

Área de Conocimientos de Ingeniería y Afines

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 2.0 KILÓMETROS, EMPALME LOS CERRITOS-COMUNIDAD NUEVA JERUSALÉN, MUNICIPIO DE ESTELÍ”.

Trabajo Monográfico para optar al título
de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Dalieska Jeaneth
Cerde Rivera
Carnet: 2019-0143N

Br. Mariam Isabel
Castillo Pérez
Carnet: 2019-0036N

Br. Jary Neftalí
Picado Ruiz
Carnet: 2019-0123N

Tutor:

Br. Picado
Rivera Josué
Rivera Gutiérrez

09 de septiembre de 2024
Managua, Nicaragua

CARTA DECANO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios Todopoderoso, por darnos la vida y su bendición cada día, la salud, fuerza y sabiduría para luchar por este sueño.

A nuestros padres, por estar ahí en los momentos difíciles que tuvimos que pasar en este gran trayecto, ya que siempre estuvieron ahí, motivándonos a seguir adelante.

A nuestro Tutor, Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez, a quién le debemos gran parte de los conocimientos adquiridos, gracias por su paciencia, dedicación y confianza en nosotros, respaldándonos para poder concluir con éxitos nuestro trabajo monográfico; por ser nuestro mentor, gracias a sus consejos y palabras de aliento que nunca faltaron, porque con ello logramos hacer posible nuestro sueño de superación profesional.

A los profesores que nos impartieron las asignaturas durante estos 5 años, a ellos quienes fueron una parte indispensable en este proyecto, por transmitirnos sus conocimientos y enseñanzas, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios por darnos el hábito de vida, a Él que supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerza para seguir adelante en las dificultades que se nos presentaron, enseñándonos a no perder la dignidad ni desfallecer en el camino.

A nuestros padres, Jeaneth Rivera Zamora, Silvio Cerda Hernández, Lelia Pérez Ruiz, Orlando Castillo Zamorán, María Ruíz Tercero, Mauricio Picado Romero; quienes nos han dado la existencia y con ella, la capacidad para superarnos, a ellos por desearnos lo mejor en cada paso arduo de la vida, gracias por ser como son, porque su presencia y sus buenos ejemplos han ayudado a construir y forjar la persona que ahora somos.

A nuestros maestros y amigos, con quienes, en el andar de este tiempo, nos hemos identificado, porque cada uno ha motivado nuestros sueños y esperanzas; y han ayudado en consolidar un mundo más humano.

A nosotros mismos, quienes a pesar de las dificultades que se nos presentaron en este largo camino, nunca desistimos de cumplir nuestro sueño, por el contrario, persistimos e hicimos realidad algo que mirábamos lejano. A nosotros que siempre estuvimos juntos y supimos sobrellevar cada circunstancia, logrando salir adelante y culminando finalmente esta etapa de nuestras vidas.

Gracias a todos los que han recorrido este camino con nosotros, porque hemos aprendido a ser más humanos, formando así, parte de este logro que hoy en día estamos alcanzando.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo investigativo tuvo como objetivo realizar el diseño geométrico y la estructura de pavimento articulado (Adoquín) de 2.0 kilómetros, Empalme Los Cerritos-Comunidad Nueva Jerusalén:

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

Este capítulo abordará aspectos tales como: Introducción, Antecedentes, Justificación y Objetivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Este capítulo abordará conceptos básicos relacionados a estudios topográficos, estudios de tránsito, análisis de estudios de suelos. Se abordará una breve descripción de la metodología de la ASSHTO-93 y los procedimientos recomendados por la Sieca-2011 para el diseño geométrico de carreteras.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo abordará aspectos tales como:

Levantamiento topográfico: Se recopiló la información resultante del levantamiento topográfico del tramo de 2.0 kilómetros (Empalme Los Cerritos, Est.0+000, hasta comunidad Nueva Jerusalén, Est. 2+000). Con respecto a los trabajos desarrollados, se ha incluido el levantamiento de la franja de la vía proyectada, bordes de camino, ubicación de BM's, inventario de todas las estructuras existentes.

Estudio de tránsito: Se realizó un aforo vehicular durante 3 días, para conocer el volumen de vehículos y estimar el Tráfico Promedio Diurno, con el objetivo de estimar el TPDA, para el cual se utilizaron factores de ajustes de la estación de corta duración (Estación ECD-142). La metodología empleada fue la del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), utilizando el anuario de aforos de tráfico - 2020, con la finalidad de estimar una tasa de crecimiento en base a la estación seleccionada. Finalmente estimar el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL s) o W18.

Estudio de geotécnico: Los estudios de laboratorio fueron realizados IDISA (Ingenieros Consultores de Nicaragua). Dichos sondeos permitieron la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del suelo existente y bancos de materiales cercanos al proyecto. Los bancos de préstamos se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019. Posterior se realizó el cálculo del CBR de la subrasante en base a las muestras tomadas utilizando los cortes y rellenos que genero el software Civil 3D-2023.

Diseño de estructura de pavimento: Consistió en la realización del paquete estructural de la estructura de pavimento articulado el cual considero lo metodología de la AASHTO-93 así como la utilización del manual centroamericano de pavimentos SIECA-2002, éstos contemplan los parámetros necesarios para un diseño optimo como: coeficientes de capa (a_1, a_2, a_3), numero estructurales (SN_1, SN_2, SN_3), coeficiente de drenaje (m_i), modulo resiliente de la subrasante (M_r), necesarios para el cálculo de los espesores del pavimento.

Diseño geométrico: El presente capítulo describe los métodos y procedimientos utilizados para el trazado del tramo de 2.0 kilómetros, haciendo uso del software Autodesk Civil 3D-version 2023 y adoptando los criterios del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA-2011, 3ra edición).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los objetivos específicos se muestran las conclusiones obtenidas al desarrollar cada capítulo propuesto en este documento, de igual manera se reflejan las recomendaciones necesarias acorde a cada conclusión establecida.

ÍNDICE

Pág.

CAPÍTULO: I GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.1.1. Macro localización	2
1.1.2. Micro localización	3
1.2 Antecedentes.....	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Topografía.....	7
2.1.1. Clases de levantamientos	7
2.1.2. Etapas de levantamientos topográficos	7
2.1.3. Clasificación de levantamientos topográficos	7
2.1.4. Partes en que se divide la topografía	8
2.1.5. Perfil longitudinal	8
2.1.6. Secciones transversales.....	8
2.1.7. Curva de nivel	9
2.1.8. Pendiente.....	9
2.2. Estudio de tránsito	9
2.2.1. Vehículos de proyecto	9
2.2.2. Características de los vehículos de proyecto.....	9
2.2.3. Volumen de tránsito.....	10
2.2.4. Volúmenes de tránsito promedio diarios	10
2.2.5. Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	11
2.2.6. Proyección de tráfico	11
2.2.7. Factor de equivalencia (Fesal)	11
2.2.8. El índice de serviciabilidad	12

2.2.9. Perdida de serviciabilidad.....	12
2.2.10. Factor de distribución por dirección.....	12
2.2.11. Factor por distribución por carril.....	13
2.2.12. Ejes equivalentes (Esal o W18).....	13
2.2.13. Factor de crecimiento (Fc).....	13
2.2.14. Tránsito de diseño (TD).....	14
2.3. Suelo.....	14
2.3.1. Clasificación de los suelos.....	14
2.3.2. Límite líquido (LL).....	15
2.3.3. Límite plástico (LP).....	15
2.3.4. Índice plástico (IP).....	15
2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de los suelos.....	15
2.3.6. Perfil estratigráfico.....	16
2.4. Pavimento articulado.....	16
2.4.1. Adoquín.....	16
2.4.2. Capa de arena.....	16
2.4.3. Arena de sello.....	17
2.4.4. Base granular.....	17
2.4.5. Subbase granular.....	17
2.4.6. Subrasante.....	18
2.5. Método AASHTO - 93.....	18
2.5.1. Confiabilidad.....	19
2.5.2. Módulo de resiliencia (Mr).....	19
2.5.3. Cálculo del CBR de diseño.....	20
2.5.4. Número estructural asumido (SN).....	20
2.5.5. Coeficiente de capa (a_1 a_2 , a_3).....	20
2.5.6. Coeficiente de drenaje (m).....	21
2.5.7. Factor de equivalencia (Fesal).....	21
2.5.8. Desviación estándar (So).....	21
2.5.9. Período de diseño.....	21
2.6. Diseño geométrico.....	22

2.6.1. Alineamiento horizontal	22
2.6.2. Alineamiento vertical.....	25

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Levantamiento topográfico	25
3.1.1. Metodología	25
3.1.2. Puntos topográficos.....	25
3.1.3. Importación de puntos a Civil-3D	26
3.1.4. Curvas de nivel	27
3.1.5. Creación de superficie	27
3.1.6. Planimetría.....	28
3.1.7. Composición del Tramo.....	29
3.1.8. Altimetría.....	29
3.1.9. Establecimiento de BMs	31
3.1.10. Características de la Topografía existente.....	32
3.2. Estudio de tránsito	33
3.2.1. Generalidades	33
3.2.2 Procesamiento de información.....	33
3.2.2.3. Análisis de la información obtenida.....	33
3.2.4. Consolidado del conteo vehicular.....	33
3.2.5. Procedimiento de campo.....	33
3.2.6. Estación de conteo vehicular.....	34
3.2.7. Tipos de vehículos.....	34
3.2.8. Diagrama de cargas permisibles	34
3.2.9. Cálculo del Tránsito Promedio Diurno Semanal (TPDi).....	34
3.2.10. Cálculo del TPDA utilizando la metodología del MTI	37
3.2.11. Factores de ajustes o de expansión.....	39
3.2.12. Porcentaje vehicular del TPDA.....	43
3.2.13. Clasificación de la vía	44
3.2.14. Tasas de crecimiento y variables macroeconómicas.....	44
3.2.15. Estadísticas del producto interno bruto (PIB) 2010- 2020	46

3.2.16. Estadísticas del crecimiento de población (POB)	47
3.2.17. Estadísticas históricas de combustible (COMB)	48
3.2.18. Tasas de crecimiento calculadas	49
3.2.19. Selección de la tasa de crecimiento	50
3.2.20. Período de Diseño (PD).....	50
3.2.21. Factor de crecimiento (Fc).....	51
3.2.22. Factor distribución por dirección (Fd).....	52
3.2.23. Factor distribución por carril (fc).....	52
3.2.24. Tránsito de diseño (TD).....	52
3.2.25. El índice de serviciabilidad inicial (P_0).....	54
3.2.26. El índice de serviciabilidad final (P_t).....	54
3.2.27. Factor de equivalencia (FESAL).....	54
3.2.28. Número estructural asumido (SN).....	54
3.2.29. Ejes equivalentes (ESAL o W18)	56
3.3. Estudio geotécnico	57
3.3.1. Ensayos de laboratorio	57
3.3.2. Sondeos manuales	58
3.3.3. Condición actual de la vía.....	59
3.3.4. Trabajo de campo y laboratorio.....	59
3.3.5. Características físico-mecánicas de los suelos.....	60
3.3.7. Resultados de ensayos a bancos de préstamo	64
3.3.8. Especificaciones de la Nic-2019 para bases y subbases	68
3.3.9. Evaluación del Banco #2 propuesto para base.....	69
3.3.10. Evaluación del Banco #2 propuesto para la capa subbase	69
3.3.11. Evaluación del Banco #1 propuesto para la capa subbase	70
3.3.14. Determinación del CBR de Diseño.....	71
3.3.15. CBR de la subrasante	72
3.3.16. Criterio de determinación del percentil de diseño para el CBR	75
3.4. Diseño de pavimento	78
3.4.1. Confiabilidad (R).....	79
3.4.2. Variable de serviciabilidad (P_0 , P_t , Δ PSI)	79

3.4.3. Desviación estándar (S_o)	80
3.4.4. Variable módulo de resiliente (MR)	81
3.4.5. Variable coeficiente de Drenaje (mi)	81
3.4.6. Coeficientes de capa (a_1, a_2, a_3)	83
3.4.7. Coeficientes de capa a_1	83
3.4.8. Coeficiente de capa a_2	84
3.4.9. Coeficientes estructurales a_3 para subbase granular	85
3.4.10. Números estructurales (SN)	86
3.4.11. Cálculo de los números estructurales (SN_1, SN_2, SN_3)	86
3.4.13. Espesores finales de diseño	89
3.5. Diseño geométrico	91
3.5.1. Parámetros de diseño geométrico	91
3.5.2. Clasificación funcional de la carretera	91
3.5.3. Volumen de tránsito proyectado	92
3.5.4. Vehículo de diseño	92
3.5.5. Velocidad de diseño	93
3.5.6. Superficie de rodamiento	94
3.5.7. Número de carriles	94
3.5.8. Ancho de Carril de rodamiento	95
3.5.9. Ancho de Hombros	95
3.5.10. Ancho de corona	96
3.5.11. Pendiente transversal	96
3.5.12. Sección Típica Propuesta	97
3.5.15. Coeficiente de fricción máxima	99
3.5.16. Sobreelevación máxima	99
3.5.17. Radio mínimo y grado de curvatura	100
3.5.18. Cálculo de sobreelevación	101
3.5.19. Pendiente Relativa	103
3.5.20. Cálculos de sobreamanchos	104
3.5.21. Cálculo de elementos de curvas	105
3.5.22. Cálculo de estacionamientos de curvas	106

3.5.23. Resultados finales de tramos rectos	108
3.5.24. Resultados de alineamiento Vertical	112
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS	I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de distribución por dirección	12
Tabla 2. Factor por distribución por Carril	13
Tabla 3. Especificaciones de materiales para base	17
Tabla 4. Especificaciones de materiales para subbase	18
Tabla 5. Especificaciones para la capa de subrasante	18
Tabla 6. Factores de confiabilidad recomendados	19
Tabla 7. Niveles de humedad cercanos a la saturación	21
Tabla 8. Período de diseño (N)	22
Tabla 9. Archivo de Puntos del proyecto	25
Tabla 10. Coordenadas UTM de estación inicial y final del proyecto	28
Tabla 11. Composición del tramo	29
Tabla 12. Recta máxima-menor identificada	29
Tabla 13. Curva máxima-menor identificada	29
Tabla 14. Clasificación de Terrenos en función de las Pendientes	30
Tabla 15. Consolidado de Pendientes por Estaciones	30
Tabla 16. Listado de BMs (BENCH MARCK)	31
Tabla 17. Cálculo del Tránsito Promedio Diurno (TPDi) ambos sentidos	35
Tabla 18. Vector geográfico	37
Tabla 19. Dependencia (EMC-1205 Emp. Chichigalpa Rotonda Chinandega) 38	
Tabla 20. Volúmenes TPDA según clasificación de estaciones	38
Tabla 21. factores /3 ^{er} cuatrimestre del año (EMC-1205) Emp. Chichigalpa Rotonda Chi	39
Tabla 22. Desglose de factores de ajustes	41
Tabla 23. Cálculo del TPDA aplicando factores de ajustes / ambos sentidos	41
Tabla 24. Registros históricos del TPDA-142, PIB, POB y COMB	44
Tabla 25. Tasas de crecimiento para TPDA ECD 142	45
Tabla 26. Estadísticas del PIB y tasas interanuales	46
Tabla 27. Estadísticas del POB y tasas interanuales	47
Tabla 28. Estadísticas del COMB tasas de crecimiento interanual	49
Tabla 29. Tasas de crecimiento calculadas	50

Tabla 30. Clasificación funcional de la vía	51
Tabla 31. Periodo de diseño (N)	51
Tabla 32. Factor de distribución por dirección (Fd).....	52
Tabla 33. número de carriles en una dirección (fc).....	52
Tabla 34. Tránsito de diseño.....	54
Tabla 35. Cálculo del factor FESAL 2.2 kips/ ejes simples.....	55
Tabla 36. Cálculo del factor FESAL 36.30 kips/ eje tándem.....	56
Tabla 37. Cálculo ESAL por carril de diseño	57
Tabla 38. Tipos de ensayos efectuados	58
Tabla 39. Cantidad sondeos manuales y muestras	59
Tabla 40. Sondeos del tramo en estudio (Est 0+000, 0+600), (SM-01, SM-07) .	61
Tabla 41. Resultados de granulometría plasticidad y clasificación de los suelos	62
Tabla 42. Bancos de préstamos Identificados	64
Tabla 43. Tipos de ensayos efectuados	67
Tabla 44. Propiedades físico-mecánicas de los bancos de préstamo.....	67
Tabla 45. Granulometría de los bancos de préstamos identificados	68
Tabla 46. Evaluación Banco #1 para la capa base.....	69
Tabla 47. Evaluación Banco #2 para la capa subbase	69
Tabla 48. Evaluación Banco #1 para la capa subbase	70
Tabla 49. Bancos Diseño seleccionados	71
Tabla 50. corte y relleno generadas por Civil 3D-2023.....	73
Tabla 51: Ejemplo de toma de muestra en base a subrasante	74
Tabla 52. Selección de CBR de diseño para la subrasante	75
Tabla 53. Criterio del Instituto de asfalto para determinar CBR de Diseño	75
Tabla 54. Niveles de confianza según su clasificación funcional	79
Tabla 55. Desviación estándar valores recomendados	80
Tabla 56. Correlación entre el CBR	81
Tabla 57. Clasificación de la calidad del drenaje	82
Tabla 58. Coeficiente de drenaje para pavimento flexibles	82
Tabla 59. Espesores mínimos sugeridos por capa.....	88
Tabla 60. Clasificación de la Funcional.....	91

Tabla 61. Tipo de vehículo según Sieca-2011	92
Tabla 62. Velocidad de Diseño	94
Tabla 63. Número de carriles en función a la clasificación de la funcional	95
Tabla 64. Anchos mínimos de hombros y aceras	96
Tabla 65. Distancia de visibilidad parada en función de la velocidad (30km/h) ..	99
Tabla 66. Coeficiente de fricción lateral en función de la Velocidad.....	99
Tabla 67. La sobreelevación o peralte según tipo de área	100
Tabla 68. Radios mínimos para distintas Velocidades de Diseño (Peralte 8%)	101
Tabla 69. Resultados de sobreelevación	103
Tabla 70. Máximas Pendientes Relativas	104
Tabla 71. Resultados de sobreeancho	105
Tabla 72. Resultados de elementos de curvas	108
Tabla 73. Resultados de Curvas en Espiral (L1-L7)	109
Tabla 74. Resultados de elementos de tangentes (L1-L13)	110
Tabla 75. Resultados de elementos de las tangentes (L14 – 21).....	111
Tabla 76. Datos para el cálculo de distancia de parada en función de la velocidad	113
Tabla 77. Alineamiento vertical proyectado	114
Tabla 78. Formato para conteo de tránsito vehicular por 12 horas diurnas	IV
Tabla 79. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (martes 12/09/2023).....	V
Tabla 80. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (miércoles 13/09/2023)	VI
Tabla 81. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (jueves 14/09/2023) ...	VII
Tabla 82. Diagrama de cargas permisibles (livianos y pasajeros).....	XVII
Tabla 83. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículos (pesados).	XVII
Tabla 84. Factores equivalentes de cargas, ejes simples $P_t= 2.0$ y $SN=5$	XVIII
Tabla 85. Resultados de Interpolación de los pesos por eje (2.2, 4.4, 8.8).....	XX
Tabla 86. Resultados de Interpolación de los pesos por eje (9.9, 11, 14.30).....	XX
Tabla 87. Resultados de Interpolación lineal (17.60, y 36.30).....	XX
Tabla 88: Clasificación SUCS	XXI
Tabla 89: Clasificación de suelos AASHTO M-145.	XXII

Tabla 90. Requerimientos de granulometría de subbase-base	XXIII
Tabla 91. Resultado de CBR Banco #1, Hugo Altamirano	XXIV
Tabla 92. Resultado de CBR Banco #2, Eduardo Blanco.....	XXIV
Tabla 93. Ensayos de granulometría Banco #1, Banco #2, Hugo Altamirano Moncada, Eduardo Blanco	XXV
Tabla 94. Ensayos desgaste de los ángeles Banco #1, Hugo Altamirano Moncada.....	XXVI
Tabla 95. Ensayos de Hinchamiento y penetración Banco #1, Banco #2 Hugo Altamirano y Eduardo Blanco.....	XXVII

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen-1. Macro localización Nicaragua (Departamento de Estelí)	2
Imagen-2 :Micro localización del tramo en estudio	3
Imagen 3. Ejemplo de archivo de puntos (txt)	26
Imagen 4. Herramienta de creación de puntos	26
Imagen 5. Especificación de formato de puntos	27
Imagen 6. Herramienta de creación de puntos	28
Imagen- 7: Banco #1 Hugo Altamirano Moncada	65
Imagen 8: Banco #2 Eduardo Blanco.	66
Imagen 9. Coeficientes de capa para la estructura de pavimento	83
Imagen 10. Estructura Final de Pavimento	90
Imagen 18. Dimensiones y trayectoria de giro para el vehículo propuesto SU	93
Imagen 19. Sección típica propuesta	97
Imagen 21. Ubicación del aforo vehicular.	II
Imagen- 22. Estimación del SN ₃ requerido	XXVIII
Imagen- 23. Estimación del SN ₂ .	XXVIII
Imagen- 24: Adoquín tipo tráfico.	XXIX

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento del Tránsito Promedio Diurno por día_____	36
Gráfico 2. Composición del Tránsito Promedio Diurno semanal por vehículo_	36
Gráfico 3. Composición de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)_____	43
Gráfico 4. Porcentaje de flota vehicular que circula por la vía_____	43
Gráfico-5. Estratigrafía de los sondeos manuales estación (0+000- 2+000)_	63
Gráfico 6: Estimación del CBR de diseño_____	77
Gráfico 7: Para bases granulares (a_2)_____	84
Gráfico 8. para subbase granular (a_3)_____	85
Gráfico 9. Obtención del número estructural SN_2 y SN_3 _____	87
Gráfico 10. Composición vehicular martes / Est: 0+000._____	VIII
Gráfico 11. Composición vehicular miércoles / Est: 0+000._____	VIII
Gráfico 12. Composición vehicular jueves / Est: 0+000._____	IX
Gráfico 13. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (martes)_____	IX
Gráfico 14. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (miércoles)_____	X
Gráfico 15. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (jueves)_____	X



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Área de Conocimientos de
Ingeniería y Afines

CAPÍTULO

I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La infraestructura del sistema vial es uno de los patrimonios más valiosos con que cuenta cualquier país, por lo que su magnitud y calidad representa uno de los indicadores del grado de desarrollo de este. En los últimos años, con el aumento cada vez mayor del parque vehicular, la circulación en las calles y carreteras se ha tornado más compleja, motivo por el cual, cobra gran importancia la realización de análisis de planeamiento, proyecto y de operación, más detallados de los sistemas viales, donde es precisamente la ingeniería de tránsito, aquella rama de la ingeniería, la llamada a tratar estos aspectos. (Cal y Mayor, Rafael , 2018)

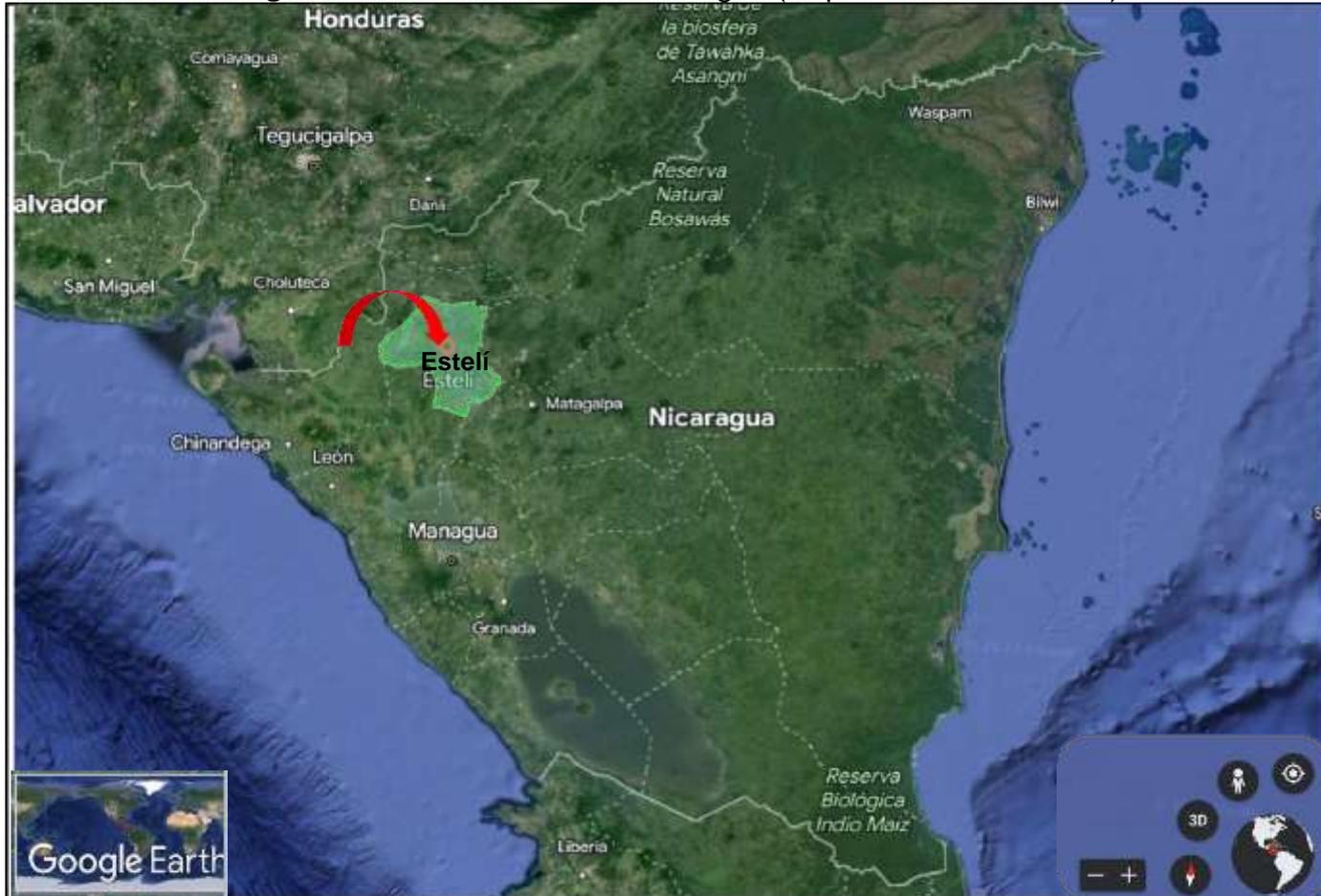
El tramo tiene su inicio en el Empalme Los Cerritos Est :0+000 y finaliza en la Est: 2+000 km, pertenece al municipio de Estelí departamento de Estelí y se encuentra situado a 4.7 km de la Carretera Panamericana Nic-1. Esta red vial es de importancia, ya que, comunica con otras comunidades aledañas como (Buena Vista, las Palmas, Valle Coyolito), así como a diferentes fincas productoras de tabaco y hortalizas, por lo que es necesario, una vía en optimo estado para el traslado de personas, bienes y servicios. (Ver Imagen 1-2, págs. 2-3)

El tramo en análisis contempló la realización del diseño geométrico y espesores de la estructura de pavimento articulado, el cual pretende mejorar la circulación de los pobladores y comunidades adyacentes, así como, productores y turistas que circulan por el tramo. La propuesta contribuirá al desarrollo económico de las comunidades además de potenciar la producción agrícola y mejorar en gran medida la calidad de vida de los habitantes. (Ver Anexos fotos pág. III)

Para cumplir con el objetivo general se empleó la metodología de la AASHTO-93, el cual incorpora los parámetros y ecuaciones necesarios para realizar un diseño confiable y duradero, dicho diseño se apegó a los criterios y especificaciones generales de la (Nic, 2019). El diseño también se sustentó en base a 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).

1.1.1. Macro Localización

Imagen-1. Macro Localización Nicaragua (Departamento de Estelí).



Fuente: Google Earth 2023. Link: <https://earth.google.com/web/search/NICARAGUA>

1.1.2. Micro Localización

Imagen-2 :Micro localización del tramo en estudio (Empalme Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalén) 2 kilómetros.



Fuente: Google Earth 2023. Link : <https://earth.google.com/web/search/NICARAGUA/@13.1409451,-86.33881517,810.71007341a,572.31491182d,35y,0h,0t,0r/data=CnQaShJECiUweDhmMTBjMjAwY2VmZjlyY2Q6MHhjOGZyYkdINTNmYWxNWl1GcreUs4XuyIAIRlybD1DTVXAKgIOSUNBUkFHVUEYASABIIYKJAIzTmFuLlIzQBFXtmFuLlIzwbntb6IAXO5IQCGGcln0e2BJw>

1.2 Antecedentes

La comunidad Nueva Jerusalén se fundó en el año 2017, con ella vino la apertura de calles, trabajos realizados por la Alcaldía municipal de Estelí, en el periodo de gobierno del Lic. Francisco Valenzuela alcalde de Estelí. El camino que comunica hacia la comunidad tuvo su apertura en el año 1985, trabajos realizados por maquinaria pesada de la municipalidad, la que consistió en dar acceso y comunicar a las comunidades cercanas, ya que, en sus inicios las condiciones del camino eran desfavorables, el tránsito que realizaban los pobladores era a través de bestias y carretas en las que trasladaban sus cosechas y bienes.

Según el líder comunitario Juan Talavera (Comunicación personal, de abril de 2023), en los años dos mil, la comunidad era una finca propiedad del Sr. Manuel Loza, la cual tenía una extensión de 7 hectáreas, la que era aprovechada para la siembra de Tabaco y hortalizas, hasta que finalmente decidió lotificar en lotes para la construcción de viviendas a precios módicos.

La vía no posee drenaje longitudinal, a lo largo del tramo, sin embargo, cuenta con algunas obras de drenaje menor como: alcantarillas y vados, por lo tanto, el nivel de serviciabilidad es bajo. La vía no cuenta con una estructura de pavimento óptima que cumpla con los parámetros necesarios para el tránsito vehicular y la población en general.

Los pobladores de Nueva Jerusalén cuentan con servicios básicos como: agua potable, energía eléctrica, además del servicio de transporte público, con una ruta de bus que hace dos recorridos hasta la comunidad El Coyolito.

Actualmente la superficie de rodamiento se encuentra en buen estado, ya que, el año antepasado (2022) en el mes de diciembre, la alcaldía Municipal, realizó un mantenimiento rutinario con material Macadam a lo largo del tramo, trabajo que venían gestionando los pobladores producto de los daños causados por los últimos huracanes Otto, Iota y Eta en los años 2020. (Alcaldía, 2022)

1.3. Justificación

La construcción del tramo es de especial importancia porque conecta con otras comunidades aledañas, además el tramo es ruta hacia la zona turística neblinas del boque. Dentro del área de influencia se encuentra la siembra y producción de Tabaco, así como hortalizas: papa, cebolla, ajo, etc. Para lograr un desarrollo socioeconómico sostenible es importante contar con una red vial en buenas condiciones, por tanto, es de carácter prioritario dar mantenimiento a las vías, así como impulsar la construcción de nuevas calles y caminos.

De realizarse la construcción de este proyecto incentivará a los productores a utilizar, mejores tecnologías de siembra y por ende habría un incremento en los volúmenes productivos, lo que contribuirá notablemente en el fortalecimiento de la actividad económica local y social de la comunidad, en consecuencia, en el desarrollo del municipio.

Los pobladores que habitan las comunidades Los Cerritos y Nueva Jerusalén son alrededor de 105 familias ubicadas a lo largo del tramo que se beneficiarán de manera directa, ya que, habrá una reducción en ahorro de los costos de operación vehicular para que el transporte público y privado. También se mejorará el acceso a los diferentes destinos y de manera indirecta a las comunidades colindantes.

El presente trabajo monográfico estará dirigido, a la propuesta de un diseño de pavimento articulado, que responda eficientemente ante las condiciones climáticas, volumen de tráfico y comodidad de los usuarios. La población directa beneficiada será de 450 habitantes, e indirectamente a 1600 de comunidades aledañas.

Al ejecutarse este proyecto se estará contribuyendo a crear las condiciones necesarias, para garantizar una serviciabilidad adecuada, a los diferentes protagonistas del área de influencia, se pretende, además, crear una oportunidad de trabajo a la población local, debido a que por la naturaleza del trabajo se requiere de mucha participación de mano de obra no especializada.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el Diseño geométrico y estructura de pavimento articulado por el método AASHTO-93, del tramo de 2.0 kilómetros, empalme Los Cerritos comunidad Nueva Jerusalén, Municipio de Estelí.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico que permita la representación gráfica del tramo, mediante curvas de nivel, utilizando el software Civil 3D 2023.
- Realizar un estudio de tránsito, permitiendo el cálculo de los ejes equivalentes (ESAL) y el TPDA al final del periodo de diseño, haciendo uso del Anuario de Aforos de Trafico 2020.
- Analizar el estudio geotécnico existente del tramo y de los bancos de materiales locales, definiendo su uso en la estructura de pavimento articulado, tomando como referencia los requerimientos de la NIC 2019.
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado, aplicando el método de la AASHTO-93.
- Diseñar geoméricamente el tramo en estudio, aplicando el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011, generando planos a través del software Civil 3D 2023.



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Área de Conocimientos de
Ingeniería y Afines

CAPÍTULO

II

MARCO TEÓRICO

2.1. Topografía

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos tres elementos pueden ser, dos distancias y una elevación; o una distancia y una dirección o bien una combinación de tres elementos. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grado decimal). (Morales, 2015, p. 11)

2.1.1. Clases de levantamientos

Estos pueden ser topográficos o geodésicos:

- **Levantamiento topográfico:** son aquellos que por abarcar superficies reducidas pueden hacerse despreciando la curvatura terrestre, sin error apreciable. (Morales, 2015, p. 10)
- **Levantamiento geodésico:** son levantamientos en grandes extensiones que hacen necesario considerar la curvatura de la tierra. (Morales, 2015, p. 10)

2.1.2. Etapas de levantamientos topográficos

El levantamiento topográfico comprende dos etapas:

1. **Etapas de campo:** consiste en la toma de datos, tales como ángulos, distancias, etc.
2. **Etapas de gabinete:** corresponde al cálculo y dibujo de lo levantado en campo. (Morales, 2015, p. 10)

2.1.3. Clasificación de levantamientos topográficos

Los levantamientos topográficos se clasifican en:

- a) **Levantamiento de terrenos en general:** tiene por objeto marcar linderos o localizar, medir y dividir superficies, ubicar terrenos, en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. (Morales, 2015, p. 10)

b) Topografía de vías de comunicación: es el que sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión, acueductos, etc. (Morales, 2015, p. 10)

c) Topografía de minas: tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionados con las obras superficiales. (Morales, 2015, p. 10)

2.1.4. Partes en que se divide la topografía

La Topografía se divide en dos grandes partes que son: Planimetría y Altimetría.

