAPÍTULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO.

Imagen- 23: Distancia del Proyecto con respecto a Santa María de Pantasma.



Punto	Estación	Comunidad	COORDENADAS UTM84-16N	
			Este (X)	Norte (Y).
INICIO	0+000.00	ZOMOPOPERITA	626,376.79	1,491,777.50
FIN	03+037.05	EL CARMEN	627,826.08	1,494,114.92
SANTA MARÍA DE PANTASMA			614,064.57	1,475,777.56

GIS Coordinate System:
UTM84-16N
UTM-WGS 1984 datum, Zone 16 North, Meter; Cent. Meridian 87d W

Fuente: Google Earth (2020).

Tabla 108: Sistema de Clasificación Funcional.

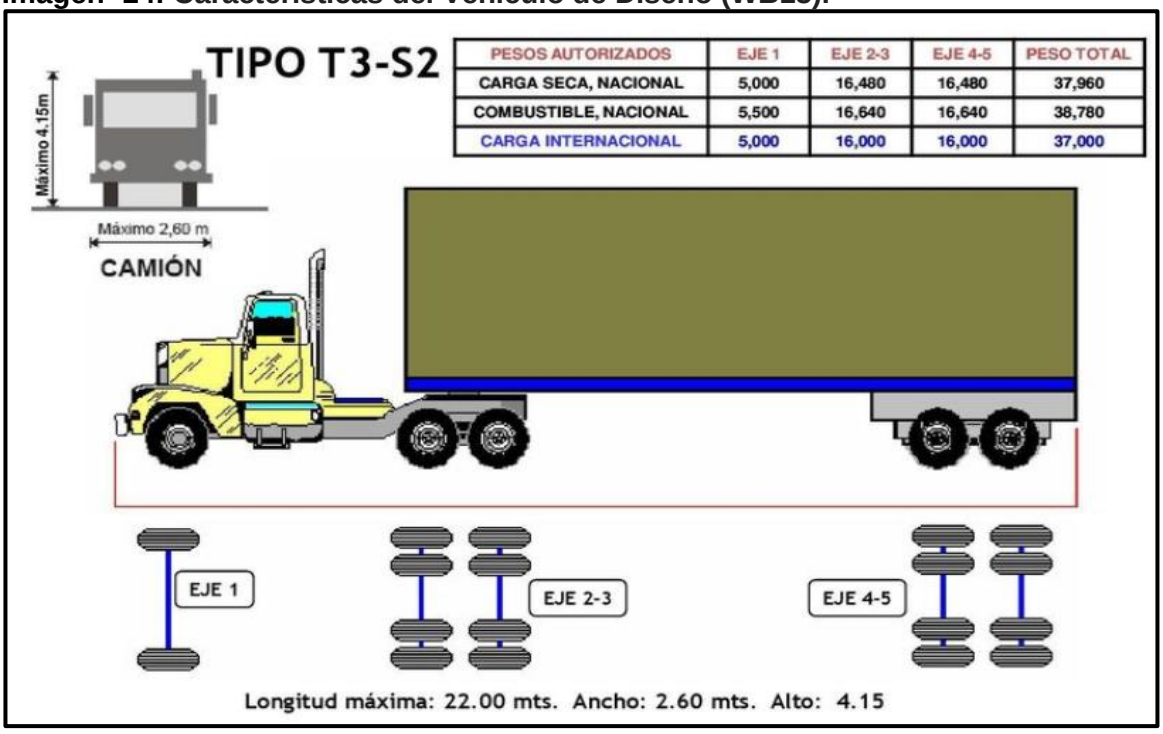
FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

(1) Con excepción de la clase RURAL que será de terracería, todas las demás clases deberán de ser pavimentadas. Las Clases CR, CU y LR también podrán ser pavimentadas o de terracería.
AA=Autopista; AR=Arterial Rural; AU=Arterial Urbana; AMR=Arterial Menor Rural; AMU=Arterial Menor Urbana; CMR=Colector Mayor Rural CMU= Colector Mayor Urbana; CR=Colector Menor Rural; CU=Colector Menor Urbana; LR=Local Rural; LU=Local Urbano; R=Rural.

(2) Tránsito Promedio Diario (TPD).

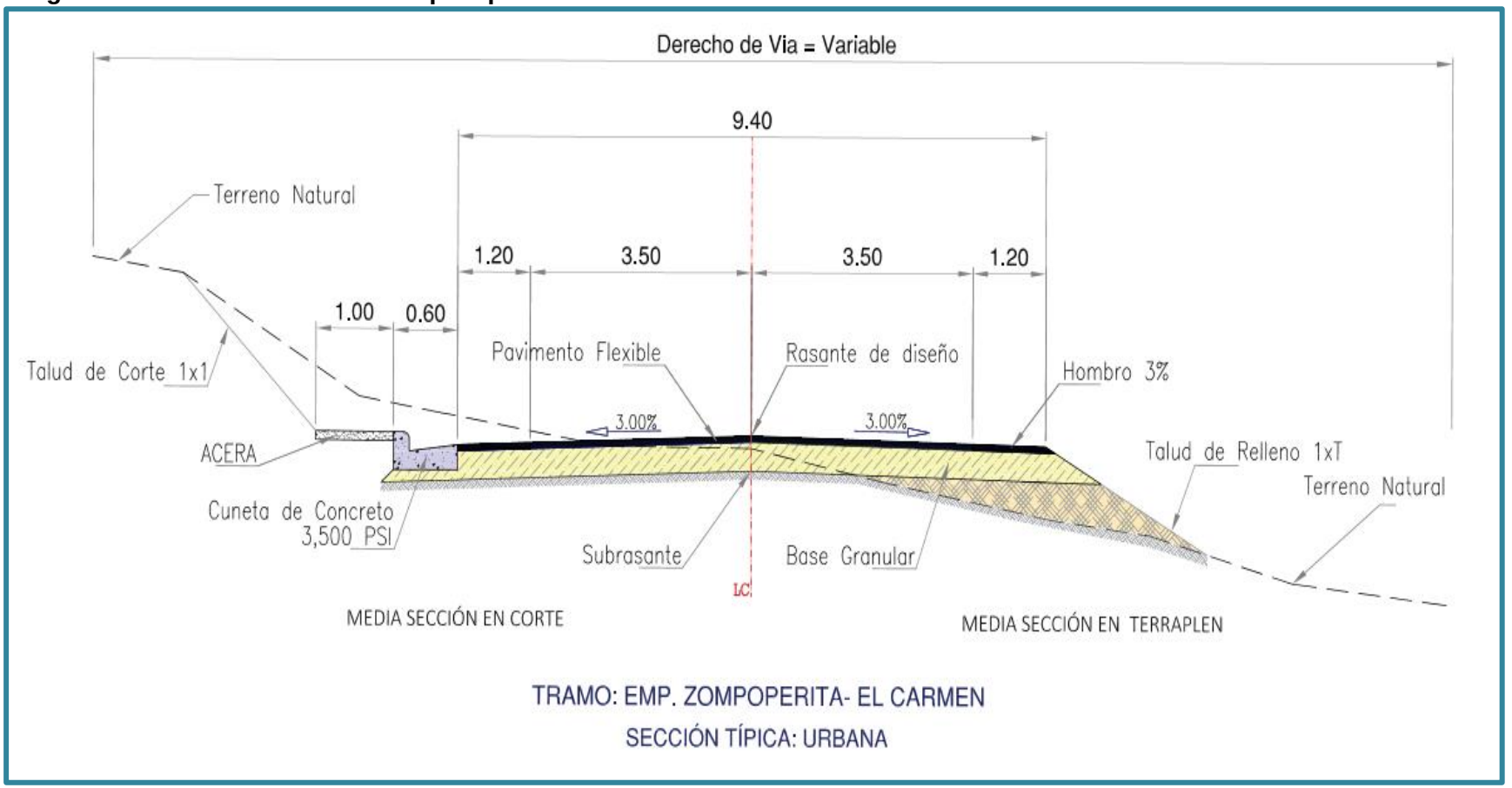
Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 33).

