

Facultad de Tecnología de la Construcción

“PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 2.5 KM DEL TRAMO COFRADÍA - EL PORTILLO, EN EL MUNICIPIO DE NINDIRÍ, DEPARTAMENTO DE MASAYA.”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Douglas Francisco
Collado Ramos
Carnet: 2017-0186U

Br. Ricardo Adán
Sáenz Vega
Carnet: 2016-1191U

Br. Yasser Rene
Robleto Sequeira
Carnet: 2017-0617U

Tutor:

Ing. Keving Sánchez
Rocha

AGRADECIMIENTO

Damos gracias a Dios por darnos salud e inteligencia para salir adelante día a día, por fortalecer nuestros corazones y por poner a cada persona que ha servido como ayuda y compañía durante todo el período de estudio.

Agradecemos a nuestras familias hoy y siempre por el esfuerzo realizado por parte de ellos. El apoyo incondicional en nuestros estudios.

A nuestros Padres ya que nos brindaron el apoyo, la alegría y nos dieron fortaleza para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a cada docente que nos han impartido clases en la universidad, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por aconsejarnos siempre. Agradecemos a nuestro tutor de tesis Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha por guiarnos en el desarrollo de nuestro trabajo.

*Br. Douglas Francisco Collado Ramos
Br. Ricardo Adán Sáenz Vega
Br. Yasser René Robleto Sequeira*

DEDICATORIA

A Dios creador de todo, por haberme dado salud y las fuerzas necesarias para salir adelante, superando todos los obstáculos que se presentaron en este largo camino.

A mis Padres por ser siempre un pilar importante en mi vida, forjándome con buenos valores para salir adelante. Su gran apoyo que nunca faltó, dándome ánimos de superación en todo momento.

A mi padre (Douglas Francisco Collado Morales), por apoyarme desde el inicio de este largo camino, dándome sus consejos, experiencias y conocimientos para salir adelante y ser una persona de bien.

A mi madre (Margine Del Socorro Ramos Soza), por apoyarme siempre en todo lo que necesitara, haciendo siempre un gran sacrificio para que nada me faltara y que mis sueños se cumplieran.

A mi hija (Margine Valentina Collado Barrante), por ser la alegría de todos mis días.

A mis compañeros de estudios porque con ellos compartí muchos momentos importantes en este duro camino, que con su ayuda he aprendido cosas muy importantes como estudiante y como persona.

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por haber estado en mi vida en todo momento y por haberme brindado la dicha de tener buena salud, bienestar físico y espiritual para lograr todos mis objetivos propuestos.

A mi madre Juana Ivania Vega por sus grandes esfuerzos, por ser pilar fundamental en mi formación profesional y personal, por los ejemplos de perseverancia y constancia que la caracterizan que me ha infundido siempre para formar un buen carácter, disciplina y valor para saltar adelante ante cualquier adversidad.

A toda mi familia por darme los ánimos y demostrar que siempre estarán ahí para apoyarme en especial a mi hermana Ana Lucia Sáenz vega y María Zenelia Vega por ser piezas fundamentales en mi vida.

A nuestro tutor Ing. Keving Sánchez, por brindarnos su sabiduría. Por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional y por haber guiado el desarrollo de nuestro trabajo monográfico.

DEDICATORIA

A Dios, el Padre Celestial, por habernos concedido salud, inteligencia y sabiduría para alcanzar cada uno de los objetivos planteados en este proceso académico y en nuestro crecimiento personal.

A nuestra Madre, la Santísima Virgen María, por ser nuestra intercesora ante su Hijo amado, de cada una de las peticiones que le realizamos a diario.

A mi madre Reyna Isabel Sequeira Rojas, una mujer incondicional, siendo el pilar de mi formación y mi desarrollo personal y académico, brindando un ejemplo con sus valores, ética y transparencia, impulsándome a ser una persona de éxito en la vida.

A mi padre René José Robleto Gómez, una persona de valores, ética y transparencia, un ejemplo a seguir, formando parte de mi crecimiento intelectual y carácter, impulsando mis cualidades como persona y un futuro profesional.

A todos mis familiares, que han formado parte de mi crecimiento y desarrollo, viéndome crecer y corrigiendo mis acciones, permitiéndome continuar con mis metas personales y académicas.

A los diferentes docentes, que han estado involucrados desde mi infancia en mi desarrollo, proporcionándome sus conocimientos, los que me han permitido estar en esta instancia, y lograr ser un futuro profesional.

RESUMEN EJECUTIVO.

El propósito de este estudio es crear una propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento flexible de 2.5 kilómetros en el municipio de Nindirí, en el departamento de Masaya. Para ello, se utilizará el software Civil 3D y se aplicará el método de la AASHTO – 93.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

El presente capítulo tiene como objetivo presentar una visión general del proyecto, incluyendo su ubicación, una breve introducción, antecedentes, la justificación sobre la importancia del diseño de los 2.5 kilómetros de pavimento flexible y los objetivos planteados para asegurar el éxito del diseño final.

CAPÍTULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO.

Se realizó un conteo vehicular en la estación 0 + 554, donde se obtuvo la caracterización del tráfico vehicular, se hizo durante 3 días consecutivos 12 horas diarias, para estimar el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), se utilizaron factores del Anuario de Tráfico del MTI 2020. Luego, se efectuaron las correlaciones entre Producto Interno Bruto y el censo poblacional con el TPDA, para obtener tasas de crecimiento y proyectar el tráfico actual, estimando un período de diseño para el cual se ha determinado el ESAL'S de diseño.

CAPÍTULO III: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Se evaluaron los resultados del levantamiento topográfico suministrado por la Alcaldía Municipal de Nindirí y se comprobó que cumple con los estándares establecidos en el manual de Revisión de Levantamientos Topográficos del MTI. El estudio incluye la descripción detallada del terreno y su altura a lo largo del tramo en cuestión.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Se muestran los resultados de los sondeos manuales para obtener información sobre las características físicas y mecánicas de los suelos del tramo en cuestión. Se analizaron los resultados del estudio de suelos proporcionados por la alcaldía municipal de Nindirí con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los bancos de préstamo cercanos al proyecto. Se evaluaron siguiendo las recomendaciones de la NIC – 2019, para determinar si el suelo era adecuado para ser utilizado en la estructura de pavimento.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se llevó a cabo el cálculo de los espesores para cada capa que conforma el pavimento utilizando parámetros de diseño como los ejes equivalentes de diseño (ESAL´S), confiabilidad (R), serviciabilidad (Po, Pt), desviación estándar (So) y el CBR de diseño. Estos parámetros permitieron determinar el módulo de resiliencia (Mr), los coeficientes estructurales (a1, a2, a3) y los números estructurales (SN1, SN2, SN3). Luego, se verificó la adecuación de los espesores requeridos para la estructura del pavimento utilizando el software WinPAS 12.

CAPÍTULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para la definición de la geometría del tramo del proyecto que va desde El Portillo hasta la Comunidad Cofradía, que abarca una distancia de 2.5 kilómetros. Para esto, se han seguido las normas de diseño establecidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 3ra Edición 2011).

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

CONTENIDO

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.	4
CAPÍTULO II. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	
2.1. Generalidades.	5
2.2. Obtención de datos (aforo vehicular).	5
2.3. Tipología vehicular.	5
2.3.1. Motocicletas.....	6
2.3.2. Vehículos livianos.	6
2.3.3. Vehículos pesados de pasajeros.	6
2.3.4. Vehículos pesados de carga.....	6
2.4. Procesamiento de información.	6
2.5. Estación de conteo vehicular.....	6
2.6. Procesamiento de datos.....	7
2.6.1. Resumen del aforo vehicular.	8
2.6.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	11
2.6.3. Clasificación de la carretera.....	15
2.6.4. Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	15
2.6.5. Producto Interno Bruto (PIB).....	16
2.6.6. Índice de crecimiento poblacional.....	16
2.6.7. Tasa de crecimiento vehicular	17

2.6.8.	Período de diseño.....	19
2.6.9.	Proyección del tránsito.....	20
2.6.10.	Tránsito de diseño.....	23
2.6.11.	Determinación de los ejes ESAL'S equivalentes.....	26
2.6.12.	Factor de equivalencia de carga (LEF).....	27
2.6.13.	Cálculo del ESAL'S de diseño.....	27
2.6.14.	Cálculo del factor ESAL's para vehículo T3S2.....	30
CAPÍTULO III. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....		
3.1.	Planimetría.....	33
3.1.1.	Alineamiento horizontal.....	34
3.1.2.	Levantamiento de poligonales abiertas.....	34
3.1.3.	Levantamiento con estación total.....	35
3.1.4.	Perfil longitudinal.....	36
3.2.	Altimetría.....	36
3.2.1.	Establecimiento de BMs.....	37
3.2.2.	Curvas de nivel.....	38
3.2.3.	Características de la topografía existente.....	38
CAPÍTULO IV. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....		
4.1.	Metodología.....	41
4.2.	Sondeos manuales de línea.....	41
4.2.1.	Resultados de ensayos a sondeos manuales de línea.....	42
4.2.2.	Análisis de los resultados.....	43
4.3.	Determinación del CBR de diseño.....	43
4.4.	Bancos de materiales identificados.....	46

4.4.1. Especificaciones para la elección de bancos de préstamo a utilizar.	
49	
4.5. Banco de préstamo propuesto para la capa base.	50
4.6. Banco de préstamo propuesto para la capa sub – base.	52
4.7. Estabilización con cemento para capa base de los bancos de préstamo.	
53	
4.8. Resultados de evaluación de material para la base.	56
4.9. Resultados de evaluación de material para la sub – base.	56
CAPÍTULO V. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.	
5.1. Metodología de diseño AASHTO 93.	57
5.2. Variables de diseño por considerarse en el método AASHTO 93.	57
5.2.1. Variables en función del tiempo.	57
5.2.2. Variables en función del tránsito.	58
5.3. Características de los materiales que conforman el pavimento.	61
5.3.1. Módulo de resiliencia (MR).	61
5.3.2. Coeficiente de drenaje (mi).	62
5.3.3. Coeficientes estructurales de capa (ai).	63
5.3.4. Números estructurales (SN).	64
5.3.5. Cálculo de los números estructurales (SN1, SN2, SN3).	65
5.4. Cálculo de los espesores del pavimento.	65
5.4.1. Espesores finales de diseño.	67
5.5. Diseño de pavimento usando el programa WinPas 12.	68
Capítulo VI. DISEÑO GEOMÉTRICO.	
6.1. Metodología.	74
6.2. Establecimiento y definición de los parámetros geométricos.	74
6.2.1. Localización del proyecto.	74

6.2.2.	Clasificación funcional.	74
6.3.	Justificación de criterios adoptados.....	78
6.3.1.	Velocidad de diseño (Vd).....	78
6.3.2.	Superficie de rodamiento.	79
6.3.3.	Número de carriles.....	80
6.3.4.	Ancho de carril de rodamiento.	80
6.3.5.	Ancho de hombros.....	80
6.3.6.	Ancho de corona.....	81
6.3.7.	Pendiente transversal.	81
6.3.8.	Pendiente transversal en la franja de hombro.	82
6.3.9.	Sección típica propuesta.....	82
6.3.10.	Distancia de visibilidad.	82
6.4.	Alineamiento horizontal de la carretera.	84
6.4.1.	Pendiente transversal (bombeo).....	84
6.4.2.	Coeficiente de fricción lateral (f).....	84
6.4.3.	Sobreelevación máxima.....	84
6.4.4.	Radio mínimos y sus correspondientes grados máximos de curva. 85	
6.4.5.	Peralte (e_d).....	87
6.4.6.	Longitud de transición.....	87
6.4.7.	Pendiente relativa.	88
6.4.8.	Sobreamanchos en curvas.	88
6.5.	Alineamiento vertical.	91
6.5.1.	Curvas verticales.	91
6.5.2.	Condiciones de diseño de curvas verticales en cresta o convexas.	91

6.5.3. Condiciones de diseño de curvas verticales en columpio o cóncavas.
93

6.6. Cálculos para curvas horizontales y verticales.....	98
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.	104
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS	I

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Distribución direccional por porcentaje de tipo de vehículo.	8
Tabla 2: Tránsito promedio diario TP(D) en ambos sentidos.....	9
Tabla 3. Vector geográfico de correspondencia.....	11
Tabla 4. Dependencia de estaciones. (Cofradía (parque infantil) – Emp. El Portillo).....	12
Tabla 5. Factores tercer cuatrimestre del año (EMC – 700 Emp. Camoapa – Tecolostote).	13
Tabla 6. Cálculo del TPDA, aplicando los factores de ajustes, en ambos sentidos.....	14
Tabla 7. Clasificación de carreteras según su TPDA.	15
Tabla 8. Comportamiento del PIB en Nicaragua en los últimos años.....	16
Tabla 9. Proyección del crecimiento poblacional.....	16
Tabla 10. TPDA histórico por tipo de vehículo ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.	17
Tabla 11. Tasa de crecimiento según la ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.	18
Tabla 12. Tasa de crecimiento según el PIB.	18
Tabla 13. Tasa de crecimiento según la población.	19
Tabla 14. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB y POB).	19
Tabla 15. Períodos de diseño.	20
Tabla 16. Proyección del tránsito.....	22
Tabla 17. Factor de distribución por dirección.....	24
Tabla 18. Factor de distribución por carril.....	25
Tabla 19. Tránsito de diseño.	26
Tabla 20. ESAL's de diseño.....	29
Tabla 21. Levantamiento de detalles.	34
Tabla 22. Coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (UTM84 – zona 16 N).....	36
Tabla 23. Ubicación de BMs.	38