Planimétrica: estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. Entre los trabajos que realiza la planimetría tenemos: cálculo de superficie, división de terrenos en parcelas, replanteo de líneas viejas o destruidas, construcción de planos de terrenos, etc. (Morales, 2015, p. 13)

Altimétrica: tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar. (Morales, 2015, p. 13)

2.1.5. Perfil longitudinal

Se denomina perfil, a la línea determinada por la intersección del terreno con un plano vertical. En el trazado de un camino, una tubería, canal, etc., se requieren las elevaciones en cada estación completa, en los vértices (que son los puntos que marcan los cambios de dirección), en los puntos que cambia la inclinación del terreno (cambio de pendiente) y en los puntos críticos como caminos, puentes, alcantarillas, etc. (Morales, 2015, p. 149)

2.1.6. Secciones transversales

El levantamiento de secciones transversales con frecuencia se obtiene la forma de la superficie de camino, estas se realizan a cada 20 metros en rectas y en curvas verticales a cada 5 metros. (Morales, 2015, p. 154)

2.1.7. Curva de nivel

Es una línea dibujada en un mapa o plano, la cual une todos los puntos que tiene la misma altura o elevación con respecto a un plano de referencia que puede ser arbitrario o el nivel medio del mar. (Morales, 2015, p. 177)

2.1.8. Pendiente

Se entiende por pendiente de un terreno en general a su inclinación respecto a la horizontal, puede ser ascendente o descendente según el punto de observación. Si el terreno es horizontal su pendiente es cero (Morales, 2015, p. 157), se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{DN}{DH} * 100 \quad \text{Ec. 1. Tomada de (Morales, 2015)}$$

Donde:

p= pendiente, %.

DN= Diferencia de Nivel, metros.

DH= Distancia Horizontal, metros.

2.2. Estudio de tránsito

Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado". (Cal y Mayor, 2018, p. 33)

2.2.1. Vehículos de proyecto

El vehículo de proyecto es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo. (Cal y Mayor, 2018, p. 96)

2.2.2. Características de los vehículos de proyecto

En general, los vehículos se clasifican en ligeros, pesados y vehículos especiales.

Vehículos ligeros: son vehículos de pasajeros y/o carga, que tienen dos ejes y cuatro ruedas. Se incluyen en esta denominación los automóviles, camperos, camionetas y las unidades ligeras de pasajeros y carga. (Cal y Mayor, 2018, p. 96)

Vehículos pesados: son unidades destinadas al transporte masivo de pasajeros o carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas. En esta denominación se incluyen los autobuses y los camiones. (Cal y Mayor, 2018, p. 96)

Vehículos especiales: son aquellos que eventualmente transitan y/o cruzan las carreteras y calles, tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas, y en general, todos los demás vehículos no clasificados anteriormente, tales como vehículos deportivos y vehículos de tracción animal. (Cal y Mayor, 2018, p. 96)

2.2.3. Volumen de tránsito

El volumen es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico. (Cal y Mayor, 2018, p. 181)

2.2.4. Volúmenes de tránsito promedio diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del período. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < t \leq 1 \text{ año}} \quad \text{Ec. 2. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)}$$

Dónde:

N: representa el número de vehículos que pasan durante **t** días. De acuerdo con el número de días del período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día.

2.2.5. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día. (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020, p. 14). Se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$TPDA = TPDiS_{12} * FD * FS * FE \quad \text{Ec. 3. Tomada de (Heberto Hernández, 2011)}$$

Donde:

TPDiS₁₂: Tránsito Promedio Diurno Semanal de 12 horas.

FD: Factor Día.

FS: Factor Semana.

FE: Factor Expansión (Expansión a TPDA).

2.2.6. Proyección de tráfico

El método más común para la **proyección de tráfico** es el de la siguiente ecuación:

$$TC_n = \left[\left(\frac{\text{Año}_n}{\text{Año}_{n-1}} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \text{Ec. 4. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)}$$

Donde:

TC_n: Tasa de crecimiento en el periodo de análisis.

Año n: Año actual.

Año n-1: Año anterior.

n: la diferencia de años.

2.2.7. Factor de equivalencia (Fesal)

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos (SIECA, 2002, p. 3).

Esta carga uniformizada según AASHO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor). Las tablas de valores de Factores Equivalentes de Carga se muestran en Anexos, tabla-126-127, pág. XLVI-XLVII.

2.2.8. El índice de serviciabilidad

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. (SIECA, 2002, p. 4).

Índice de serviciabilidad inicial:

P_o= 4.5 para pavimentos rígidos.

P_o= 4.2 para pavimentos articulados.

Índice de serviciabilidad final:

P_t= 2.5 o más para caminos importantes.

P_t= 2.0 para caminos de tránsito menor.

2.2.9. Perdida de serviciabilidad

Para el cálculo de pérdida de serviciabilidad (**ΔPSI**), se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad \text{Ec. 5. Tomada de (SIECA, 2002)}$$

2.2.10. Factor de distribución por dirección

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. (SIECA, 2002, p. 28).

Tabla 1. Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual de pavimentos (Sieca-2002, Cap. 3 Pág. 28).

2.2.11. Factor por distribución por carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril. (SIECA, 2002, p. 28).

Tabla 2. Factor por distribución por Carril

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual de pavimentos (Sieca-2002, Cap. 3 Pág. 28).

2.2.12. Ejes equivalentes (Esal o W18)

Este se obtiene conociendo el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia (FESAL). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esal ó W18} = \text{TD} * \text{Fesal} \quad \text{Ec. 6. Tomada de (SIECA, 2002)}$$

2.2.13. Factor de crecimiento (Fc)

Es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas (SIECA, 2002). Conforme a publicaciones del MTI, el factor de crecimiento recomendado se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{FC} = \frac{[(1 + \text{TC})^n - 1]}{\text{TC}} \quad \text{Ec. 7. Tomada de (Heberto Hernández, 2011)}$$

Dónde:

FC: Factor de Crecimiento.

TC: Tasa de Crecimiento.

n: Período de Diseño.

2.2.14. Tránsito de Diseño (TD)

El tránsito de Diseño determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía y así obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil. Para su determinación. Puede ser aplicada la ecuación:

$$TD = TPDA * FC * Fs * Fc * 365 \quad \text{Ec. 8. Tomada de (Heberto Hernández,2011)}$$

Dónde:

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

Fs: Factor de Distribución por Sentido.

Fc: Factor por Distribución por Carril.

365: Constante equivalente a la estimación para los 365 días del año.

2.3. Suelo

Suelo es la delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración o alteración fisicoquímicas de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, p. 18).

2.3.1. Clasificación de los suelos

A continuación, se describen los suelos más comunes generalmente utilizados en la ingeniería civil para su identificación:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro, sus partículas varían desde 76.2 centímetros (3") hasta 2.00 milímetros. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, pág. 21).

- **Arenas:** es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, sus partículas varían desde 2.00 milímetros hasta 0.05 milímetros de diámetro. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, pág. 22).

- **Limos:** son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el procedente de canteras o limo orgánico como el que suele encontrarse en ríos, sus partículas varían desde 0.05 milímetros hasta 0.005 milímetros de diámetro. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, pág. 22).
- **Arcillas:** son partículas sólidas con diámetro menor a 0.005 milímetros y cuya masa tiene propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, pág. 22).

2.3.2. Límite Líquido (LL)

Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido. (SIECA, 2002, pág. 3)

2.3.3. Límite Plástico (LP)

Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido. (SIECA, 2002, pág. 3)

2.3.4. Índice Plástico (IP)

es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material. (SIECA, 2002, pág. 3)

2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de los suelos

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo de este (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades. (SIECA, 2002, pág. 2)

- Granulometría.
- Límites de Atterberg (líquido e índice plástico).
- Valor Soporte (CBR).
- Densidad (Proctor)
- Humedad.

2.3.6. Perfil estratigráfico

Cualquiera que sea el tipo de perforación que se ejecute, a medida que se va profundizando en ella se deben anotar los espesores de los distintos estratos atravesados, indicando cuales son gravas, limos, arcillas, o mezcla de las mismas; así como su color, aspereza y tamaño de las partículas. (Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004, pág. 36).

2.4. Pavimento articulado

Pavimento articulado o de adoquines, está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de subbase o directamente sobre la subrasante. (Manual para la revision de diseños de pavimentos, 2008, p. 29)

2.4.1. Adoquín

El Adoquín es un elemento de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonos, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado (Nic, 2019, p. 391). El adoquín a usarse, incluyendo las “cuchillas”, será el denominado TIPO TRAFICO, cuya resistencia característica a los 28 días (Nic, 2019, p. 393), no deberá ser menor que los siguientes valores:

- Tipo 1 para Tráfico Pesado: 49.0 MPa.
- Tipo 2 para Tráfico Liviano: 34.3 MPa.

2.4.2. Capa de arena

La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su gradación será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 centímetros ni mayor de 4 centímetros. (Nic, 2019, p. 397)

2.4.3. Arena de sello

Consiste en cero o arena natural, usado para rellenar las juntas de adoquines. Este material debe estar libre de impurezas y materia orgánica. Para el caso específico de la actividad de sello de adoquín con arena, el que se aplicará para eliminar vacíos existentes entre las juntas, dando mejor soporte a los adoquines, evitando que estos se desprendan de su sitio o que se fracturen, producto del tráfico vehicular. (Nic, 2019, p. 397)

2.4.4. Base granular

La base estará constituida por agregados seleccionados, compuestos preferiblemente de grava o de agregados triturados. La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos (Nic, 2019, pág. 809):

Tabla 3. Especificaciones de materiales para base

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	10% máx.	AASHTO-90
CBR	80% min.	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	35% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8, pág. 809-810.

2.4.5. Subbase granular

Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material de la capa de subbase deberá cumplir con los requisitos siguientes (Nic, 2019, pág. 810):

Tabla 4. Especificaciones de materiales para subbase.

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
CBR	30% min	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	35% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8, pág. 810.

2.4.6. 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 (Nic, 2019, p. 810).

Tabla 5. Especificaciones para la capa de subrasante.

Propiedad	Capa Subrasante	Metodología
Límite Líquido	30% máx.	AASHTO T-11
Índice Plástico	30% máx.	AASHTO-89
CBR	10% máx.	AASHTO T-90
Desgaste de los Ángeles	20% máx.	AASHTO T-193
Intemperismo Acelerado	95% min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-T-191 Y/O T- 238 (In Situ)
Compactación	30% máx.	AASHTO T-11

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8, pág. 810.

2.5. Método AASHTO - 93

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles publicada en 1993 incluye importantes modificaciones dirigidas a mejorar la confiabilidad del método. La ecuación de este método de diseño es:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R S_O + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} (\Delta PSI)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Ec. 9. Tomada de (AASHTO-93, 2001)

Dónde:

W18: Número de cargas 18 Kips (80KN) previstas. Tráfico equivalente o ESAL's.

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

So: Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad.

MR: Módulo resiliente de la subrasante.

2.5.1. 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. (AASHTO, 93).

Tabla 6. Factores de confiabilidad recomendados

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Cap. 7 pág. 146.

2.5.2. 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 articulados, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR. (AASHTO, 93)

2.5.3. Cálculo del CBR de diseño

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y AASHTO con el número T-193.

Valor de CBR consideración

CBR < 10 % MR = 1,500 * CBR **Ec. 10** Tomada de (AASHTO-93, 2001)

CBR > 10% MR = 4,326 * Ln(CBR) + 241 **Ec. 11** Tomada de (AASHTO-93, 2001)

2.5.4. Número estructural asumido (SN)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN. Asumido por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad \text{Ec. 12. Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

Dónde:

a_{1,2,3}: Coeficientes estructurales de capa.

D_{1,2,3}: Espesores de capa.

m_{1,2,3}: Coeficientes de drenaje de capas.

Para el cálculo de **SN₂** y **SN₃** se utilizará el Nomograma establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento.

Espesores de pavimento:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \quad \text{Ec. 13. Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2} \quad \text{Ec. 14. Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 \times m_3} \quad \text{Ec. 15. Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

2.5.5. Coeficiente de capa (a₁, a₂, a₃)

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos articulados.

Mediante el uso de nomogramas que se presentan en la guía AASHTO-93, se determinarán los coeficientes estructurales, de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada; carpeta de rodamiento (a_1), base (a_2) y subbase (a_3) (AASHTO , 93).

2.5.6. Coeficiente de drenaje (m)

El Método AASHTO '93 para el diseño de pavimentos articulados 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 7. Niveles de humedad cercanos a la saturación

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de 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 Tabla 7.2 pág. 157.

2.5.7. Factor de equivalencia (Fesal)

Se obtendrán de las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes sencillos y dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (Pt), el número estructural asumido (SN) y los pesos de las cargas en Kips (AASHTO , 93).

2.5.8. Desviación estándar (So)

Factor que toma en cuenta la variación por errores en los materiales asociados al diseño, la variabilidad y propiedades de los suelos, estimaciones de tráfico, condiciones de clima y calidad de construcción. El rango recomendado por la AASHTO para pavimentos articulados es 0.40 - 0.50. (AASHTO , 93).

2.5.9. 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.

Tabla 8. Período de diseño (N).

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004.

2.6. Diseño geométrico

El diseño geométrico de carreteras es solo una parte del proceso completo de planificación de un proyecto. Por lo general, el diseño detallado ocurre en la etapa intermedia del proceso, conectando las fases preliminares de planificación y desarrollo del proyecto con las siguientes fases de adquisición de derechos de vía, licitación, construcción y mantenimiento. Aunque cada una de estas actividades es diferente, existe una superposición en términos de coordinación entre varias disciplinas que deben desarrollarse de manera conjunta, involucrando a todos los diseñadores a lo largo de todo el proceso. (SIECA, 2011, pág. 15)

2.6.1. Alineamiento horizontal

- **La tangente**

El alineamiento horizontal se refiere a la proyección del eje de una carretera o camino sobre un plano horizontal, Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja. (SIECA, 2011, pág. 82)

- **Curvas circulares**

La curva circular es un arco de influencia que se emplea en las obras longitudinales, para lograr un cambio gradual en la dirección de las tangentes y que al mismo tiempo sirven de unión entre las mismas. (SIECA, 2011). Para el diseño de las curvas se deben tener los siguientes datos:

Del levantamiento topográfico:

- ✓ Δ Deflexión) de la curva.
- ✓ PI (intersección de las tangentes) de la curva.

Del estudio del tránsito:

- ✓ VD (velocidad de diseño).
- ✓ f (coeficiente de fricción lateral) de la curva.

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. (SIECA, 2011)

- **Radio Mínimo**

El radio mínimo es un valor límite para la curvatura cuando se diseña una velocidad específica. Este valor está relacionado con el peralte máximo y la fricción lateral máxima seleccionada para el diseño. (SIECA, 2011, pág. 87)

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal (SIECA, 2011, p. 87) se calculan utilizando la fórmula la siguiente:

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \quad \text{Ec. 16. Tomada de (SIECA, 2011)}$$

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.

- **Grado máximo de curva**

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 (SIECA, 2011, p. 88). Para países como los

centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de D:

$$Gc = \frac{1145.92}{R} \quad \text{Ec. 17. Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva, en metros.

- **Desarrollo del peralte**

Para el diseño del peralte se deben tener los siguientes datos:

- Ancho de la calzada. (a), Bombeo de la calzada (b) y Pendiente relativa (m).

$$S = \frac{e_{m\acute{a}x}}{(G_{m\acute{a}x})^2} (2 * G_{m\acute{a}x} - Gc) * Gc \quad \text{Ec. 18. Tomada de (James Cárdenas, 2013)}$$

Dónde:

S= Sobreelevación de diseño, m / m.

emáx= Sobreelevación máxima, m / m.

Gcmáx= Grado de curvatura máximo.

Gc= Grado de curvatura.

- **Diseño de sobreelevación**

El sobreelevación es la anchura adicional a la calzada respecto al ancho en la tangente para proporcionar la misma separación entre vehículos en las curvas que en las tangentes (SIECA, 2011, p. 105). Se realiza con la siguiente ecuación:

$$Sa = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{0.10V}{\sqrt{R}} \quad \text{Ec. 19. Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Donde:

Sa = Valor sobreelevación, metros.

n = Número de carriles de la superficie de rodadura.

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

R = Radio de curvatura, metros.

- **Peralte**

Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento. (SIECA, 2011, pág. 82)

2.6.2. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical comprende el diseño de la rasante. Este diseño deberá cumplir con las normas de diseño en lo que refiere a pendientes y longitudes de curva emitidas por la AASHTO. La topografía del terreno y la ubicación de la obra son factores fundamentales en el alineamiento vertical. (SIECA, 2011, p. 115)

- **Rasante**

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan. (SIECA, 2011, pág. 139)

- **Pendientes**

Las pendientes en las carreteras existentes desempeñan un papel importante en la operación de los vehículos que transitan por ellas. En el caso de los automóviles, las pendientes ascendentes de hasta un 5% generalmente no afectan significativamente la velocidad en comparación con el terreno plano. Por lo tanto, las restricciones de velocidad en estas situaciones se imponen principalmente por consideraciones de seguridad y comodidad. (SIECA, 2011, pág. 117)

- **Curvas verticales**

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la

distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. (SIECA, 2011, pág. 123)

- **Sección transversal**

El ancho de las secciones de las autopistas elevadas varía considerablemente, a como sucede en el ancho del derecho de vía, según se trate de viaductos o de construcciones en terraplén, pueden proyectarse como estructuras en voladizo sobre las carreteras o aceras, así como ya se mencionó que las carreteras marginales también pueden proyectarse en voladizo sobre las autopistas en trincheras. (SIECA, 2011, pág. 281)

- **Ancho de carril**

El ancho de carril es para determinar capacidad, que es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis (SIECA, 2011, pág. 57)

- **Bombeo**

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad (SIECA, 2011, pág. 139)

- **Drenaje superficial**

El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del mismo, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo (SIECA, 2011, pág. 145)



Área de Conocimientos de
Ingeniería y Afines

CAPÍTULO

III

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del tramo de 2.00 kilómetros de longitud, se realizó con apoyo del área de planificación urbana de la alcaldía de Estelí, el proyecto inicia en el Empalme Los Cerritos (**Estación 0+000**), finaliza en la Comunidad Nueva Jerusalén (**Estación 2+000**).

3.1.1. Metodología

El levantamiento topográfico en este proyecto se ejecutó con equipo electrónico de alta precisión (Estación Total, Leica FlexLine TS03), los datos se procesaron en el programa de Autodesk Civil 3D/2023. Las actividades contempladas fueron:

- Levantamiento de la poligonal Base.
- Ubicación de Puntos de control (Bms).
- Seccionamiento del camino, a distancias fijas de 20 metros.
- Levantamiento de detalles e infraestructura existentes a largo del camino.
- Obtención del perfil longitudinal.
- Definición de la línea de subrasante optima.
- Determinación de secciones transversales.
- Documentación de planos.

3.1.2. Puntos Topográficos

Se utilizaron 3 archivos de puntos con la extensión *.txt y en formato PEND delimitado por comas, resultantes del levantamiento topográfico. A continuación, en la **tabla 9** se presentan los archivos utilizados:

Tabla 9. Archivo de Puntos del proyecto

Archivo	Extensión	Formato	Delimitación
Puntos del tramo	*.txt	PENZD	Comas (,)
Puntos de BMs	*.txt	PENZD	Comas (,)
Puntos de Sondeos	*.txt	PENZD	Comas (,)
PENZD: Punto / Este / Norte / Cota / Descripción.			
txt: archivo de texto.		BMs: Banco de nivel BM (Bench Mark).	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

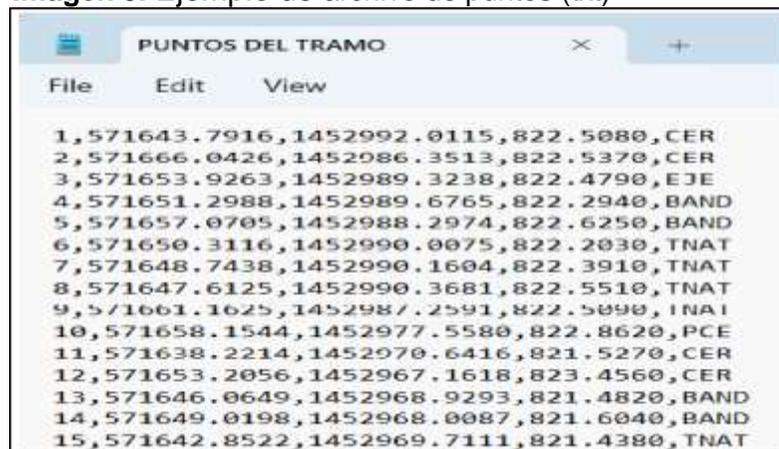
Los resultados del levantamiento topográfico para el Proyecto en análisis se muestran en el siguiente link:

<https://drive.google.com/drive/folders/17m1vsZGzOJxUhKfdH37GZ6ldXwMlpSpkw?usp=sharing>

3.1.3. Importación de Puntos a Civil-3D

El archivo **Puntos del tramo** (*.txt), contiene la información de puntos tomados en un levantamiento topográfico. En este archivo veremos que la información de coordenadas Este y Norte, así como la cota de los puntos está separada por comas:

Imagen 3. Ejemplo de archivo de puntos (txt)



Fuente: Software Autodesk Civil 3D -2023.

Para importar a nuestro dibujo la información de este archivo de puntos se seleccionó la **Ficha Prospector** → **Puntos** → **Botón derecho del ratón** → **Crear**, a lo cual apareció la barra de herramientas **Crear puntos** desde donde se pulso el botón Importar puntos:

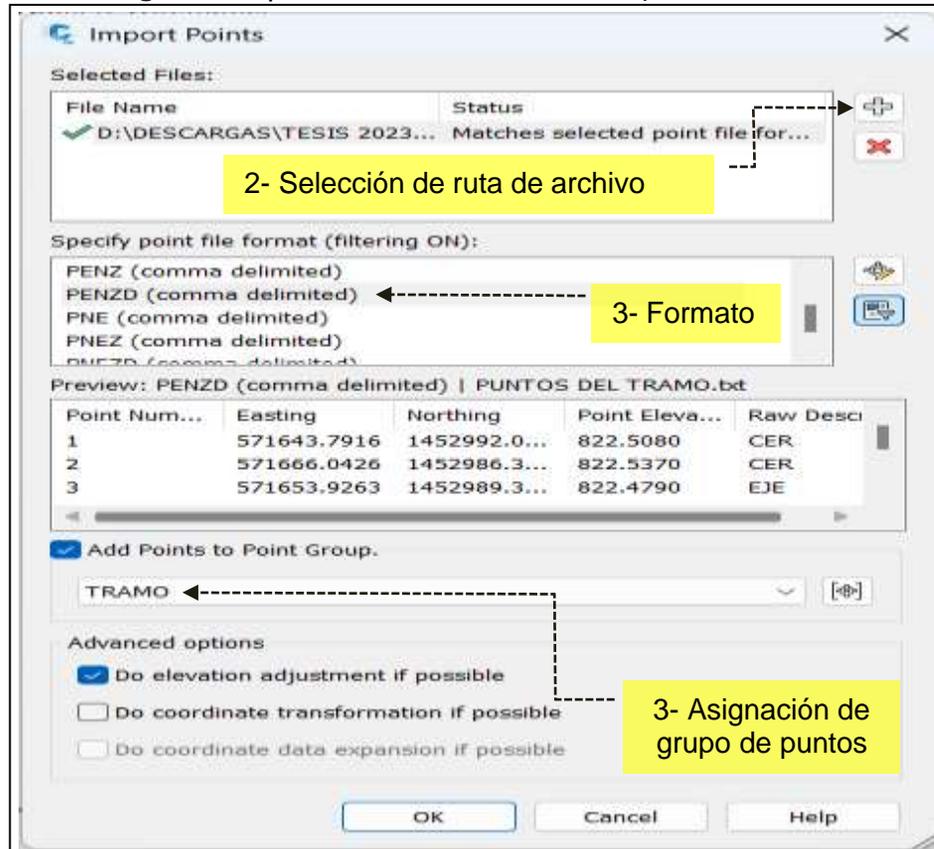
Imagen 4. Herramienta de creación de puntos



Fuente: Programa Autodesk Civil 3D -2023.

En el diálogo **importar puntos**, se seleccionó el formato **PENZD** (delimitado por comas) y, pulsando el ícono con el signo “+”, se seleccionó la ruta y nombre del archivo, se muestra en la imagen-5:

Imagen 5. Especificación de formato de puntos



Fuente: Programa Autodesk Civil 3D -2023.

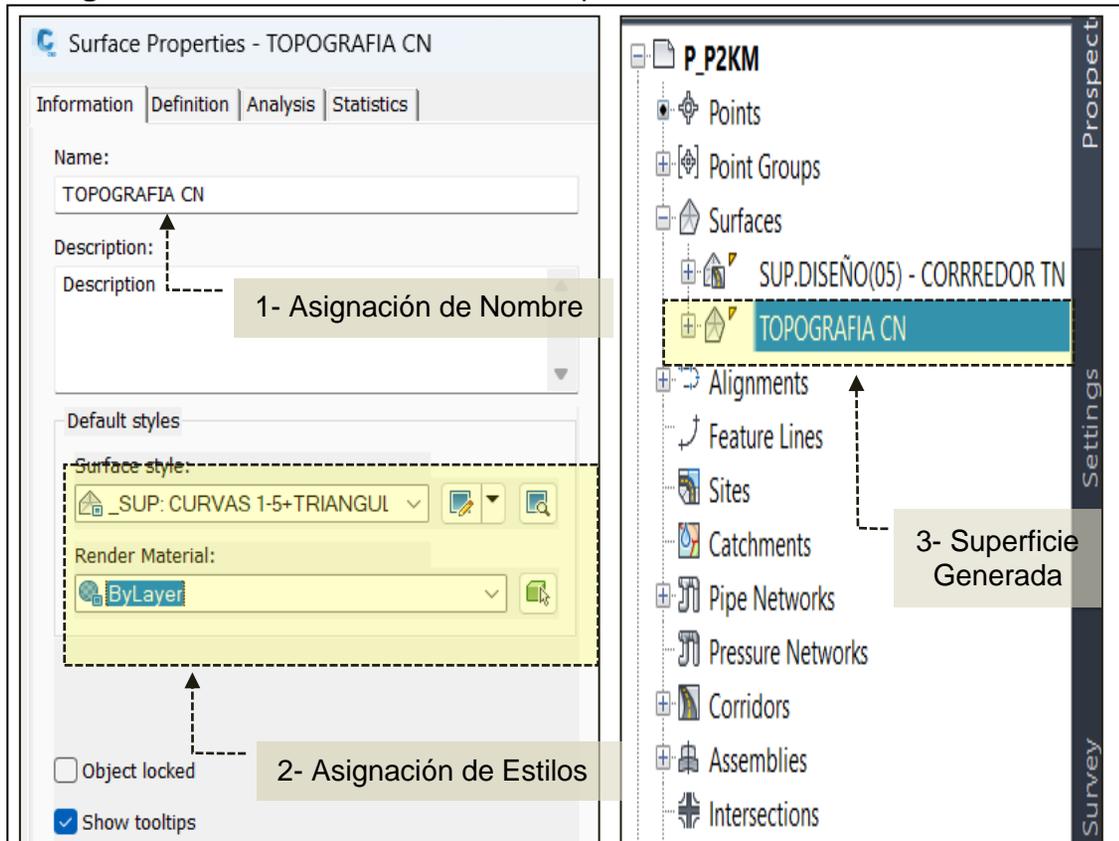
3.1.4. Curvas de Nivel

Se determinaron las elevaciones de **1,190** puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el programa de Autodesk Civil 3D/2023, generando así la superficie necesaria para trazar el eje de proyecto.

3.1.5. Creación de superficie

Para esto, en el panel de herramientas, se seleccionó “surfaces”, con el botón derecho del ratón eligiendo “crear superficie”. En el panel indicamos que es una superficie de tipo TIN, y seleccionamos el layer donde estará alojada, en este caso C-TOPO. Como nombre le asignamos “**Topografía CN**”. (Ver imagen 6, pág. 28)

Imagen 6. Herramienta de creación de puntos



Fuente: Programa Autodesk Civil 3D -2023.

3.1.6. Planimetría

▪ Alineamiento horizontal

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 (EJE,0+000) cada 20 metros o menos hasta llegar al punto final de carretera (EJE,2+000).

Tabla 10. Coordenadas UTM de estación inicial y final del proyecto

KM	Descripción	UTM WGS84		
		Este	Norte	Elevación
0+000	EJE	571644.9536	1452750.3815	810.776m
2+000	EJE	572008.6992	1454557.8511	774.837m

UTM: Universal Transversal Mercator/ World Geodetic System -1984.

Km: Kilómetro **m:** metros.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.1.7. Composición del Tramo

El trazado en planta del eje propuesto está compuesto de los siguientes elementos: alineación recta (**21 rectas**), alineación circular (**21 curvas**).

Tabla 11. Composición del tramo

Archivo	N°	Longitud
Rectas	21	1276.63 metros
Curvas	21	723.37 metros
Eje Total		2,000 metros

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

A continuación, se muestran los datos de rectas a lo largo del tramo, destacando la recta(L-21), con una longitud de 152.61 metros:

Tabla 12. Recta máxima-menor identificada

Recta máxima-menor	
Recta N°	Longitud
L-17	246.53 metros
L-20	6.86 metros
L: Línea o tramo recto.	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

A continuación, se muestran los datos de rectas a lo largo del tramo, destacando la curva (R-20), con una radio de 24 metros:

Tabla 13. Curva máxima-menor identificada

Curva máxima-menor		
Curva N°	Radio	Longitud
R-14	200 metros	15.77 metros
R-20	24 metros	40.94m metros
R: Radio de curvatura.		

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.1.8. Altimetría

El comportamiento altimétrico del terreno en toda su trayectoria, sus pendientes longitudinales se encuentran entre uno y diez por ciento (1% - 10%). Según las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011), el tipo de terreno se clasifica de la siguiente manera (Ver tabla 14, pág. 30):

Tabla 14. Clasificación de Terrenos en función de las Pendientes

Tipo de terreno	Rango de pendientes (%)
Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 \geq 15$
Montañoso	$15 \leq 30$

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

Para el cálculo de las pendientes se utilizó la **ecuación-1**, que se muestra en el **capítulo II, p. 8**, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15. Consolidado de Pendientes por Estaciones

No.	Estación Inicial	Estación Final	Pendiente	Tipo de Terreno
1	0+000.00	0+067.27	-5.92%	ondulado
2	0+067.27	0+267.48	8.32%	Ondulado
3	0+267.48	0+579.71	-2.89%	Plano
4	0+579.71	0+718.74	-7.32%	Ondulado
5	0+718.74	0+814.48	9.15%	ondulado
6	0+814.48	0+907.35	-10.99%	Ondulado
7	0+907.35	1+144.91	-4.45%	Plano
8	1+142.44	1+299,50	-1.68%	plano
9	1+299.50	1+439.07	5.39%	Ondulado
10	1+439.07	1+700.40	-6.22%	Ondulado
11	1+700.40	1.842.68	-1.02 %	plano
11	1+842.68	2+000.00	-2.76%	Plano

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

La pendiente máxima de este tramo es de -10.99% (**Ondulado**), y se encuentra entre las progresivas **0+814.48** hasta **0+907.35**. La pendiente mínima de este tramo es de -1.02% (**Plano**), y se encuentra entre las progresivas **1+700.40** hasta **1+842.68**.

Acorde a la tabla 14, el terreno del tramo se puede clasificar como **ondulado** ya que son las pendientes más predominantes según el análisis realizado en la tabla 15.

3.1.9. Establecimiento de BMs

Se establecieron 2 puntos de BMs (**BENCH MARCK**) y 14 puntos de PCA (**Puntos de Cambio**), a una distancia de **250 metros** cada uno, los cuales están debidamente marcados con coordenadas UTM y referenciados en las distintas estaciones, las cuales se aprecian en el siguiente **Tabla 16**.

Tabla 16. Listado de BMs (BENCH MARCK)

Estación	Descripción	Este	Norte	Elevación	Longitud	Latitud
0+000	BM1	571654.4483m	1452753.3880m	812.456m	W66° 08' 52.49"	S76° 59' 19.20"
0+180	PCA-1	571660.7676m	1452929.8650m	817.000m	W66° 08' 52.81"	S76° 59' 13.51"
0+248	PCA-2	571649.6340m	1452995.7823m	822.508m	W66° 08' 54.86"	S76° 59' 11.40"
0+384	PCA-3	571668.7037m	1453127.2827m	819.310m	W66° 08' 53.05"	S76° 59' 07.14"
0+500	PCA-4	571662.2812m	1453238.5289m	816.851m	W66° 08' 54.74"	S76° 59' 03.56"
0+697	PCA-5	571698.1324m	1453432.9525m	806.325m	W66° 08' 50.96"	S76° 58' 57.24"
0+756	PCA-6	571751.0726m	1453462.4423m	809.781m	W66° 08' 43.60"	S76° 58' 56.21"
1+000	PCA-7	571876.1267m	1453677.4661m	800.146m	W66° 08' 27.21"	S76° 58' 49.08"
1+198	PCA-8	571884.6519m	1453876.4714m	791.123m	W66° 08' 27.38"	S76° 58' 42.66"
1+250	PCA-9	571909.1631m	1453919.6669m	790.926m	W66° 08' 24.17"	S76° 58' 41.23"
1+500	PCA-10	571964.6119m	1454160.2482m	786.903m	W66° 08' 17.92"	S76° 58' 33.39"
1+705	PCA-11	571921.6436m	1454355.7396m	780.385m	W66° 08' 25.42"	S76° 58' 27.16"
1+750	PCA-12	571963.7643m	1454386.4614m	780.373m	W66° 08' 19.62"	S76° 58' 26.10"
1+832	PCA-13	572037.6027m	1454407.8215m	780.316m	W66° 08' 09.21"	S76° 58' 25.30"
1+895	PCA-14	571989.2694m	1454452.5521m	776.592m	W66° 08' 16.43"	S76° 58' 23.93"
2+000	BM2	572018.8595m	1454556.9917m	773.705m	W66° 08' 12.93"	S76° 58' 20.52"

Fuente: Sustentantes - Alcaldía de Estelí (2023)

3.1.10. 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 14-15, pág. 30**).