Imagen- 24: Características del Vehículo de Diseño (WB15).



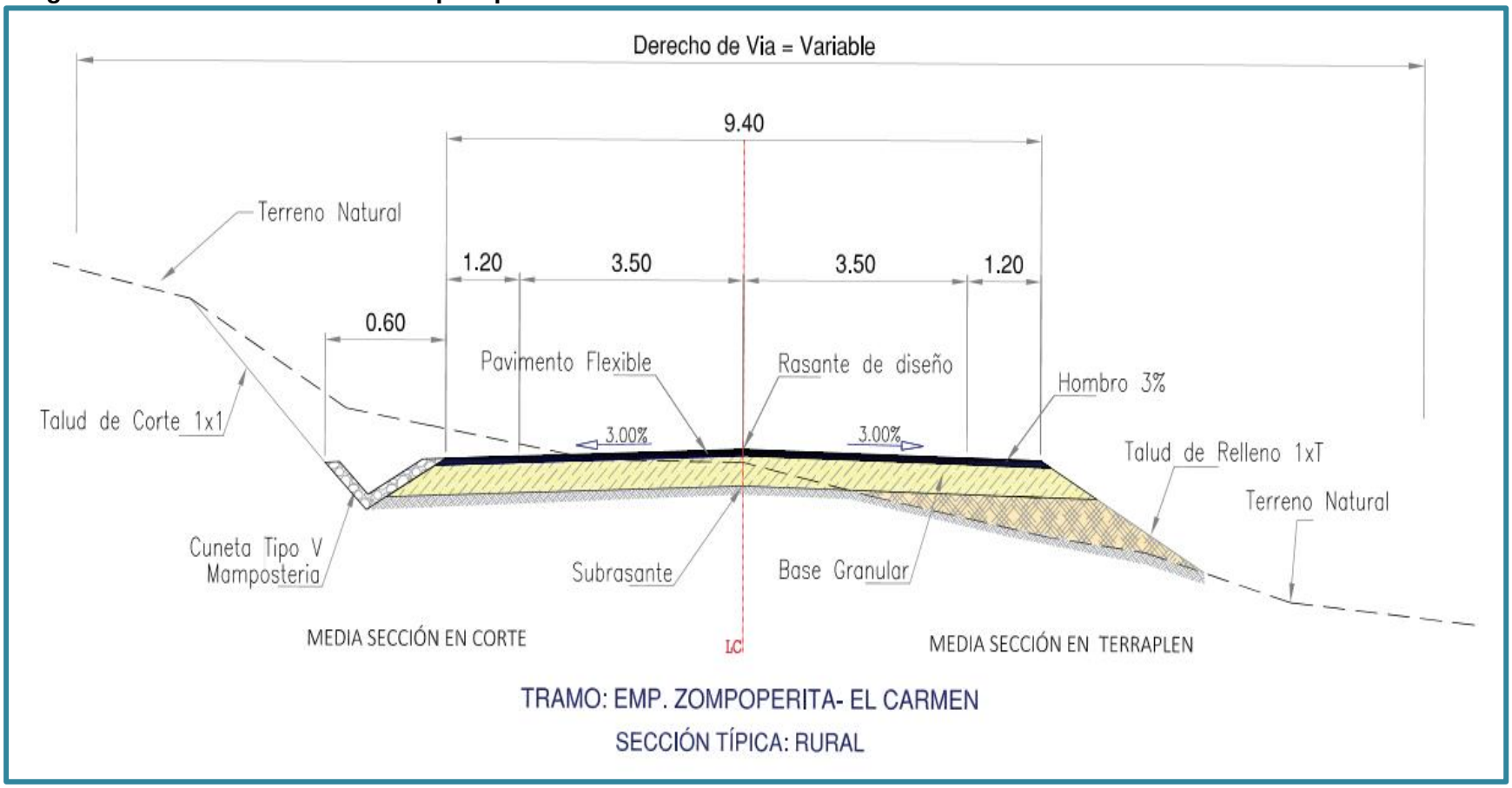
Fuente: Reglamento para el Control de pesos y dimensiones de vehículos. (Octubre – 2010).

Imagen- 25: Sección Transversal Típica para el sector Urbano.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Imagen- 26: Sección Transversal Típica para el sector Rural.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 109: Distancia de visión para adelantar en base a la velocidad de diseño.

TABLA DE RESULTADOS DEL CONTROL DEL ASPECTO DE VISIBILIDAD.															
DATOS:	V_D = **50 KPH**		t_1 = **3.6 Seg**		t_2= **9.3 Seg.**										
	a_1 = **3.2 m / Seg2**		V_R = **59 KPH**		d_3 = **40 mt.**										
	a_2 = **2.25 m / Seg2**		m = **15 KPH**		d_4 = **97 mt.**										
DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO Y PROYECCIÓN DE LA GEOMETRÍA ALTIMETRICA DEL PROYECTO.						**Distancia de Visibilidad de Parada**			**Distancia de Visibilidad de Rebase**					**TIPO DE CURVA VERTICAL.**
No.	**PVI Estación**	**PVI Elevación**	**Pendiente de Entrada**	**Pendiente de Salida**	**Diferencia Algebraica de las Pendientes**	**Reacción**	**Frenado**	**DVP**	**d1**	**d2**	**d3**	**d4**	**DVR**	
1	0+127.93	416.782	0.75%	-4.81%	-5.56%	34.8	30.2	65.0	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
2	0+249.65	410.928	-4.81%	-0.52%	4.29%									Columpio
3	0+496.14	409.642	-0.52%	-12.01%	-11.49%	34.8	30.3	65.0	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
4	0+711.41	383.787	-12.01%	0.00%	12.01%									Columpio
5	0+813.06	383.787	0.00%	9.84%	9.84%									Columpio
6	0+971.84	398.868	9.84%	-2.46%	-12.30%	34.8	30.3	65.0	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
7	1+361.28	389.294	-2.46%	-8.33%	-5.87%	34.8	30.2	65.0	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
8	1+471.08	380.149	-8.33%	4.85%	13.18%									Columpio
9	1+598.39	386.329	4.85%	-7.64%	-12.49%	34.8	30.3	65.0	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
10	1+767.55	373.405	-7.64%	-2.43%	5.21%									Columpio
11	2+153.26	364.043	-2.43%	6.61%	9.04%									Columpio
12	2+277.10	372.228	6.61%	-8.54%	-15.15%	34.8	30.3	65.1	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
13	2+378.15	363.598	-8.54%	-7.40%	1.14%									Columpio
14	2+468.95	356.88	-7.40%	-2.17%	5.23%									Columpio
15	2+664.70	352.629	-2.17%	-4.17%	-2.00%	34.8	30.2	64.9	48.1	152.5	40.0	102	342.3	Cresta
16	2+986.73	339.189	-4.17%	-1.27%	2.90%									Columpio

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 110: Distribución de Peralte para cada uno de los Radios presentados.