Tabla 24. Consolidado de pendientes por estaciones.	39
Tabla 25. Clasificación de terrenos en función de las pendientes.....	40
Tabla 26. Tipos de ensayos de suelos.....	42
Tabla 27. Criterio para definir el CBR de diseño según el método del instituto de asfalto.....	43
Tabla 28. Selección del CBR de diseño para la sub – rasante.	44
Tabla 29. Clasificación de la sub – rasante.....	46
Tabla 30. Detalles de bancos de préstamo identificados.	47
Tabla 31. Especificaciones de materiales usados para una base granular.	49
Tabla 32. Especificaciones de materiales usados para la sub – base.....	50
Tabla 33. Requerimientos mínimos para la capa base.....	51
Tabla 34. Requerimientos mínimos para la capa sub – base.	52
Tabla 35. Requerimientos para base estabilizada con cemento.	53
Tabla 36. Evaluación de los requerimientos para bases estabilizadas con cemento.....	54
Tabla 37. Resultados de los materiales de bancos estabilizados con cemento.....	55
Tabla 38. Resultados de los materiales de bancos estabilizados con cemento.....	55
Tabla 39. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.....	59
Tabla 40. Desviación normal estándar (Z_r) en función de la confiabilidad R.	59
Tabla 41. Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio.	60
Tabla 42. Serviciabilidad inicial y final.	61
Tabla 43. Correlación entre el CBR y el módulo de resiliencia para la sub – rasante.....	62
Tabla 44. Capacidad del drenaje para remover la humedad.....	62
Tabla 45. Niveles de humedad cercanos a la saturación.....	63
Tabla 46. Espesores mínimos sugeridos por capa.	67
Tabla 47. Espesores de diseño.	68

Tabla 48. Datos para calcular los espesores en el software WinPas12.....	70
Tabla 49. Dimensiones del vehículo de diseño.....	78
Tabla 50. Velocidad de diseño y de ruedo.....	79
Tabla 51. Anchos mínimos de hombros y aceras.....	81
Tabla 52. Distancia de visibilidad de parada en función de la velocidad. ...	83
Tabla 53. Distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles.	83
Tabla 54. Coeficiente de fricción lateral en función de la velocidad.....	84
Tabla 55. Sobreelevación o peralte según el tipo de área.	85
Tabla 56. Radios mínimos para distintas velocidades de diseño (Peralte = 6%)......	86
Tabla 57. Valores de pendiente relativa.....	88
Tabla 58. Datos generales de curvas horizontales.....	90
Tabla 59. Controles de diseño de curvas verticales en cresta (DVP).	93
Tabla 60. Control de diseño para curvas verticales en columpio.	96
Tabla 61. Datos generales de curvas verticales.	97
Tabla 62. Datos de la curva horizontal 1.	98
Tabla 63. Valor de peraltes según velocidad de diseño (40 km/h) y radio de curva, $e_{max} = 6\%$.	99
Tabla 64. Parámetros de diseño adoptados.....	101
Tabla 65. Formato para conteo de tránsito vehicular por día.....	IV
Tabla 66. Conteo vehicular (martes 06 de septiembre 2022).....	V
Tabla 67. Conteo vehicular (martes 06 de septiembre 2022).....	VI
Tabla 68. Conteo vehicular (miércoles 07 de septiembre 2022).....	VII
Tabla 69. Conteo vehicular (miércoles 07 de septiembre 2022).....	VIII
Tabla 70. Conteo vehicular (jueves 08 de septiembre 2022).....	IX
Tabla 71. Conteo vehicular (jueves 08 de septiembre 2022).....	X
Tabla 72. Indicadores Macroeconómicos PIB.....	XI
Tabla 73. Proyección Estimada de la Población del 2004 al 2018.....	XII
Tabla 74. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tránsito.	XIII
Tabla 75. Listado histórico TPDA ECD – 140 (Cofradía (parque infantil) – Emp. El Portillo).....	XIV

Tabla 76. Diagrama de cargas permisibles (vehículos livianos y pasajeros).	XIV
Tabla 77. Diagrama de cargas permisibles (vehículos pesados).	XV
Tabla 78. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt: 2.	XVI
Tabla 79. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt: 2.	XVII
Tabla 80. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt: 2.	XVIII
Tabla 81. Consolidado del levantamiento topográfico del tramo en análisis.	XIX
Tabla 82. Clasificación de suelos AASHTO M – 145.	XXVI
Tabla 83. Clasificación de suelos S.U.C.S.	XXVII
Tabla 84. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.	XXXIV
Tabla 85. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.	XXXV
Tabla 86. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.	XXXVI
Tabla 87. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.	XXXVII
Tabla 88. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.	XXXVIII
Tabla 89. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.	XXXIX
Tabla 90. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.	XL
Tabla 91. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.	XLI
Tabla 92. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.	XLII
Tabla 93. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.	XLIII
Tabla 94. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.	XLIV
Tabla 95. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.	XLV
Tabla 96. Resumen de resultados obtenidos a muestras de sondeos de línea.	XLVI
Tabla 97. Estabilidad del método Marshall.	XLVIII

Tabla 98. Valor de peraltes según velocidad de diseño (40 km/h) y radio de curva, $e_{max} = 6\%$.	LIII
Tabla 99. Distribución de peraltes para cada una de las curvas presentadas.	LV
Tabla 100. Sobreancho de cada curva propuesta.	LVI

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

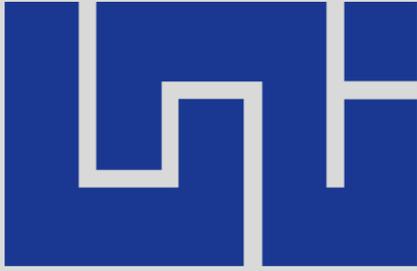
Gráfico 1. Comportamiento del Tránsito Promedio Diurno TP(D) por día...	10
Gráfico 2. Tránsito Promedio Diurno por vehículo.....	10
Gráfico 3. CBR de diseño.	45
Gráfico 4. Estratigrafía de clasificación de los suelos.....	XLVII
Gráfico 5. Abaco para estimar el coeficiente estructural de la capa asfáltica.	XLVIII
Gráfico 6. Comprobación de coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1).....	XLIX
Gráfico 7. Coeficiente estructural a2 y módulo de resiliencia para base estabilizada.	L
Gráfico 8. Coeficiente estructural a3 y módulo de resiliencia para sub – base.	LI
Gráfico 9. Obtención del número estructural SN2 y SN3.....	LII

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 1. Ubicación de la estación de conteo vehicular.....	7
Imagen 2. Cargas por eje de vehículo de diseño.....	30
Imagen 3. Estructura final del pavimento flexible.	68
Imagen 4. Software WinPas 12.	69
Imagen 5. Selección del tipo de pavimento a diseñar.....	70
Imagen 6. Introducción de datos en WinPas12 y número estructural requerido.....	71
Imagen 7. “Asphalt pavement design/analysis”.....	72
Imagen 8. Introducción de layers de diseño.	73
Imagen 9. Sección típica propuesta.....	82
Imagen 10. Macro localización (Departamento de Masaya – Municipio de Nindirí).....	I
Imagen 11. Micro localización (Tramo Cofradía – El Portillo).....	II
Imagen 12. Peraltes en curvas.	LIV
Imagen 13. Dimensiones del vehículo de diseño.	LIV

ÍNDICE DE FOTOS.