- **Estructura de pavimento y suelos**

En general el camino actual del subtramo Empalme Los Cerritos - Comunidad Nueva Jerusalén, 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 **7.00 metros**.

- **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 10.00 metros hasta valores de 18.00 metros.

3.2. Estudio de tránsito

3.2.1. Generalidades

Este capítulo tuvo como objetivo estimar las cargas equivalentes de cada vehículo que circula por el tramo y que actuarán en la estructura de pavimento articulado (adoquín) durante un periodo de diseño, en función de los volúmenes que circulan por la vía. Para finalmente dar cumplimiento con el alcance de dicho estudio. Para ello se realizaron ciertas actividades que consistieron en la recopilación de datos de campo en sitio, con la finalidad de cuantificar el volumen de tráfico que es usuario actual del tramo en estudio en ambos sentidos del flujo.

3.2.2 Procesamiento de información

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se procesó toda la información obtenida de los conteos de aforo vehicular mediante el Software Microsoft Excel, esto con la finalidad de simplificar los procedimientos de cálculo, basado en la Revista Anuario de Tránsito del Ministerio de Transporte 2020.

3.2.3. Análisis de la información obtenida

En esta etapa se usó los criterios del Anuario de Aforos de Tráfico año 2020 y el libro de Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones del Ing. Rafael Cal y Mayor año 2017, para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos.

3.2.4. Consolidado del conteo vehicular

De la información obtenida en los conteos, se determinó el volumen de tránsito vehicular diurno a partir de los datos levantados en campo. En la **Tabla-18, pág. 37** se presentan los conteos del tránsito, según su composición y clasificación. **Ver Anexos, Tabla 115-117 pág. XXXIII, XXXV**

3.2.5. Procedimiento de campo

Antes de realizar el aforo vehicular se estudió la clasificación vehicular de conformidad al anuario de aforos de tráfico del MTI-2020. También se hizo uso de chaleco reflectivo y cono como dispositivo de seguridad.

3.2.6. Estación de conteo vehicular

La recolección de los datos de campo para determinar el volumen de vehículos se ubicó en la estación: **0+000 inicio del tramo**. Sus coordenadas geográficas son: Norte: 13°24'29.9", Oeste: 86°17'26.3". **Ver Anexos, imagen-21 pág. XXX**

- **Duración de conteo y clasificación vehicular**

La recolección de datos de campo tuvo una duración de tres (3) días consecutivos, en las fechas del martes 12 hasta el jueves 14 de septiembre de 2023, 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 2020. Para realizar el aforo, se utilizó un formato de conteo. **Anexos, Tabla, 114 pág. XXXII**

3.6.7. Tipos de vehículos

Para el levantamiento de la información de campo fue necesario tener en consideración las características de los vehículos, en nuestro país actualmente hay una gran variedad de vehículos, en total el Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI presenta una clasificación vehicular compuesta por 17 tipos de vehículos, los que se clasifican en tres categorías. **(Ver Anexos, Tabla 113, pág. XXXI)**

3.2.8. Diagrama de cargas permisibles

En el diseño de carreteras tanto en geometría horizontal y vertical, así como en aspectos estructurales es necesario conocer la intensidad de carga, composición y distribución del tránsito. El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha determinado los límites de carga por tipo de vehículos según su peso y dimensiones. **(Ver Anexos, Tablas 1124-125, pág. XLV)**

3.2.9. Cálculo del Tránsito Promedio Diurno Semanal (TPDi)

Para el cálculo del Tránsito promedio Diurno (TPDi), se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularon en ambas direcciones de la vía, durante un periodo de tiempo específico de 3 días (martes, miércoles y jueves).

Para determinar el Transito Promedio Diurno (TPDi) fue necesario aplicar la **ecuación 20**:

$$TPDi = \frac{\text{Total Diurno}}{3 \text{ días}} \quad \text{Ec. 20. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)}$$

Tabla 17. Cálculo del Tránsito Promedio Diurno (TPDi) ambos sentidos

Estación: (0+000) Sentido: ambos Días: 3 Mes/Año: Septiembre - 2023 Horas: 12 Contador: Dalieska Jeaneth, Mariam Isabel, Jary Neftali Resumen general conteo de (12 horas)												
Días	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga					E.P	TOTALES
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	V.A	
Martes, 12 septiembre-2023	79	43	26	91	8	9	4	19	26	15	5	325
Miércoles, 13 septiembre-2023	98	36	30	114	11	9	4	24	17	12	5	360
Jueves, 14 septiembre-2023	93	40	43	117	8	13	4	19	35	13	4	389
Totales	270	119	99	322	27	31	12	62	78	40	14	1074
TPDi (Vehículos/12 hrs)	90.0	40.0	33.0	107.0	9.0	10.0	4.0	21.0	26.0	13.0	5.0	358.00
Porcentaje de veh. (%)												100%
Composición	75.42%				6.42%		18.16%					100%

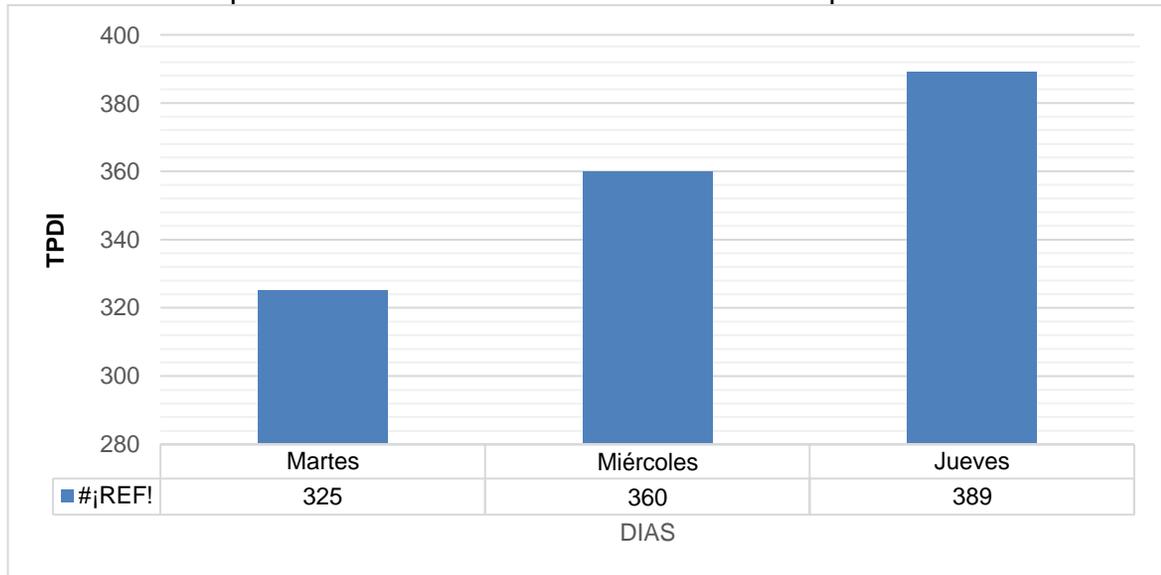
Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Al finalizar el conteo de tres (3) días consecutivos durante 12 horas diurnas en la estación de conteo **0+000 (inicio del tramo)** y posterior realizar el consolidado en Microsoft Excel se obtuvo un tránsito promedio Diurno de TPDi: 358 vpd

También se realizó la composición vehicular por día, los cuales puede verificarse en Anexos, **Grafico 10-12, pág. XXXVI-XXXVII)** y el comportamiento vehicular por hora puede verse en Anexos, **Grafico-13-15, pág. XXXVII-XXXVIII.**

Se procedió a realizar un gráfico con los datos obtenidos donde se refleja el comportamiento del tránsito diurno semanal (TPDi), de igual manera otro Gráfico donde se muestra su composición vehicular en periodo de 3 días y 12 horas diurnas. **(Ver gráfico a continuación).**

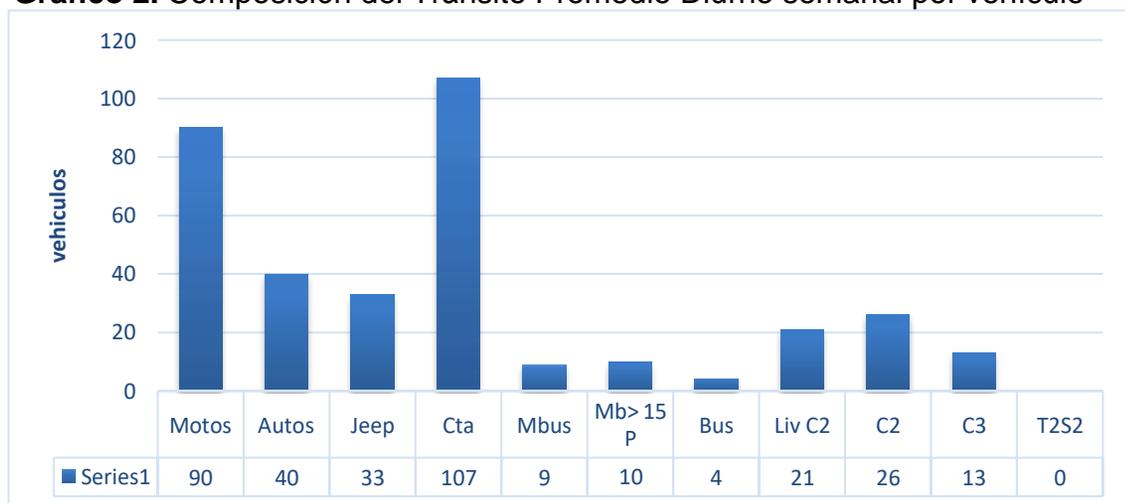
Gráfico 1. Comportamiento del Tránsito Promedio Diurno por día



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En el **Gráfico-1** se presenta el comportamiento del tránsito vehicular diurno de 12 horas, donde se aprecia que los días con mayor volumen vehicular es el jueves seguido del miércoles y en menor cantidad el martes.

Gráfico 2. Composición del Tránsito Promedio Diurno semanal por vehículo



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En el **Gráfico-2 pág. 36** 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), y en menor cantidad los vehículos de pasajeros (bus, micro bus>15p).

3.2.10. Cálculo del TPDA utilizando la metodología del MTI

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en el tramo en estudio, se aplicaron los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de la estación seleccionada.

Para expandir el Transito Promedio Diurno (TPDi_{12 hrs} a TPDA), se consideró utilizar una estación de conteo adecuada 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). Según el anuario tráfico-2020 del MTI el vector geográfico para el tramo de estudio municipio de Estelí, corresponde a la región central norte entre ellos encontramos los departamentos (Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega). Ver tabla a continuación

Tabla 18. Vector geográfico

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), Rio San Juan
R5	AN	Atlántico sur	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Tráfico 2020. MTI, pág. 15 pdf

Se seleccionó la estación de corta duración **ECD N° 142 Emp San Nicolas-Estelí** la cual, se encuentra situado en el departamento de Estelí y está a su vez está bajo la dependencia de la estación de mayor cobertura la **EMC-1205 Emp. Chichigalpa Rotonda Chinandega**. Criterios de selección: ubicación geográfica Volumen de Tránsito, y Porcentaje Vehicular similar al del tramo en estudio. (Ver **Anexos Tabla-118/ pág. XXXIX**).

Tabla 19. Dependencia (EMC-1205 Emp. Chichigalpa Rotonda Chinandega)

ESTACIÓN DE MAYOR COBERTURA	NIC	N ESTACIÓN	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1205 Emp. Chichigalpa- Rotonda Chinadega	NIC-1	116A	ECD	La Garita- Emp. Los Pollos
	NIC-1	116B	ECD	Emp. Los Pollos- Punta de Plancha
	NIC-1	100	ECD	Punta de Plancha- Emp. San Benito
	NIC-1	106	ECD	Las Calabazas- La Uva – Sebaco
	NIC-1	109	ECD	La Trinidad – Emp. San Nicolas
	NIC-1	142	ECD	Emp. San Nicolás - Estelí
	NIC-2	206	ECD	Nandaime - Rivas
	NIC-12A	1202	ECD	Emp. Izapa – León
	NIC-12	1211	ECD	Telica- Emp. Quezalguaque
	NIC-12A	1204	ECD	Emp. Quezalguaque -Emp. Chichigalpa

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI-Año 2020 pág. 51, pdf.

El Anuario de Aforos de tráfico del MTI-2020 indica, que se deberá trabajar con una estación de corta duración (ECD) cuando el vector volumen de su TPDA se encuentre en el rango de 300 a 5000 Vehículos por día. Ver tabla a continuación

Tabla 20. Volúmenes TPDA según clasificación de estaciones

Volúmenes	TPDA rango	Estaciones
V1	TPDA mayor de 5000	EMC
V2	TPDA mayor de 300 a 5000	ECD
V3	TPDA menores de 300	ECS

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI- Año 2020 pág. 15, pdf.

En este capítulo el cálculo da como resultado un **TPDA** de 391 Vehículos por día por lo cual cumple. Ver Tabla 24 pág. 42.

3.2.11. Factores de ajustes o de expansión

- **Expansión (TPDiS_{12hrs}, a TPDA)**

La expansión de Tránsito Promedio Diurno Semanal de 12.0 horas (TPDiS_{12hrs}), se realizó en base a factores de ajuste, estos factores se aplican para estaciones de corta duración o conteo sumario (ECD o ECS) en dependencia de la cantidad de días aforados.

El anuario de Aforos de tráfico del MTI-2020 presenta factores para tres cuatrimestres del año, ya que, éstos se realizan en tres periodos enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre. **(Ver Anexos Tabla-120 pág. XLI)**. Los factores de ajuste utilizados en este estudio para el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), comprenden los del tercer cuatrimestre del año (septiembre-diciembre). ya que, en ese mes se realizó el aforo vehicular. Ver tabla a continuación

Tabla 21. factores /3^{er} cuatrimestre del año (EMC-1205) Emp. Chichigalpa Rotonda Chi.

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	1,26	1,27	1,25	1,26	1,21	1,17	1,26	1,24	1,28	1,16	1,00	1,52	1,00	1,00	1,06	1,00	1,11
Factor Semana	0,92	0,96	0,94	0,90	0,91	0,89	0,93	0,87	0,85	0,81	1,00	0,86	1,00	1,00	0,76	1,00	0,87
Factor Fin de Semana	1,26	1,11	1,19	1,36	1,33	1,43	1,23	1,61	1,77	2,37	1,00	1,67	1,00	1,00	4,57	1,00	1,60
Factor Expansión a 24hrs	0,98	0,92	0,94	0,92	0,95	1,02	1,04	0,96	1,11	0,70	1,00	1,09	1,00	1,00	1,15	0,93	1,23

Fuente: Anuario de Tráfico 2020. MTI pág. 373 pdf.

Para realizar la expansión del Tránsito Promedio Diurno Semanal TPD_{12hrs}, solo se utilizó el Factor Día (FD) Factor Semana (FS) y Factor Expansión (FE).

a) Factor Día: corresponde expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas. (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020, p. 20)

b) Factor Semana: corresponde expandir para un período corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo). (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020, p. 20)

c) Factor Expansión: Corresponde a expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA). (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020, p. 20)

Para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se utilizó la **Ecuación 3** (Ver Cap. II, pág. 9):

$$\text{TPDA} = \text{TPDi}_{12\text{hrs}} * \text{FD} * \text{FS} * \text{FE} \quad \text{Ec. 3. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)}$$

Tabla 22. Desglose de factores de ajustes

Factor Dia	Resultado	Factor Semana	Resultado	Factor Expansión	Resultado
TPDi_{12hrs} X FD	= TPDi_{24 hrs}	TPDi_{24 hrs} X FS	= TPDiS_{24hrs}	TPDiS_{24hrs} X FE	= TPDA

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Aplicando los diferentes factores de ajustes se procedió a realizar el cálculo del TPDA ver tabla a continuación

Tabla 23. Cálculo del TPDA aplicando factores de ajustes / ambos sentidos

Estación: (0+000) Sentido: ambos Días: 3 Mes/Año: Septiembre - 2023 Horas: 12 Contador: Dalieska Jeaneth, Mariam Isabel, Jary Neftali												
Días	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga					E.P	TOTALES
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	V.A	
TPDi (Vehículos/12 hrs)	90.0	40.0	33.0	107.0	9.0	10.0	4.0	21.0	26.0	13.0	5.0	358.00
Factor Dia (FD)	1.26	1.27	1.25	1.26	1.21	1.17	1.26	1.24	1.28	1.16	1.06	
Factor Semana (FS)	0.92	0.96	0.94	0.90	0.91	0.89	0.93	0.87	0.85	0.81	0.76	
Factor Temporada (FT)	0.98	0.92	0.94	0.92	0.95	1.02	1.04	0.96	1.11	0.70	1.15	
TPDA (septiembre-diciembre)	103	45	37	112	10	11	5	22	32	9	5	391 vpd
% TPDA	26.3%	11.51%	9.46%	28.64%	2.56%	2.81%	1.28%	5.63%	8.18%	2.30%	1.28%	100%
% Composición	82.61%					16.11%					1.28%	100%

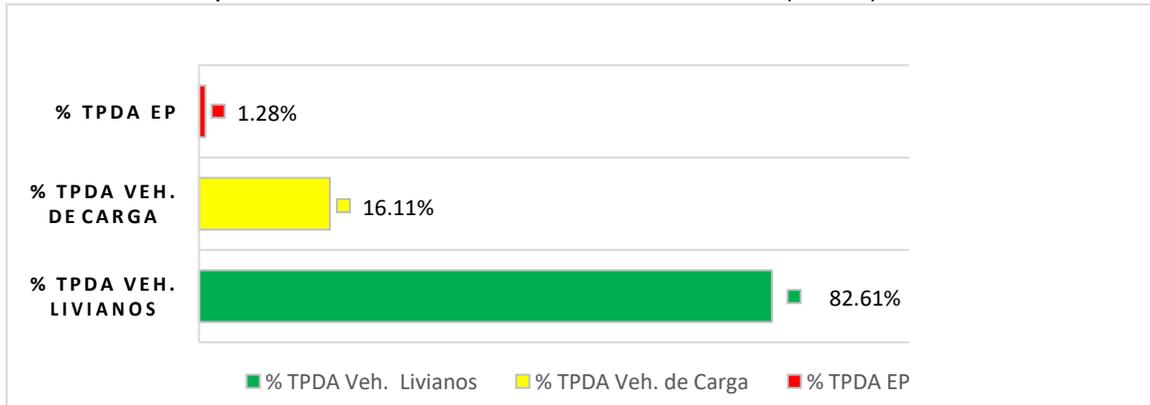
Fuente: Elaborado por Sustentantes.

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de análisis resultó de: **391 vpd** (vehículos por día).

3.2.12. Porcentaje vehicular del TPDA

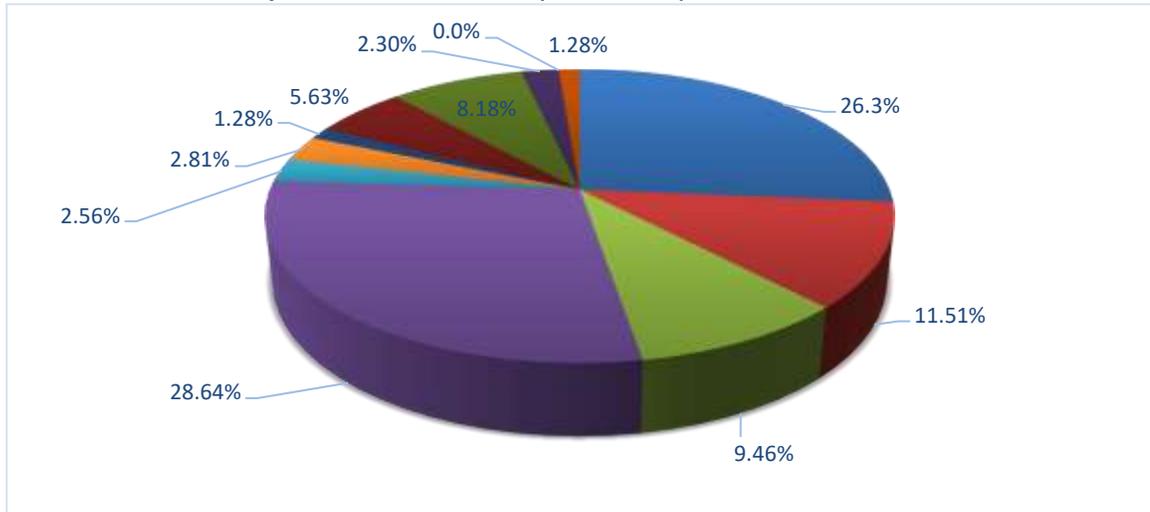
en el grafico N° 3 se reflejan los resultados obtenidos referentes a los porcentajes de vehículos predominantes en el tramo en estudio, los cuales se conforman en el siguiente orden: vehículos livianos **82.61%**, y vehículos de carga **16.11%**, y vehículo agrícola **1.28%**, obteniendo así un porcentaje de tránsito vehicular total de **100%**.

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



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico 4. Porcentaje de flota vehicular que circula por la vía



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En el Grafico N° 4 se puede observar que los tres primeros lugares de mayor circulación en la vía corresponden a: camionetas con el 28.64%, motos con el 26.34%, y autos con 11.51%.

3.2.13. Clasificación de la vía

El tramo se clasifica primeramente como una vía local, esta vía es adyacente a la red colectora y se subdivide en rural, esta conecta con comunidades y terrenos aledaños, su velocidad de diseño y nivel de servicio es bajo, tiene como función principal el acceso a la propiedad. El TPDA en este estudio está acorde a su clasificación según él (Estudio de plan Nacional de Transporte de Nicaragua, 2001), esta a su vez concuerda con la clasificación funcional de la SIECA-2011 el cual se define en base a su TPDA **(Ver Tabla-31, pág.49)**

3.2.14. Tasas de crecimiento y variables macroeconómicas

Para determinar las tasas de crecimiento se utilizó la metodología del anuario de aforos del Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI, pág. 22, donde se indica la ecuación a utilizar para la determinación de las tasas de crecimiento, en la cual se consideran los registros históricos del TPDA-142 de la estación seleccionada con el fin de ponderar o hacer pesar más el resultado final, también se incorporaron datos relacionado al transporte como el Producto Interno Bruto (PIB), población (POB) y consumo de combustible (COMB).**(Ver Anexos, Tabla-121, pág. XLII), (Ver Anexos, Tabla-122, pág. XLIII)**

Tabla 24. Registros históricos del TPDA-142, PIB, POB y COMB

AÑOS	ECD 142	PIB	POB	COMB
2010	3633	8759	5816	5143
2011	-	9774	5997	5388
2012	4196	10533	6071	5616
2013	-	10983	6134	5929
2014	-	11880	6198	6127
2015	4337	12757	6263	6814
2016	-	13286	6328	7288
2017	5365	13786	6394	7596
2018	-	13025	6460	7060
2019	5901	12595	6528	7267
2020	4748	12587	5669	7210
2021	-	14010	6664	8073
2022	-	14542	6734	8078

Fuente: BCN Informe Anual 2020 y Anuario de Tráfico MTI-2020 pág. 101.

Los registros que se presentan anteriormente están relacionados al transporte, por lo que se utilizaron para determinar las diferentes tasas interanuales para cada año y realizar un promedio de estos. Se procedió a calcular las tasas de crecimiento interanual aplicando la **ecuación-4**, del cap. II, pág. 9, de la cual, su uso depende de si estos son periodos continuos o discontinuos.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad \text{ó} \quad TC_n = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} \right] \quad \text{Ec.4}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento.

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA_o: Tráfico Promedio Diario Actual del año base.

n= La diferencia de años.

Ejemplo para el cálculo de la TC interanual del periodo ver año 2010–2012.

$$TC = \left[\left(\frac{4,196}{3,633} \right)^{1/2} - 1 \right] = 7.47 \%$$

Tabla 25. Tasas de crecimiento para TPDA ECD 142

AÑO	TPDA	TAC
2010	3633	
2011		
2012	4196	7.47%
2013		
2014		
2015	4337	1.11%
2016		
2017	5365	11.22%
2018		
2019	5901	4.88%
2020	4748	-19.54%

TC TPDA	4.48%
----------------	--------------

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020, MTI– DAV pág. 101.

A continuación, se demuestra el cálculo matemático de la tasa de crecimiento del TPDA:

$$TC (TPDA) = \frac{(7.47\%)(1.11\%)(4.88\%)}{3} = 4.48\%$$

Para la estimación de la tasa promedio de los últimos 10 años, solo se consideraron las tasas positivas menores al 10%, ya que, esta estación no registra en el anuario tasas de crecimientos tan elevadas o negativas. Por lo tanto, la tasa promedio resultó de 4.48 %.

3.2.15. Estadísticas del producto interno bruto (PIB) 2010- 2020

Utilizando el 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 12 años, donde se refleja el comportamiento histórico del producto interno bruto, desde el año 2010 al año 2022 (**Ver Anexos, Tabla-121, pág. XLII**). Se procede a calcular las diferentes tasas interanuales (Ver Tabla-27)

Ejemplo para el cálculo de la TC interanual del PIB ver año 2010–2011

$$TC (2010 - 2011) = \left[\left(\frac{138,654.2}{130,416.3} \right)^{1/1} \right] = 1.063\%$$

Tabla 26. Estadísticas del PIB y tasas interanuales

AÑO	PIB (Miles C\$)	TAC
2010	130,416.3	-
2011	138,654.2	1.063
2012	147,661.4	1.065
2013	154,936.8	1.049
2014	162,351.3	1.048
2015	170,131.6	1.048
2016	177,894.9	1.046
2017	186,133.6	1.046
2018	179,873.3	0.966
2019	174,662.6	0.971
2020	171,577.6	0.982
2021	189,331.1	1.103
2022	196,432.5	1.038

TC PIB=	5.61%
---------	-------

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas del BCN 2022 pág. 8 pdf.

A continuación, se demuestra el cálculo matemático de la tasa de crecimiento del PIB:

$$TC (PIB) = 1.0633 * 1.065 * 1.049 * 1.048 * 1.048 * 1.046 * 1.046 * 1.103 \\ * 1.038^{\frac{1}{9}-1} = 5.61\%$$

Para el cálculo de la tasa promedio del PIB, solo se tomaron en consideración seis (9) valores, discriminando los porcentajes negativos y positivos mayores a 1%, ya que, el informe del BCN-2020, no presenta registros similares. Con una tasa de crecimiento promedio de 5.61%.

3.2.16. Estadísticas del crecimiento de 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 12 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2010 al año 2022. Ver tabla-28 y (*Ver Anexos, Tabla-121, pág. XLII*).

Ejemplo para el cálculo de la TC interanual del POB ver año 2010–2011

$$TC (2010 - 2011) = \left[\left(\frac{5,997}{5,816} \right)^{1/1} \right] = 1.03 \%$$

Tabla 27. Estadísticas del POB y tasas interanuales

AÑO	Pob (miles)	TAC
2010	5816	-
2011	5997	1.03
2012	6071	1.01
2013	6134	1.01
2014	6198	1.01
2015	6263	1.01
2016	6328	1.01
2017	6394	1.01
2018	6460	1.01
2019	6528	1.01
2020	6596	1.01
2021	6664	1.01
2022	6734	1.01

TC POB	1.23%
--------	-------

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas del BCN 2022 pág. 8 pdf.

A continuación, se demuestra el cálculo matemático de la tasa de crecimiento del POB:

$$TC (PIB) = 1.03 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 \\ * 1.01^{\frac{1}{12}-1} = 1.23\%$$

En la estimación de la tasa de crecimiento promedio de población (POB) se utilizaron doce (12) valores, ya que, sus registros mantuvieron porcentajes estables con poca variación a lo largo de su periodo 2010-2022. Con una tasa de crecimiento promedio de 1.23%.

3.2.17. Estadísticas históricas de combustible (COMB)

Utilizando el Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2022, se elaboró una tabla del consumo combustible (COMB) de los últimos 12 años, desde el año 2010 al año 2022. Ver tabla-21, pág. 25 y **(Ver Anexos Tabla-122, pág. XLIII)**

Ejemplo para el cálculo de la TC interanual del COMB ver año 2010–2011

$$TC (2010 - 2011) = \left[\left(\frac{5,388}{5,143} \right)^{1/1} \right] = 1.048 \%$$

Tabla 28. Estadísticas del COMB tasas de crecimiento interanual

AÑO	COMB (miles)	TAC
2010	5143	
2011	5388	1.048
2012	5616	1.042
2013	5929	1.056
2014	6127	1.033
2015	6814	1.112
2016	7288	1.070
2017	7596	1.042
2018	7060	0.929
2019	7267	1.029
2020	7210	0.992
2021	8073	1.120
2022	8078	1.001

TC COMB	5.47%
----------------	--------------

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas del BCN 2022 pág. 36 pdf.

A continuación, se demuestra el cálculo matemático de la tasa de crecimiento del PIB:

$$TC (COMB) = 1.048 * 1.042 * 1.056 * 1.033 * 1.112 * 1.070 * 1.042 * 1.029 * 1.120 * 1.001^{10-1} = 5.47\%$$

Se tomaron en consideración diez valores (10), para estimar la tasa de crecimiento del consumo de combustible (COMB), seleccionando solo los valores positivos menores al 10%. Por lo tanto, el COMB corresponde a 5.47%.

3.2.18. Tasas de crecimiento calculadas

A continuación, se realizó el consolidado de las tasas de crecimientos calculadas (TPDA ECD-142, PIB, POB y COMB)

Tabla 29. Tasas de crecimiento calculadas

TASAS DE CRECIMIENTO CALCULADAS	
TC TPDA	4.48%
TC PIB	5.61%
TC POB	1.23%
TC COMB	5.47%
PROMEDIO	4.20%

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.2.19. Selección de la tasa de crecimiento

Considerando las diferentes estadísticas de las variables macroeconómicas (TPDA- ECD114, PIB, POB y COMB).

Se decidió realizar un promedio de las tasas de crecimientos calculadas, ya que, sus registros presentan gran relación con sus tasas históricas por lo tanto la tasa a utilizar es: **4.20%**, esta tasa se ajusta al crecimiento del país. (**Ver anexos Tabla-123, Pág. XLIV**).

3.2.20. Período de Diseño (PD)

Es el número de años para el cual se diseña específicamente el pavimento; generalmente varía entre los ocho (8) y veinte (20) años, dependiendo del tipo de vía. Según lo estipulado en la (SIECA 2011, pág. 13). indica que si el **TPDA =391 vpd** del tramo en análisis encuentra en un rango de 500 a 3000 vpd y el número de **carriles** es **(2)**, se define una clasificación funcional **Local Rural**. En dependencia a su clasificación la vía se diseñó a **N=20 años**. Ver tabla 31 y 32.

Tabla 30. Clasificación funcional de la vía

Función	Clase de carretera	Abrev.	TPDA	No. de carriles
Arteria principal	Autopista	AA	> 20,000	6-8
	Arteria Rural	AR	10,000-20,000	4-6
	Arteria Urbana	AU	10,000-20,000	4-6
Arteria menor	Arteria Menor Rural	AMR	3,000-10,000	2
	Arteria Menor Urbana	AMU	3,000-10,000	2
Colectora mayor	Colectora Mayor Rural	CMR	10,000-20,000	4-6
	Colectora Mayor Urbana	CMU	10,000-20,000	4-6
Colectora menor	Colectora Menor Rural	CR	500-3,000	2
	Colectora Menor Urbana	CU	500-3,000	2
Local	Local Rural	LR	100-500	2
	Local Urbana	LU	100-500	2
	Rural	R	<100	1-2

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 33).

Tabla 31. Periodo de diseño (N)

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

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

3.2.21. Factor de crecimiento (Fc)

Está en función de la tasa anual de crecimiento y el período de diseño de la estructura de pavimento.

El tránsito acumulado durante los “n” años se determina a través de un factor de crecimiento el cual varía según el método de diseño. Así por ejemplo para el método de AASHTO 93. Se determina mediante la siguiente **Ecuación 7** (tomada del Cap. II, pág.11)

$$F_c = \left(\frac{(1 + 0.0420)^{20} - 1}{0.0420} \right) = 30.40$$

Dónde:

Fc: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento anual :**4.20%**

n: Periodo de años al cual está proyectando: **20 años**

3.2.22. Factor distribución por dirección (Fd)

Este valor se puede 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 32. Factor de distribución por dirección (Fd)

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

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993 pág. 192 pdf.

3.2.23. Factor distribución por carril (fc)

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESAL. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso $fc = 1.0$. (Ver tabla 34, pág.51)

Tabla 33. número de carriles en una dirección (fc)

Número de carriles en una sola dirección	FC %
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993 pág. 193 pdf.

3.2.24. Tránsito de diseño (TD)

Acorde a lo indicado por Heberto Hernández, 2011, 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 8**:

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad \text{Ec.8} \quad \text{Tomada de (Cap. II, pág.12)}$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

FC: Factor Crecimiento.

FD: Factor Dirección.

Fc: Factor Carril

365: Días del año.

En la **tabla 35, pág. 52**, se presenta el cálculo del tránsito por carril de diseño (TD) según su clasificación vehicular, durante un periodo de 20 años. Tomando en consideración los datos de entrada, el resultado fue: **1,597,602.00 vehículos.**

Datos para la estimación del tránsito en el periodo de diseño.