Nº CURVA	ESTACIÓN DEL PI	ESTACIÓN DEL PC	ESTACIÓN DEL PT	RADIO DE LA CURVA (m)	PERALTE CALCULADO EN %.	PERALTE ASUMIDO EN %.
1	**0+306.81**	**0+252.51**	**0+354.96**	125.000	6.95	7.0
2	**0+458.86**	**0+407.89**	**0+503.35**	110.000	7.32	7.32
3	**0+621.64**	**0+585.04**	**0+654.58**	90.000	7.78	7.8
4	**1+102.14**	**0+976.82**	**1+178.85**	135.000	6.73	6.7
5	**1+559.64**	**1+507.36**	**1+611.91**	5000.000	0.34	*C.N.
6	**1+786.11**	**1+735.60**	**1+835.27**	250.000	4.95	5.0
7	**2+694.65**	**2+632.64**	**2+756.33**	700.000	2.23	**C.I.
8	**2+974.57**	**2+915.08**	**3+028.35**	150.000	6.41	6.4

*** Corona Normal (sección con bombeo del 3.0%).**

**** Corona Inversa (sección con peralte mínimo del 3.0%).**

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 111: Sobre anchos en Curvas.

CURVA No.	ESTACIÓN DEL PI	ESTACIÓN DEL PC	ESTACIÓN DEL PT	PERALTE CALCULADO	PERALTE POR USAR	SOBRE ANCHO CALCULADO (m)	SOBRE ANCHO A USAR (m)	LONGITUD DE TRANSICIÓN (LT) (m)	LONGITUD/REVERTIR CORONA (N) (m)
1	**0+306.81**	0+252.510	0+354.961	6.95	6.95	2.50	1.80	36.49	15.75
2	**0+458.86**	0+407.892	0+503.349	7.32	7.32	2.90	1.80	38.43	15.75
3	**0+621.64**	0+585.031	0+654.569	7.78	7.78	3.40	1.80	40.85	15.75
4	**1+102.14**	0+976.817	1+178.842	6.73	6.73	2.40	1.80	35.33	15.75
5	**1+559.64**	1+507.364	1+611.912	0.34	C.N.	0.10	0.00	0.00	0.00
6	**1+786.11**	1+735.606	1+835.272	4.95	4.95	1.40	1.40	25.99	15.75
7	**2+694.65**	2+632.643	2+756.333	2.23	C.I.	0.60	0.60	15.75	21.19
8	**2+974.57**	2+915.081	3+028.351	6.41	6.41	2.20	1.80	33.65	15.75

Datos utilizados para el cálculo de S, LT y N:

Rmin:	**73.00** mt.	**f:**	**0.19** S/U
Vd:	**50.00** KPH	**L:**	**16.15** mt.
Vr:	**47.00** KPH	**m:**	**1/150** (**0.65** %)
emáx:	**8.00** %	**a:**	**3.50** mt.
emín:	**3.00** %	**n:**	**2.00** Unit.
Sa min:	**0.60** mt.	**emín:**	**3.00** %
Sa máx:	**1.80** mt.		

Se tomó en consideración lo siguiente:

- Los Sa calculados son para una vía de 2 carriles.
- Sa < 0.60 metros, no son necesarios en las curvas.
- Sa > 1.80 metros, se tomó este valor como máximo recomendado.
- Vehículo de Diseño WB15 (T3-S2).

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 112: Curvas Horizontales Trazadas.

CURVA No.	ESTACIÓN DEL PI	Gr.	Min.	Seg.	SENTIDO	RADIO (m)	TANGENTE (m.)	LONGITUD DE CURVA (m.)	GRADO CURVATURA (Gc ° ' ")	Dm (°)	EXTERNAL	ESTACIÓN DEL PC	ESTACIÓN DEL PT
1	**0+306.81**	46	57	36.1	**izq**	125.00	54.300	102.450	9.1674	0.2292	11.284	0+252.510	0+354.961
2	**0+458.86**	49	43	14.57	**der**	110.00	50.968	95.457	10.4175	0.2604	11.234	0+407.892	0+503.349
3	**0+621.64**	44	16	11.1	**der**	90.00	36.609	69.538	12.7324	0.3183	7.161	0+585.031	0+654.569
4	**1+102.14**	85	44	32.81	**izq**	135.00	125.323	202.025	8.4883	0.2122	49.204	0+976.817	1+178.842
5	**1+559.64**	1	11	52.94	**der**	5000.00	52.276	104.548	0.2292	0.0057	0.273	1+507.364	1+611.912
6	**1+786.11**	22	50	30.18	**der**	250.00	50.504	99.665	4.5837	0.1146	5.050	1+735.606	1+835.272
7	**2+694.65**	10	7	27.12	**izq**	700.00	62.007	123.690	1.6370	0.0409	2.741	2+632.643	2+756.333
8	**2+974.57**	43	15	58.25	**der**	150.00	59.489	113.270	7.6395	0.1910	11.366	2+915.081	3+028.351