Foto N° 1. Inicio del tramo en estudio, comunidad El Portillo (Est. 0 + 000).	II
Foto N° 2. Condiciones del tramo Cofradía – El Portillo, Est. 1 + 000.....	III
Foto N° 3. Condiciones del tramo Cofradía – El Portillo, Est. 1 + 540.....	III
Foto N° 4. Fin del tramo en estudio, comunidad Cofradía (Est. 2 + 541).....	IV
Foto N° 5. Sondeos de línea Est. 0 + 000.....	XXVIII
Foto N° 6. Sondeos de línea Est. 0 + 500.....	XXIX
Foto N° 7. Sondeos de línea Est. 1 + 000.....	XXX
Foto N° 8. Sondeos de línea Est. 1 + 500.....	XXXI
Foto N° 9. Sondeos de línea Est. 2 + 000.....	XXXII
Foto N° 10. Sondeos de línea Est. 2 + 500.....	XXXIII



Capítulo I. GENERALIDADES.



1.1. Introducción.

El tramo de estudio cuenta con 2.5 km, se clasifica según su funcionalidad como una colectora rural ubicada entre la comarca de Cofradía y la comarca El Portillo, esta carretera genera acceso a una empresa dosificadora de concreto y a distintas fincas productoras, las cuales utilizan el tramo como comunicador de sus mercados comerciales. (Ver anexos, Imagen 10 – 11, Pág. I – II).

En cuanto al servicio a la población vehicular a la cual este tramo sirve, es relativamente bajo sin embargo el viaje de camiones y vehículos de dos ruedas como motocicletas y bicicletas es frecuente. Carece de sistema de drenaje y nunca ha sido revestido, el acceso suele inundarse y escurrir por el camino por lo que resulta peligroso en tiempos de invierno para la población.

Se propone llevar a cabo el proyecto del mejoramiento del tramo de carretera Cofradía – El Portillo, ya que se prevé que éste generará mayores facilidades de comercio para los pobladores, mejor acceso a los trabajos y una disminución radical de los riesgos en su población más joven en periodos de invierno. El proyecto tiene como área de influencia el municipio de Nindirí en el casco rural. El proyecto no generará de forma directa una remuneración o recuperación de la inversión así que los avances se medirán por medio del desarrollo comunal.

El proyecto será considerado de carácter público y se vinculará a las políticas de acceso y extensión de carreteras públicas del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional, Gobierno de Nicaragua en conjunto con el ministerio de infraestructura y transporte (MTI), el tramo como se ha dicho anteriormente será de carácter público por lo que beneficiará a toda la población de la comunidad, hasta donde su clasificación de colectora rural lo permita.

1.2. Antecedentes.

Entre las comunidades de Cofradía - El Portillo existe un problema de falta de comodidad a la hora de transitar en el tramo que une estas dos comunidades. Con la existencia de una empresa concretera que genera muchos empleos para la gente cercana a estas comunidades aledañas, este tramo se vuelve muy transitado y necesario para las personas que laboran en dicha empresa.

El tránsito de personas entre estas dos comunidades ha aumentado con el paso de los años. Las actividades económicas que se presentan en este territorio son: La agricultura, el comercio y la empresa concretera. El movimiento de personas es considerable, en donde la mejora de dicho tramo les brindaría seguridad y mejor transitabilidad a las personas que suelen hacer uso de este tramo de camino.

Teniendo en cuenta los avances económicos, algunas personas cuentan con transporte vehicular que facilita su movilidad, donde los defectos del tramo suelen ser amenazas a la seguridad de las personas.

El tramo actualmente se encuentra en regular estado y la superficie de rodamiento es de suelo natural, debido al tipo de suelo existente y a las escorrentías superficiales e inundaciones que en épocas de invierno ocasiona fácilmente el deterioro del estado de la vía, debido a que no existen obras de drenaje en el sitio. (Ver anexos, Foto N° 1 – 4, Pág. II – IV).

El presente estudio surge ante la necesidad de encontrar alguna alternativa que permita el mejoramiento de la transitabilidad de las personas por este tramo. El volumen de personas que transitan es considerable debido a sus diferentes actividades.

Debido a que es unión entre estas dos comunidades (Cofradía – El Portillo) es fundamental para el crecimiento económico de ellas, de modo que es asunto de las respectivas alcaldías velar por el buen desarrollo y el mejoramiento de la comunicación entre comunidades vecinas.

1.3. Justificación.

El servicio vial que brinda el tramo de carretera en estudio es ínfimo haciendo difícil el tránsito entre los pobladores que se dirigen a sus trabajos como la empresa concretera y fincas productoras que se encuentran en el paso de éste.

Debido al deterioro en que se encuentra la carretera Cofradía – El Portillo fue necesario proponer un diseño vial, con el fin de obtener una estructura que responda eficientemente ante las condiciones ya sean éstas climáticas, de volumen de tráfico, comodidad, seguridad y ahorrar tiempo.

El beneficio de la carretera luego de su mejora se obtendrá de su área de influencia, la producción agrícola, industrial y ganadera de la zona, tendrá una arteria de comunicación por lo que, estar en condiciones óptimas hará que crezca el ritmo en que los usuarios utilicen este espacio.

Las condiciones de dicho tramo no son del todo óptimas, los zanjones y las inundaciones que dan efecto a la erosión son cada vez más notables por lo que presenta una incomodidad para los usuarios.

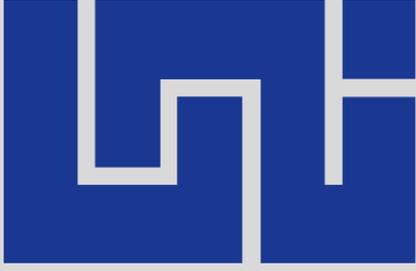
1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Proponer el diseño geométrico y de estructura de pavimento flexible del tramo de 2.5 km Cofradía – El Portillo, en el municipio de Nindirí departamento de Masaya.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Realizar el estudio de suelos de línea y de los bancos de materiales locales, definiendo sus características físico – mecánicas, como fundamento básico para el diseño.
- Analizar el levantamiento topográfico correspondiente al tramo Cofradía – El Portillo, proporcionado por la Alcaldía Municipal de Nindirí, a fin de definir el relieve y su representación gráfica con sus detalles altimétricos y planimétricos del tramo.
- Realizar aforo vehicular en el tramo en estudio con la finalidad de calcular el tránsito promedio diario anual (TPDA) y obtener los ejes equivalentes de carga (ESAL´S) para el período de proyección.
- Diseñar geométricamente el tramo en estudio, garantizando la seguridad y comodidad de los usuarios, utilizando el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras con Enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (SIECA, 2011).
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento flexible que soportará las cargas de diseño mediante el método de AASHTO-93.
- Elaborar los planos como resultado del Diseño Geométrico propuesto en planta – perfil, secciones transversales y sección típica, utilizando el software AutoCAD CIVIL 3D 2020.