Tasa de crecimiento:	4.20%
Periodo de diseño:	20 años
Factor de crecimiento:	3
Factor de dirección:	0.50
Factor carril:	1.0
Días del año:	365

Tabla 34. Tránsito de diseño

<i>Transito por carril de diseño para el cálculo del ESAL'S</i>							
Tipo de vehículos	Transito Actual (2023)	F.C.	Días del año	Transito de diseño	Factor por carril(Fc)	Factor de Dirección (Fs)	Transito para el carril de diseño
Autos	45	30.40	365	499,248.68	0.50	1.00	249,625.0
Jeep	37	30.40	365	410,493.36	0.50	1.00	205,247.0
Camionetas	112	30.40	365	1,242,574.50	0.50	1.00	621,288.0
McBus<15 pas	10	30.40	365	110,944.15	0.50	1.00	55,473.0
MnBus 15-30 pas	11	30.40	365	122,038.57	0.50	1.00	61,020.0
Bus	5	30.40	365	55,472.08	0.50	1.00	27,737.0
C2 liv	22	30.40	365	244,077.13	0.50	1.00	122,039.0
C2 5 +ton	32	30.40	365	355,021.28	0.50	1.00	177,511.0
C3	9	30.40	365	99,849.74	0.50	1.00	49,925.0
VA	5	30.40	365	55,472.08	0.50	1.00	27,737.0
				3,195,191.56			
Total							1,597,602.0

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.2.25. El índice de serviciabilidad inicial (P_0)

En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO (Ver capítulo II, pág. 10), el pavimento nuevo alcanza un valor medio de:

$$P_0 = 4.2. \text{ (para pavimentos articulados)}$$

3.2.26. El índice de serviciabilidad final (P_t)

El valor sugerido por la AASHTO-93 (Ver capítulo II, pág. 10), es:

$$P_t = 2.0. \text{ (para vías de tránsito menor)}$$

3.2.27. Factor de equivalencia (FESAL)

Los factores equivalentes de carga de la AASHTO están tabulados en función de cuatro parámetros: tipo de eje (simple, tándem, trídem), índice de serviciabilidad final (2.0), carga por eje, y número estructural SN del pavimento (de 1 a 6). Para determinar los factores Fesal de cada vehículo, en este estudio se interpolaron los pesos por ejes, ya que, estos no se encontraron en las tablas 3.1 y 3.2 de factores equivalentes de carga. (Ver Anexo Tabla 126-127, Pág. XLVI- XLVII)

3.2.28. Número estructural asumido (SN)

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural "SN" que debe soportar el nivel de carga

exigido por el proyecto, el cual está relacionado con la determinación del número de ejes equivalentes de 18 Kips. Para este Diseño seleccionamos el valor **SN=5**.

En la **Tabla 36** se presentan los factores de equivalencia de carga a calcular, según el tipo de vehículo y su peso en Kips (2.2, 4.4, 8.8, 9.9,11,14.30,17.60), y un valor FESAL para ejes dobles (36.30 kips), considerando un numero estructural SN=5 y una serviciabilidad final de 2.0, estos se determinaron según interpolación. Los cálculos representativos se pueden ver en **Anexos Tabla 128-130, Pág. XLVIII)**

Tabla 35. Cálculo del factor FESAL 2.2 kips/ ejes simples

Pesos por eje Kips a interpolar



Peso X eje (Kips)	Tipo de eje
2.2	Simple
4.4	Simple
8.8	Simple
9.9	Simple
11.0	Simple
14.30	Simple
17.60	Simple
22.0	existe

TIPOLOGÍA ANUARIO-2020 PAG 36

Factores equivalentes de carga, ejes simples

Cargateje (kip)	(kN)	SN					
		1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	35.6	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.079
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.166
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
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	1.52	1.59
22						2.35	2.41

22 kips existe

Calculo para un peso por eje de 2.2 kips

Cargateje (kip)	(kN)	SN					
		1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	35.6	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029

Asumiendo un SN=5 para tráfico bajos y Pt: 2.0

CARGA	SN=5
VALORES EN X	VALORES EN Y
2	0.0002
2.2	?
4	0.002

Multiplicación Cruzada

$$2.0(X - 0.0002) = (0.2)(0.0018)$$

Despejando X

$$2.0(X - 0.0002) = 0.00036$$

$$X - 0.0002 = 0.00018$$

$$X = 0.00018 + 0.0002$$

X = 0.00038

Fuente: Elaborado por Sustentantes (Aplicando Interpolación Lineal).

El factor FESAL para el peso de 2.20 kips resulto de **:0.00038**

En el caso del factor de **22 Kips** para el eje simple del vehículo Bus, no fue necesario interpolarlo, ya que, este se encuentra en la tabla factores equivalentes de carga ejes simple con un valor (2.35).

En la **tabla 37** se determinó el factor FESAL para el peso de **36.30 kips** doble correspondiente a un camión de tres ejes (C3), utilizando la tabla de factores equivalentes para ejes tándem.

Tabla 36. Cálculo del factor FESAL 36.30 kips/ eje tándem

Carga/eje		SN					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	80.0	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89.0	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
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

EJE DOBLE= 36.30 kips	
SN=5	SN=5
36	1.38
36.3	X
38	1.73

Paso 1

38.0 - 36.0	1.73 - 1.38
36.30 - 36.0	X - 1.38

Resultados del Paso 1

2	0.35
0.3	X - 1.38

Multiplicación Cruzada

$$2(X - 1.38) = (0.3)(0.35)$$

Despejando X

$$2.0(X - 1.38) = 0.105$$

$$X - 1.38 = \frac{0.105}{2.0} = 0.0525$$

$$X = 0.0525 + 1.38$$

X = 1.43



Asumiendo un SN=5 para tráfico bajos, Pt: 2.0

Peso X eje (Kips)	Tipo de eje
36.30	Doble

CARGA	SN=5
VALORES EN X	VALORES EN Y
36	1.38
36.30	?
38	1.73

Pesos por eje Kips a interpolar

Fuente: Elaborado por Sustentantes (Aplicando Interpolación Lineal).

El factor FESAL para el peso de 36.30 kips resulto de :1.43

3.2.29. 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: (Tomada del Cap. II, pág. 11):

ESAL o W18= TD*FESAL Ec. 6

Dónde:

TD: Transito de Diseño.

FESAL: Factor de Equivalencia de carga por eje.

El cálculo de los ejes equivalentes a 18 Kips para cada clasificación de vehículos se estimó en base al tránsito de diseño (TD) y los factores **ESAL** para cada eje, este último se calculó utilizando las tablas **126-127, Pág. XLVI-XLVII** de factores equivalentes de carga simples y tándem, considerando una serviciabilidad final de $pt=2.0$ y un $SN=5$ recomendados para tráficos bajos, para lo cual se debió conocer los pesos de cada eje en toneladas y luego convertirlos a Kips fue necesario utilizar las tablas de diagramas de cargas permisibles para la conversión. **Ver Anexos Tablas 124-125 pág. XLV.**

Tabla 37. Cálculo ESAL por carril de diseño

Calculo ESAL'S del carril de diseño								
P0= 4.5 Pt=2.0 ΔPSI : 2.5								
Tipo de vehiculos	Peso X eje(Ton. met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	To. 2022	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	45	249,625.00	249,625.0	0.00038	95
	1.00	2.20	Simple				0.00038	95
Jeep	1.00	2.20	Simple	37	205,247.00	205,247.0	0.00038	78
	1.00	2.20	Simple				0.00038	78
Camionetas	1.00	2.20	Simple	112	621,288.00	621,288.0	0.00038	236
	2.00	4.40	Simple				0.00340	2112
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	10	55,473.00	55,473.0	0.0034	189
	4.00	8.80	Simple				0.0502	2785
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	11	61,020.00	61,020.0	0.0502	3063
	8.00	17.60	Simple				0.9206	56175
BUS	5.00	11.00	Simple	5	27,737	27,737.0	0.1265	3509
	10.00	22.00	Simple				2.3500	65182
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	22	122,039.00	122,039.0	0.0502	6126
	8.00	17.60	Simple				0.9206	112349
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	32	177,511.00	177,511.0	0.1265	22455
	10.00	22.00	Simple				2.35	417151
C3	5.00	11.00	Simple	9	49,925.00	49,925.0	0.1265	6316
	16.50	36.30	Doble				1.433	71518
V.A	4.50	9.90	Simple	5	27,737.00	27,737.0	0.0766	2125
	6.50	14.30	Simple				0.378	10485
Total ESAL'S de diseño(W18)								782,122.00
								7.821E+05

Fuente: Elaborado por Sustentantes

La estimación del ESAL'S es $7.821E+05$ o 782,122.00 repeticiones equivalentes a 18 Kips o 18, 000 lbs para el carril de diseño, en un periodo de 20 años. Con $P_o=4.2$, $P_t=2.0$, $\Delta P_{\psi}=2.2$ y un SN: 5".

3.3. Estudio Geotécnico

El objetivo de este capítulo consistió en analizar los resultados de laboratorio del estudio geotécnico que fue realizado por **IDISA (Ingenieros Consultores de Nicaragua)** en enero del año 2021. En base a este poder conocer la secuencia estratigráfica y característica geotécnicas principales de los materiales que conforman la estructura actual del tramo de camino de **2.00 Kilómetros** de longitud estimada. Así como estudiar la disponibilidad de fuentes de materiales para el diseño y construcción de una nueva estructura de pavimento o carretera que permita promover e incrementar el desarrollo económico, agrícola, agropecuario y turístico de la zona de influencia de dicha carretera.

Para poder desarrollar el capítulo se realizaron las siguientes actividades:

- Explorar la plataforma del camino existente mediante sondeos manuales ubicados de forma distribuida en toda la su longitud y hasta una profundidad máxima de 1.50 metros.
- Analizar los sondeos de los suelos que conforman la vía en estudio.
- Definir el perfil estratigráfico de la plataforma del camino en base a las exploraciones de sondeos manuales y los resultados de laboratorio en las muestras analizadas.
- Localizar y explorar las posibles fuentes de materiales necesarios para la construcción de una nueva estructura de pavimento en proyecto.
- Evaluar las propiedades físico mecánica de los bancos de préstamos.
- Determinar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante

3.3.1. Ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados por IDISA fueron de 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), Granulometría, Límites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico), Densidad (Próctor modificado), ensayo de desgaste de los ángeles, e intemperismo acelerado, entre otros los cuales se detallan en la tabla 39, pág. 58:

Tabla 38. Tipos de ensayos efectuados

Ensayo	Designación	Designación
	ASTM	AASHTO
Análisis granulométrico	D 422	T - 88
Humedad natural	D 2216	
Límite Líquido	D 4318	T -89 y 90
Índice de Plasticidad	D 4318	T - 90
clasificación de suelos AASHTO	D 3282	M-145
Ensayo Próctor Modificado	D 422	T 180
Ensayo CBR.	D1883	T-193
Peso volumétrico seco suelto	C29	T-19
Peso volumétrico seco compacto	C29	T-19
Desgaste de los ángeles	C131	T-96
Intemperismo	C88	T-104
Absorción	C-45	T-25

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

3.3.2. Sondeos manuales

Los sondeos fueron realizados con pala y palín, ya que, son excavaciones de 1.5m de profundidad. Las dimensiones para una adecuada inspección de las paredes fueron de 0.50 m por 0.50 m, estos sondeos permitieron la inspección directa del suelo que se desee estudiar y por lo tanto es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.

Actividad de los sondeos de línea

- Selección del punto donde se realizó el sondeo. (Est 0.000 -2+000)
- Limpieza del sitio.
- Excavación.
- Toma de muestras alteradas.
- Anotación de los datos de identificación de las muestras (clasificación visual, numero de sondeo, numero de muestra, espesor, ubicación).
- Repetir el proceso anterior hasta alcanzar los 1.50 metros de profundidad.
- Anotación de espesores de los estratos y fotografiar.
- Se tapa la excavación.

Posterior las muestras extraídas son empacadas y se resguardan temporalmente para ser trasladadas a laboratorio.

El laboratorio IDISA realizó un total de **11 sondeos manuales** donde en cada uno de ellos se tomaron muestras de los estratos existentes obteniendo un total de **24 muestras** representativas la ubicación de estos sondeos en la plataforma del camino o carretera se hizo de forma alterna al centro, a la derecha e izquierda de la línea central, de la vía terrestre. El espaciamiento entre sondeos fue de doscientos (200) metros y la profundidad máxima de exploración fue de (1.50) metros.

Tabla 39. Cantidad sondeos manuales y muestras

Actividad	Total
Sondeos de línea	11
Muestras tomadas	24

Fuente: Elaborado por sustentantes.

3.3.3. Condición actual de la vía

El camino se encuentra revestido con material granular deteriorado tanto estructural como funcionalmente en gran parte de su longitud. presenta principalmente pérdida del material de revestimiento y contaminación de este con el suelo natural. El tránsito vehicular incómodo, lento y podría considerarse inseguro. Probablemente las principales causas que han llevado al deterioro actual del camino son las cargas del tránsito, el efecto de las condiciones ambientales principalmente las precipitaciones y deficiente drenaje de la vía. De tal manera que se puede considerar como urgente su intervención.

3.3.4. Trabajo de campo y laboratorio

Las muestras de materiales obtenidas de los sondeos realizados por IDISA fueron debidamente identificadas, almacenadas y transportadas a Managua. A las cuales se le realizaron los ensayos necesarios para determinar las características de los suelos existentes en la calzada del tramo en estudio. Los ensayos de laboratorio comprendieron el análisis granulométrico, ensayos de Límites de Atterberg y de CBR, los cuales son indispensables para conocer la clasificación y los valores de resiliencia respectivamente. La clasificación de los suelos se realizó según la AASHTO M 145 y SUCS. **(Ver Anexos, Tablas 131-132, págs. XLIX-L)**

3.3.5. Características físico-mecánicas de los suelos

En base a los resultados de las muestras tomadas en los sondeos, podemos concluir que predominan los suelos **A-2-7(0)**, **A-2-4(0)**, **A-4(1)**, **A-7-5(32)**. son suelos de baja resistencia con calidad de regular a deficientes, límites líquidos e índices de plasticidad altos según su clasificación y características físico - mecánicas de la AASHTO. Estos suelos corresponden a la capa de préstamo de rodamiento colocado en la vía a través de los trabajos de mantenimiento que realiza el MTI rutinariamente. También están presentes, de manera puntual los suelos **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, Gráfico-5 pág. pág.66**).

Tabla 40. Sondeos del tramo en estudio (Est 0+000, 0+600), (SM-01, SM-07)

IDISA

INGENIERIA, DESARROLLO E INVERSIONES, S.A

Barrio San Luis, del Edificio Armando Guido 5 c. al sur 1 1/2c abajo

Telfs.: 2248-1160, 2248-1729, 2244-2095

E-mail: idisa@turbonett.com.ni

Proyecto: Emp Los Cerritos -Comunidad Nueva Jerusalem

Dueño: Alcaldía Municipal de Estelí

Procedencia Muestras de campo - Sondeos manuales

Fecha: Enero del 2021

Longitud: 2.0 Kilómetros

Ubicación: Depart -Estelí

Resumen de resultados de Valor de Soporte (CBR) de los sondeos manuales

Localización de Sondeo		Identificación de Muestras		Profundidades			Clasificación	NORMA: AASHTO T 193	Clasificación SUCS
Estación	Banda	Sondeo No.	Muestra No.	Desde (cm)	Hasta (cm)	Espesor (cm)	NORMA	Grado de CBR	
							AASHTO M 145	95 (%)	
0+000	Izquierda	1	1	0	30	30	A-2-6 (0)	16	GC
0+000	Izquierda	1	2	30	92	62	A-2-4 (0)	18	SM
0+000	Izquierda	1	3	92	150	58	A-7-5 (32)	2	MH
0+200	L.C.	2	4	0	50	50	A-1-a (0)	38	GM
0+200	L.C.	2	5	50	110	60	A-2-4 (0)	21	SM
0+200	L.C.	2	6	110	150	40	A-4 (1)	10	SM
0+400	Derecha	3	7	0	15	15	A-1-a (0)	38	GM
0+400	Derecha	3	8	15	135	120	A-4 (1)	10	SM
0+400	Derecha	3		135	Manto Rocoso				
0+600	Izquierda	4	9	0	23	23	A-2-6 (0)	16	GC
0+600	Izquierda	4	10	23	80	57	A-2-7 (1)	13	GM
0+600	Izquierda	4	11	80	150	70	A-7-5 (19)	6	MH
0+800	L.C.	5	12	0	150	150	A-2-4 (0)	24	SM
1+000	Derecha	6	13	0	55	55	A-2-7 (0)	16	GM
1+000	Izquierda	6	14	55	150	95	A-2-4 (0)	24	SM
1+200	Izquierda	7	15	0	60	60	A-2-7 (0)	16	GM
1+200	Izquierda	7	16	60	150	90	A-2-7 (1)	16	GM
1+400	L.C.	8	17	0	150	150	A-2-7 (0)	16	GM
1+600	Derecha	9	18	0	22	22	A-2-7 (0)	16	GM
1+600	Derecha	9	19	22	150	128	A-2-4 (0)	24	SM
1+800	Izquierda	10	20	0	23	23	A-2-7 (0)	16	GM
1+800	Izquierda	10	21	23	50	27	A-2-4 (0)	24	SM
1+800	Izquierda	10	22	50	150	100	A-1-b (0)	38	GM
2+000	L.C.	11	23	0	60	60	A-2-7 (0)	16	GM
2+000	L.C.	11	24	60	150	90	A-2-4 (0)	24	SM

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

Tabla 41. Resultados de granulometría plasticidad y clasificación de los suelos

IDISA

INGENIERIA, DESARROLLO E INVERSIONES, S.A

Barrio San Luis, del Edificio Armando Guido 5 c. al sur 1 1/2c abajo
Telfs.: 2248-1160, 2248-1729, 2244-2095
E-mail: idisa@turbonett.com.ni

Proyecto: Emp Los Cerritos -Comunidad Nueva Jerusalen
Dueño: Alcaldía Municipal de Esteli Depart- Esteli
Procedencia: Muestras de campo - Sondeos manuales

Fecha: Enero del 2021
Longitud: 2.0 Kilómetros
Ubicación: Depart -Esteli

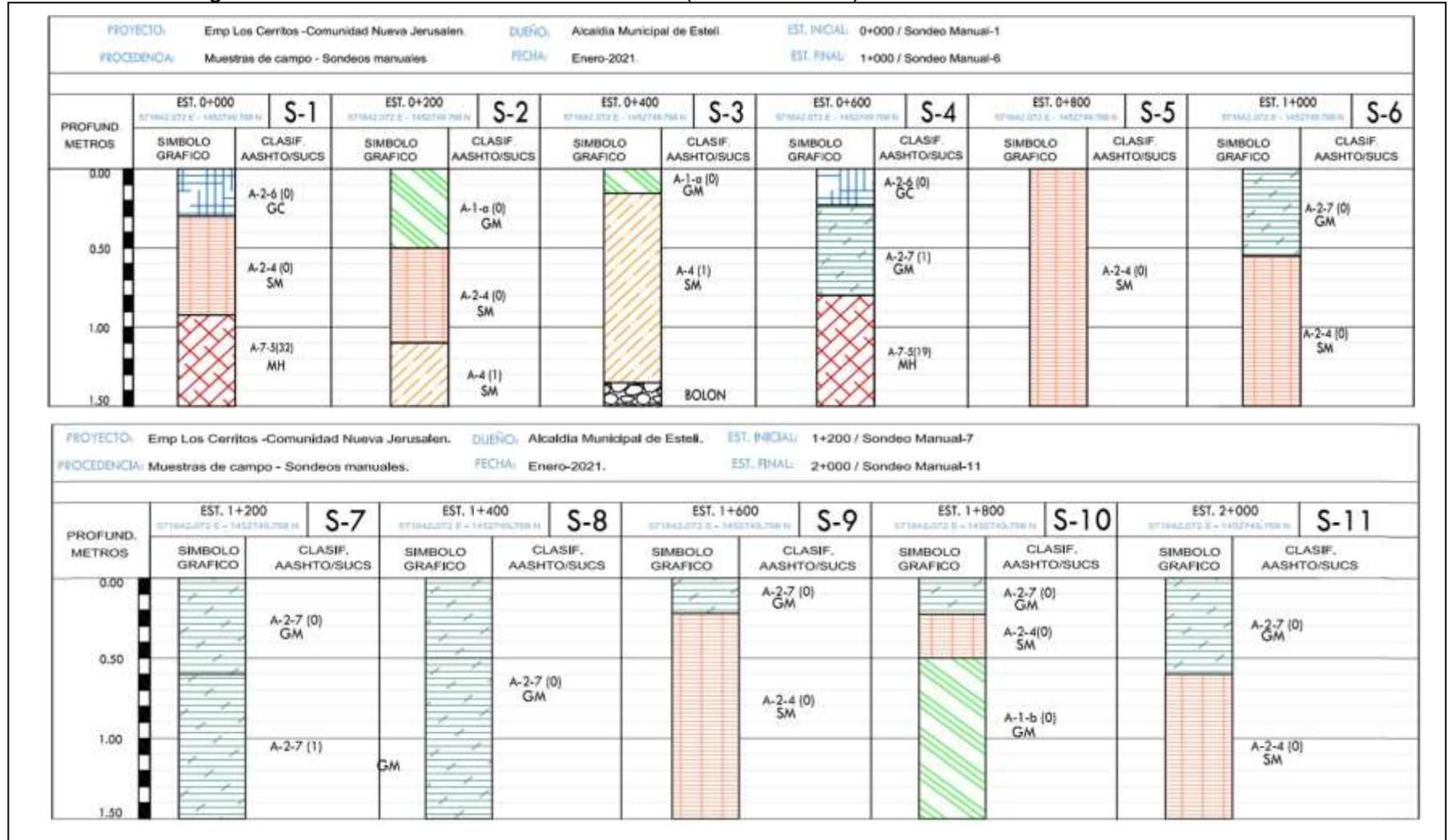
Resumen de resultados de Granulometria, Plasticidad y Clasificacion de Materiales de la via

Localización de Sondeo		Identificación de Muestras		Estratigrafía			ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GRUESOS Y FINOS ASTM D-422 AASHTO T-88												NORMA: AASHTO T 90			Clasificación	NORMA: AASHTO T 99			
Estación	Banda	Sondeo No.	Muestra No.	Desde (cm)	Hasta (cm)	Espesor (cm)	Granulometría (% que pasa)												Límites de Atterberg							
							3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	L.L	L.P	I.P	NORMA: AASHTO M 145	Humedad óptima (%)			
0+000	Izquierda	1	1	0	30	30	100	100	100	98	92	88	77	70	53	36	24	16	31	19	12	A-2-6 (0)	10			
0+000	Izquierda	1	2	30	92	62	100	100	100	100	100	100	98	93	82	59	35	23	39	32	7	A-2-4 (0)	13			
0+000	Izquierda	1	3	92	150	58	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	91	64	36	28	A-7-5 (32)	34			
0+200	L.C.	2	4	0	50	50	100	100	100	97	89	87	68	60	43	29	20	15	28	24	4	A-1-a (0)	12			
0+200	L.C.	2	5	50	110	60	100	100	94	90	80	74	72	71	57	48	38	24	32	24	8	A-2-4 (0)	13			
0+200	L.C.	2	6	110	150	40	100	100	100	100	100	100	96	92	75	65	54	42	40	30	10	A-4 (1)	19			
0+400	Derecha	3	7	0	15	15	100	100	100	97	89	87	68	60	43	29	20	15	28	24	4	A-1-a (0)	12			
0+400	Derecha	3	8	15	135	120	100	100	100	100	100	100	96	92	75	65	54	42	40	30	10	A-4 (1)	19			
0+400	Derecha	3		135	a mas		Manto rocoso no penetrable con barra																			
0+600	Izquierda	4	9	0	23	23	100	100	100	98	92	88	77	70	53	29	20	15	31	19	12	A-2-6 (0)	10			
0+600	Izquierda	4	10	23	80	57	100	100	100	89	82	75	67	58	48	43	31	22	58	37	21	A-2-7 (1)	25			
0+600	Izquierda	4	11	80	150	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	81	74	62	40	22	A-7-5 (19)	20			
0+800	L.C.	5	12	0	150	150	100	100	97	95	87	84	81	77	67	52	38	29	33	24	9	A-2-4 (0)	10			
1+000	Derecha	6	13	0	55	55	100	100	100	96	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	9			
1+000	Izquierda	6	14	55	150	95	100	100	97	95	87	84	81	77	67	52	38	29	33	24	9	A-2-4 (0)	10			
1+200	Izquierda	7	15	0	60	60	100	100	100	96	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	25			
1+200	Izquierda	7	16	60	150	90	100	100	100	89	82	75	67	58	48	43	31	22	58	37	21	A-2-7 (1)	9			
1+400	L.C.	8	17	0	150	150	100	100	100	96	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	9			
1+600	Derecha	9	18	0	22	22	100	100	100	96	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	25			
1+600	Derecha	9	19	22	150	128	100	100	97	95	87	84	81	77	67	52	38	29	33	24	9	A-2-4 (0)	10			
1+800	Izquierda	10	20	0	23	23	100	100	100	96	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	9			
1+800	Izquierda	10	21	23	50	27	100	100	97	95	87	84	81	77	67	52	38	29	33	24	9	A-2-4 (0)	10			
1+800	Izquierda	10	22	50	150	100	100	100	94	91	87	82	73	62	42	36	29	23	32	26	6	A-1-b (0)	9			
2+000	L.C.	11	23	0	60	60	100	100	100	90	83	73	67	54	38	28	20	46	29	17	A-2-7 (0)	25				
2+000	L.C.	11	24	60	150	90	100	100	97	95	87	84	81	77	67	52	38	29	33	24	9	A-2-4 (0)	10			

OBSERVACIONES: L.L. : Limite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico

Fuente: Alcaldía Municipal de Esteli - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

Gráfico-5. Estratigrafía de los sondeos manuales estación (0+000- 2+000)



Fuente: Elaborado por sustentantes en base a sondeos.

3.3.7. Resultados de ensayos a bancos de préstamo

Según los ensayos de laboratorio se exploraron Bancos en explotación y zonas potenciales para encontrar nuevos Banco a lo largo de la línea vial en base a la experiencia y la geomorfología de los sitios a una distancia máxima de 5 km se realizaron ensayos de laboratorio determinándose el uso de acuerdo con las características determinadas para ser ocupados en la conformación de capas de terracería y base para el pavimento articulado propuesto en este estudio.

Tabla 42. Bancos de préstamos Identificados

		INGENIERIA, DESARROLLO E INVERSIONES, S.A Barrio San Luis, del Edificio Armando Guido 5 c. al sur 1 1/2c abajo Telfs.:2248-1160, 2248-1729, 2244-2095 E-mail: idisa@turbonett.com.ni		Proyecto: <u>Emp.Los Cerritos -Comunidad Nueva Jerusalem</u> Dueño: <u>Alcaldia Municipal de Esteli</u> Procedencia: <u>Muestras de campo - Sondeos manuales</u>		Fecha <u>Enero del 2021</u> Longi <u>2.0 Kilómetros</u> Ubica <u>Depart -Esteli</u>	
<u>Ubicación de Banco de Prestamo #1</u>							
Proyecto:		Diseño del Mejoramiento del camino Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem				IDISA	
Dueño del proyecto:		ALCALDIA MUNICIPAL DE ESTELI		Banco:	N° 1		
Dueño del banco:		Hugo Altamirano; 0+00, 1.40 km al noreste- Los cerritos					
Desde:	0.10	Hasta:	3	Espesor:	2.9	Fecha:	7/4/2022
Clasificación AASHTO:	A-1-a (0)		Altura	18.00	Volumen Aproximado (m3)	75,924.00	
Uso Probable:	Terracería y Rellenos/ cemento uso: Base/ Subbase		Ancho	57.00			
UTM WGS-84	ESTE (X)		572,500.00	Escala	SUCS		
	NORTE (Y)		1,453,706.00	sin esc	GW-GC		
<u>Ubicación de Banco de Prestamo #2</u>							
Proyecto:		Diseño del Mejoramiento del camino Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem				IDISA	
Dueño del proyecto:		ALCALDIA MUNICIPAL DE ESTELI		Banco:	N° 2		
Dueño del banco:		Eduardo Blanco; 0+000, a 5Km al suroeste - La Thompsom					
Desde:	0.3	Hasta:	3	Espesor:	2.7	Fecha:	5/4/2022
Clasificación AASHTO:	A-1-a (0)		Altura	40.00	Volumen Aproximado (m3)	127,800.0	
Uso Probable:	Capa de Relleno y Terracerías cemento Uso: Base o Sub-Base		Ancho	71.00			
UTM WGS-84	ESTE (X)		572,782.00	Escala	SUCS		
	NORTE (Y)		1,481,071.00	sin esc	GW-GM		

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

El **Banco de Préstamo #1, Hugo Altamirano** se localiza a 1.40 kilómetros al noreste de la estación inicial 0+000, a 30 metros lado derecho, en las coordenadas UTM WGS84 X= 572500, coordenada Y= 1453706. El propietario de este banco es el Sr. Hugo Altamirano Moncada.

El volumen aproximado de este banco es de 75,924.0 m³, sus dimensiones corresponden a 40 metro de altura, 57 metros de ancho, 74 metros de largo, este banco ha sido usado. **(Ver Tabla-43, pág. 67 / imagen-7)**

Imagen- 7: Banco #1 Hugo Altamirano Moncada



Fuente: Elaborado por sustentantes.

El material de este banco corresponde visualmente arena con grava con arcilla color café claro con pintas rojas del tipo A-1-a (0). Su Límite Líquido es de 23% y su índice de plástico 5%, sus partículas pasan 96% el tamiz de 1 1/2", 57% el tamiz N°.4, y 11% el tamiz N°.200. El PVS máx. es de 2,054 kg/m³, su humedad optima de 13%, su PVSS es de 1,338 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.36. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 51, 69 y 86%, respectivamente. **(Ver Tabla 134,- 136 Pág. LII-LIII).**

Los ensayos de Desgaste de los Ángeles dio como resultado 22% y el ensaye de Intemperismo acelerado dio como resultado 7.4%. **(Ver Anexos, Tabla 137, Pág. LIV)**

Banco de Préstamo #2, Eduardo Blanco se localiza a 5.0 kilómetros al suroeste de la estación inicial 0+000, a 30 metros lado izquierdo, en las coordenadas UTM WGS84 X= 568448, coordenada Y= 1450319.

El propietario de este banco es el Sr. Eduardo Blanco. El volumen aproximado de este banco es de 127,800 m³, sus dimensiones corresponden a 40 metro de altura, 71 metros de ancho, 45 metros de largo, Este banco ha sido usado. **(Ver Tabla-43, pág. 66 / imagen-8)**

Imagen 8: Banco #2 Eduardo Blanco.



Fuente: Elaborado por sustentantes.

El material de este banco corresponde visualmente a una grava con arena color café claro tipo **A-1-a (0)**. No posee limite liquido ni índice de plasticidad sus partículas pasan 95% el tamiz de 2", 48% el tamiz No.4, y 4% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,977 kg/m³, su humedad optima de 8.7%, su PVSS es de 1,233 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.40. El resultado de CBR al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de **61, 83 y 93%**, respectivamente. **(Ver Tabla 135-136, pág. LII-LIII).**

El ensaye de Desgate de los Ángeles dio como resultado 28%, el ensayo de Intemperismo dio 8.0% **(Ver Anexos, Tabla 137, Pág. LIV)**. Las pruebas de laboratorio y métodos de ensayos en los bancos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 43. Tipos de ensayos efectuados

N°	Ensayos	Ensayo ASTM o AASHTO
1	Análisis granulométrico	ASTM D-422 o AASHTO T-88
2	Límite Líquido	ASTM D-423 o AASHTO T-89
3	Índice de Plasticidad	ASTM D-424 o AASHTO T-90
4	clasificación HRB	ASTM D-3282 o AASHTO M-145
5	Ensayo Próctor Modificado	ASTM D-1557 o AASHTO T-180
6	CBR.	ASTM D-1883 o AASHTO T-193
7	Peso volumétrico y varillado	ASTM C-29 o AASHTO T-19
8	Humedad natural	ASTM D-2216
9	Desgaste de los ángeles	ASTM C-131 o AASHTO T-96
10	Intemperismo Acelerado	ASTM C-88 o AASHTO T-104
11	Absorción	ASTM C-45 o AASHTO T-25

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A)

Los Bancos de préstamo identificados, de acuerdo con las exploraciones realizadas y los ensayos de laboratorio manuales efectuados por el laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A), presentan de manera resumida las siguientes características físico-mecánicas:

Tabla 44. Propiedades físico-mecánicas de los bancos de préstamo

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <h2 style="margin: 0;">IDISA</h2> <p style="margin: 0;">INGENIERIA, DESARROLLO E INVERSIONES, S.A</p> <p style="margin: 0;">Barrio San Luis, del Edificio Armando Guido 5 c. al sur 1 1/2c abajo</p> <p style="margin: 0;">Telfs.:2248-1160, 2248-1729, 2244-2095</p> <p style="margin: 0;">E-mail: idisa@turbonett.com.ni</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="margin: 0;">Proyecto: <u>Emp Los Cerritos -Comunidad Nueva Jerusalem</u> Fecha: Enero del 2021</p> <p style="margin: 0;">Dueño: <u>Alcaldía Municipal de Estelí</u> Longit 2.0 Kilómetros</p> <p style="margin: 0;">Procedencia: <u>Muestras de campo - Sondeos manuales</u> Ubicac:Depart -Estelí</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Propiedades Físico Mecánica de los Bancos de Materiales Identificados</p>											
BANCO N°	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Clasificación AASHTO		SUC	PVSS (kg/m ³)	PVS Max (kg/m ³)	PVSC (kg/m ³)	Humedad %	Valor de CBR (%)		
		Grupo	IG						90%	95%	100%
N°1	#1 HUGO ALTAMIRANO MONCADA Coordenadas UTM: X:572500- Y:1453706	A-1-a(0)	0	GW-GC	1,338	2,054	1,471	13.0%	51	69	86
Grava con arcilla color café con pintas rojas											
N°2	#2 EDUARDO BLANCO Coordenadas UTM: X:568448- Y:1450319	A-1-a (0)	0	GW-CM	1,233	1,977	1,348	8.7%	61	83	93
Grava con arena, color café claro											
<p style="margin: 0;">IG:Índice de Grupo m: metros km: Kilómetros lzq: Izquierda Der:Derecha Pvss: Peso Volumetrico seco suelto</p> <p style="margin: 0;">Pvs Max: Peso Volumetrico seco Maximo Pvscc: Peso volumetrico seco compacto</p>											

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

Tabla 45. Granulometría de los bancos de préstamos identificados

<h1 style="margin: 0;">IDISA</h1> <p style="margin: 0;">INGENIERIA, DESARROLLO E INVERSIONES, S.A Barrio San Luis, del Edificio Armando Guido 5 c. al sur 1 1/2c abajo Telfs.: 2248-1160, 2248-1729, 2244-2095 E-mail: idisa@turbonett.com.ni</p>														
Proyecto: <u>Emp Los Cerritos -Comunidad Nueva Jerusalem</u>				Fecha: <u>Enero del 2021</u>										
Dueño: <u>Alcaldía Municipal de Estelí</u>				Longitud: <u>2.0 Kilómetros</u>										
Procedencia: <u>Muestras de campo - Sondeos manuales</u>				Ubicación: <u>Depart -Estelí</u>										
Granulometria de Bancos de Materiales Identificados														
BANCO N°	GRANULOMETRÍA DEAGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM D-422 , AASHTO T-88										AASHTO T89		% Factor de Abundamiento	CLASIFICACION AAHSTO- M-145
	% QUE PASA POR TAMIZ										LL (%)	IP(%)		
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8	N°4	N°10	N°40	N°200				
N°1	100	96	95	92	83	76	57	45	22	11	23%	5%	1.36%	A-1-a (o)
	Dueño del banco:		HUGO ALTAMIRANO MONCADA/ LOS CERRITOS											
N°2	95	88	79	72	68	56	48	14	7	4	...	NP	1.40%	A-1-a (o)
	Dueño del banco:		EDUARDO BLANCO/ LA THOMPSON											
<small>IG: Índice de Grupo m: metros km: Kilometros Izq: Izquierda Der: Derecha Pvs: Peso Volumetrico seco suelto Pvs Max: Peso Volumetrico seco Maximo Pvs: Peso volumetrico seco compacto</small>														

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

3.3.8. Especificaciones de la Nic-2019 para bases y subbases

▪ Base granular

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 el **capítulo II, tabla-3, pág.15**.