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

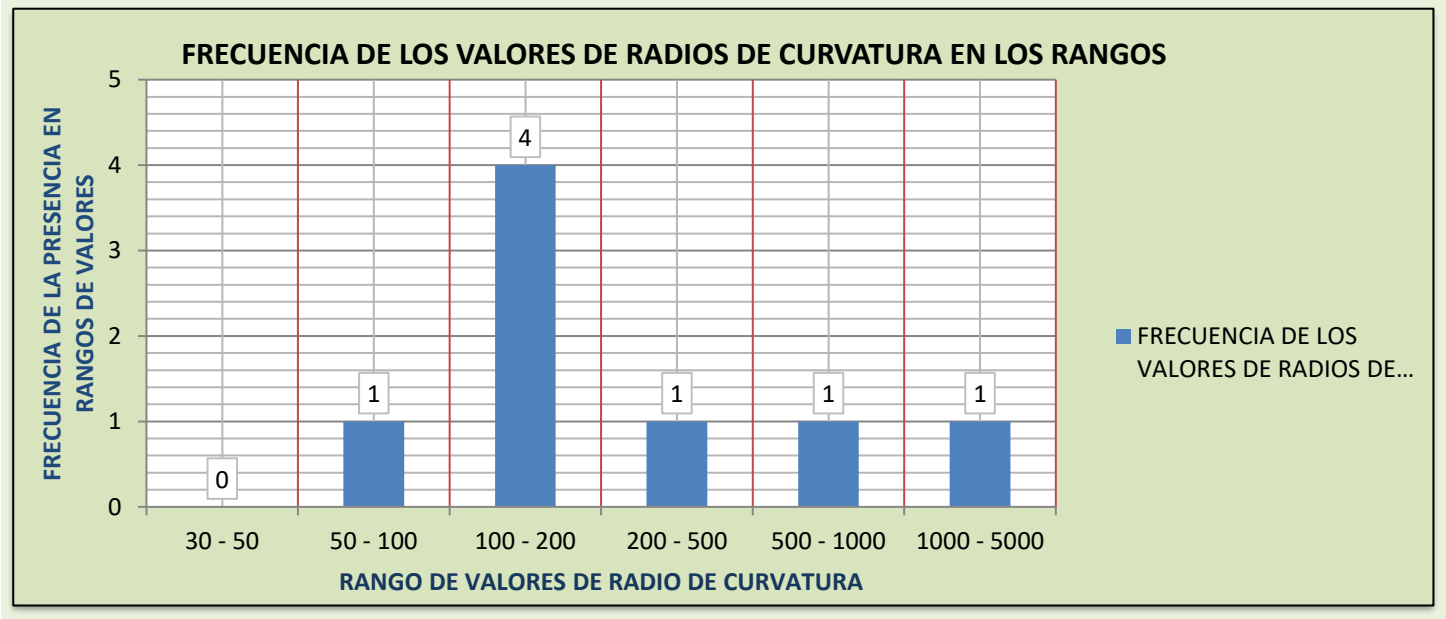
L

Tabla 113: Rango de valores de radios de curva Trazadas.

N°	RANGO DE VALORES DE RADIO DE CURVATURA	FRECUENCIA DE LOS VALORES DE RADIOS DE CURVATURA EN LOS RANGOS	%
1	**30 - 50**	**0**	0.00%
2	**50 - 100**	**1**	12.50%
3	**100 - 200**	**4**	50.00%
4	**200 - 500**	**1**	12.50%
5	**500 - 1000**	**1**	12.50%
6	**1000 - 5000**	**1**	12.50%
	TOTAL	**8**	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico 12: Magnitudes del Radio de Curvatura trazadas en el Tramo.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En el **Tablas 113-114** se muestran los Datos de cada una de las curvas Horizontales trazadas en el tramo:

Tabla 114: Datos de Curvas Horizontales (N°1 y N°2).

CURVA Nº 1			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	0+306.81	1,492,002.18	626,585.72
PC	0+252.51	1,491,962.42	626,548.74
PT	0+354.96	1,492,056.35	626,581.89
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	46 57' 36.1054"	Radio:	125
Longitud:	102.45	Tangente:	54.30
External:	11.28	Peralte:	7.00
LT:	36.49	N:	15.75
Sa:	1.80	VD: K/hr	50

CURVA Nº 2			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	0+458.86	1,492,159.98	626,574.57
PC	0+407.89	1,492,109.14	626,578.16
PT	0+503.35	1,492,195.59	626,611.04
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	49 43' 14.5792"	Radio:	110
Longitud:	95.46	Tangente:	50.97
External:	11.23	Peralte:	7.40
LT:	38.43	N:	15.75
Sa:	1.80	VD: K/hr	50

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 115: Datos de Curvas Horizontales (N°3 y N°4).

CURVA Nº 3			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	0+621.64	1,492,278.24	626,695.67
PC	0+585.04	1,492,252.67	626,669.48
PT	0+654.58	1,492,278.28	626,732.28
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	44 16' 11.1020"	Radio:	90
Longitud:	69.54	Tangente:	36.61
External:	7.16	Peralte:	7.8
LT:	40.85	N:	15.75
Sa:	1.80	VD: K/hr	50

CURVA Nº 4			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	1+102.14	1,492,278.67	627,179.85
PC	0+976.82	1,492,278.56	627,054.53
PT	1+178.85	1,492,403.65	627,189.04
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	85 44' 32.8181"	Radio:	135
Longitud:	202.03	Tangente:	125.32
External:	49.20	Peralte:	6.8
LT:	35.33	N:	15.75
Sa:	1.80	VD: K/hr	50

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 116: Datos de Curvas Horizontales (N°5 y N°6).

CURVA Nº 5			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	1+559.64	1,492,783.42	627,216.98
PC	1+507.36	1,492,731.29	627,213.15
PT	1+611.91	1,492,835.47	627,221.91
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	01 11' 52.9469"	Radio:	5000
Longitud:	104.55	Tangente:	52.28
External:	0.27	Peralte:	C.N.
LT:	0.00	N:	0.00
Sa:	0.00	VD: K/hr	50

CURVA Nº6			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	1+786.11	1,493,008.89	627,238.32
PC	1+735.60	1,492,958.61	627,233.56
PT	1+835.27	1,493,053.38	627,262.22
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	22 50' 30.1834"	Radio:	250
Longitud:	99.67	Tangente:	50.50
External:	5.05	Peralte:	4.95
LT:	25.99	N:	15.75
Sa:	1.40	VD: K/hr	50

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 117: Datos de Curvas Horizontales (N°7 y N°8).

CURVA Nº7			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	2+694.65	1,493,810.41	627,668.94
PC	2+632.64	1,493,755.79	627,639.60
PT	2+756.33	1,493,869.34	627,688.23
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	10 07' 27.1290"	Radio:	700
Longitud:	123.69	Tangente:	62.01
External:	2.74	Peralte:	C.I.
LT:	15.75	N:	21.19
Sa:	0.60	VD: K/hr	50

CURVA Nº8			
DATOS GENERALES DE CURVA			
	Estación	Norte	Este
PI	2+974.57	1,494,076.76	627,756.11
PC	2+915.08	1,494,020.22	627,737.61
PT	3+028.35	1,494,105.25	627,808.34
CURVA HORIZONTAL TRAZADA			
Delta:	43 15' 58.2596"	Radio:	150
Longitud:	113.27	Tangente:	59.49
External:	11.37	Peralte:	6.41
LT:	33.65	N:	15.75
Sa:	1.80	VD: K/hr	50