Capítulo II. ESTUDIO DE TRÁNSITO.



2.1. Generalidades.

El estudio de tránsito es uno de los más importantes para el diseño y planificación de carreteras de cualquier tipo. De este estudio se conocen las características de una vía en particular, se determinan las proyecciones del tránsito futuro que se estima circulará por la vía; para así determinar la cantidad, tipo, intensidad de carga y configuración de eje de los vehículos para proceder al dimensionamiento y/o diseño de una estructura de pavimento requerida para la vida útil de la carretera.

2.2. Obtención de datos (aforo vehicular).

Se realizó mediante conteos vehiculares, lo que implica medir el volumen de tráfico durante un período de tiempo correspondiente a 12 horas diurnas. La recopilación de datos se ejecutó durante 3 días consecutivos, en las fechas del martes 06 hasta el jueves 08 de septiembre del año 2022, entre las 06:00 am y las 06:00 pm, con el fin de evaluar las condiciones de tránsito normales, basándose para esto en la tipología y descripción vehicular que brinda el anuario de aforos de tráfico del ministerio de transporte 2020. Para realizar el aforo se utilizó el formato mostrado en el anexo (Ver Anexos, Tabla 65, Pág. IV).

Los datos del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), número promedio de ejes, factores de ajuste estacional y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y cálculos de gabinete, la estación donde se realizó el conteo vehicular se ubicó en un lugar con adecuada visibilidad, logrando ver el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del aforo y clasificación por día (12 horas), del tramo en estudio se muestran en el siguiente anexo. (Ver Anexos, Tabla 66 – 71, Pág. V – X).

2.3. Tipología vehicular.

Para la obtención de los datos de campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) presenta una clasificación vehicular compuesta por 17 tipos de vehículos, por lo cual es conveniente agruparlos en cuatro categorías. (MTI, 2020, p. 25) (Ver Anexos, Tabla 74, Pág. XIII).

2.3.1. Motocicletas.

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizado, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuadro ciclos y otros triciclos a motor.

2.3.2. Vehículos livianos.

Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen automóviles, jeep, camionetas y microbuses de uso personal.

2.3.3. Vehículos pesados de pasajeros.

Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (Hasta de 15 pasajeros y Microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes).

2.3.4. Vehículos pesados de carga.

Son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2,3,4,5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como agrícolas y de construcción.

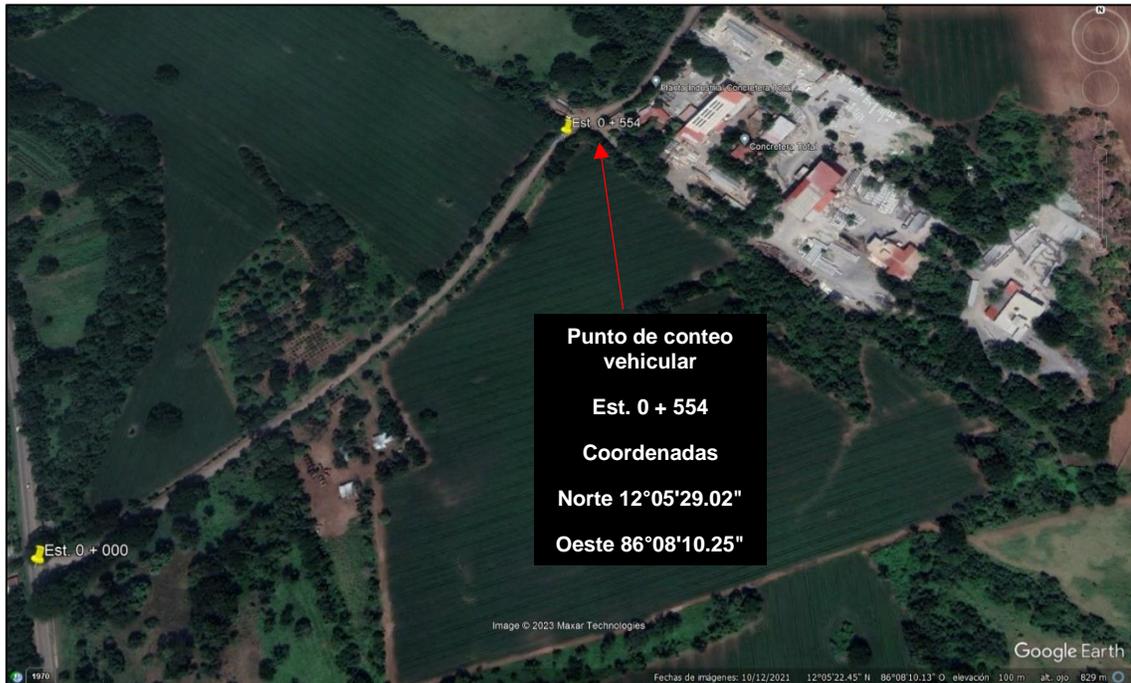
2.4. Procesamiento de información.

Es la fase del trabajo de gabinete en la que toda la información obtenida del aforo se procesó utilizando el software Microsoft Excel para obtener los mejores resultados según el anuario de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura 2020, también utilizando los criterios de la AAHSTO – 93, SIECA 2002, Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2018.

2.5. Estación de conteo vehicular.

La estación de conteo vehicular se ubicó en la estación: 0 + 554 en las coordenadas geográficas norte 12° 05' 28.94" y oeste 86° 8' 10.41" a fin de ejecutar los conteos de volumen de tránsito vehicular, que circula en la vía, la estación de conteo se ubicó en un lugar estratégico, que permitiera captar el 100% del tránsito en ambos sentidos de la vía.

Imagen 1. Ubicación de la estación de conteo vehicular.



Fuente: Google Earth. <https://earth.google.com/web/@12.09050345,-86.13618931,99.31032071a,1329.70833173d,35y,0h,0t,0r>

2.6. Procesamiento de datos.

Se refiere a la agregación de información, que corresponde directamente al trabajo de gabinete después realizarse el trabajo de campo, procesada en Microsoft Excel mediante hojas de cálculo.

De la información obtenida de los conteos, se obtuvo el volumen tránsito promedio vehicular diurno de 12 horas, durante conteos de 3 días consecutivos (martes, miércoles, jueves).

2.6.1. Resumen del aforo vehicular.

Tabla 1. Distribución direccional por porcentaje de tipo de vehículo.