Las especificaciones de granulometría que deben cumplir para material base y subbase pueden verificarse en **Anexos, Tabla-128, Pág. LIII**.

▪ Subbase granular

Es la 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 el **capítulo II, tabla-4, pág.16**:

3.3.9. Evaluación del Banco #2 propuesto para base

Considerando que para realizar la evaluación para la capa base la Nic-2019 especifica un CBR como mínimo del 80% se decidió utilizar el banco de préstamo Eduardo blanco el cual posee el CBR más alto de 83% (Ver Tabla 47).

Tabla 46. Evaluación Banco #1 para la capa base

Ensayo		requerimientos	Banco #2	valoración
Límite líquido		25% Máx.	No posee	cumple
Índice de Plasticidad		0% Máx.	No posee	cumple
CBR		80% Mín.	83%	cumple
Desgaste de los Ángeles		35% Máx.	28%	cumple
Intemperismo Acelerado		12% Máx.	8%	cumple
Graduación para Base		Banco #2	Resultado	
75	100	100	Cumple	
4.75	47-59	48	Cumple	
0.075	4-8	4	Cumple	

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b, pág. 809-810- Doc).

El banco de **préstamo #2, Eduardo Blanco** cumple con cada una de las especificaciones de la Nic-2019, por lo tanto, podrá ser utilizado como material para la capa base granular.

3.3.10. Evaluación del Banco #2 propuesto para la capa subbase

El **Banco de préstamo #2**, se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos de la Nic-2019, que debe cumplir un banco para poder utilizarse como material para la capa subbase (Ver Tabla 48).

Tabla 47. Evaluación Banco #2 para la capa subbase

Ensayo		Requerimientos	Banco #2	valoración
Límite líquido		25% Máx.	No posee	cumple
Índice de Plasticidad		6% Máx. (NP)	No posee	cumple
CBR		30% Mín.	83%	cumple
Desgaste de los Ángeles		35% Máx.	28%	cumple
Intemperismo Acelerado		12% Máx.	8%	cumple
tamiz (mm)	% que debe pasar (B)/subbase	Banco #2		Resultado
75	100	100		Cumple
4.75	40-60	48		Cumple
0.075	0-12	4		Cumple

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b, pág. 809-810 Doc).

De acuerdo la **Tabla-48, pág. 72**, el Banco de préstamo **#2, Eduardo Blanco** cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la Nic-2019 como lo son graduación, limite líquido, desgaste de los ángeles, intemperismo acelerado y CBR Proctor modificado al 95%, para utilizarse como fuente de material para la capa subbase granular.

3.3.11. Evaluación del Banco #1 propuesto para la capa subbase

El **Banco de préstamo#1, Hugo Altamirano Moncada** posee un CBR de **69%** 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.

Tabla 48. Evaluación Banco #1 para la capa subbase

Ensayo		Requerimientos	Banco #1	valoración
Límite líquido		25% Máx.	23%	cumple
Índice de Plasticidad		6% Máx. (NP)	5%	cumple
CBR		30% Mín.	69%	cumple
Desgaste de los Ángeles		35% Máx.	22%	cumple
Intemperismo Acelerado		12% Máx.	7.4%	cumple
tamiz (mm)	% que debe pasar (B)/subbase	Banco #1		Resultado
75	100	100		Cumple
4.75	40-60	57		Cumple
0.075	0-12	11		Cumple

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b, pág. 809-810 Doc).

De acuerdo la **Tabla-49** el Banco de **préstamo #1**, cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la Nic-2019 como lo son graduación, limite líquido, desgaste de los ángeles, intemperismo acelerado y CBR Proctor modificado al 95%, para utilizarse como fuente de material para la capa subbase.

3.3.12. Resultados de la evaluación para base granular

El banco de **préstamo #2**, Eduardo Blanco cumplió con todas las normativas de la Nic-2019, para utilizarse como material de la capa base granular.

3.3.13. Resultados de evaluación para subbase

El banco de **préstamo #1 y #2**, Hugo Altamirano y Eduardo Blanco cumplieron con todas las normativas de la Nic-2019, para utilizarse como material de la capa subbase. En base a lo anterior los bancos de diseños propuestos quedan así:

Tabla 49. Bancos Diseño seleccionados

Bancos	Capa	Condición	Resistencia	Volumen
Eduardo Blanco #2	Base	compactado al 95%	CBR 83%	75,924 m ³
Hugo Altamirano #1	Subbase	compactado al 95%	CBR 69%	127,800 m ³

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.3.14. Determinación del CBR de Diseño

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO T-193. El instituto de Asfalto define que el CBR de diseño es aquel valor que es igual o superado por un determinado porcentaje de los valores de las pruebas efectuadas estableciendo el procedimiento siguiente.

- ❖ Identificar los valores CBR de las muestras a utilizar.
- ❖ Ordenar todos los valores de CBR obtenido de menor a mayor.
- ❖ Para cada valor numérico diferente de CBR, comenzando desde el menor, se calcula el número y el porcentaje de valores de CBR que son mayores o iguales a él.
- ❖ Se dibujan los resultados en un gráfico CBR versus % de valores mayores o iguales, uniendo en una curva los valores dibujados en él.

El CBR de diseño es el correspondiente al valor en las ordenadas según el tránsito estimado para la vía objeto de análisis

3.3.15. CBR 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 **Civil 3D**, para ello se utilizaron las alturas del terreno natural donde se generó los tramos donde se realizará corte o relleno. En los tramos donde hay corte se seleccionó la capa inmediata mientras que donde hay relleno se propuso material del banco de préstamo **Hugo Altamirano** este banco posee un CBR de 69% al 95% Proctor modificado y se encuentra a 1.4 kilómetros de la Est: 0+000.

Se realizó una tabla la cual presenta el resumen de las alturas de corte y relleno que generó el software Civil 3D para cada sondeo sobre la plataforma vial en base a la subrasante propuesta en planos. Ver tabla a continuación.

Tabla 50. corte y relleno generadas por Civil 3D-2023

0+000		0+200		0+400		0+600	
S-1		S-2		S-3		S-4	
COTA TERRENO NATURAL	810.762	COTA TERRENO NATURAL	818.431	COTA TERRENO NATURAL	818.444	COTA TERRENO NATURAL	812.399
COTA SUBRASANTE	810.462	COTA SUBRASANTE	818.043	COTA SUBRASANTE	819.075	COTA SUBRASANTE	812.047
CORTE (-)	-0.30	CORTE (-)	-0.39	CORTE (-)		CORTE (-)	-0.35
RELLENO (+)		RELLENO (+)		RELLENO (+)	0.63	RELLENO (+)	
0+800		1+000		1+200		1+400	
S-5		S-6		S-7		S-8	
COTA TERRENO NATURAL	810.51	COTA TERRENO NATURAL	799.504	COTA TERRENO NATURAL	791.157	COTA TERRENO NATURAL	794.736
COTA SUBRASANTE	810.013	COTA SUBRASANTE	799.084	COTA SUBRASANTE	791.231	COTA SUBRASANTE	794.607
CORTE (-)	-0.50	CORTE (-)	-0.42	CORTE (-)		CORTE (-)	-0.13
RELLENO (+)		RELLENO (+)		RELLENO (+)	0.07	RELLENO (+)	
1+600		1+800		2+000			
S-5		S-6		S-7			
COTA TERRENO NATURAL	787.509	COTA TERRENO NATURAL	779.816	COTA TERRENO NATURAL	775.112		
COTA SUBRASANTE	787.001	COTA SUBRASANTE	779.91	COTA SUBRASANTE	775.292		
CORTE (-)	-0.51	CORTE (-)		CORTE (-)			
RELLENO (+)		RELLENO (+)	0.09	RELLENO (+)	0.18		

Fuente: Elaborado por Sustentante.

A continuación, se presenta la selección de los suelos de la subrasante Est 0+00 a la estación 2+000, tomando en consideración las alturas de corte y relleno que genero el software Civil 3D-2023.

Tabla 51: Ejemplo de toma de muestra en base a subrasante

PROFUND. METROS	EST. 0+000		EST. 0+200		EST. 0+400		EST. 0+600		EST. 0+800		EST. 1+000	
	SIMBOLO GRAFICO	CLASIF. AASHTO/SUCS										
0.00		A-2-6 (0) GC		A-1-a (0) GM		A-1-g (0) GM		A-2-6 (0) GC		A-2-4 (0) SM		A-2-7 (0) GM
0.50		A-2-4 (0) SM		A-2-4 (0) SM		A-4 (1) SM		A-2-7 (1) GM		A-2-4 (0) SM		A-2-4 (0) SM
1.00		A-7-5(22) MH		A-4 (1) SM		BOLON		A-7-5(19) MH				A-2-4 (0) SM
1.30												
PROFUND. METROS	EST. 1+200		EST. 1+400		EST. 1+600		EST. 1+800		EST. 2+000			
	SIMBOLO GRAFICO	CLASIF. AASHTO/SUCS										
0.00		A-2-7 (0) GM										
0.50		A-2-7 (1)		GM		A-2-4 (0) SM		A-2-4 (0) SM		A-1-b (0) GM		
1.00												
1.30												
	CIVIL 3D	CORTE	CORTE	RELLENO	CORTE	CORTE	CORTE	RELLENO	CORTE	CORTE	RELLENO	RELLENO
	SUELOS TOMADOS	A-2-4 (0)	A-1-a(0)	banco #1	A-2-7(1)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-4 (0)	A-2-7(0)	BANCO, A-2-7(0)
	CBR	18%	38%	69%	13%	24%	24%	16%	16%	24	16%	69%, 16%
	ESTACION	0+000	0+200	0+400	0+600	0+800	0+1000	0+1200	0+1400	0+1600	0+1800	0+2000

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tomando en consideración el proceso anterior, se realizó un consolidado de los valores de CBR de diseño tomados y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la subrasante:

En la **Tabla-52, pág. 76** del sondeo (S-1 al S-11) se tomaron diez (10) muestras correspondientes únicamente a los suelos inmediatos por debajo de la línea subrasante. Se utilizó el banco Hugo Altamirano como material para terracería /relleno pero su CBR al 95% próctor modificado no se tomó en consideración en la estimación del CBR de diseño, ya que, realmente no actúa en la subrasante por el contrario crea un sobre diseño afectando el resultado final de CBR.

Tabla 52. Selección de CBR de diseño para la subrasante

CLASIFICACION	CBR AL 95%	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	PORCENTAJES
AASHTO				
A-7-5 (32)	2	1	19	100.00%
A-7-5 (19)	6	1	18	94.74%
A-4 (1)	10	2	17	89.47%
A-2-7 (1)	13	1	15	78.95%
A-2-7 (0)	16	5	14	73.68%
A-2-4 (0)	18	1	9	47.37%
A-2-4 (0)	21	1	8	42.11%
A-2-4 (0)	24	5	7	36.84%
A-1-b (0)	38	1	2	10.53%
A-1-a (0)	38	1	1	5.26%

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Teniendo en cuenta que se conoce los valores iguales o mayores y los porcentajes se procede a graficar el valor CBR de diseño correspondiente al valor en las ordenadas según el tránsito estimado y el criterio del Instituto de Asfalto.

3.3.16. Criterio de determinación del percentil de diseño para el CBR

Considerando que el ESAL estimado fue de: **782,122.00**, se utilizara un percentil del 75% como se indica a continuación

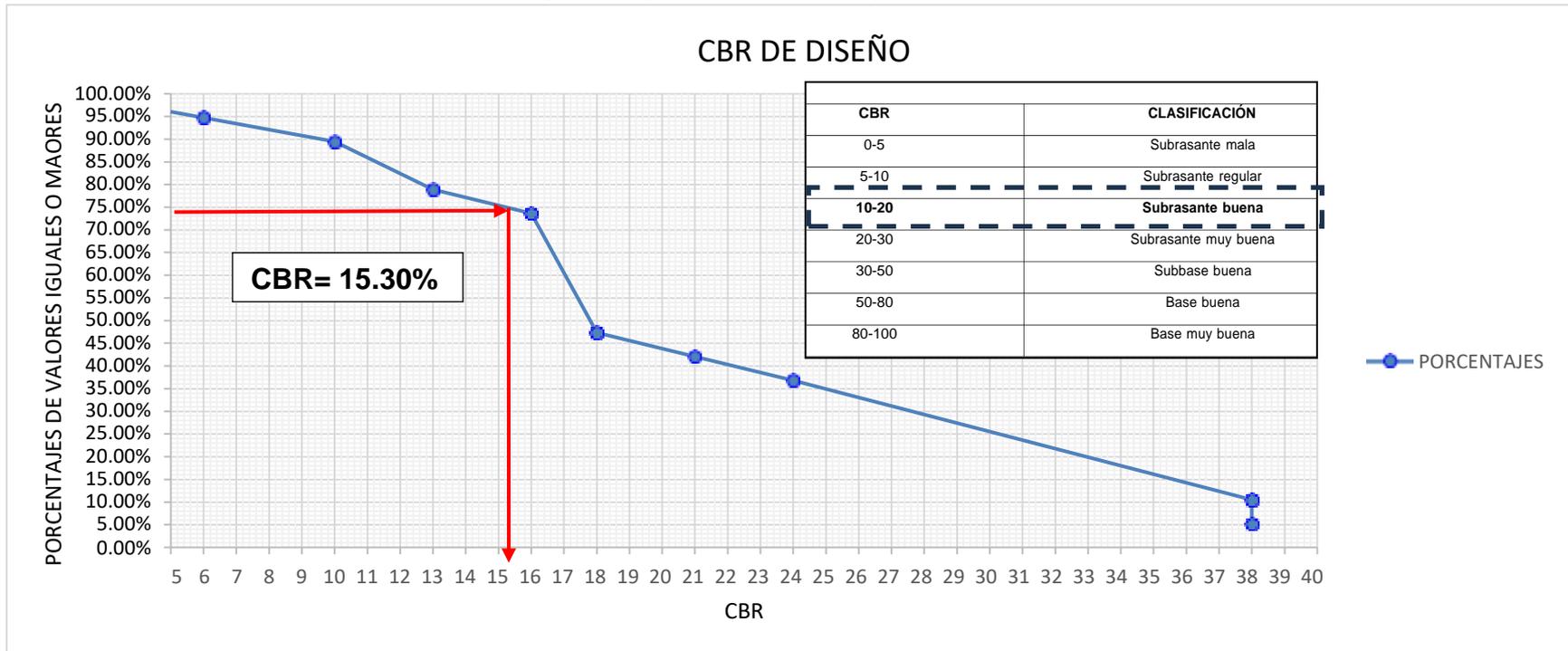
Tabla 53. Criterio del Instituto de asfalto para determinar CBR de Diseño

No de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil de Diseño (%)
< 10 ⁴	60%
10 ⁴ -10 ⁶	75%
> 10 ⁶	87.5%

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

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 CBR de **15.30%**. **Ver Gráfico-6. Pag 77.**

Gráfico 6: Estimación del CBR de diseño



Fuente: Elaborado por Sustentantes

Una vez calculado el CBR se establecerá la correlación respectiva según el tipo de suelo para calcular el módulo resistente de la subrasante según la ecuación AASHTO- 93 para pavimentos flexibles.

3.4. Diseño de pavimento

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO-93 está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan de módulo resiliente mayor a 40.000 psi (280 MPa). En este caso los espesores se determinarán bajo criterios constructivos.

La ecuación de este método de diseño es:

$$\log_{10}W_{t18}=Z_R S_0+9.36\log_{10}(SN+1)-0.20+\frac{\log_{10}\frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}}+2.32\log_{10}M_R-8.07$$

Ec.9 Tomada de (Cap. II, pág.17)

Dónde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de (80 KN) previstas.

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.

ΔPSI: 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 subbases 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.

3.4.1. Confiabilidad (R)

La confiabilidad en el diseño de un pavimento puede definirse de acuerdo con Darter y Hudson (1973) como la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante su periodo de diseño. Este criterio está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones de carga e intemperismo o a la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO-93 recomienda diferentes niveles de confiabilidad.

Tabla 54. Niveles de confianza según su clasificación funcional

Tipo de camino	Niveles de confiabilidad R	
	Zonas urbanas	Zonas Rurales
Autopista (rutas interestatales y autopistas)	85-99.9	80-99.9
Carreteras de primer orden (Arterias Principales)	80-99	75-95
Carreteras secundarias (colectoras)	80-95	75-95
Caminos vecinales (Locales)	50-80	50-80

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 146 pdf.

El tramo está clasificado como una vía **Local** y esta a su vez en **rural** por lo tanto se decidió utilizar una confiabilidad del 80%.

3.4.2. Variable de Serviciabilidad (Po, Pt, Δ PSI)

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad que tiene el mismo para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar. La mejor forma de evaluarla es a través del índice de servicio presente entre (PSI), el cual varía de cero (0), para carreteras en malas condiciones, hasta (5) para carreteras en perfectas condiciones.

El índice de ser servicio habilidad de un pavimento es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo en otras palabras un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de ser visibilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción de (5) perfecto.

Los valores recomendados por la AASHTO y por experiencia se muestran en el **capítulo II, sección 2.2.8, pág.10**, en base a ello se seleccionó:

Serviciabilidad Inicial (Po).

- ❖ Se seleccionó un P_o : 4.2 valor recomendado para pavimento flexibles

Serviciabilidad Final (Pf o Pt).

- ❖ Se seleccionó un P_t : 2.0 valor recomendado para pavimento flexibles

Aplicando la **ecuación 5, Cap. II, Pag.10**, la pérdida de serviciabilidad es de:

Perdida de serviciabilidad $\Delta PSI = 4.2 - 2.0$ Ec.5.
 $\Delta PSI = 2.2$

3.4.3. Desviación estándar (So)

La desviación estándar aplicada en este modelo se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción de este. Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito. En este estudio se tomó un valor de 0.45.

Tabla 55. Desviación estándar valores recomendados

Condición	Pavimentos flexibles	Pavimento Articulado
En construcción nueva	0.35	0.45
En sobre capas	0.39	0.49

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 144.

3.4.4. Variable módulo de resiliente (MR)

Este es el valor que corresponde al módulo de elasticidad de los materiales que se emplean en la construcción de subrasante, ya sean mejoradas o no, obtenido del resultado de un ensayo dinámico y se define como la relación entre el esfuerzo repetido masivo (sumatoria los esfuerzos principales) y la deformación axial recuperable.

Se han establecido correlaciones para calcularlo la guía de diseño de la AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la subrasante.

Tabla 56. Correlación entre el CBR

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	$Mr = 1500 * CBR$ (10)
CBR > 10%	$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$ (11)

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 60.

Para el proyecto se usó la segunda correlación esta se limita al estudio del CBR, por lo tanto, por medio de este valor se obtendrá el valor del Mr a utilizar en la solución de la Ecuación de la AASHTO 1993 para pavimentos flexibles

$$Mr = 4326 \times \ln(CBR) + 241 \quad \text{Ec.11.}$$

$$Mr = 4326 \times \ln(15.30\%) + 241$$

$$Mr = 12,041.69 \text{ PSI}$$

El resultado de CBR de diseño para la subrasante fue de **15.30%**, en base a este valor se determinó el **MR: 12,041.69 PSI**.

3.4.5. Variable Coeficiente de Drenaje (mi)

Es bien sabido que un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante, el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad, mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

La temperatura y humedad pueden tener efecto en la resistencia, durabilidad y capacidad de resistir carga de los materiales del pavimento y subrasante.

En la siguiente tabla se indican los tiempos de drenaje recomendados por la AASHTO. Estas recomendaciones están basadas en el tiempo requerido para drenar la capa de base hasta grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje.

Tabla 57. Clasificación de la calidad del drenaje

Calidad del drenaje	tiempo de drenaje o término de remoción del agua	tiempo de drenaje o término de remoción del agua
	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, pág. 125.

En este estudio se consideró un coeficiente de drenaje **m=1.00**, dado que se asume que cada una de las capas que conforman el pavimento tendrá una buena capacidad para drenar el agua de la vía expuesto a un porcentaje de saturación cercanos al 25%. Ver tabla a continuación

Tabla 58. Coeficiente de drenaje para pavimento flexibles

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, pág. 125.

3.4.6. Coeficientes de capa (a_1 , a_2 , a_3)

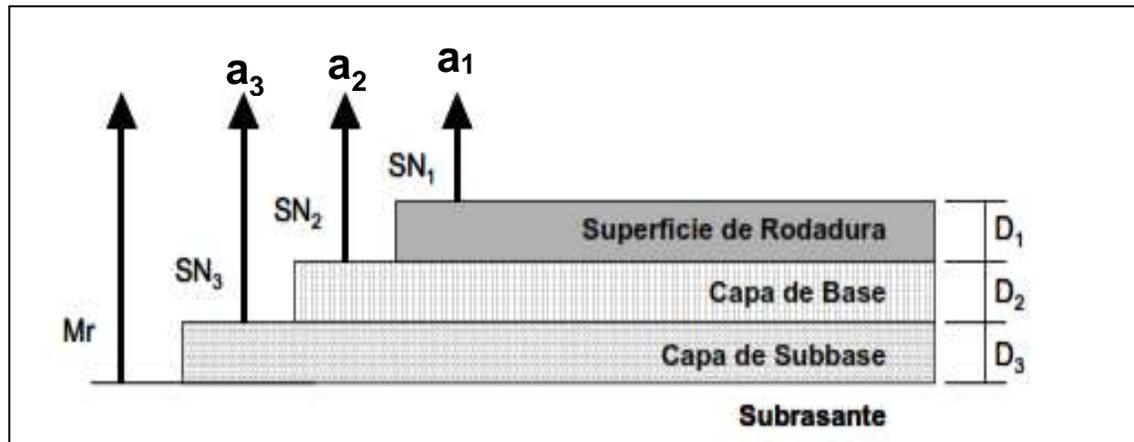
El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. Estos están representados con la siguiente simbología:

a_1 : Para la carpeta de rodamiento (**Adoquín de concreto 3500 psi**)

a_2 : Para la base granular (**Banco #2**)

a_3 : Para la Subbase (**Banco #1**)

Imagen 9. Coeficientes de capa para la estructura de pavimento



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

Los coeficientes de capa a_1 , a_2 y a_3 se obtienen utilizando las correlaciones de valores de diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Resiliente, Texas Triaxial, Valor R y CBR, tal como se muestra en el grafico 7-8, pág. 85-86:

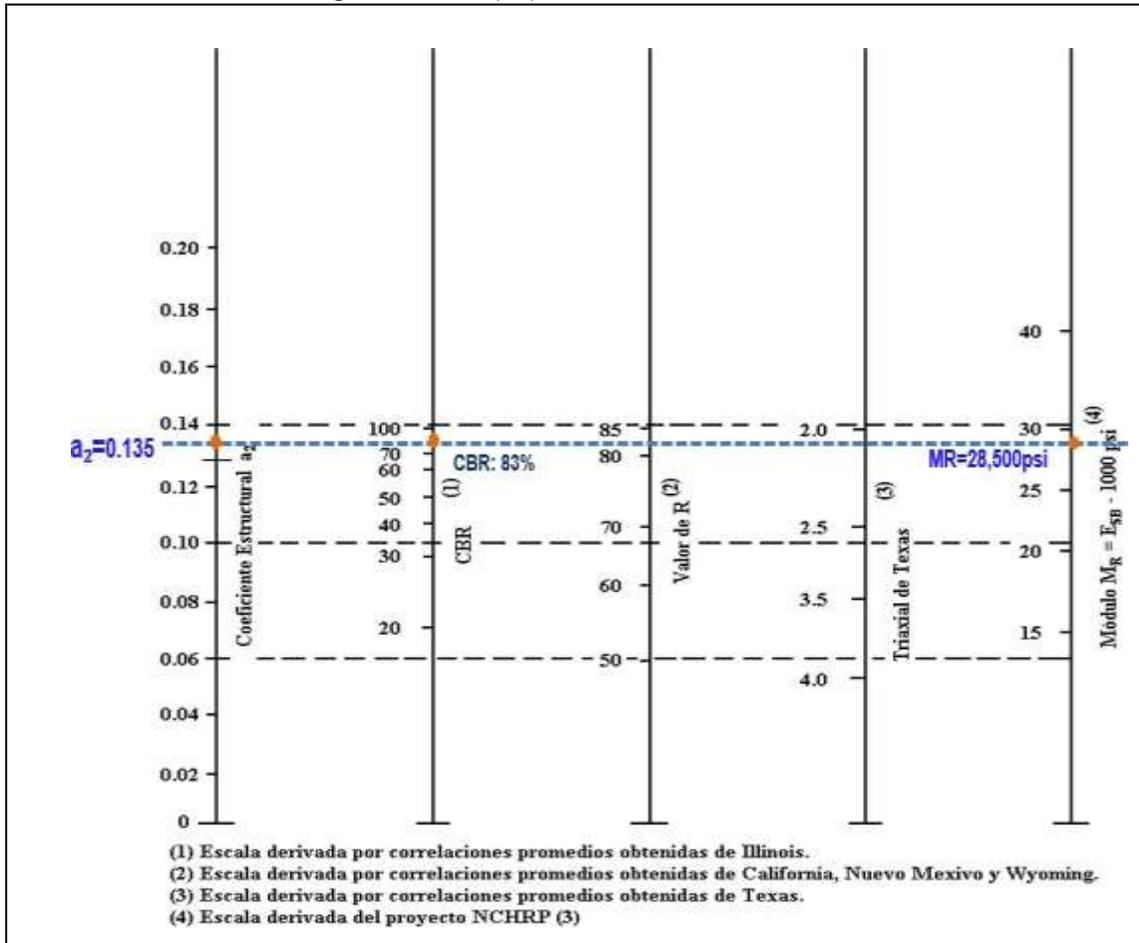
3.4.7. Coeficientes de capa a_1

La capa de rodamiento estará conformada por elementos uniformes compactos de concreto, denominados adoquines, cuando se utiliza adoquín como carpeta de rodamiento el coeficiente estructural será de $a_1 = 0.45$, valor tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO, página 107. El adoquín por utilizarse será tipo tráfico cuya resistencia será de 3500 PSI.

3.4.8. Coeficiente de capa a_2

La determinación del coeficiente estructural a_2 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-36 doc) y tomando como parámetro de entrada el valor CBR del banco de préstamo #2, **Eduardo Blanco**.

Gráfico 7: Para bases granulares (a_2)



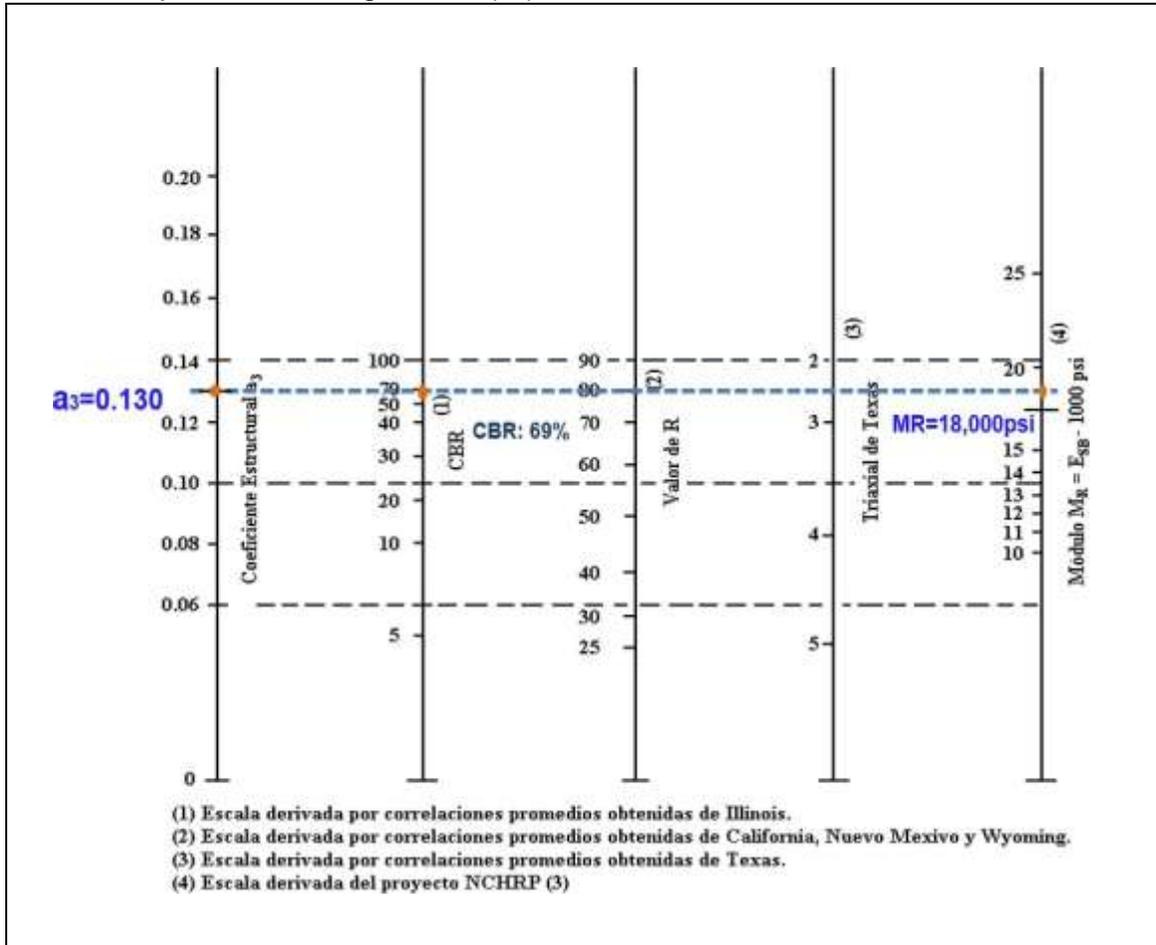
Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 3-34 doc-76 pdf.

El CBR al 95% Proctor modificado del banco propuesto es de **83%** de acuerdo con la línea horizontal trazada en el nomograma se obtuvo en las abscisas de la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_2 = 0.135$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **Mr = 28,500 psi**.

3.4.9. Coeficientes estructurales a_3 para subbase granular

La determinación del coeficiente estructural a_3 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-35 doc) y tomando como parámetro de entrada el valor CBR del banco de préstamo#1, Hugo Altamirano.

Gráfico 8. para subbase granular (a_3)



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 3-35doc -76 pdf.

El CBR al 95% Proctor modificado del banco propuesto es de **69%** de acuerdo con la línea horizontal trazada, se obtuvo en las abscisas de la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_3 = 0.130$ y en la escala derecha un módulo resiliente de **$M_r = 18,000$ psi.**

3.4.10. Números estructurales (SN)

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 **ecuación 12**, (Tomada del cap. II, pág.18):

$$\text{SN} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad \text{Ec.12.}$$

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.

3.4.11. Cálculo de los números estructurales (SN₁, SN₂, SN₃)

El espesor D₁ para nuestro caso está definido, debido que se utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D₁= 4 pulgadas** y el coeficiente estructural **a₁: 0.45**.