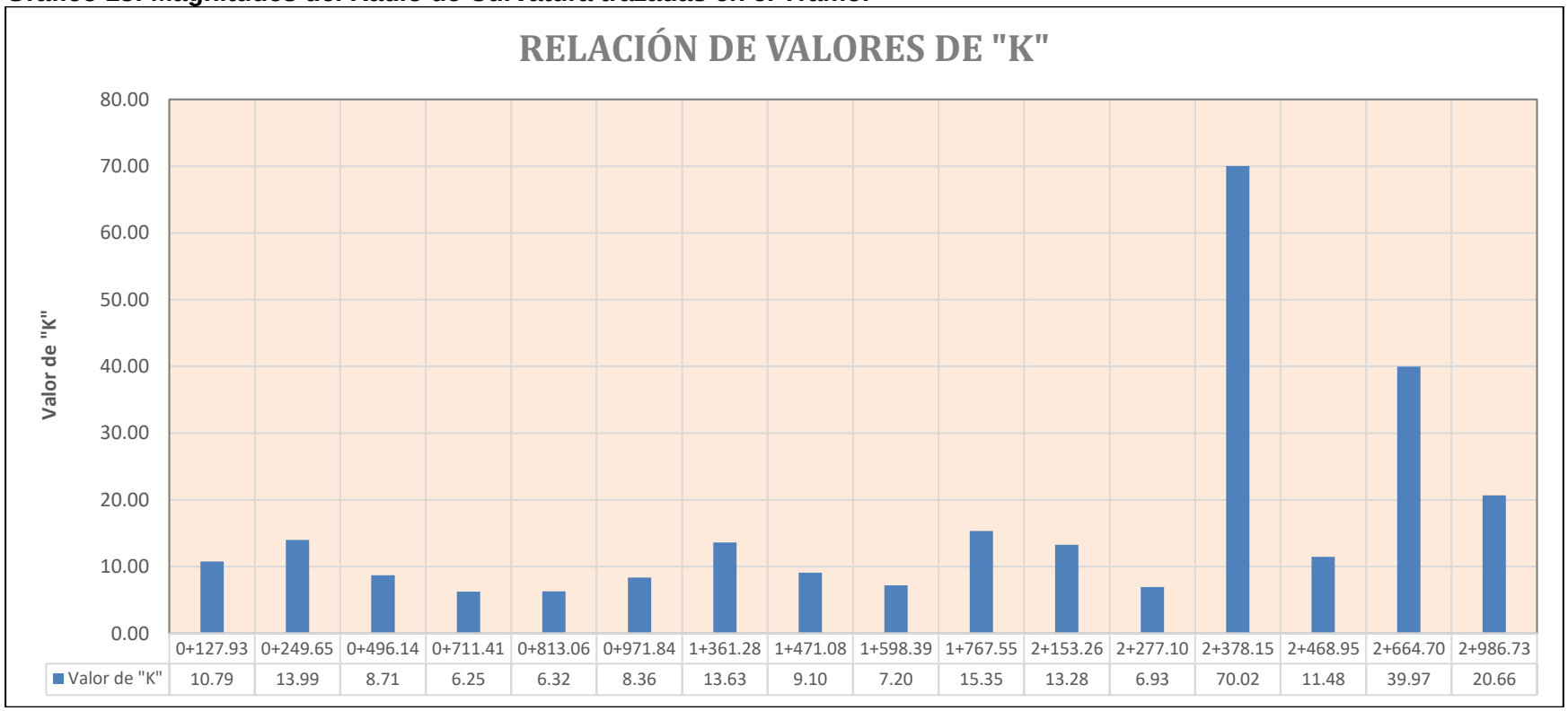
Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla 118: Datos de Curvas Verticales Proyectadas.

RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE LA RASANTE DEL PROYECTO							CURVAS VERTICALES MÍNIMAS QUE CORRESPODERIA USAR			
No.	Estación PVI	Elevación del PVI	PENDIENTE LONGITUDINAL DE ENTRADA. (%)	PENDIENTE LONGITUDINAL DE SALIDA. (%)	Diferencia Algebraica Δ de las Pendiente (G%)	VALOR DE "K"	Longitud de Curva Vertical Mínima que correspondería aplicar para K = 7; (mt)	Longitud de Curva Vertical Calculadas/Aplicada y/o que se utilizó; L= K*G (mt)	TIPO DE CURVA VERTICAL.	Control y verificación de Relación de resultados.
1	0+127.93	416.78	0.75%	-4.81%	-5.56%	10.79	39.00	60.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
2	0+249.65	411.09	-4.81%	-0.52%	4.29%	13.99	31.00	60.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
3	0+496.14	409.41	-0.52%	-12.01%	-11.49%	8.71	81.00	100.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
4	0+711.41	383.27	-12.01%	0.00%	12.01%	6.25	85.00	75.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	Ajustada al TN.
5	0+813.06	383.27	0.00%	9.50%	9.50%	6.32	67.00	60.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	Ajustada al TN.
6	0+971.84	398.94	9.50%	-2.46%	-11.96%	8.36	84.00	100.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
7	1+361.28	389.36	-2.46%	-8.33%	-5.87%	13.63	42.00	80.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
8	1+471.08	380.22	-8.33%	4.85%	13.18%	9.10	93.00	120.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
9	1+598.39	386.40	4.85%	-7.64%	-12.49%	7.20	88.00	90.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
10	1+767.55	373.48	-7.64%	-2.43%	5.21%	15.35	37.00	80.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
11	2+153.26	364.11	-2.43%	6.61%	9.04%	13.28	64.00	120.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
12	2+277.10	372.30	6.61%	-8.54%	-15.15%	6.93	107.00	105.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	Ajustada al TN.
13	2+378.15	363.67	-8.54%	-7.40%	1.14%	70.02	8.00	80.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
14	2+468.95	356.95	-7.40%	-2.17%	5.23%	11.48	37.00	60.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
15	2+664.70	352.70	-2.17%	-4.17%	-2.00%	39.97	15.00	80.00	CURVA VERTICAL EN CRESTA	OK
16	2+986.73	339.26	-4.17%	-1.27%	2.90%	20.66	21.00	60.00	CURVA VERTICAL EN COLUMPIO	OK
	NOTA:	**TN =** Terreno Natural								

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico 13: Magnitudes del Radio de Curvatura trazadas en el Tramo.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

ANEXO CAPÍTULO VI: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Tabla 119: Estabilidad del Método Marshall.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especimenes	35		50		75	
Estabilidad, (N)	3336		5338		8006	
(lb) →	750	-----	1200	**1400**	1800	-----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 14: Abaco para estimar el coeficiente estructural de la capa Asfáltica.