Tramo carretera: Cofradía - El Portillo																
Fecha: Martes 06 Septiembre al Jueves 08 Septiembre del 2022								Sentido: El Portillo - Cofradía / Cofradía - El Portillo								
Sentido del flujo vehicular	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOT AL veh./ 12hrs	% Por Sentido
	Motos	Autos	Jeeps	Cta	Mbus	Mbus > 15 P	Buses	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3 S2	T3 S3	Veh. Const.	Veh. Agric.		
El Portillo - Cofradía	565	124	45	131	19	5	15	117	38	83	74	33	7	13	1269	51.29%
% de Distribución	44.52%	9.77%	3.55%	10.32%	1.50%	0.39%	1.18%	9.22%	2.99%	6.54%	5.83%	2.60%	0.55%	1.02%	100%	
Cofradía - El Portillo	532	112	33	109	6	3	18	127	55	100	58	38	4	10	1205	48.71%
% de Distribución	44.15%	9.29%	2.74%	9.05%	0.50%	0.25%	1.49%	10.54%	4.56%	8.30%	4.81%	3.15%	0.33%	0.83%	100%	
Total Veh.	1097	236	78	240	25	8	33	244	93	183	132	71	11	23	2474	100%
% Total veh.	44.34%	9.54%	3.15%	9.70%	1.01%	0.32%	1.33%	9.86%	3.76%	7.40%	5.34%	2.87%	0.44%	0.93%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el tránsito promedio diurno TP(D) Fue necesario aplicar la ecuación 1:

$$TP(D) = \frac{\text{Acumulado de conteo vehicular por tipo de vehículo.}}{\text{Cantidad de días del aforo (3 días).}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Cálculo del TP(D) para motos.

$$TP(D) = \frac{1097}{3}$$

$$TP(D) = 366$$

Tabla 2: Tránsito promedio diario TP(D) en ambos sentidos.

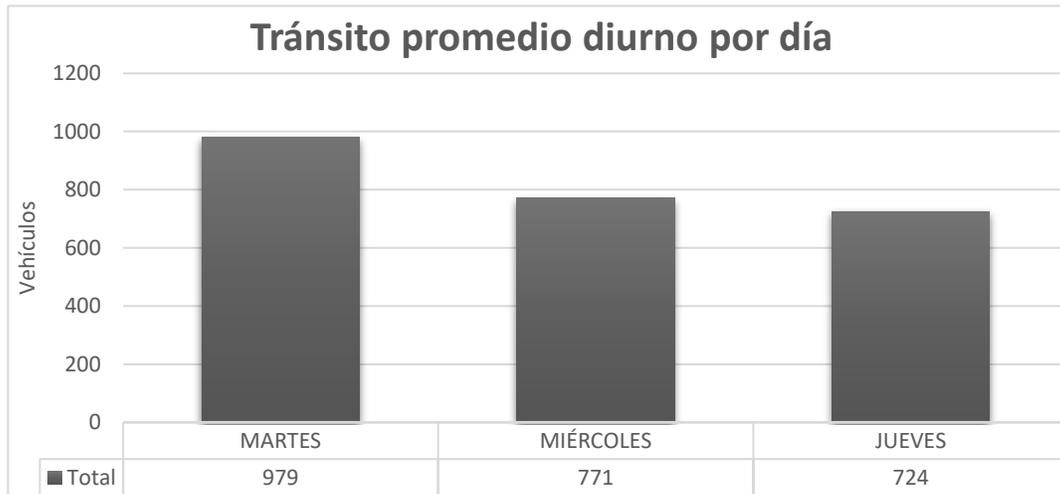
Tramo carretera: Cofradía - El Portillo															
Fecha: Martes 06 Septiembre al Jueves 08 Septiembre del 2022								Sentido: El Portillo - Cofradía / Cofradía - El Portillo							
	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL veh./12hrs
	Motos	Autos	JEEP	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3 S2	T3 S3	Veh. Co nst.	Ve h. Agr ic.	
MARTES	391	115	39	101	9	2	11	103	36	81	46	32	4	9	979
MIÉRCOLES	363	68	22	76	7	4	11	67	31	56	47	10	0	9	771
JUEVES	343	53	17	63	9	2	11	74	26	46	39	29	7	5	724
Total/veh	1097	236	78	240	25	8	33	244	93	183	132	71	11	23	2474
Total	1651				66			723					34		2474
TP(D) (Vehículos/12 hrs)	366	79	26	80	8	3	11	81	31	61	44	24	4	8	826
% de vehículos	44.31%	9.56%	3.15%	9.69%	0.97%	0.36%	1.33%	9.81%	3.75%	7.38%	5.33%	2.91%	0.48%	0.97%	100%
Composición	66.71%				2.66%			29.18%					1.45%		100%

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el conteo de 3 días consecutivos durante 12 horas diurnas en la Est. 0 + 554 y realizar el consolidado en Microsoft Excel se obtuvo una perspectiva bastante clara de cómo se comporta el tránsito a lo largo de los días en el tramo de estudio, para luego calcular el Tránsito Promedio Diario TP(D) en base a la ecuación 1, obteniendo un valor de total de 826 vehículos por 12 horas diurnas.

Se procedió a realizar un gráfico con los datos obtenidos, donde se refleja el comportamiento del tránsito promedio diario TP(D), de igual manera otro gráfico donde se muestra su composición en período de 12 horas.

Gráfico 1. Comportamiento del Tránsito Promedio Diurno TP(D) por día.