Determinar **SN₁**:

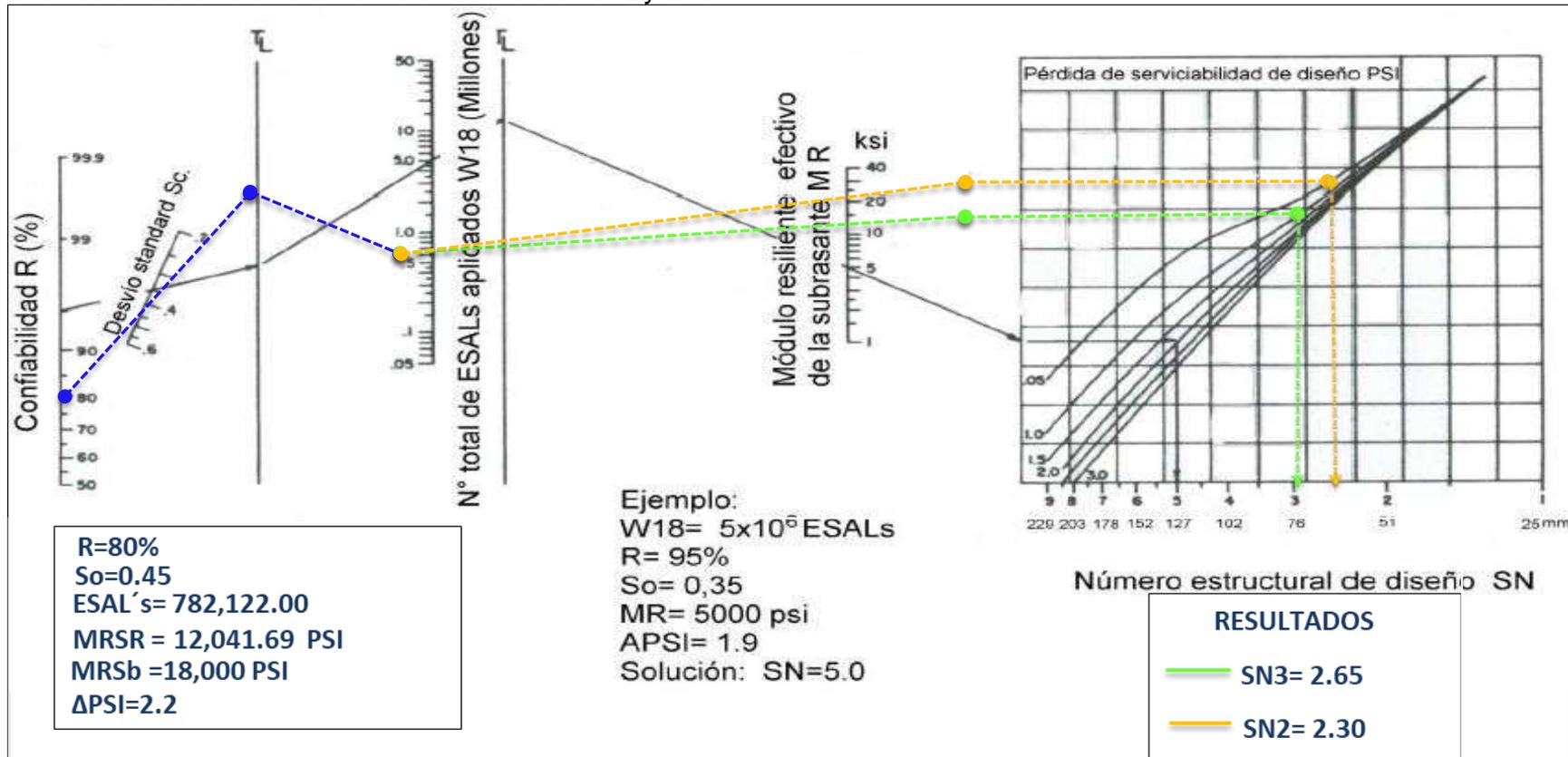
Teniendo en cuenta

$$\text{SN}_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ec. 20}$$

$$\text{SN}_1 = (0.45) \times (4.00 \text{ pulg})$$

$$\text{SN}_1 = 1.80 \text{ pulg.} \quad \text{Para protección de la base}$$

Gráfico 9. Obtención del número estructural SN₂ y SN₃



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 145.

De acuerdo con el módulo resiliente de la subbase se obtiene: **SN₂ = 2.20 pulg** para proteger la base y de acuerdo con el módulo resiliente de la subrasante se obtiene un **SN₃ = 2.60 pulg** para proteger la subbase.

Se procedió a realizar la comprobación de los números estructurales calculados anteriormente utilizando el **Software ecuación AASHTO-93**, donde se demuestran que son correctos. **Ver Anexos Imagen-22-23, pág. LVI**

3.4.12. Cálculo de los espesores del pavimento base (D2) y subbase (D3)

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de **SN₁=1.80 pulg (Adoquín)**, se procede a calcular el espesor de la base granular.

Determinar el espesor para la base granular (D₂):

$$SN_2 \text{ (Base)} \quad D_2 = (SN_2 - SN_1) / (a_2 * m_2) \quad \text{Ec.13. Tomada de (Cap. II, pág.18)}$$

$$D_2 = (2.20 - 1.80) / (0.135 * 1.00)$$

$$D_2 = 3.70 \text{'' pulgadas. "No cumple con espesor mínimo"}$$

Comprobando espesor de la Base en función del SN₃ = 2.60

$$D_2 = (SN_3 - SN_1) / (a_2 * m_2) \quad \text{Ec.14. Tomada de (Cap. II, pág.18)}$$

$$D_2 = (2.60 - 1.80) / (0.135 * 1.00)$$

$$D_2 = 5.93 \text{'' pulgadas. ¡Optar a 6.00''}$$

Espesores mínimos en pulgadas en función de los ejes equivalentes (**762,159.00**)

Tabla 59. Espesores mínimos sugeridos por capa

Transito ESAL en ejes equivalentes	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Asfalto	Bases Granulares
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 cumple
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO-93, pág. 147.

Se recalcula el número estructural de la base utilizando el espesor sugerido de **6.00 pulgadas**:

$$\mathbf{SN}_2 = a_2 * D_2 * m_2 \quad \mathbf{Ec.21.} \text{ Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$\mathbf{SN}_2 = (0.135) * (6.00) * (1.00)$$

$$\mathbf{SN}_2 = 0.810.$$

El número estructural (\mathbf{SN}_2) corregido valor para la base resulta de 0.810.

SN₃ (Subbase)

$$\mathbf{D}_3 = \mathbf{SN}_3 - (\mathbf{SN}_2 + \mathbf{SN}_1) / (a_3 * m_3) \quad \mathbf{Ec.22.} \text{ Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$\mathbf{D}_3 = 2.60 - (0.810 + 1.80) / (0.130 * 1.00)$$

$$\mathbf{D}_3 = -0.08 \text{ pulgadas.}$$

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:

$$\mathbf{SN}_1 + \mathbf{SN}_2 \geq \mathbf{SN} \text{ Requerido} \quad \mathbf{Ec.23.} \text{ Tomada de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$1.8 + 0.810 \geq 2.60$$

$$2.61 \geq 2.60 \quad \mathbf{¡O. K CUMPLE!}$$

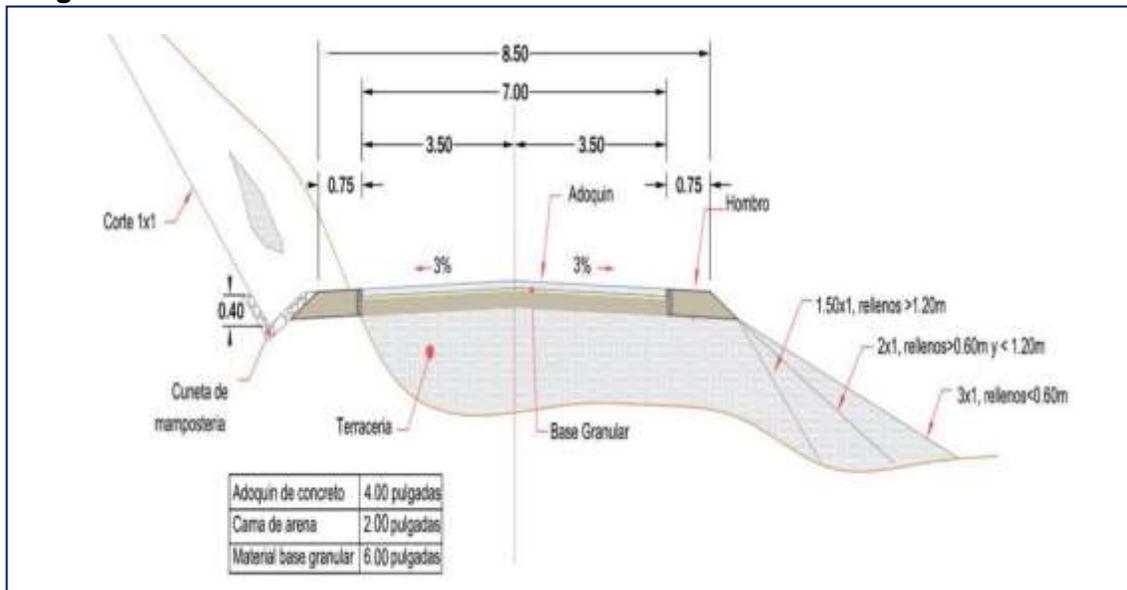
3.4.13. Espesores finales de diseño.

La estructura de pavimento articulado quedaría de la siguiente forma:

- Adoquín (EAC= 3500 psi.) = 4.00 pulgadas
- Cama de arena= 2.00 pulgadas
- Base granular (MR=28,500 psi) = 6.00 pulgadas

A continuación, en la **imagen-10, pág. 91**, muestra el paquete estructural de pavimento:

Imagen 10. Estructura Final de Pavimento



Fuente: Elaborado por Sustentante.

El total de la estructura de pavimento articulado es de 12.00 pulgadas equivalente a 30.48 centímetros, conformada por una cama de arena de 2.00" pulgadas una base granular de 6.00" pulgadas y su adoquín de 4.00" pulgadas con una resistencia de 3500 psi **Ver anexos, Imagen 24, Pág. LVII.**

3.5. Diseño Geométrico

De acuerdo con las especificaciones generales del manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales (SIECA-2011), se definirán los parámetros tales como; radio de curvatura y grado de curvatura, vehículo de diseño, coeficiente de fricción, pendiente transversal, pendiente longitudinal máxima, sobreechancho máximo, distancia de visibilidad de parada y rebase; en función de la velocidad de diseño. Mediante el programa autodesk civil 3D-2023, se hará el desarrollo y documentación del proyecto; incluidos ensamblajes, superficies, secciones transversales, alineaciones y perfiles longitudinales de rasante y subrasante.

3.5.1. Parámetros de diseño geométrico

Para la definición de parámetros se utilizó los manuales para diseño geométrico vial de la **AASHTO- 2004** (American Association Of State Highway Transportations Officials) y el manual centroamericano de normas para diseño de carreteras regionales (**SIECA 2004, 2011**).

3.5.2. Clasificación funcional de la carretera

El tramo en estudio tiene una clasificación como **Local Rural (LR)**, de acuerdo a la clasificación funcional del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA 2011).

Tabla 60. Clasificación de la Funcional

Función	Clase de carretera	Nomenclatura	TPDA
Arteria Menor	Arteria Menor Rural	AMR	3,000-10,000
	Arteria Menor Urbana	AMU	3,000-10,000
Colectora Mayor	Colectora Mayor Rural	CMR	10,000-20,000
	Colectora Mayor Urbana	CMU	10,000-20,000
Colectora Menor	Colectora Menor Rural	CR	500-3,000
	Colectora Menor Urbana	CU	500-3,000
Local	Local Rural	LR	100-500
	Local Urbana	LU	100-500
	Rural	R	<100

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 33).

3.5.3. Volumen de tránsito proyectado

El volumen de tránsito registrado actualmente es bajo, obteniéndose un TPDA de **391 vehículos/día**, en el año horizonte (2035), el número total de vehículos que circulen a lo largo del periodo de diseño será de **1,597,602.00 vehículos** durante 20 años.

3.5.4. Vehículo de Diseño

La aplicación del criterio de establecer como vehículo de proyecto correspondió en tomar como referencia al transporte pesado, por poseer las mayores dimensiones. Se escogió el camión tipo **C3** equivalente al **SU** de la AASHTO (Ver imagen 18, pág. 97), de acuerdo con los resultados de los conteos de tránsito.

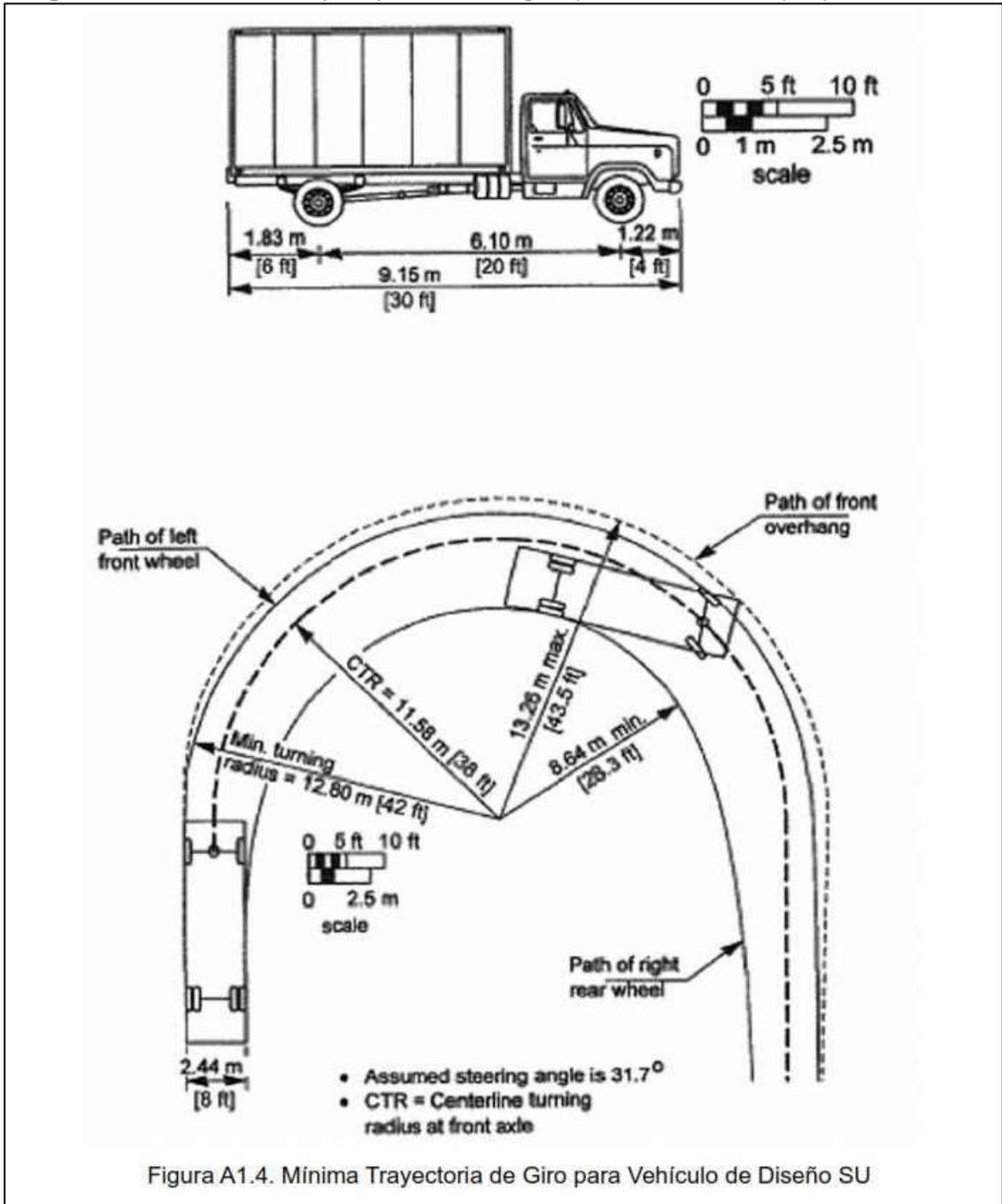
En este estudio los sobre anchos y radios de giros mínimos serán calculados utilizando como vehículo de diseño el **SU**, a continuación, se muestra un esquema con las dimensiones típicas del vehículo de diseño.

Tabla 61. Tipo de vehículo según Sieca-2011

Tipo vehículo	Símbolo	Altura	Ancho	Largo	Voladizo Delantero	Voladizo trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.3	2.1	5.8	0.90	1.50	3.40	-
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	-
Bus	BUS	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	-
Bus Articulado	BUS-14	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	20.40	1.20	1.40-0.80	6.60	13.20-13.80

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

Imagen 11. Dimensiones y trayectoria de giro para el vehículo propuesto SU



Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, p. 398).

3.5.5. Velocidad de diseño

De acuerdo con el **capítulo 2** de la **Sieca-2011** (pag.53), en la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- a. Distribuciones de las velocidades.
- b. Tendencias de las velocidades.
- c. Tipo de área.
 - Rural.
 - Urbana.
- d. Condiciones del terreno.
 - Plano.
 - Ondulado.
 - Montañoso.
- e. Volúmenes de tránsito.

El rango de velocidades para carreteras locales debe ser de 30 a 80 kilómetros/hora (Según Sieca-2011, cap.2, p.56). Conociendo el tipo de terreno (Ondulado), el área (zona Rural) y los volúmenes de tránsito (100-500 vehículos/día) se estableció una velocidad de 30 kilómetros/horas.

Tabla 62. Velocidad de Diseño.

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

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

3.5.6. Superficie de rodamiento

La superficie de rodamiento está contemplando el uso de adoquín prefabricado de concreto (3500 psi), deberán cumplir con lo establecido en la **sección 504**, pág. 391, de las especificaciones **nic-2019**, tomo I.

3.5.7. Número de carriles

En la normativa SIECA 2011, pág. 33 para una local rural el número de carriles es **2** para un tráfico de diseño en el rango de 500- 3000 (vehículos por día):

Tabla 63. Número de carriles en función a la clasificación de la funcional

Función	Clase de carretera	Nomenclatura	n
Arteria Menor	Arteria Menor Rural	AMR	2
	Arteria Menor Urbana	AMU	2
Colectora Mayor	Colectora Mayor Rural	CMR	4-6
	Colectora Mayor Urbana	CMU	4-6
Colectora Menor	Colectora Menor Rural	CR	2
	Colectora Menor Urbana	CU	2
Local	Local Rural	LR	2
	Local Urbana	LU	2
	Rural	R	1-2

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 33).

3.5.8. 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.

3.5.9. Ancho de Hombros

El Manual de la SIECA recomienda anchos de hombros entre 0.75 – 1.60 metros para las Colectoras Rurales (CS). Para este Proyecto en estudio se ha fijado el ancho mínimo de hombro de **0.75 metros**, como se aprecia en la Tabla 65, pág. 100:

Tabla 64. Anchos mínimos de hombros y aceras

Tipo De Carretera		Tipo de Super.	Ancho Hombros (m)		Ancho Aceras (m)
			Internos	Externos	
AR	Autopistas	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	
AR	Arteria Rurales	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arteria Urbana	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	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	Interm.	–	1.2 – 1.6	1.0– 1.2
CS	Colectora Menor Urbana	Interm.	–	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	Interm.	–	0.75 – 1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	Interm.	–	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).

3.5.10. Ancho de corona

En base a lo anterior la distribución de los **8.50 metros** de corona será la siguiente **1.50 metros** de hombros, **0.75 metros** a cada lado, más 2 carriles de **3.50 metros**, para un total de **7.00 metros** de ancho de rodamiento.

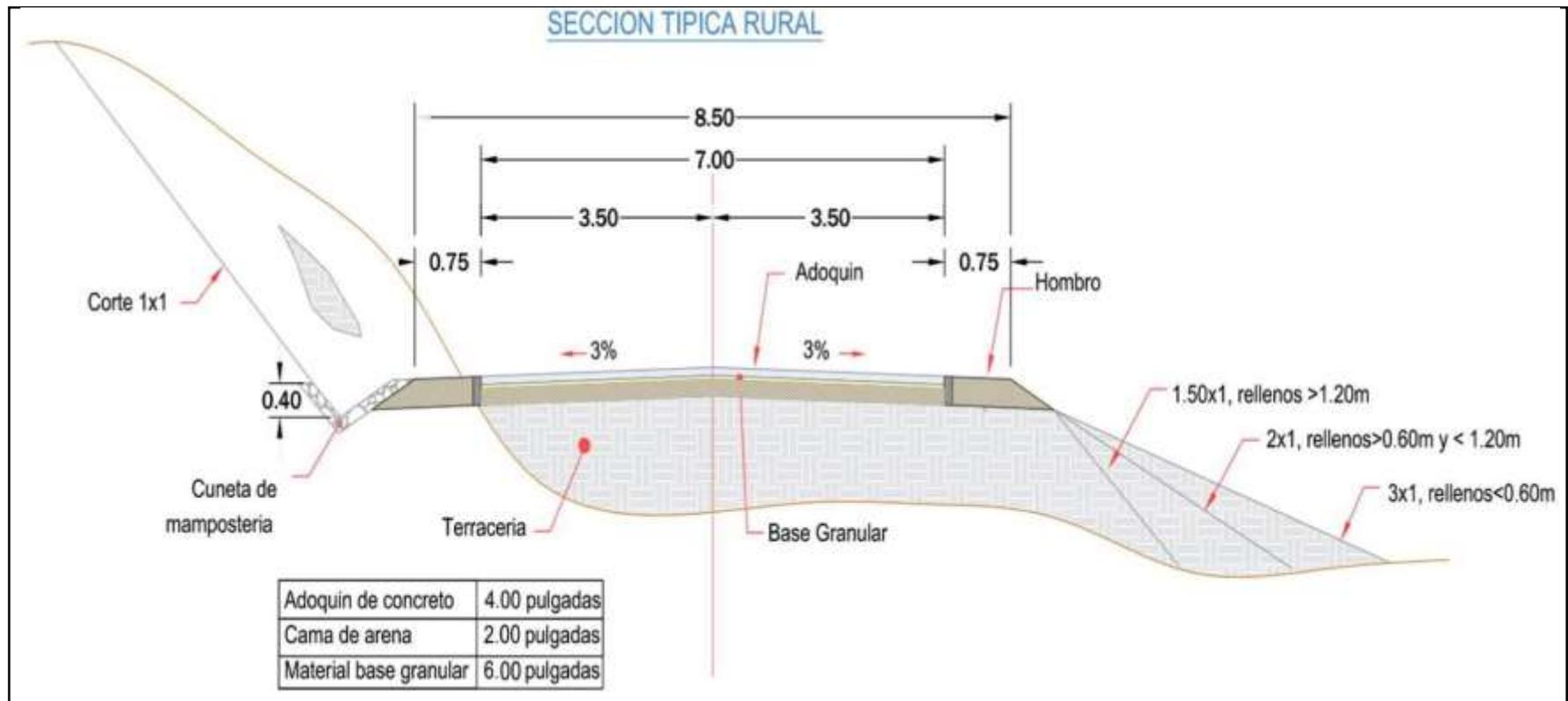
3.5.11. Pendiente transversal

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 Adoquín prefabricado de concreto.

3.5.12. Sección Típica Propuesta

A lo largo de todo el tramo (0+000-2+000), se propone la sección típica de la **Imagen 17**. El ancho total será de con cunetas de mampostería (Tipo II), solamente donde se amerite dicho drenaje longitudinal.

Imagen 12. Sección típica propuesta



Fuente: Sustentantes-programa Civil 3D/2023.

3.5.13. 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 se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$dvp = 0.278 * V * t + \frac{v^2}{254 \left[\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right]} \quad \text{Ec.24. Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Dónde:

v = Velocidad inicial.

t = Tiempo de percepción y reacción.

G= Pendiente longitudinal del tramo.

a= aceleración promedio.

➔ **Ejemplo de cálculo de dvp (CV-1):**

Datos utilizados:

v = 30 km/h.

t = 2.5 seg.

G= 14.24%.

a= 3.25 m/seg².

$$dvp_{CV-1} = 0.278 * 30 * 2.5 + \frac{30^2}{254 \left[\left(\frac{3.25}{9.81} \right) \pm 0.142 \right]}$$

$$dvp_{CV-1} = 31.91$$

La distancia de visibilidad de parada (**dvp**), para el CV-1, fue de **31.91** metros, se decidió adoptar **35 metros**, de acuerdo con lo valores recomendados por la Sieca-2011, para una velocidad de 30 Kilómetros/hora (Ver tabla 65, pág. 99).

Tabla 65. Distancia de visibilidad parada en función de la velocidad (30km/h)

VD (Km/h)	Distancia de Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP	
			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

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

3.5.15. Coeficiente de fricción máxima

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 (ver tabla 67, pág. 107):

Tabla 66. 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.

En base a lo recomendado por la tabla 67, el valor tomado para fricción máxima es:

➤ **30 kilómetros/hora**, le corresponde un valor **f = 0.28**.

3.5.16. Sobreelevación máxima

La sobreelevación o peralte máximo es una pendiente necesaria 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 67. La sobreelevación o peralte según tipo de área

Área.	e máx. (%)
puede utilizarse en algunos casos (Nieve o Hielo)	12
Áreas Rurales Montañas	10
valor máximo razonable (Áreas Rurales Onduladas y Planas)	8
En áreas suburbanas	6
En áreas Urbanas	4

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

En base a lo recomendado por la tabla 68, el valor tomado para sobreelevación máxima es de 8.0 %.

3.5.17. Radio mínimo y grado de curvatura

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:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127.14 (e_{máx} + f_{máx})} \quad \text{Ec.25. (Tomada de (SIECA 2011))}$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva.

V = Velocidad de diseño.

e= Tasa de sobreelevación máxima.

f = Factor de fricción lateral máxima.

 **Resultado de Radio mínimo.**

Datos utilizados:

R = Radio mínimo de curva.

V = 30 km/h.

e= 8.00%.

f = 0.28

Resultado de radio mínimo.

$$R_{\text{min-Tramo I}} = \frac{30^2}{127.14 (0.08+0.28)} = 20.00 \text{ metros.}$$

El grado de curva o de curvatura (**Gc**), es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio por un arco de 20 metros. Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo:

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \quad \text{Ec.26. (Tomada de (SIECA, 2011))}$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva.

➔ **Resultado de Grado de curvatura.**

Datos utilizados:

R = Radio mínimo de curva.

$$G_{c-\text{Tramo I}} = \frac{1145.92}{20.00} = 57^\circ 17' 45.6''.$$

Los valores recomendados de radio mínimos y grados de curvatura se ajustan a lo recomendado por el SIECA-2011:

Tabla 68. Radios mínimos para distintas Velocidades de Diseño (Peralte 8%)

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima (f)	e máx. 8 %		
		Radio (m)		Gc.
		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.

3.5.18. Cálculo de sobreelevación

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. El cálculo de la sobreelevación (**S**), se calculó con la siguiente ecuación-25, pág.110:

$$S = S_{m\acute{a}x} - S_{m\acute{a}x} \left(\frac{G_{c\ m\acute{a}x} - G_c}{G_{m\acute{a}x}} \right) * G_c \quad \text{Ec.27. (Tomada de (SIECA,2011))}$$

Dónde:

S= sobreelevación.

S_{máx}= Sobreelevación máxima.

G_{c máx}= Grado de curvatura máximo.

G_c= Grado de curvatura.

El cálculo del grado de curvatura máximo (**G_{c máx}**):

$$G_{c\ m\acute{a}x} = \frac{145.692.26 * (e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})}{V^2} \quad \text{Ec.28. Tomada de (Cal y Mayor ,2018)}$$

Dónde:

V =Velocidad de Diseño.

f: Coeficiente de fricción lateral.

e_{máx}= Sobreelevación máxima.

G_{c máx}= Grado de curvatura máximo.

➔ **Resultado de Sobreelevación.**

Datos utilizados:

Curva N°: PI-1.

VD = 30 Kilómetros/hora.

R = 20.00 metros.

e= 8.00%.

f = 0.28.

G_c= 57° 17' 45.6".

Resultado de Grado de curvatura máximo:

$$G_{c\ m\acute{a}x} = \frac{145,692.26 * (0.08 + 0.28)}{30^2} = 58^\circ 16' 37.2''.$$

Resultado de sobreelevación:

$$S = 0.08 - 0.08 \left(\frac{58.277 - 57.296}{58.277} \right) * 57.296$$

$$S = 0.08 = 8.00\%$$

Los resultados de sobreelevación para las 21 curvas trazadas dentro del tramo, con una velocidad de 30 Kilómetros/ hora se muestran en la tabla 69:

Tabla 69. Resultados de sobreelevación

Nº CURVA	PC	PI	PT	R	Gc	Peralte Calculado	Peralte Asumido
P:1	0+027.86	0+038.47	0+048.87	60	19.10	4.4	4.4
P:2	0+077.18	0+104.76	0+131.01	100	11.46	2.8	2.8
P:3	0+170.99	0+175.63	0+180.24	60	19.10	4.4	4.4
P:4	0+194.75	0+215.59	0+234.60	55	20.83	4.7	4.7
P:5	0+266.58	0+279.02	0+291.10	60	19.10	4.4	4.4
P:6	0+374.41	0+384.00	0+393.44	60	19.10	4.4	4.4
P:7	0+427.47	0+440.95	0+453.98	60	19.10	4.4	4.4
P:8	0+491.29	0+502.44	0+513.52	120	9.55	2.4	C.I
P:9	0+555.79	0+573.25	0+590.54	150	7.64	2.0	2.0
P:10	0+630.77	0+642.31	0+653.58	60	19.10	4.4	4.4
P:11	0+683.42	0+696.77	0+709.70	60	19.10	4.4	4.4
P:12	0+780.52	0+791.62	0+802.48	60	19.10	4.4	4.4
P:13	0+966.84	0+979.04	0+990.90	60	19.10	4.4	4.4
P:14	1+034.12	1+042.01	1+049.89	200	5.73	1.5	C.N
P:15	1+164.73	1+179.52	1+193.73	60	19.10	4.4	4.4
P:16	1+314.22	1+334.48	1+353.90	80	14.32	3.5	3.5
P:17	1+600.43	1+616.23	1+631.33	60	19.10	4.4	5.1
P:18	1+956.99	1+974.73	1+991.31	55	20.83	4.7	4.7
P:19	1+691.77	1+708.28	1+721.96	30	38.20	7.1	7.1
P:20	1+691.77	1+708.28	1+721.96	24.000	47.75	7.7	7.7
P:21	1+809.47	1+836.94	1+850.40	24.000	47.75	7.7	7.7

Fuente Elaborado por sustentantes.

3.5.19. Pendiente Relativa

De acuerdo con la tabla 75, para una velocidad de 30 kilómetros/hora corresponde una de pendiente relativa de 0.75% equivalente a **1:133**.

Tabla 70. Máximas Pendientes Relativas

Velocidad	Pendiente relativa (%)	Pendiente relativa equivalente
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:154
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.47	1:200

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 94.

3.5.20. Cálculos de sobrecanchos

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. Para calcular el sobrecancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$Sa = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{0.10V}{\sqrt{R}} \quad \text{Ec.19. (Tomada de (Cap. II, pág. 24)}$$

Donde:

Sa = Valor sobrecancho.

V = Velocidad de diseño de la carretera.

R = Radio de curvatura.

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

n = Número de carriles.

 **Resultado de Sobrecancho:**

Datos utilizados:

Curva N°: PI-2.

VD = 30 Kilómetros/hora.

R = 100 metros.

L = 6.10 metros.

n = 2.

Resultado de Grado de curvatura máximo PI-02:

$$Sa = 2[100 - (\sqrt{100^2 - 6.10^2})] + \frac{0.10(100)}{\sqrt{100}}$$

$$Sa = 0.70 \text{ metros}$$

Los resultados de sobreeanchos para las 21 curvas trazadas dentro del tramo, con una velocidad de 30 Kilómetros/ hora se muestran en la tabla 71, pág. 105:

Tabla 71. Resultados de sobreeancho

CURVA No.	Deflex.	Radio	PC	PI	PT	Sa CALCULADO	Sa USAR
P:1	20°03'41.8"	60.00	0+027.86	0+038.47	0+048.87	1.00	1.00
P:2	30°50'21.2"	100.00	0+077.18	0+104.76	0+131.01	0.70	0.70
P:3	8°50'06.7"	60.00	0+170.99	0+175.63	0+180.24	1.00	1.00
P:4	41°30'39.0"	55.00	0+194.75	0+215.59	0+234.60	1.10	1.10
P:5	23°25'11.0"	60.00	0+266.58	0+279.02	0+291.10	1.00	1.00
P:6	18°10'26.3"	60.00	0+374.41	0+384.00	0+393.44	1.00	1.00
P:7	25°18'44.3"	60.00	0+427.47	0+440.95	0+453.98	1.00	1.00
P:8	10°36'54.7"	120.00	0+491.29	0+502.44	0+513.52	0.60	0.60
P:9	13°16'31.0"	150.00	0+555.79	0+573.25	0+590.54	0.50	0.50
P:10	21°47'13.6"	60.00	0+630.77	0+642.31	0+653.58	1.00	1.00
P:11	25°05'21.5"	60.00	0+683.42	0+696.77	0+709.70	1.00	1.00
P:12	20°58'21.7"	60.00	0+780.52	0+791.62	0+802.48	1.00	1.00
P:13	22°58'46.3"	60.00	0+966.84	0+979.04	0+990.90	1.00	1.00
P:14	4°31'03.8"	200.00	1+034.12	1+042.01	1+049.89	0.40	0.40
P:15	27°41'18.5"	60.00	1+164.73	1+179.52	1+193.73	1.00	1.00
P:16	28°24'44.7"	80.00	1+314.22	1+334.48	1+353.90	0.80	0.80
P:17	29°30'26.7"	60.00	1+600.43	1+616.23	1+631.33	1.00	1.00
P:18	35°44'57.7"	55.00	1+956.99	1+974.73	1+991.31	1.10	1.10
P:19	57°39'34.2"	30.00	1+691.77	1+708.28	1+721.96	1.80	1.80
P:20	97°43'38.7"	24.00	1+691.77	1+708.28	1+721.96	2.20	1.80
P:21	55°21'13.9"	24.00	1+809.47	1+836.94	1+850.40	2.20	1.80

Fuente Elaborado por sustentantes.

3.5.21. Cálculo de elementos de curvas

Los elementos de curvas se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

- Longitud de curva (**Lc**):

$$L_C = \frac{\Delta R \pi}{180}$$

Ec.30. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

- Tangente (**T**):

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$$

Ec.31. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

- Externa (**E**):

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$$

Ec.32. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

Media ordenada (**Mo**):

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$

Ec.33. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

➔ **Resultado de elementos de curva (0+000 – 2+000):**

Datos utilizados:

Curva N°: PI-1.

R= 60.00 metros.

Deflexión= 20°03'41.8".

Los resultados de elementos de la **curva PI-1** son los siguientes:

$$L_C = \frac{(20^\circ 03' 41.8'') * (60) \pi}{180} = 21.01 \text{ metros}$$

$$T = 60 * \tan \left(\frac{20^\circ 03' 41.8''}{2} \right) = 10.613 \text{ metros}$$

$$E = 60 * \left(\frac{1}{\cos \frac{20^\circ 03' 41.8''}{2}} - 1 \right) = 0.931 \text{ metros}$$

$$M = 60 * \left(1 - \cos \frac{20^\circ 03' 41.8''}{2} \right) = 0.917 \text{ metros}$$

Los resultados de elementos de curvas para las 21 curvas trazadas (0+000-2+000), se muestran en la tabla 73, pág. 96.