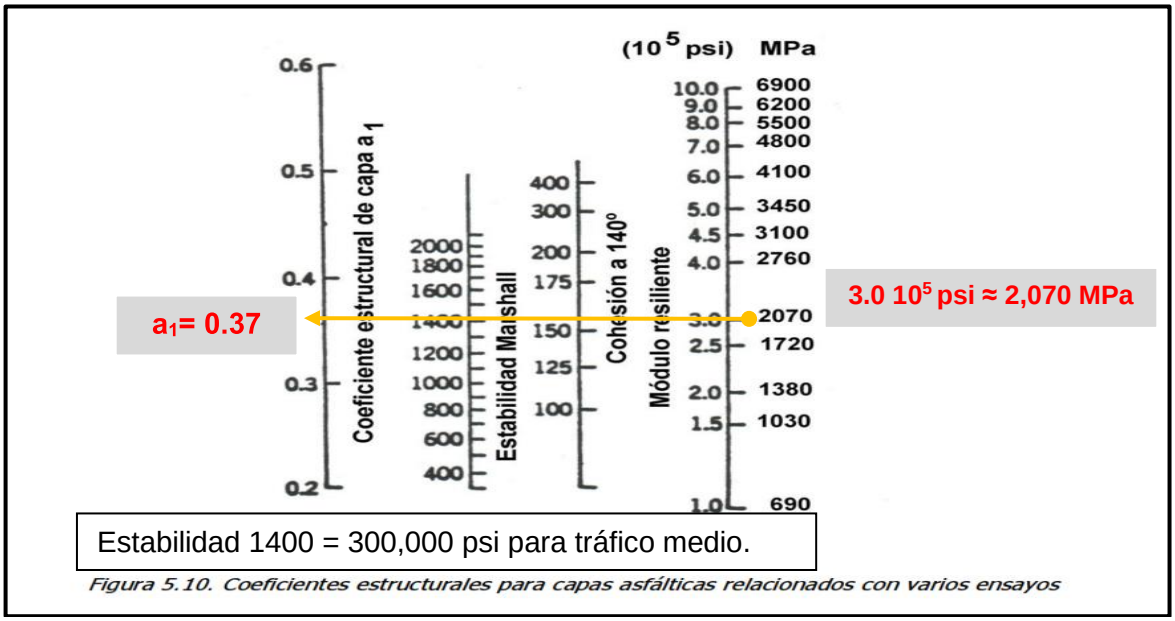


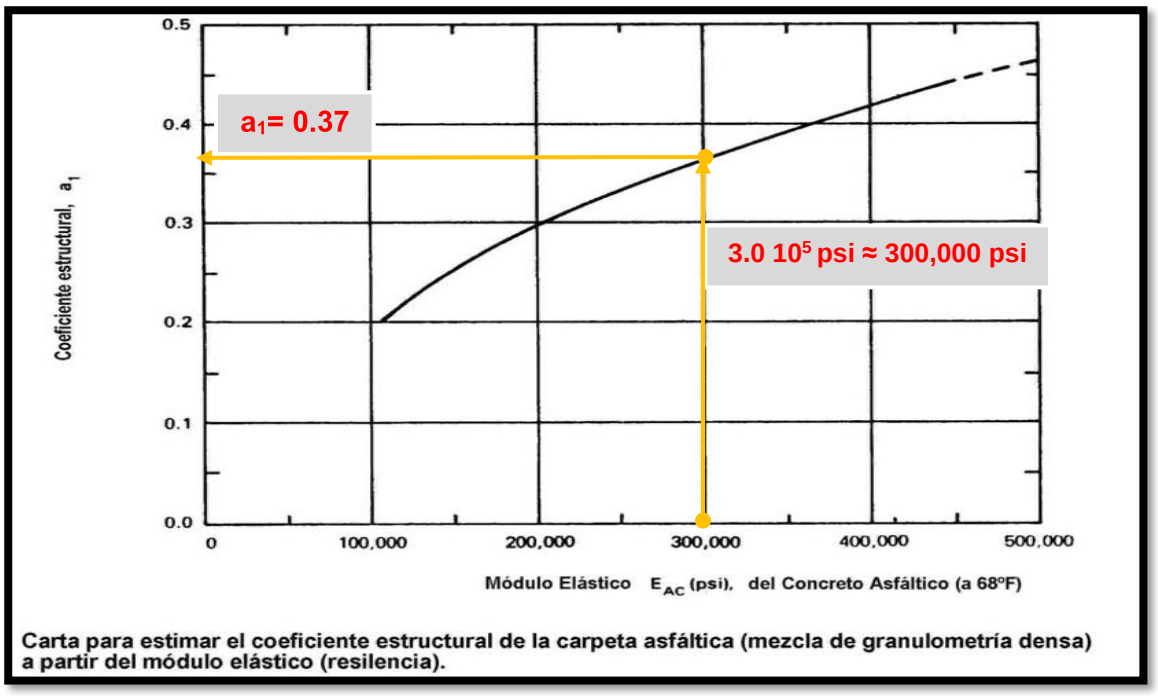
Figura 5.10. Coeficientes estructurales para capas asfálticas relacionados con varios ensayos

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

En el caso de que no se disponga del valor del Módulo de Elasticidad de la mezcla asfáltica, puede emplearse el graficó 14, para estimar el coeficiente estructural, **(a_1)** a partir de la estabilidad Marshall de la mezcla. En este estudio se consideró una estabilidad de **1400 lb/ cm²** equivalente a 2070 Mpa, obteniendo un coeficiente de capa de **a_1=** 0.37 y un módulo elástico del concreto asfaltico de 300,000 psi.

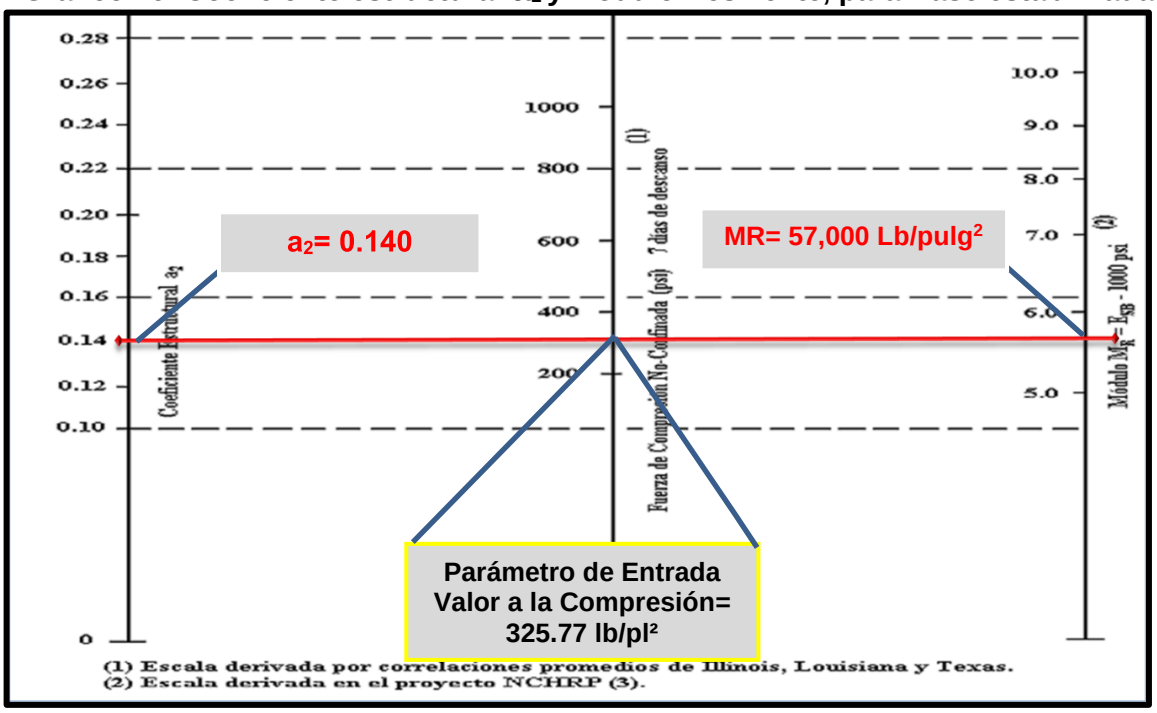
En el grafico 15, se dispuso a comprobar el valor de a_1 conociendo el módulo elástico del concreto asfaltico 300,000 psi.

Gráfico 15: Coeficiente estructural de la carpeta de Asfáltica (a1).