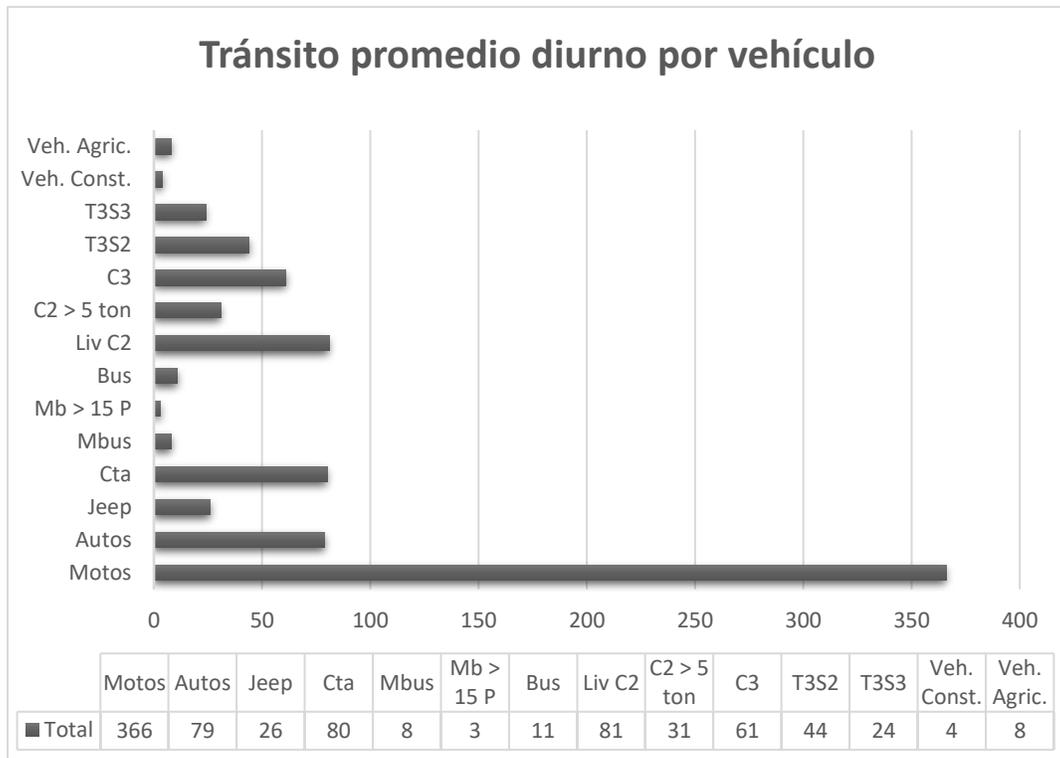


En
el

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1, se muestra el comportamiento del tránsito promedio diurno, donde se aprecia que el día con mayor demanda de vehículos es el martes, seguido del miércoles y por último el jueves.

Gráfico 2. Tránsito Promedio Diurno por vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 2, se aprecia el comportamiento de la composición vehicular, predominando los vehículos livianos (motos, autos, camionetas, jeep), seguido de los vehículos pesados de carga (Liv C2, C2 > 5 ton, C3, T3S2, T3S3), vehículos pesados de pasajeros (Mbus, Mb > 15 p, Bus) y por último equipo pesado (Veh. Const., Veh. Agric.).

2.6.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se define como el volumen o número total de vehículos que pasan durante un año dividido entre los 365 días que corresponden al año.

Para determinar el TPDA del tramo en estudio fue necesario el uso de los factores de ajuste diarios, semanales y de expansión, que son tomados del anuario de Aforo de tráfico 2020 (MTI). Para expandir $(TP(D))_{12 \text{ hrs}}$ a TPDA), se consideró utilizar una estación que cumpla con características similares al tramo de estudio. para ello se hizo uso de los vectores de correspondencia (vector geográfico, volumen de tránsito vehicular (TPDA) y el porcentaje de tránsito vehicular).

Utilizando la metodología del Anuario de tráfico 2020 del MTI, el vector geográfico para el tramo departamento de Masaya (ubicación del tramo), corresponde a la región del pacífico sur.

Tabla 3. Vector geográfico de correspondencia.

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

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI. P. 15 pdf.

Una vez seleccionado el vector R1 que corresponde a la región pacífico sur departamento de Masaya nos enlazamos en las distintas estaciones de mayor cobertura EMC correspondiente al mismo ubicando de forma exponencial el tramo en estudio.

Luego se seleccionó la Estación de Corta Duración ECD 140 perteneciente al tramo Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo, la cual depende de la Estación de Mayor Cobertura EMC 700, Emp. Camoapa – Tecolostote, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presenta mayor grado de similitud posible, así como el vector geográfico también se da a destacar que se toma esta EMC porque el porcentaje del TPDA de los vehículos pesados de carga en el anuario de aforos del MTI se asemeja al calculado.

Tabla 4. Dependencia de estaciones. (Cofradía (parque infantil) – Emp. El Portillo).

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
700 Emp. Camoapa - Tecolostote	NIC-5	504	ECS	Emp. Cerro Verde - El Comején
	NIC-7	701A	ECD	Emp. San Benito - Las Banderas
	NIC-7	702	ECD	Emp. Boaco - Emp. Camoapa
	NIC-9	902	ECD	Boaco - El Portón
	NIC-9	905	ECD	El Portón - Emp. Muy Muy
	NIC-20A	140	ECD	Cofradía (Parque Infantil) - Emp. El Portillo
	NIC-20A	2014	ECD	Emp. El Portillo - Emp. A Sabana Grande (Molinos Meco de Sta. fe)
	NIC-21B	2107	ECS	Emp. Alamikamba - Rosita
	NIC-50	5001	ECD	El Viejo - Tonalá
	NIC-70A	7001	ECS	Quebrada Honda (Inter Nic-1) - San. Francisco Libre
	NN-51	505	ECS	Emp. Cerro Verde - Empalme Peñas Blancas
	NN-78	105A	ECD	Las Calabazas - Ciudad Dario
	NN-153	1105	ECD	Emp. El Portillo - Nindirí

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI. P. 50 pdf.

El anuario de tráfico del MTI 2020 presenta factores para tres cuatrimestres del año, ya que, éstos se realizan en tres períodos: enero – abril, mayo – agosto y septiembre – diciembre. Los factores de ajuste utilizados en este estudio para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), comprenden los del tercer cuatrimestre del año (septiembre – diciembre), ya que, los conteos de aforo vehicular se realizaron en el mes de septiembre 2022.

Tabla 5. Factores tercer cuatrimestre del año (EMC – 700 Emp. Camoapa – Tecolostote).

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	1,23	1,25	1,22	1,34	1,29	1,33	1,30	1,39	1,61	1,69	1,00	1,79	1,00	1,00	1,00	1,00	1,33
Factor Semana	1,00	0,98	0,93	0,98	0,97	1,07	0,96	0,91	0,87	1,10	1,00	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87
Factor Fin de Semana	1,00	1,07	1,23	1,06	1,10	0,86	1,13	1,35	1,62	0,81	1,00	1,59	1,00	1,00	1,00	1,00	1,57
Factor Expansión a TPDA	1,04	1,16	1,07	1,06	1,01	0,53	0,98	1,04	0,94	1,12	1,00	1,11	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI. P. 365 pdf.

Para expandir el Tráfico Promedio Diurno $TP(D)_{12hrs}$, solo fue necesario utilizar el Factor Día, Factor Semana y Factor de Expansión. Para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se utilizó la siguiente ecuación:

$$TPDA = TP(D)_{12hrs} * Fdía * Fsem * Fexp \quad \text{Ecuación 2.}$$

TP(D): Tránsito promedio diurno en 12 horas.

Fdía: Factor día

Fsem: Factor semana.

Fexp: Factor de expansión.

Cálculo de TPDA para motos.

$$TPDA = 366 * 1.23 * 1 * 1.04$$

$$TPDA = 468$$

Tabla 6. Cálculo del TPDA, aplicando los factores de ajustes, en ambos sentidos.