3.5.22. Cálculo de estacionamientos de curvas

Los estacionamientos principales serán:

- Principio de Curva (**PC**):

$$PC = EST \text{ PI} - T$$

Ec.34. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

- Principio de Tangente (**PT**):

$$PT = EST \text{ PC} + LC$$

Ec.35. Tomada de (Cárdenas, J. 2013)

➔ **Resultado de elementos de curva (0+000 – 2+000):**

Datos utilizados:

Curva N°: PI-1.

EST PI-1= 0+0.038.47

Lc= 21.01 metros.

T= 10.613 metros.

Deflexión= 20°03'41.8".

Sentido= Derecha.

Los resultados de los estacionamientos de la **curva PI-4** son los siguientes:

$$PC = EST PI - T$$

$$PC = 0+0.038.47 - 10.613$$

$$PC = 0+0.027.86$$

Mientras que la progresiva del **PT** se obtiene sumando la progresiva del **PC** y la longitud de la curva:

$$PT = EST PC + LC$$

$$PT = 0+0.027.86+ 21.01$$

$$PT = 0.048.87$$

Los resultados del cálculo de los estacionamientos del tramo (0+000 – 2+000), se trazaron un total de 21 curvas horizontales, se muestran en la tabla 72:

3.5.23. Elementos de la curva

Tabla 72. Resultados de elementos de curvas

P:I	Sentido	Deflex.	Radio	L. C.	Tang.	Ext.	Mo	PI	PC	PT
P:1	Der	20°03'41.8"	60	21.01	10.613	0.931	0.917	0+038.47	0+027.86	0+048.87
P:2	lza.	30°50'21.2"	100	53.82	27.581	3.734	3.6	0+104.76	0+077.18	0+131.01
P:3	lza.	8°50'06.7"	60	9.25	4.635	0.179	0.178	0+175.63	0+170.99	0+180.24
P:4	Der	41°30'39.0"	55	39.85	20.844	3.817	3.569	0+215.59	0+194.75	0+234.60
P:5	lza.	23°25'11.0"	60	24.53	12.436	1.275	1.249	0+279.02	0+266.58	0+291.10
P:6	lza.	18°10'26.3"	60	19.03	9.596	0.763	0.753	0+384.00	0+374.41	0+393.44
P:7	Der	25°18'44.3"	60	26.51	13.473	1.494	1.458	0+440.95	0+427.47	0+453.98
P:8	Der	10°36'54.7"	120	22.23	11.148	0.517	0.515	0+502.44	0+491.29	0+513.52
P:9	lza.	13°16'31.0"	150	34.75	17.455	1.012	1.005	0+573.25	0+555.79	0+590.54
P:10	Der	21°47'13.6"	60	22.82	11.547	1.101	1.081	0+642.31	0+630.77	0+653.58
P:11	Der	25°05'21.5"	60	26.27	13.351	1.467	1.432	0+696.77	0+683.42	0+709.70
P:12	lza.	20°58'21.7"	60	21.96	11.106	1.019	1.002	0+791.62	0+780.52	0+802.48
P:13	lza.	22°58'46.3"	60	24.06	12.196	1.227	1.202	0+979.04	0+966.84	0+990.90
P:14	lza.	4°31'03.8"	200	15.77	7.889	0.156	0.155	1+042.01	1+034.12	1+049.89
P:15	Der	27°41'18.5"	60	29	14.787	1.795	1.743	1+179.52	1+164.73	1+193.73
P:16	lza.	28°24'44.7"	80	39.67	20.252	2.524	2.446	1+334.48	1+314.22	1+353.90
P:17	lza.	29°30'26.7"	60	30.9	15.801	2.046	1.978	1+616.23	1+600.43	1+631.33
P:18	lza.	35°44'57.7"	55	34.32	17.738	2.789	2.655	1+974.73	1+956.99	1+991.31
P:19	Der	57°39'34.2"	30	30.19	16.513	4.244	3.718	1+708.28	1+691.77	1+721.96
P:20	lza.	97°43'38.7"	24	40.94	27.477	12.482	8.212	1+836.94	1+809.47	1+850.40
P:21	Der	55°21'13.9"	24	23.19	12.588	3.101	2.746	1+913.85	1+901.26	1+924.45

Los resultados de curvas en espiral del tramo (0+000 – 2+000), se trazaron un total de 3 Curvas, se muestran en la tabla 73 pág. 109:

Tabla 73. Resultados de Curvas en Espiral (L1-L7)

# Espiral	A Valor	Radio	Longitud	Inicio de Dirección	Punto de Inicio	Punto Final
S1	28.46	INFINITY	27	N28° 26'29.05"W	(571935.19,1454314.33)	(571926.10,1454339.49)
S2	28.46	30	27	N55° 00' 04.31"E	(571938.86,1454365.46)	(571964.34,1454373.64)
S3	22.98	INFINITY	22	N80° 47' 03.47"E	(572002.35,1454379.80)	(572023.09,1454386.52)
S4	22.98	24	22	N43° 12'13.22"W	(572026.65,1454422.50)	(572007.64,1454433.16)
S5	22.98	INFINITY	22	N69° 27'51.26"W	(572001.22,1454435.56)	(571982.21,1454446.22)
S6	22.98	24	22	N12° 09' 00.63"E	(571976.24,1454467.70)	(571987.03,1454486.64)

Fuente Elaborado por sustentantes.

Los resultados del cálculo de los estacionamientos del tramo (0+000 – 2+000) se trazaron un total de 21 rectas, se muestran en la tabla:

Tabla 74. Resultados de elementos de tangentes (L1-L13)

TANGENTE	DIST.	DIRECCION	COORDENADAS	
			INICIO	FINAL
TANG:1	27.86	N0° 25' 36.83"E	E=571644.94 N=1452750.86	E=571645.15 N=1452778.71
TANG:2	28.31	N20°29' 18.67"E	E=571648.94 N=1452799.27	E=571658.85 N=1452825.79
TANG:3	39.98	N1021' 02.50"W	E=571663.55 N=1452878.76	E=571656.37 N=1452918.09
TANG:4	14.51	N1911' 09.21"W	E=571654.01 N=1452927.03	E=571649.25 N=1452940.73
TANG:5	31.98	N22° 19'29.82"E	E=571650.31 N=1452979.70	E=571662.46 N=1453009.29
TANG:6	83.3	N1° 05' 41.17"W	E=571666.95 N=1453033.22	E=571665.36 N=1453116.51
TANG:7	34.03	N19°16'07.51"W	E=571662.01 N=1453135.16	E=571650.77 N=1453167.29
TANG:8	37.31	N6° 02' 36.78"E	E=571647.75 N=1453193.41	E=571651.67 N=1453230.51
TANG:9	42.27	N16° 39'31.49"E	E=571656.04 N=1453252.28	E=571668.16 N=1453292.77
TANG:10	40.22	N3° 23' 00.53"E	E=571674.20 N=1453326.92	E=571676.57 N=1453367.07
TANG:11	29.84	N25° 10'14.17"E	E=571682.16 N=1453389.05	E=571694.85 N=1453416.06
TANG:12	70.82	N50° 15'35.67"E	E=571710.80 N=1453436.67	E=571765.26 N=1453481.95
TANG:13	164.36	N29° 17'13.92"E	E=571779.23 N=1453498.74	E=571859.63 N=1453642.09

Tabla 75. Resultados de elementos de las tangentes (L14 – 21)

TANGENTE	DIST.	DIRECCION	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FINAL
TANG:14	43.22	N6° 18' 27.65"E	E=571866.94 N=1453664.85	E=571871.69 N=1453707.80
TANG:15	114.84	N1° 47' 23.89"E	E=571872.80 N=1453723.53	E=571876.39 N=1453838.31
TANG:16	120.5	N29° 28' 42.38"E	E=571884.12 N=1453865.97	E=571943.42 N=1453970.86
TANG:17	246.53	N1° 03' 57.67"E	E=571953.76 N=1454008.74	E=571958.35 N=1454255.23
TANG:18	33.44	N28° 26' 29.05"W	E=571951.12 N=1454284.92	E=571935.19 N=1454314.33
TANG:19	38.51	N80° 47' 03.47"E	E=571964.34 N=1454373.64	E=572002.35 N=1454379.80
TANG:20	6.86	N69° 27' 51.26"W	E=572007.64 N=1454433.16	E=572001.22 N=1454435.56
TANG:21	10.55	N38° 24' 38.67"E	E=571987.03 N=1454486.64	E=571993.58 N=1454494.90

3.5.24. Resultados de alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad.
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

3.5.24.1. Pendiente mínima

La pendiente mínima en zonas de sección en corte y/o terraplén no deberá ser menor del cero punto cinco por ciento (**0.5%**) y en zonas con sección de terraplén la pendiente podrá ser nula.

3.5.24.2. Curvas verticales en columpio

Estas curvas son aquellas donde la curva se ubica sobre el encuentro de las pendientes, la de entrada y la de salida, a éstas se les conoce como curvas en Columpio, debido a que su forma se asemeja a un columpio.

3.5.24.3. Curvas verticales en cresta

Estas curvas son aquellas donde la curva se ubica bajo el encuentro de la pendiente de entrada y la de salida, también llamadas curvas en Cresta, debido a que tiende a ser una cresta en la parte superior.

 **Resultado de alineamiento vertical (PVI-):**

Datos utilizados:

CURVA= PVI-1

EST PVI-1= 0+067.27

ELEV PVI-1= 806.771 metros.

P1= -5.92%

P2= 8.32%.

Se determino la diferencia entre P1 y P2:

$$\Delta = P1 - P2.$$

Ec.36. Tomada de (SIECA,2011)

$$\Delta = -5.92\% - 8.32\%$$

$$\Delta = 14.24\%$$

A continuación, se muestran los datos para el cálculo de distancia de parada en función de la velocidad, conociendo la *dvp* (35 metros), entonces el valor de *K* es de 4 (Ver tabla 83).

Tabla 76. Datos para el cálculo de distancia de parada en función de la velocidad

VD	Dvp	K (Calculada)	K (Diseño)
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7

Fuente: SIECA 2011, pág.125.

Longitud de curva mínima del PVI-1, K=2:

$$LC_{\min}=K_{\min}(\Delta)$$

Ec.37. Tomada de (SIECA,2011)

$$LC_{\min}=2(14.24)$$

$$LC_{\min}= 28.48 \text{ metros.}$$

Longitud de curva del PVI-1, K.6.32

$$LC=K(\Delta \times 100)$$

Ec.38. Tomada de (SIECA,2011)

$$LC=6.32(14.24)$$

$$LC=90.033 \text{ metros.}$$

Para el cálculo de la longitud vertical (*Lv*), del PVI-1:

$$Lv = \frac{\Delta(dvp)^2}{404}$$

Ec.39. Tomada de (SIECA,2011)

$$Lv = \frac{14.24(35)^2}{404} = 43.17 \text{ metros}$$

En la **Tabla 77** se presente un reporte del Alineamiento Vertical Proyectoado para el tramo empalme los Cerritos-comunidad Nueva Jerusalén, en total se proyectaron 10 PVI (5 curvas en cresta, 5 curvas en columpio):

Tabla 77. Alineamiento vertical proyectado

No.	PVI Estación	PVI Elevación	ΔP	P1	P2	Tipo de Curva	Lc	K	Radio	VD
	0+000.00m	810.752m		-5.92%						
1	0+067.46m	806.771m	-5.92	-8.32%	14.24%	Columpio	90.033m	6.32	632.406m	30 km/h
2	0+267.52m	823.422m	8.32%	-2..89%	11.21%	Cresta	94.568m	8.44	843.956m	30 km/h
3	0+579.71m	814.405m	-2.89%	-7.32%	4.43%	Cresta	72.407m	16.32	1632.795m	30 km/h
4	0+718.74m	804.225m	-7.32%	9.15%	16.47%	Columpio	81.535m	4.98	494.926m	30 km/h
5	0+814.48m	812.986m	9.15%	-10.99%	20.14%	Cresta	98.680m	4.89	489.909m	30 km/h
6	0+907.35m	802.780m	-10.99%	-4.45%	6.54%	Columpio	52.613m	8.04	804.273m	30 km/h
7	1+142.44m	792.321m	-4.45%	-1.68%	2.77%	Columpio	43.344m	15.64	1567.396m	30 km/h
8	1+299.50m	789.676m	-1.68%	5.39%	7.08%	Cresta	57.367.m	8.10	810.436m	30 km/h
9	1+439.07	797.206m	5.39%	-6.22%	11.6%	Columpio	104.34m	9.98	898.448m	30 km/h
10	1+700.84	780.925m	-6.22%	-1.02%	5.20%	Cresta	55.483m	10.67	1067.729m	30 km/h
11	1+842.68m	779.479m	-1.02%	-2.76	1.74%	Cresta	47.966	27.60	2760.494m	30.km/h

Fuente: Sustentantes- Autodesk Civil 3D-2022.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

Se determinó que el tipo de terreno predominante a lo largo del tramo es **Ondulado**, destacando la pendiente -10.99%.

El eje propuesto está compuesto de los siguientes elementos: alineación recta (**21 rectas**), alineación circular (**21 curvas**).

Los resultados obtenidos para el cálculo del **TPDA** corresponden a 391 Vehículos/día. La estimación del ESALs resultó de: 782,122.00 repeticiones equivalentes a ejes de 18Kips.

Los suelos más predominantes según los ensayos de laboratorio son: A-2-4(0), A-2-7(0), A-4(0), en menor cantidad los suelos A-1-a(0), A-1-b(0), éstos corresponden a suelos son de muy buena calidad.

Se propone el banco de préstamo #2, Eduardo blanco para su uso como material base en la estructura de pavimento articulado. El **CBR** de diseño obtenido a través de los sondeos de la línea de la vía resultó de 15.3%.

Los espesores que conformarán la estructura del pavimento articulado serán:

Carpeta de rodamiento: 4.0 "pulgadas \approx 10.16 centímetros.

Base granular: 6.0" pulgadas \approx 15.24 centímetros.

El resultado de alineamiento horizontal en total se trazaron **21 curvas horizontales**, donde se proyectó con una velocidad de diseño de 30km/h y un radio mínimo de 20 metros.

RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar un corte de 0.30 metros de profundidad a lo largo de del proyecto (0+000 – 2+000).
- El material cortado deberá ser desalojado en su totalidad y reemplazado por el material de los bancos analizados en el estudio.
- En el caso que el Contratista gestione el Botadero, previo a su utilización deberá presentar a la Fiscalización, el diseño respectivo aprobado por las autoridades municipales competentes.
- En el caso que se identifique afloramiento de materiales arcillosos se recomienda realizar una subexcavación (20 centímetros por debajo del corte proyectado, y rellenar con material del banco-1 que servirá de protección para la estructura de pavimento articulado.
- 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.
- Utilizar adoquín tipo tráfico de 3,500 PSI, este deberá cumplir con los requerimientos de la NIC 2019 **sección 504.2.1**.
- Los adoquines de concreto deberán cumplir con lo estipulado en la **NTON 12 009 – 10**.
- Se utilizará **Adoquín Tipo 1**: Es el adoquín que se utiliza como superficie de rodamiento en caminos, carreteras, calles y estacionamiento de todo tipo de vehículos, con un espesor de 4 pulgadas.

- El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cascaduras ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa.
- La arena que servirá de colchón (5 centímetros), a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos.

Para la colocación de los adoquines (sección 504.3.5.1, Nic-2019), las primeras filas de adoquines deberán ser colocadas con mucho cuidado para evitar el desalojo de los bloques que ya están colocados. Una vez que se han colocado las primeras filas, se asentarán las demás firmemente dejando ranuras de apertura máxima 3 mm, entre adoquines.

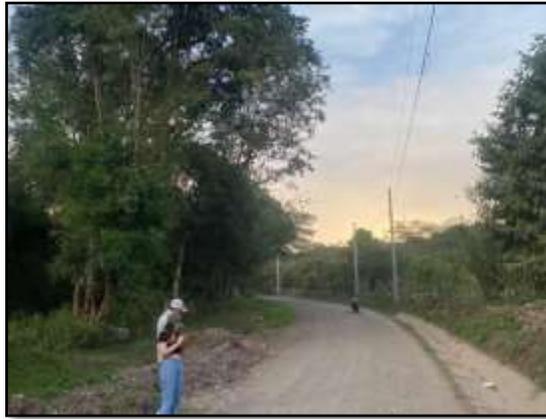
- El banco de préstamo seleccionado para material base deberá cumplir con lo especificado en la sección 1003.21.4 de la NIC 2019.
- La estructura final de pavimento articulado será:
 - Adoquín= 4.00 pulgadas.
 - Cama de Arena= 2.00 pulgadas.
 - Base granular= 6.00 pulgadas.
- El contratista ejecutante deberá gestionar el permiso acreditado por INAFOR si se requiere realizar corte de árboles sobre la vía o extracción de material, según la sección 1101.1 (9), de la NIC 2019.

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.
- Cal y Mayor, R. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*. México D.F.: Novena edición, Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras. (2. a ed.)*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Morales, W. (2015). *Topografía General, Texto Básico*. Managua: UNA, Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria.
- MTI & PAST DANIDA. (2008). *Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos, Ministerio de Transporte e Infraestructura*. Managua: División General de Planificación DGP.
- MTI. (2020). *Anuario de Aforos de Tráfico, Ministerio de Transporte e Infraestructura*. Managua: División de Administración Vial.
- MTI. (2019). *Red Vial de Nicaragua. Ministerio de Transporte e Infraestructura*. Managua: División de Administración Vial.
- NIC. (2019). *Especificaciones Generales para construcción 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 Geométrico de Carreteras, Secretaria de Integración Económica (3.a ed.)*. Guatemala: USAID/SIECA.
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Monterrey - México: Limusa Noriega Editores.

ANEXOS

Fotos: Aforo/Conteo vehicular Est. 0+000.



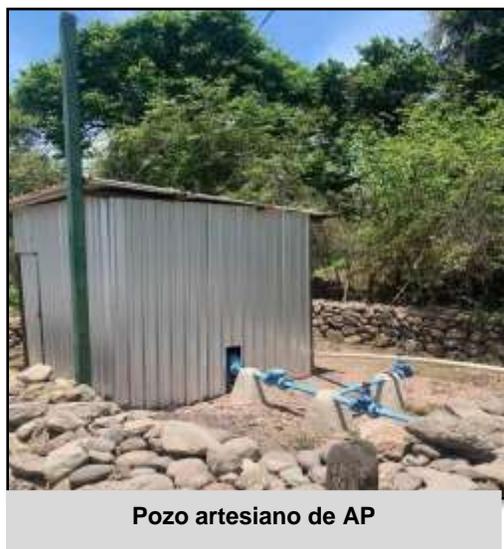
Realizado en las fechas del martes 12 al jueves 14 de septiembre de 2023.

Fuente: Levantado por sustentantes

Fotos: Situación actual del tramo.



Inicio del tramo Est: 0+000



Pozo artesiano de AP



Final del tramo Est: 2+000

Fuente: Levantado por sustentantes.

Imagen 13. Ubicación del aforo vehicular.



Fuente: Google Earth 2023. Link : <https://earth.google.com/web/search/NICARAGUA/@13.1409451,-86.33881517,810.71007341a,572.31491182d,35y,0h,0t,0r/data=CnQaShJECiUweDhmMTBjMjAwY2VmZjlyY2Q6MHhjOGZhYTdINTNmYWMxNWl1GcreUs4XuyIAIRlybD1DTVXAKglOSUNBUKfHVUEYASABiiYKJAIzTmFuLlIzQBFXmFuLlIzwbBntb6IAXO5IQCGGcln0e2BJwA>

Tabla 77 . 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, Minimoto, Cuadracilos, 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 pasajeros 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. También se incluyen las furgonetas 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, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2020, pág. 36 pdf.

Tabla 78. Formato para conteo de tránsito vehicular por 12 horas diurnas

HORA	Departamento:		Estación de conteo:					Aforadores:					Hora:			
	Tramo: Sentido:		Fecha de Conteo:					Mes Mayo /					Año:			
	Veh. Pasajeros							Vehículos de Carga						Equipo Pesado		
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															
07:00	08:00															
08:00	09:00															
09:00	10:00															
10:00	11:00															
11:00	12:00															
12:00	13:00															
13:00	14:00															
14:00	15:00															
15:00	16:00															
16:00	17:00															
17:00	18:00															
TOTAL																

Fuente: Anuario de tráfico 2020.

Tabla 79. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (martes 12/09/2023)

HORA	Departamento: Estelí				Estación de conteo:0+000				Aforador: Dalieska Jeaneth, Mariam Isabel, Jary Neftali							Hora: 06:00 am - 06:00 pm		
	Tramo: Emp. Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalén				Sentido: N-S/S-N				Fecha de Conteo: Martes 12 a Jueves							Mes Septiembre /Año: 2023		
	Veh. Pasajeros								Vehículos de Carga							Equipo Pesado		
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	6	4	3	6	0	2	1	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	28
07:00 08:00	5	7	1	11	2	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	32
08:00 09:00	5	2	2	9	2	2	1	3	3	0	0	0	0	0	2	0	0	31
09:00 10:00	6	2	2	8	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	23
10:00 11:00	5	3	3	2	0	1	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	19
11:00 12:00	6	4	2	7	2	1	0	3	2	0	0	0	0	0	2	0	0	29
12:00 13:00	9	8	3	9	0	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	37
13:00 14:00	8	3	4	8	0	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	29
14:00 15:00	7	3	2	7	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	21
15:00 16:00	9	4	0	9	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	30
16:00 17:00	7	1	1	6	0	1	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	22
17:00 18:00	6	2	3	9	0		0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24
TOTAL	79	43	26	91	8	9	4	19	26	15	0	0	0	0	5	0	0	325

Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Tabla 80. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (miércoles 13/09/2023)

HORA	Departamento: Estelí Estación de conteo:0+000 Aforador: Dalieska Jeaneth, Mariam Isabel, Jary Neftali Hora: 06:00 am - 06:00 pm																	
	Tramo: Emp. Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalén Sentido: N-S/S-N Fecha de Conteo: miércoles 13 a Jueves Mes Septiembre /Año:2023																	
	Veh. Pasajeros								Vehículos de Carga							Equipo Pesado		
Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.		C2 Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	C4	C2-R2	C2-R3	T3-S2	V.A.	V.C.	Otros	
06:00 07:00	9	2	1	10	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26
07:00 08:00	5	5	4	9	2	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	31
08:00 09:00	7	3	3	8	1	0	1	3	2	2	0	0	0	0	1	0	0	31
09:00 10:00	9	2	0	9	0	2	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	26
10:00 11:00	6	1	3	11	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
11:00 12:00	10	2	4	10	0	2	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	34
12:00 13:00	12	4	1	12	0	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	35
13:00 14:00	9	4	3	10	2	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	34
14:00 15:00	8	2	5	6	1	0	0	2	3	1	0	0	0	0	2	0	0	30
15:00 16:00	9	3	0	10	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	30
16:00 17:00	8	4	1	11	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	29
17:00 18:00	6	4	5	8	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	28
TOTAL	98	36	30	114	11	9	4	24	17	12	0	0	0	0	0	0	0	360

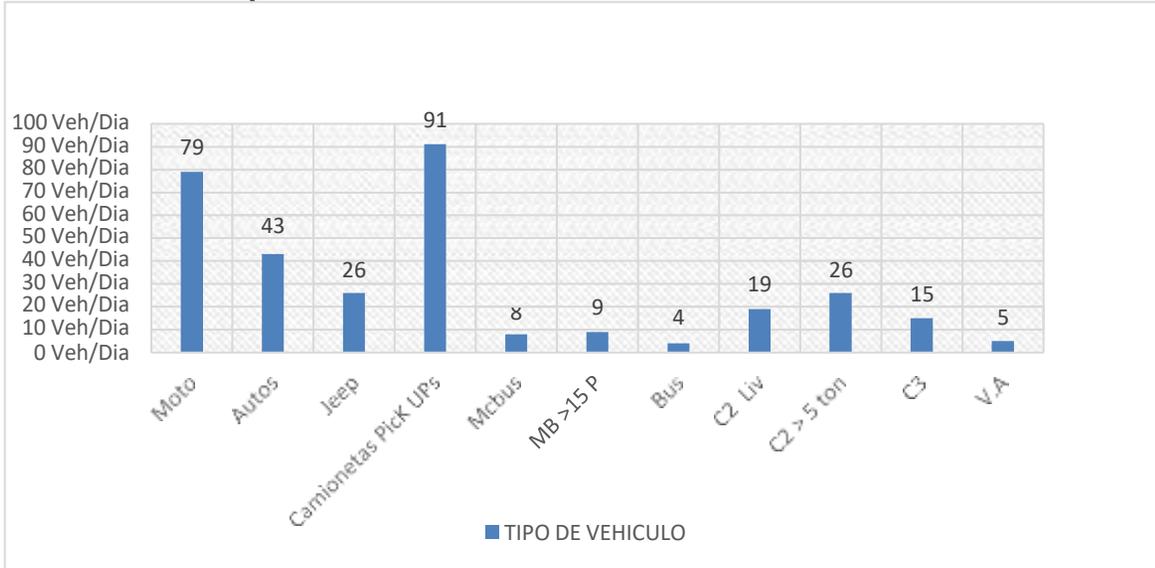
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Tabla 81. Conteo de Tránsito Vehicular Diurno semanal (jueves 14/09/2023)

HORA	Departamento: Estelí Estación de conteo:0+000 Aforador: Dalieska Jeaneth, Mariam Isabel, Jary Neftali Hora: 06:00 am - 06:00 pm																	
	Tramo: Emp. Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalén Sentido: N-S/S-N Fecha de Conteo: jueves 14 Mes Septiembre /Año: 2023																	
	Veh. Pasajeros								Vehículos de Carga							Equipo Pesado		
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	6	2	3	8	1	2	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	28
07:00 08:00	7	2	2	14	1	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	32
08:00 09:00	5	3	3	9	0	1	1	1	2	3	0	0	0	0	1	0	0	28
09:00 10:00	6	2	5	7	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	28
10:00 11:00	9	1	7	9	0	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	31
11:00 12:00	8	6	4	10	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	1	0	0	35
12:00 13:00	10	5	5	12	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	38
13:00 14:00	9	6	4	13	2	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	41
14:00 15:00	7	2	3	11	0	1	0	3	4	2	0	0	0	0	2	0	0	33
15:00 16:00	8	4	2	8	2	2	1	2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	36
16:00 17:00	9	3	3	9	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	29
17:00 18:00	9	4	2	7	0	3	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	30
TOTAL	93	40	43	117	8	13	4	19	35	13	0	0	0	0	0	0	0	389

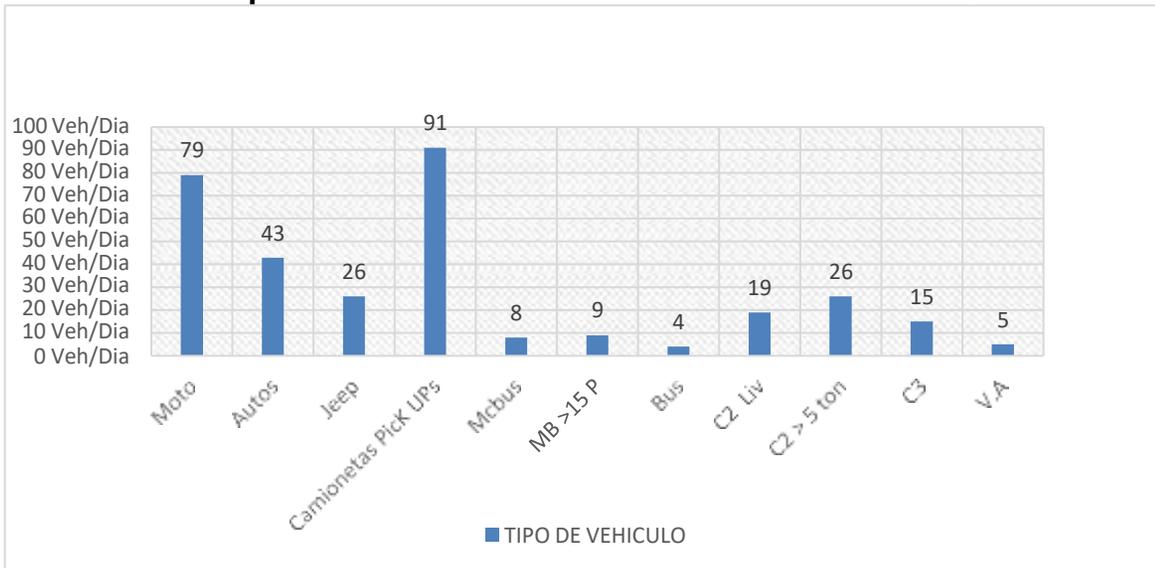
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 10. Composición vehicular martes / ambos sentidos Est: 0+000.



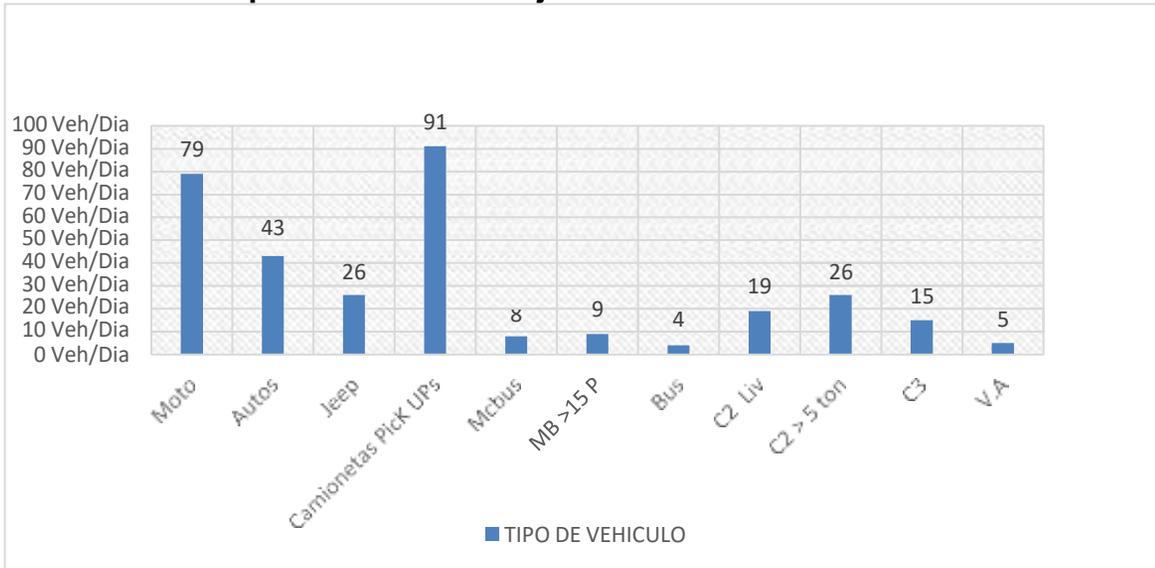
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 11. Composición vehicular miércoles / ambos sentidos Est: 0+000.



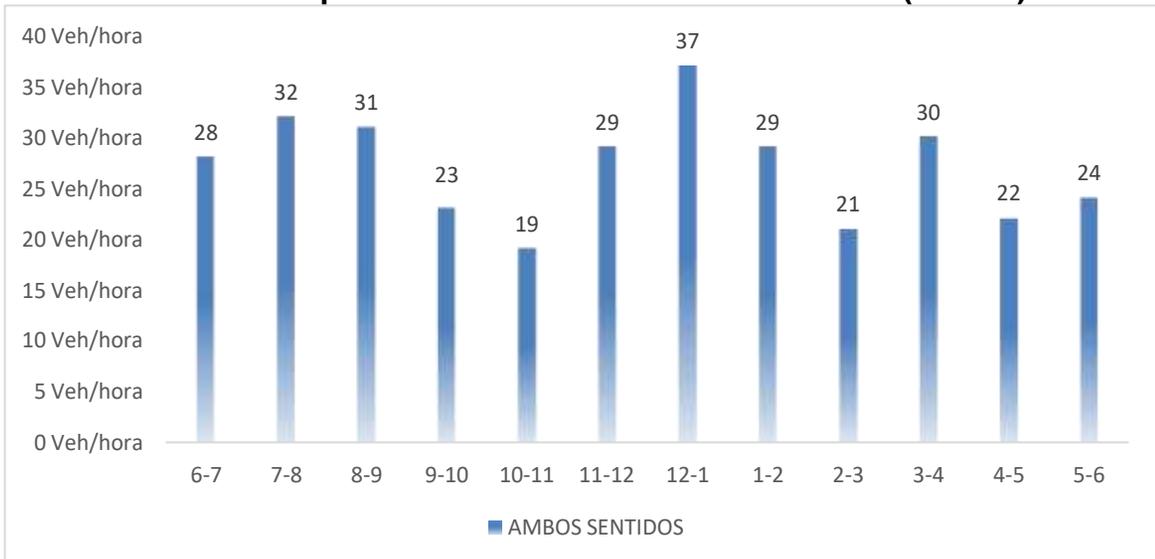
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 12. Composición vehicular jueves / ambos sentidos Est: 0+000.