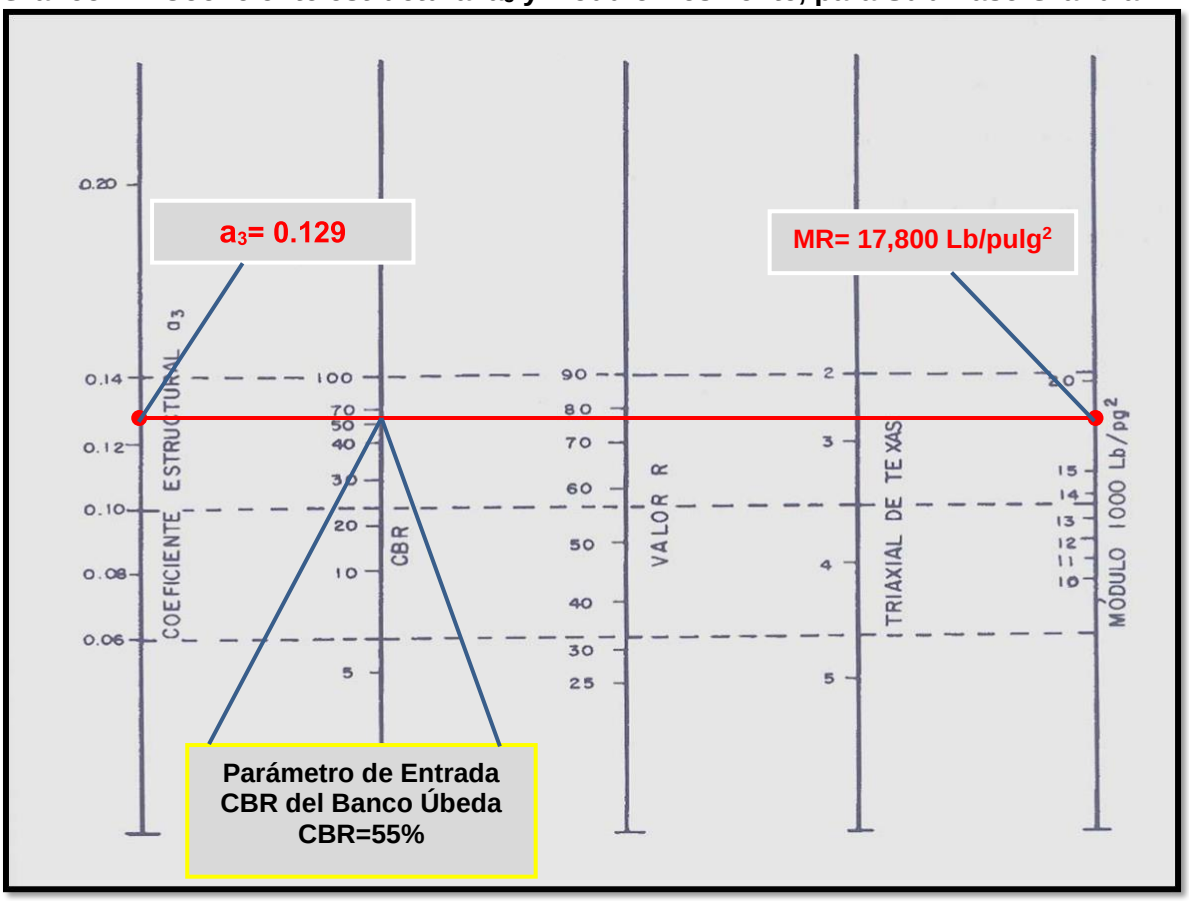
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 16: Coeficiente estructural a_2 y Módulo Resiliente, para Base estabilizada.



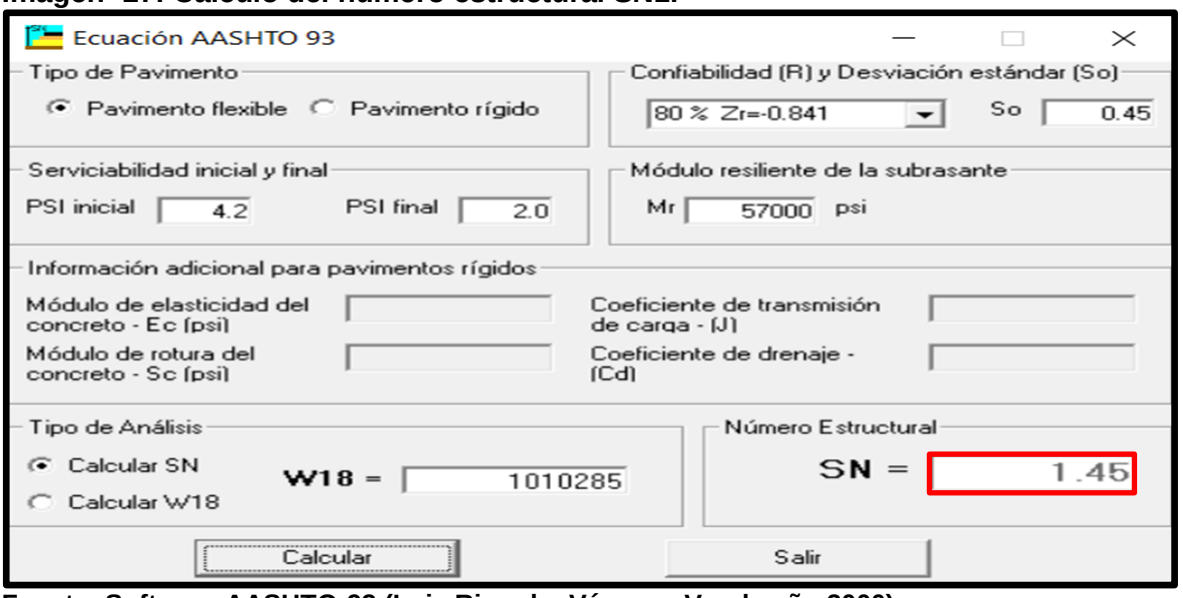
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 17: Coeficiente estructural a_3 y Módulo Resiliente, para Sub-Base Granular.