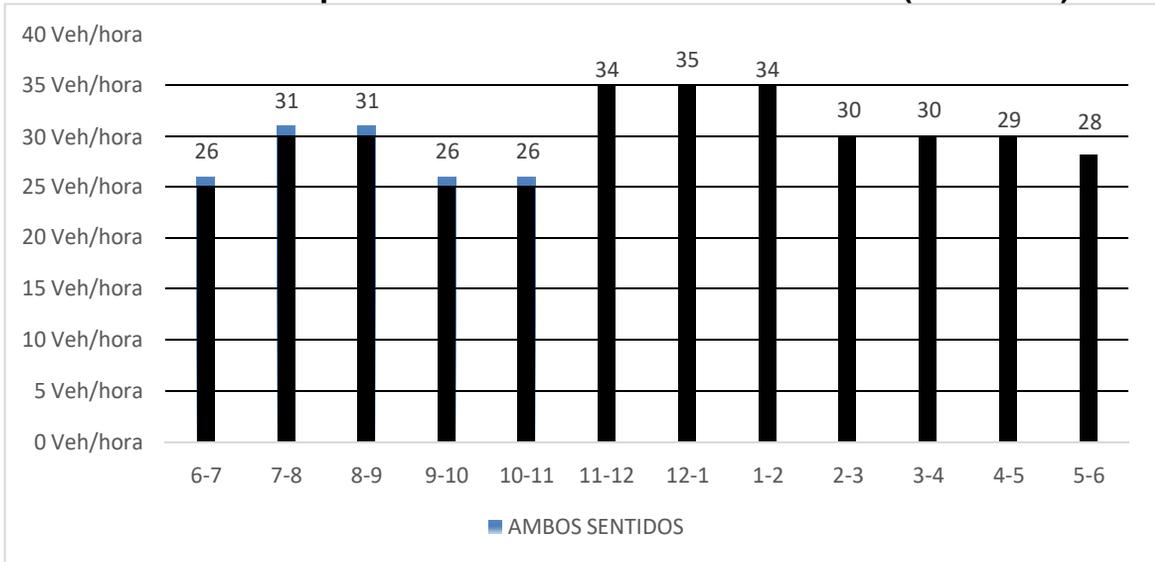
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 13. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (martes)



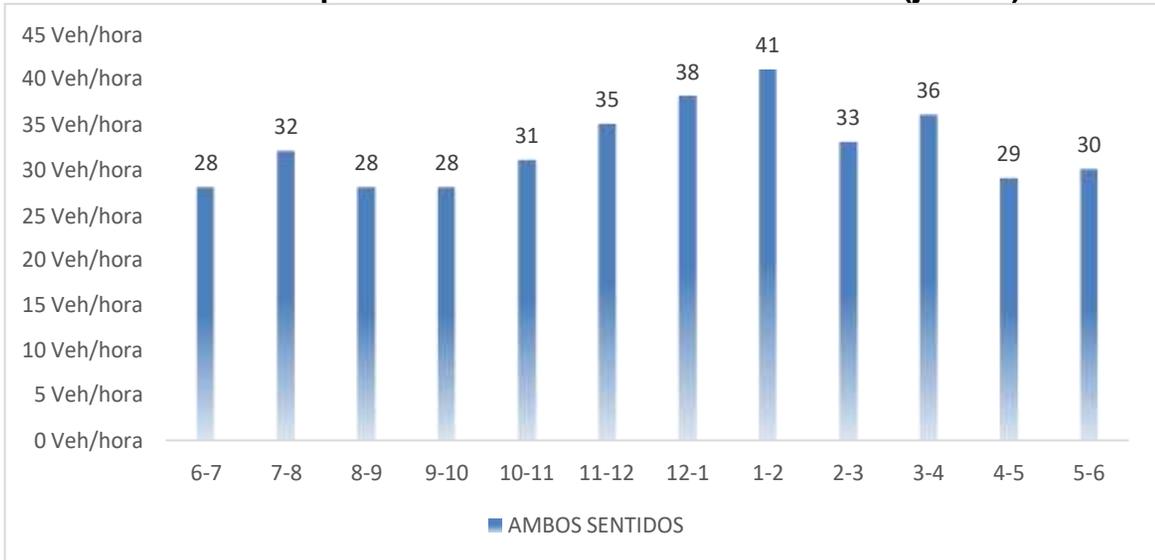
Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 14. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (miércoles)



Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Gráfico 15. Volumen por hora / ambos sentidos Est: 0+000. (jueves)



Fuente: Levantamiento por sustentantes.

Tabla82. Porcentajes del volumen vehicular de la estación seleccionada (ECD-142) y tramo en estudio

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
18	NIC-1	142	ECD	Emp. San Nicolas - Estell

ECD-142 seleccionada

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	
2020	1063	821	195	1368	112	29	203	295	276	83		297			1	2	3	4.748	
2019	1293	976	409	1751	129	7	250	284	346	120		315		8	2		12	5.901	
2017	599	923	469	1777	111	75	209	340	368	91	12	374		8			9	5.365	
2015	630	674	292	1276	124	28	217	395	273	48	7	356	1		2		14	4.337	
2012	573	597	345	1427	70	12	229	391	224	34		273			2		19	4.196	
2010	365	515	296	1282	32	5	203	325	237	36		325			1		11	3.633	
2008	382	536	412	1291	42	15	219	338	242	28	1	371			1		6	3.884	
2005	134	464	339	1092	33	6	252	265	218	37	1	336					5	3.182	
2003	50	297	204	637	15	0	147	156	151	33	1	199					4	1.893	
2001	84	284	271	955	32	9	183	204	186	14		104	0				3	2.329	
2000	85	243	243	861	15	5	177	180	203	46	1	182					11	2.252	
2020	1063	821	195	1368	112	29	203	295	276	83		297			1	2	3	4.748	
	Liv.		3447			Pasaj.		344			Pesado			957					
			73%					7%						20%					

Estacion: Emp. Cerritos - Comunidad Nueva Jerusalem Est: (0+000)																
Días	Vehiculos de Pasajeros							Vehiculos Carga				E.P		TOTAL		
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	T3-S2	V.A				
Martes	79	43	26	91	8	9	4	19	26	15	0	5		325		
Miércoles	98	36	30	114	11	9	4	24	17	12	0	5		360		
Jueves	93	40	43	117	8	13	4	19	35	13	0	4		389		
Total	270	119	99	322	27	31	12	62	78	40	0	14		1074		
TPDi(Vehiculos/12 hrs)	90.0	40.0	33.0	107.0	9.0	10.0	4.0	21.0	26.0	13.0	0.0	5.0		358.00		
Porcentajes %	25.14%	11.17%	9.22%	29.89%	2.51%	2.79%	1.12%	5.87%	7.26%	3.63%	0.00%	1.40%		100.00%		
	75.42%							6.42%				18.16%				

Fuente: sustentantes / Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2020. Pág. 103.

Nota: Los porcentajes de volumen vehicular del tramo en estudio son similares al perfil de flujo vehicular de la estación seleccionada (ECD-142)

Tabla83 . Listado histórico del TPDA estación ECD-142(Emp. San Nicolás-Estelí).



Año	Motos	Autos	Jeep	Cmla.	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	
2020	1063	821	195	1368	112	29	203	295	276	83		297			1	2	3	4.748	
2019	1293	976	409	1751	129	7	250	284	346	120		315		8	2		12	5.901	
2017	599	923	469	1777	111	75	209	340	368	91	12	374		8			9	5.365	
2015	630	674	292	1276	124	28	217	395	273	48	7	356	1		2		14	4.337	
2012	573	597	345	1427	70	12	229	391	224	34		273			2		19	4.196	
2010	365	515	296	1282	32	5	203	325	237	36		325			1		11	3.633	
2008	382	536	412	1291	42	15	219	338	242	28	1	371			1		6	3.884	
2005	134	464	339	1092	33	6	252	265	218	37	1	336					5	3.182	
2003	50	297	204	637	15	0	147	156	151	33	1	199					4	1.893	
2001	84	284	271	955	32	9	183	204	186	14		104	0				3	2.329	
2000	85	243	243	861	15	5	177	180	203	46	1	182					11	2.252	
2020	1063	821	195	1368	112	29	203	295	276	83		297			1	2	3	4.748	
Liv.		3447			Pasaj.			344			Pesado			957					
		73%						7%						20%					

DEPENDENCIA

EMC- 1205 EMP. Chichigalpa
Rotonda Chinandega

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1	NIC-1	101B	EMC	Zona Franca - La Garita
2	NIC-1	107	EMC	Sébaco - Emp. San Isidro
3	NIC-2	200	EMC	Entrada al INCAE - El Crucero
4	NIC-3	300	EMC	Sébaco - Quebrada Honda
5	NIC-4	401	EMC	Masaya - Granada
6	NIC-7	700	EMC	Emp. San Francisco - Tecolostote
7	NIC-12A	1205	EMC	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega
8	NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe
9	NIC-24A	2404	EMC	Chinandega - Corinto
10	NIC-24B	2400	EMC	Chinandega (Rotonda) - Ranchería
11	NIC-28	2803	EMC	Nagarote - La Paz Centro



Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2020 Pág. 101 pdf.

Tabla 84. Factores de ajustes para ECD-142 bajo la dependencia de la EMC-1205.



**ESTACION DE MAYOR COBERTURA 1205
EMPALME CHICHIGALPA - ROTONDA CHINANDEGA
FACTORES - 2020**

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	1,34	1,31	1,30	1,29	1,21	1,17	1,26	1,32	1,44	1,37	1,00	1,66	1,00	1,00	1,10	1,00	1,16
Factor Semana	0,95	0,93	0,92	0,90	0,90	0,89	0,94	0,89	0,87	0,91	1,00	0,90	1,00	1,00	0,95	1,00	0,92
Factor Fin de Semana	1,14	1,23	1,30	1,38	1,39	1,48	1,21	1,45	1,56	1,34	1,00	1,37	1,00	1,00	1,16	1,00	1,30
Factor Expansión a TPDA	1,02	1,12	1,09	1,09	0,93	1,10	0,98	1,02	0,96	1,02	1,00	0,84	1,00	1,00	2,02	0,67	1,00

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	1,25	1,28	1,25	1,26	1,22	1,33	1,29	1,23	1,33	1,32	1,00	1,56	1,00	1,00	1,25	1,00	1,29
Factor Semana	1,00	0,99	0,97	0,94	0,94	0,90	1,04	0,87	0,94	0,89	1,00	0,92	1,00	1,00	1,02	1,00	1,01
Factor Fin de Semana	1,01	1,01	1,07	1,20	1,21	1,36	0,91	1,63	1,21	1,44	1,00	1,27	1,00	1,00	0,96	1,00	0,97
Factor Expansión a TPDA	1,00	0,98	0,98	1,00	1,15	0,90	0,98	1,03	0,95	1,71	1,00	1,11	1,00	1,00	0,61	2,33	0,84

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	→ 1,26	1,27	1,25	1,26	1,21	1,17	1,26	1,24	1,28	1,16	1,00	1,52	1,00	1,00	1,06	1,00	1,11
Factor Semana	→ 0,92	0,96	0,94	0,90	0,91	0,89	0,93	0,87	0,85	0,81	1,00	0,86	1,00	1,00	0,76	1,00	0,87
Factor Fin de Semana	→ 1,26	1,11	1,19	1,36	1,33	1,43	1,23	1,61	1,77	2,37	1,00	1,67	1,00	1,00	4,57	1,00	1,60
Factor Expansión a TPDA	→ 0,98	0,92	0,94	0,92	0,95	1,02	1,04	0,96	1,11	0,70	1,00	1,09	1,00	1,00	1,15	0,93	1,23

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020, Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) Pág. 373.

Nota: se utilizaron los factores de ajustes del segundo cuatrimestre del año, Factor Día (FD), Factor Semana (FS) y Factor Expansión (FE),

Tabla85. Indicadores macroeconómicos de PIB, POB (años 2010-2012).



SERIES HISTÓRICAS DE ESTADÍSTICAS MACROECONÓMICAS



Principales Indicadores
Macroeconómicos - Main
Macroeconomic Indicators

Conceptos-Concept	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PIB (a precios constantes)- Real GDP	130,416.3	138,654.2	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,131.6
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	187,052.6	219,182.2	247,993.9	271,529.8	308,403.1	347,707.3
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	8,758.60	9,774.32	10,532.54	10,982.99	11,880.4	12,756.7
Población (miles de habitantes) ^{10/} - Population (thousands) ^{10/}	5,815.52	5,996.62	6,071.05	6,134.27	6,198.2	6,262.7
Base monetaria - Monetary base	14,549.8	18,278.0	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4
Depósitos totales ^{11/} - Total deposits ^{11/}	70,400.3	82,043.5	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1
Cartera de crédito bruta ^{12/} - Gross credit portfolio ^{12/}	45,289.1	53,852.4	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(4,121.9)	(3,457.3)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.1)	(9,905.2)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	(1,101.6)	354.2	(626.5)	(3,057.1)	(4,449.6)	(5,450.2)
Conceptos-Concept	2016	2017	2018	2019	2020	
PIB (a precios constantes)- Real GDP	177,894.9	186,133.6	179,873.3	174,662.6	171,577.6	
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	380,260.8	414,279.1	410,987.6	420,613.8	435,395.3	
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	13,286.0	13,786.0	13,025.2	12,699.0	12,678.2	
Población (miles de habitantes) ^{10/} - Population (thousands) ^{10/}	6,327.9	6,393.8	6,460.4	6,527.7	6,595.7	
Base monetaria - Monetary base	29,138.0	33,113.6	30,132.7	34,477.7	43,668.3	
Depósitos totales ^{11/} - Total deposits ^{11/}	145,144.1	160,719.0	127,434.1	128,855.3	149,636.2	
Cartera de crédito bruta ^{12/} - Gross credit portfolio ^{12/}	146,721.6	167,150.3	152,240.2	132,386.0	127,644.8	
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(11,823.4)	(12,810.3)	(18,892.6)	(9,181.9)	(13,259.6)	
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	(7,500.3)	(8,488.4)	(16,110.1)	(6,567.2)	(10,960.3)	

Fuente: Fuente: <https://www.bcn.gov.ni/cuadros-de-anuario-de-estadisticas-macroeconomicas-2022>.

Nota: El Banco Central de Nicaragua divulga, una vez al año, información histórica actualizada de los principales indicadores económicos para los diferentes sectores de la economía nacional.

Tabla86. consumo de combustible en Nicaragua años (2010-2020).

36 Capítulo I: Sector real		Banco Central de Nicaragua - "Anuario de estadísticas macroeconómicas 2022"											
Cuadro - Table I-26													
Consumo de hidrocarburos^{1/} - Oil deriva <i>(miles de barriles - thousands barrels)</i>													
Conceptos - Concepts	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 ^{p/}
Gas licuado - Liquefied petroleum gas	707.5	757.1	875.4	792.6	940.2	1,056.9	1,094.4	1,233.9	1,349.4	1,438.9	1,430.0	1,429.7	1,534.2
Gasolina - Gasoline	1,705.9	1,820.4	1,860.8	1,914.0	2,055.1	2,132.3	2,273.5	2,581.6	2,846.0	2,968.9	2,781.0	2,929.4	2,900.6
Kero/turbo - Kero/turbo	216.0	193.1	180.0	187.4	208.6	201.9	214.9	244.9	243.5	272.3	204.0	185.5	100.7
Diesel - Diesel	3,152.9	3,097.6	3,282.3	3,474.0	3,560.7	3,655.9	3,853.6	4,232.1	4,441.5	4,627.5	4,279.3	4,337.7	4,309.5
Fuel oil - Fuel oil	3,437.3	3,830.6	3,297.0	3,894.5	3,442.7	3,037.7	3,078.6	3,501.2	3,411.6	2,954.0	2,891.6	3,036.0	1,981.9
Asfalto - Asphalt	111.4	70.2	82.4	114.0	104.9	69.5	64.4	115.5	131.3	95.4	113.3	141.1	81.2
1/ : Incluye el consumo de operación de la Refinería - It includes refineries operation consumption. p/ : Preliminar - Preliminary. Fuente - Source : MEM y BCN - Ministry of Energy and Mines (MEM) and Central Bank of Nicaragua (BCN).													

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas BCN-2022 Pág. 36 pdf.

Nota: Los registros utilizados fueron los de consumo de Gasolina y Diesel los años (2008 -2020)

Tabla87. Crecimiento económico de Nicaragua año-2020

Principales indicadores macroeconómicos - Main macroeconomic indicators																	
Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Actividad económica^{1/} y empleo^{2/} - Economic activity/^{1/} and employment/^{2/}																	
PIB a precios constantes (tasas de crecimiento) - Real GDP growth (%)	4.2	5.1	3.4	(3.3)	4.4	6.3	6.5	4.9	4.8	4.8	4.6	4.6	(3.4)	(2.9)	(1.8)	10.3	3.8
PIB per-cápita (en US\$) - GDP per cápita (US\$)	1,224.7	1,326.7	1,498.9	1,445.2	1,506.1	1,630.0	1,734.9	1,790.4	1,916.8	2,036.9	2,099.6	2,156.1	2,016.2	1,945.4	1,922.2	2,122.6	2,327.3
PIB per-cápita (tasas de crecimiento) - GDP per cápita growth (%)	8.3	8.3	13.0	(3.6)	4.2	8.2	6.4	3.2	7.1	6.3	3.1	2.7	(6.5)	(3.5)	(1.2)	10.4	9.6
Tasa de desempleo abierto - Unemployment rate (%)				7.7	7.9	5.9	5.9	5.7	6.6	5.9	4.5	3.7	5.4	5.6	5.0	4.5	3.5
Porcentaje de ocupados con subempleo - Underemployment as a percent of employed persons (%)				42.0	50.5	51.8	51.0	50.1	48.9	50.2	44.4	42.9	45.6	47.5	45.9	44.5	38.9
Precios y tipo de cambio - Prices and exchange rate																	
Inflación anual acumulada nacional (IPC año base=2006) - National annual inflation (CPI 2006=100)	9.4	16.9	13.8	0.9	9.2	8.0	6.6	5.7	6.5	3.1	3.1	5.7	3.9	6.1	2.9	7.2	11.6
Inflación anual acumulada (Managua) ^{3/} - Managua annual inflation ^{3/}	10.2	16.2	12.7	1.8	9.1	8.6	7.1	5.4	6.5	2.8	3.1	5.8	3.3	6.5	2.6	7.3	11.3
Devaluación anual (%) ^{4/5} - Annual devaluation (%) ^{4/5}	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	2.9	2.0	2.0
Tipo de cambio oficial promedio (C\$ x US\$) - Average exchange rate (C\$ x US\$)	17.6	18.4	19.4	20.3	21.4	22.4	23.5	24.7	26.0	27.3	28.6	30.1	31.6	33.1	34.3	35.2	35.9
Tipo de cambio oficial a fin de período (C\$ x US\$) - Exchange rate, end of period (C\$ x US\$)	18.0	18.9	19.8	20.8	21.9	23.0	24.1	25.3	26.6	27.9	29.3	30.8	32.3	33.8	34.8	35.5	36.2
Sector monetario (tasas de crecimiento) - Monetary sector (percentage growth)																	
Base monetaria - Monetary base	28.1	21.3	5.3	19.8	17.1	25.6	4.9	6.7	14.8	26.2	(1.8)	13.6	(9.0)	14.4	26.7	18.1	11.8
RIB / base monetaria (número de veces) - Gross international reserves/monetary base (number of times)	2.0	2.1	2.2	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.3	2.5	2.6	2.4	2.4	2.6	2.8	2.8
Depósitos totales - Total deposits	10.1	17.2	7.3	15.2	24.4	17.6	5.5	13.9	19.0	13.9	8.6	10.7	(20.7)	1.1	16.1	12.0	12.9
Cartera de crédito bruta - Bank 's gross portfolio	30.8	31.6	12.3	(6.3)	2.4	18.9	29.0	21.3	19.5	23.0	18.5	13.9	(8.9)	(13.0)	(3.6)	4.7	15.3
Saldo de reservas internacionales netas (millones US\$) - Net international reserve balance (million of US\$)	859.0	1,018.6	1,029.8	1,422.8	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	2,208.5	3,073.5	3,954.6	4,356.4
Saldo de reservas internacionales brutas (millones US\$) - Gross international reserve balance (million of US\$)	924.2	1,103.3	1,140.8	1,573.1	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	2,397.4	3,211.9	4,046.6	4,404.4

Fuente: Informe Anual BCN-2020 Pág. 11 pdf.

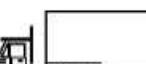
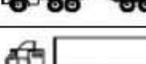
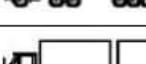
Nota: promedio de los últimos 10 años corresponde a 3.39%.

Tabla 82. Diagrama de cargas permisibles (livianos y pasajeros).

TIPO DE VEHÍCULO	PESO POR EJE (TON)	PESO POR EJE (LBS)
AUTOMÓVIL	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 83. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículos (pesados).

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 11		4.50	9.00					13.50
C3 12		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		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 Cx-Rx>5		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 Cx-Rx>5		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 84. Factores equivalentes de cargas, ejes simples Pt= 2.0 y SN=5.

Carga/eje		SN					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	35.6	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.079
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
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: Extraído de Manual AASHTO-93 Design Requirements. pág. 172 pdf.

Nota: El valor de 22 kips no se interpola, ya que, existe en la tabla factores equivalente de carga para pavimento articulado.

Valores interpolados en Kips, asumiendo un SN =5 y serviciabilidad final Pt=2.0.

2.2 kips	4.4 kips	8.8 kips	11 kips	17.60 kips
----------	----------	----------	---------	------------

Tabla92. Factores equivalentes de cargas, ejes tándem, Pt= 2.0 y SN=5.

Carga/eje		SN					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	80.0	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89.0	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
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
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Extraído de Manual AASHTO-93 Design Requirements. pág. 172 pdf

Valores interpolados en Kips, asumiendo un SN =5 y una serviciabilidad final Pt=2.0.

36.30 Kips

Tabla 85. Resultados de Interpolación de los pesos por eje (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 86. Resultados de Interpolación de los pesos por eje (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 87. Resultados de Interpolación lineal (17.60, y 36.30).

EJE SIMPLE= 17.60 kips		EJE DOBLE= 36.30 kips	
(kips)	SN=5	(kips)	SN=5
16.0	0.603	36.0	1.38
17.60	X	36.30	X
18.0	1.00	38.0	1.73
X = 0.9206		X = 1.43	

Fuente: Elaborado por sustentantes.

Tabla 88: Clasificación SUCS.

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO		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 @	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPAS Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$				
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos						
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	d	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	u	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla				
			ARENA LIMPAS Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	de símbolos dobles.		
				SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.					
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM	d	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	u	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.						
	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.		C = Grava, S = Arena, O = Suelo Orgánico, P = Turba, M = Limo C = Arcilla, W = Bien Graduado, P = Mal Graduado, L = Baja Compresibilidad, H = Alta Compresibilidad				
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.					
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.						
			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.							
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.		CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 					
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.						
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.							
			P	Turba y otros suelos altamente orgánicos.						

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO-93.

Tabla 89: Clasificación de suelos AASHTO M-145.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-6
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 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 N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6 máx.	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 entre 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 \geq 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 90. Requerimientos de granulometría de subbase-base.

Abertura de malla	Porcentaje por peso pasando la malla cuadrada				
	AASHTO T27 y AASHTO T11				
	Requerimientos de Granulometría				
	A (Subbase)	B (Subbase)	C(Base)	D(Base)	E(Base)
63 mm	100				
50 mm	97-100	100	100		
37.5 mm		97-100	97-100	100	
25 mm	65-79 (6)			97-100	100
19 mm			67-81(6)		97-100
12.5 mm	45-59(7)	60-80(7)			
9.5 mm				56-70(7)	67-79(6)
4.75 mm	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(6)	47-59(7)
4.25 Lim	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)
75 Lim	4-8(3)	0-12(4)	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003-6. Pag 811.

Nota: Las granulometrías a emplear para subbase y base serán respectivamente las columnas B y E.

Tabla 91. Resultado de CBR Banco #1, Hugo Altamirano.

IDISA						
PROYECTO: <u>Diseño de Pavimento articulado - Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem</u>				FECHA: <u>2/5/2022</u>		
UBICACIÓN: <u>Municipio de Esteli, Departamento de Esteli</u>				PROCEDENCIA: <u>Banco #1</u>		
RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R.						
MUESTRA	1					
UBICACIÓN	Banco #1, De la Est: 0+000, 1.40 kilometro al suroeste					
DUEÑO	Hugo Altamirano Moncada					
CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(0)					
SONDEO	Stock					
Anillo	Molde 1		Molde 2		Molde3	
	Dial	Carga	Dial	Carga	Dial	Carga
0.025"	30	93	35	108	40	124
0.05"	70	217	95	294	130	402
0.075"	110	340	160	495	210	649
0.1"	180	557	220	681	290	897
0.15"	220	681	260	805	350	1082
0.2"	300	929	390	1207	490	1515
0.3"	390	1207	440	1362	560	1732
0.4"	450	1393	520	1610	660	2041
C.B.R		51		69		86

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A)

Tabla 92. Resultado de CBR Banco #2, Eduardo Blanco.

IDISA						
PROYECTO: <u>Diseño de Pavimento articulado - Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem</u>				FECHA: <u>2/5/2022</u>		
UBICACIÓN: <u>Municipio de Esteli, Departamento de Esteli</u>				PROCEDENCIA: <u>Banco #1</u>		
RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R.						
MUESTRA	1					
UBICACIÓN	Banco #2, De la Est: 0+000, 5 kilometro al noreste					
DUEÑO	Eduardo Blanco					
CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(0)					
SONDEO	Stock					
Anillo	Molde 1		Molde 2		Molde3	
	Dial	Carga	Dial	Carga	Dial	Carga
0.025"	28	570.052	39	794.001	45	916.155
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"	120	2742	161	3278	205	4174
0.3"	142	2891	190	3868	243	4947
0.4"	164	3339	217	4418	279	5680
C.B.R		61		83		93

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A)

Tabla 93. Ensayos de granulometría Banco #1, Banco #2, Hugo Altamirano Moncada, Eduardo Blanco.

<h1 style="margin: 0;">IDISA</h1>											
PROYECTO: <u>Diseño de Pavimento articulado - Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem</u>				FECHA: <u>2/5/2022</u>							
UBICACIÓN: <u>Municipio de Esteli, Departamento de Esteli</u>				PROCEDENCIA: <u>Banco #1- Banco #2</u>							
Ensayo de Granulometria - limite liquido y limite plastico											
Banco No. 1		ANALISI GRANUOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM D- 422 AASHTO T-88			Banco No. 2		ANALISI GRANUOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ASTM D- 422 AASHTO T-88				
Banco: HUGO ALTAMIRANO					Banco: EDUARDO BLANCO						
% QUE PASA EL TAMIZ ASTM D-422 AASHTO T-88	Tamices	mm	Banco: N°2		% QUE PASA EL TAMIZ ASTM D-422 AASHTO T-88	Tamices	mm	Banco: N°2			
	3"	75	100			3"	75	100			
	2 1/2"	63	100			2 1/2"	63	100			
	2"	50	100			2"	50	95			
	1 1/2"	37.5	96			1 1/2"	37.5	88			
	1"	25	95			1"	25	79			
	3/4"	19	92			3/4"	19	72			
	1/2"	12.5	83			1/2"	12.5	68			
	3/8"	9.5	76			3/8"	9.5	56			
	No. 4	4.75	57			No. 4	4.75	48			
	No. 10	2	45			No. 10	2	14			
	No. 40	0.425	22			No. 40	0.425	7			
	No. 200	0.075	11			No. 200	0.075	4			
	Clasificacion AASHTO		A-1-a (0)			Grupo		Clasificacion AASHTO		A-1-a (0) Grupo	
CBR al 95%		69%		A-1		CBR al 95 %		83% A-1			
LIMITE LIQUIDO AASHTO T-89, METODO A			LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO AASHTO T-89, METODO A			LIMITE PLASTICO		
No. Golpes de cierre:				No. Golpes de cierre:							
Factor		P-54	R-12	T-5	Factor		p-49	p-45	p-50		
No. Tara:		11.23	2	11.1	No. Tara:		7.37	11.13	11.34		
Peso de Tara (gr):		32.01	29	29.2	Peso de Tara (gr):		30.04	25.4	25.2		
P de Tara + Mat. Húmedo (gr)		27	25.8	25.4	P de Tara + Mat. Húmedo (gr)		23.4	22.5	22.4		
P de Tara + Mat. Seco (gr)		20.78	27	18.1	P de Tara + Mat. Seco (gr)		22.67	14.27	13.86		
Peso del Material Humedo (gr)		15.77	23.8	14.3	Peso del Material Humedo (gr)		16.03	11.37	11.06		
Peso del Material Seco (gr):		5.01	3.2	3.8	Peso del Material Seco (gr):		6.64	2.9	2.8		
Peso del Agua (gr):		28.00	13.4	26.57	Peso del Agua (gr):		41.42233313	25.5057168	25.3164557		
% Límite Líquido:		23	LIMITE PLASTICO 18.0		% Límite Líquido:		NP	LIMITE PLASTICO NP			

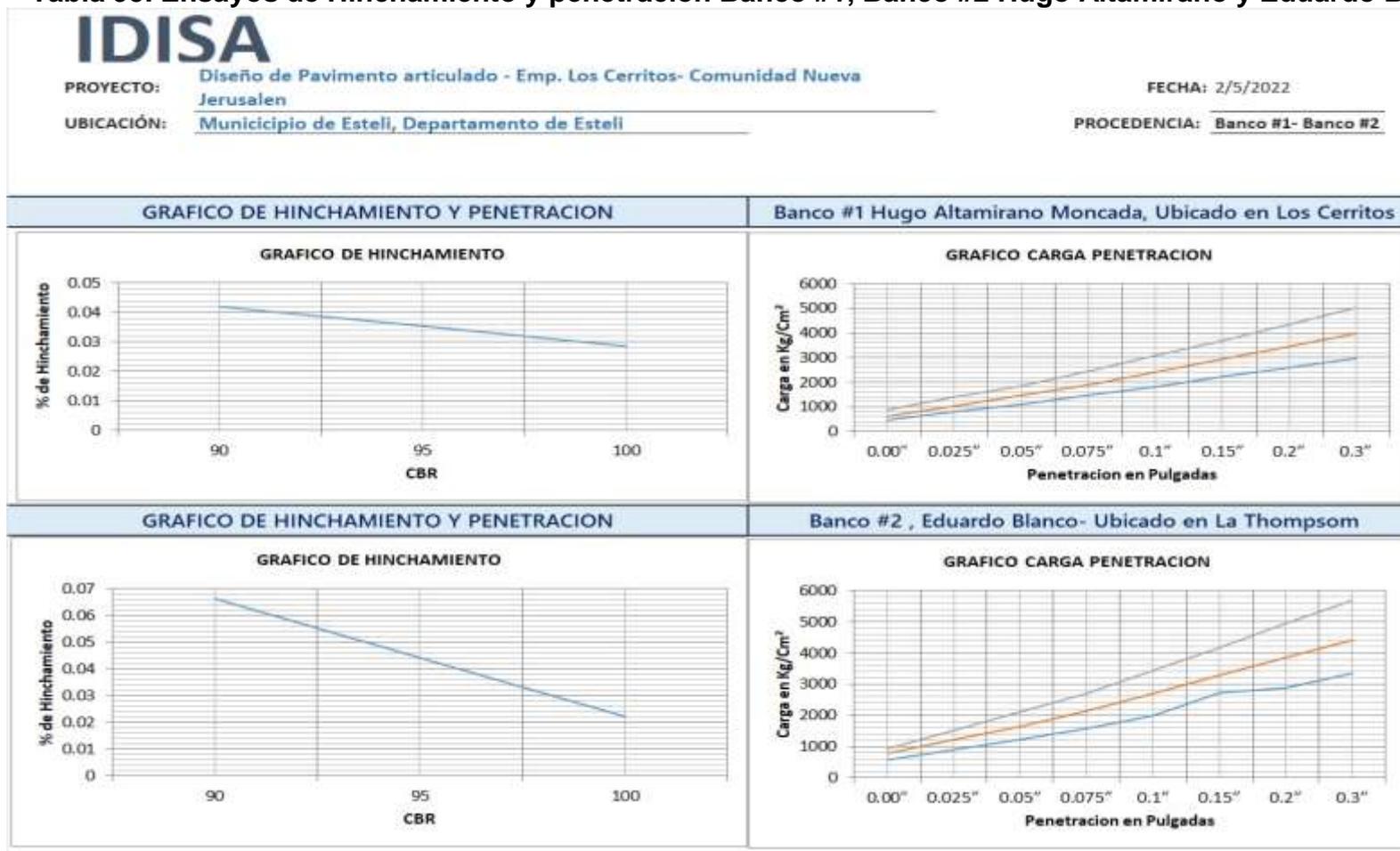
Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A)

Tabla 94. Ensayos desgaste de los ángeles Banco #1, Hugo Altamirano Moncada.

		PROYECTO: <u>Diseño de Pavimento articulado - Emp. Los Cerritos- Comunidad Nueva Jerusalem</u>	FECHA: <u>2/2/2022</u>
		UBICACIÓN: <u>Municipio de Estelí, Departamento de Estelí</u>	PROCEDENCIA: <u>Banco #1, 2</u>
ENSAYO DESGASTE DE LOS ANGELES. BANCO #1			
ENSAYES ADICNALES (A.S.T.M.).			
DETERMICACION No.			1
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO			5000
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.12			1300
DIFERENCIA			3700
% APROXIMADO DE DESGASTE			20
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.12			3650
% DEFINITIVO DE DESGASTE			22
RESULTADO DE INTEMPERISMO			7,4
ENSAYO DESGASTE DE LOS ANGELES. BANCO #2			
DETERMICACION No.			1
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO			5,000
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.12			1485
DIFERENCIA			3,515
% APROXIMADO DE DESGASTE			30
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.12			3500
% DEFINITIVO DE DESGASTE			28
RESULTADO DE INTEMPERISMO			8

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

Tabla 95. Ensayos de Hinchamiento y penetración Banco #1, Banco #2 Hugo Altamirano y Eduardo Blanco.



Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí - Laboratorio IDISA (Ingeniería Desarrollo e Inversiones S. A).

Imagen- 14. Estimación del SN₃ requerido

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=-0.841 So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 11927.1 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (C_d)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 762159**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.53

Calcular Salir

Fuente: Software Ecuación AASHTO-93, (Luis Ricardo. Vásquez Varela año 2000).

Imagen- 15. Estimación del SN₂.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=-0.841 So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 18000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (C_d)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 762159**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.17

Calcular Salir

Fuente: Software Ecuación AASHTO-93, (Luis Ricardo. Vásquez Varela año 2000).

Imagen- 16: Adoquín tipo tráfico.

Adoquín tipo Tráfico





Adoquines tipo cruz

- Resistencia 28 días: 3500 PSI

Ventajas

- Fácil manejo en el transporte y la colocación, ya que no requieren de mano de obra especializada
- Fabricados a base de concreto de alta resistencia.
- Resistentes a la absorción, intemperie y humedad, generando un pavimento casi indestructible.
- Superficie es autoderrapante, todo ello con una apariencia agradable y a un costo más accesible.
- Su capacidad de transmitir carga permite pesos y tráfico que sobre sub-bases que requieran espesores mayores de concreto o en su defecto refuerzo de acero.

Dimensiones

Largo: 24 CM	Ancho: 22 CM	Espesor: 10 CM
--------------	--------------	----------------

Fuente: CEMEX Managua- Nicaragua (Elementos de concreto 2023).