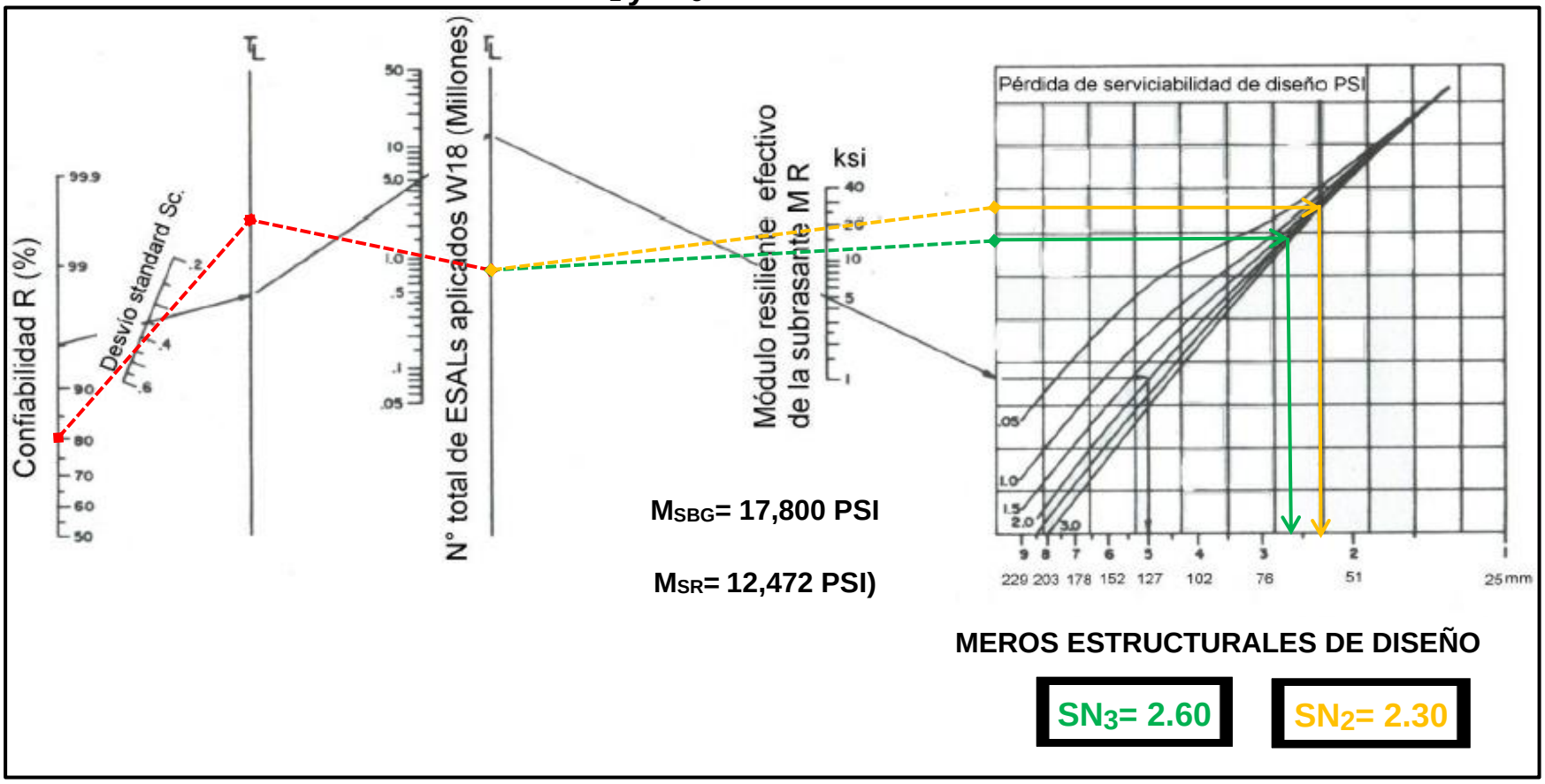
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Imagen- 27: Calculo del número estructural SN1.



Fuente: Software AASHTO-93 (Luis Ricardo. Vásquez Varela año 2000).

Gráfico 18: Obtención del Número estructural SN_2 y SN_3.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Valores de entrada: Confiabilidad :80%, Desviación estándar: 0.45, ESAL's o W18 =1,010,285.00, $Mr_{Subrasante}$=12,472psi, Mr_{Subase}=17800 psi. **Valores obtenidos:** SN_3= 2.60, SN_2= 2.30.

GLOSARIO.

Asfalto: Es un mineral resultante de diversos componentes, casi todos naturales. Posee numerosas propiedades que permiten la elaboración de muchos productos utilizados en la construcción de vías terrestres para automóviles y peatones.

Pavimento Flexible: Se entiende por pavimento flexible a aquel que está conformado por una capa o carpeta asfáltica, que está compuesta de agregado grueso o fino (piedra triturada, grava y arena) con material bituminoso que se obtiene del asfalto. Los pavimentos flexibles están conformados estructuralmente por capas de materiales granulares compactados y una superficie de rodadura.

Agregados: Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

Agregado grueso: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

Bache: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

Bombeo: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

Banco de Material: Lugar donde se extraerá material de préstamo para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer el tipo de suelos existentes en dicha zona, así como el volumen aproximado de material que pueda ser utilizable.

Base: Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Calicata: Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

Capa sub-rasante: Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Cama de Arena: Esta capa se construye de 5 centímetros, con arena suelta, gruesa y limpia la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ella.

Capacidad de carga última del terreno: Es la presión requerida para producir la falla del terreno, sin considerar factores de seguridad.

Carretera, Calle o Camino: Términos genéricos que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículos y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Carretera no pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

Carretera pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible), de concreto Pórtland (rígida) o de adoquín (articulado).

Carpeta: Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente que resista los efectos abrasivos del tránsito, desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento es el elemento más importante.

CBR. (Relación de Carga California): Relación entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesaria para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón.

Cota de rasante: Valor numérico de un punto topográfico que representa el nivel terminado o rasante referido a un BENCH MARK (BM).

Cota de terreno: Valor numérico de un punto topográfico del terreno referido a un BENCH MARK (BM).

Cuneta: Canalillo lateral paralelo al eje de una carretera, camino o calle construida inmediatamente después del borde de los hombros, que permite el escurrimiento del agua, y a la vez, sirve de barrera entre la calzada y la acera.

Elementos viales: Conjunto de componentes físicos de la vía, tales como superficie de rodadura, bermas, cunetas, obras de drenaje, elementos de seguridad vial.

Estación: Lugar o punto específico donde se realizan conteos, para conocer las características del tránsito, la que será útil para el desarrollo de carreteras.

Estación de control: Tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales; se realizan en caminos de adoquinado y asfalto, en tramos donde el tránsito es menor que una estación permanente. Sin embargo, su principal función es de llevar un control de las estaciones Permanentes y en donde se les efectúan conteos una vez al año a diferencia que las estaciones sumarias.

Estación permanente: Se encuentran ubicadas sobre la Red Troncal Principal, destacándose la zona Central y Pacifica del país, efectuándose conteos clasificados de 24 horas por día durante dos periodos en el año (Verano-Invierno), con duración de 7 días consecutivos en cada período.

Estación sumaria: Se caracterizan por estar en caminos que no han sido pavimentados, con un flujo vehicular moderado.

En este tipo de estación se realiza como mínimo un aforo anual durante 12 horas diarias (de 6 am a 6 pm) en períodos de tres (Martes – Miércoles – Jueves) generalmente en todo el transcurso del año se efectúan en épocas de Verano y/o Invierno.

Intersección: Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

Índice de plasticidad: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

Levantamiento topográfico: Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.

Límite líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

Límite Plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido.
Índice Plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

Niveles de servicio: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad.

Pavimento: Es una capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidos entre la subrasante y la superficie de rodamiento o rasante.

Pendiente de la carretera: Inclinación del eje de la carretera, en el sentido de avance.

Proyecto: La sección específica de la carretera, camino, calle o puente, junto con todas las obras que serán construidas.

Sección transversal: Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

Sub- base: Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, también actúa como dreno para desalojar el agua que se infiltra al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base.

Sub- rasante: Es el nivel del terreno sobre el cual se asientan las capas de sub-base, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

Módulo de resiliencia (Mr): Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la subrasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos flexibles.

Terraplén: Es aquella parte de la estructura de una obra vial construida con material producto de un corte o un préstamo, la cual queda comprendida entre el terreno de fundación y el pavimento.

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras

Confiabilidad: La Confiabilidad del Diseño (R), se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado.

Serviciabilidad: Es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el que fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Desviación estándar (So): Factor que toma en cuenta la variación por errores en los materiales asociados al diseño así mismo la variabilidad y propiedades de los suelos, estimaciones de tráfico, condiciones de clima y calidad de construcción.

Período de diseño: Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.