Tránsito promedio diario anual (TPDA)															
Factor tipo de vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL
	Motos	Autos	Jeeps	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S 2	T3S 3	Veh. Const	Veh. Agric	
$TP(D)_{12hrs}$	366	79	26	80	8	3	11	81	31	61	44	24	4	8	1073
FACTOR DÍA	1.23	1.25	1.22	1.34	1.29	1.33	1.3	1.39	1.61	1.69	1.79	1.79	1	1	
FACTOR SEMANA	1	0.98	0.93	0.98	0.97	1.07	0.96	0.91	0.87	1.1	0.87	0.87	1	1	
FACTOR EXPANSIÓN	1.04	1.16	1.07	1.06	1.01	0.53	0.98	1.04	0.94	1.12	1.11	1.11	1	1	
TPDA	468	112	32	111	10	2	13	107	41	127	76	41	4	8	1152
% TPDA	41%	10%	3%	10%	0.9%	0.17%	1%	9%	4%	11%	7%	4%	0.35%	0.69%	100%
% VEHICULO	63%				2.2%			34%					1.04%		100%

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resultó de 1152 vehículos por día, se trabajó con la estación de corta duración ECD – 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.

2.6.3. Clasificación de la carretera.

La clasificación funcional de las carreteras permite la categorización de doce tipos fundamentales de carreteras, tanto en zonas rurales como urbanas. Estas categorías tienen límites establecidos en términos de volúmenes de tráfico para su diseño adecuado. (SIECA, 2011, p. 33).

Tabla 7. Clasificación de carreteras según su TPDA.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

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

2.6.4. Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Para la proyección del tránsito futuro deben establecerse los volúmenes de tránsito presente en el año de puesta en servicio del proyecto.

Para obtener el tránsito futuro es necesario tomar en cuenta los indicadores de crecimiento que presenta la zona donde se ubica el tramo en estudio. Las variables para la proyección del tránsito se desarrollarán en base a las estimaciones de factores socioeconómicos tales como:

- Producto Interno Bruto (PIB).
- Índice de crecimiento poblacional.
- Historial de Conteo Vehicular. (Obtenido de la Estación de Mayor Cobertura EMC 700 Emp. Camoapa – Tecolostote, y la Estación de Corta Duración ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.

2.6.5. Producto Interno Bruto (PIB).

El PIB es la primera variable que tomamos en cuenta para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, esta variable es de mucha importancia, ya que es un indicador macroeconómico del comportamiento de las inversiones y divisas del país (Bienes y Muebles), este valor refleja la inversión y la captación de diferentes recursos. (Ver Anexos, Tabla 72, Pág. XI).

Tabla 8. Comportamiento del PIB en Nicaragua en los últimos años.

Año	PIB (miles \$)
2008	8497
2009	8299
2010	8759
2011	9774
2012	10533
2013	10983
2014	11880
2015	12757
2016	13286
2017	13844
2018	13118

Fuente: BCN informe anual 2018, P. 8.

2.6.6. Índice de crecimiento poblacional.

Nicaragua en el último censo masivo realizado en 2005 por el Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo, registra que nuestro país en su totalidad cuenta con 5,483,447 habitantes. (Ver Anexos, Tabla 73, Pág. XII).

Tabla 9. Proyección del crecimiento poblacional.

Año	POB (millones hab.)
2008	5,668,876
2009	5,742,310
2010	5,815,524
2011	5,996,619
2012	6,071,045
2013	6,134,270
2014	6,198,154
2015	6,262,703
2016	6,327,927
2017	6,393,824
2018	6,460,411

Fuente: Anuario Estadístico 2021 (INIDE), P. 30.

2.6.7. Tasa de crecimiento vehicular

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas al tramo en estudio. Para este tramo de carretera se utilizaron los datos históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” de la estación de corta duración (ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El Portillo). Los registros de la ECD – 140 fueron obtenidos del anuario de aforos de 2020 (Ver Anexos, Tabla 75, Pág. XIV).

Tabla 10. TPDA histórico por tipo de vehículo ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.

Año	TPDA (ECD 140)
2010	506
2011	
2012	
2013	731
2014	
2015	
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	884

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI. P. 158 pdf.

Las tasas de crecimiento se calcularon usando la siguiente ecuación:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento.

TPDA_i: Tráfico promedio diario actual.

TPDA₀: Tráfico promedio diario del año base.

n: La diferencia de años.

Tabla 11. Tasa de crecimiento según la ECD 140 Cofradía (parque infantil) – Emp. El portillo.

Año	TPDA (ECD 140)	Diferencia de años	TCA
2010	506		
2011			
2012			
2013	731	3	13.05%
2014			
2015			
2016			
2017			
2018			
2019			
2020	884	7	2.75%
Promedio	619		7.90%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Tasa de crecimiento según el PIB.

Año	PIB (miles \$)	Diferencia de años	TCA
2008	8497	1	
2009	8299	1	-2.33%
2010	8759	1	5.54%
2011	9774	1	11.59%
2012	10533	1	7.77%
2013	10983	1	4.27%
2014	11880	1	8.17%
2015	12757	1	7.38%
2016	13286	1	4.15%
2017	13844	1	4.20%
2018	13118	1	-5.24%
Promedio	11066		4.55%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Tasa de crecimiento según la población.

Año	POB (millones hab.)	Diferencia de años	TCA
2004	5,374,820		
2005	5,483,447	1	2.02%
2006	5,522,606	1	0.71%
2007	5,595,541	1	1.32%
2008	5,668,876	1	1.31%
2009	5,742,310	1	1.30%
2010	5,815,524	1	1.27%
2011	5,996,619	1	3.11%
2012	6,071,045	1	1.24%
2013	6,134,270	1	1.04%
2014	6,198,154	1	1.04%
2015	6,262,703	1	1.04%
2016	6,327,927	1	1.04%
2017	6,393,824	1	1.04%
2018	6,460,411	1	1.04%
Promedio	5,936,538		1.32%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB y POB).

Tasas de crecimiento		
TC TPDA	TC PIB	TC POB
7.90%	4.55%	1.32%
Promedio	4.59%	

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron tres tasas de crecimiento, se hizo un promedio en el cual se obtuvo un valor de **4.59%** para realizar la proyección del tráfico que se ajusta al crecimiento económico del país.

2.6.8. Período de diseño.

Es el período en base a los años para el cual será diseñado específicamente la estructura del pavimento de la vía, según el Manual Centroamericano para el diseño de Pavimentos SIECA 2002 estos períodos varían entre 10 a 40 años dependiendo de la importancia de la carretera, las características geométricas de la vía y los volúmenes de tránsito que pasan por la vía. En este caso el tramo tiene una clasificación funcional de Colectora Rural, en dependencia a este criterio el período de diseño será de 15 años.

Tabla 15. Períodos de diseño.

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

Fuente: Manual de diseño de estructura de pavimentos, SIECA 2002, Capítulo 7, P. 3.

2.6.9. Proyección del tránsito.

El tránsito vehicular proyectado para el período de diseño es una de las más importantes variables que determinan los espesores requeridos para su diseño. Debido al comportamiento de los flujos de tránsito vehicular en las carreteras de Nicaragua, cuyas referencias están indicadas en los anuarios estadísticos publicados por el MTI.

Para el cálculo del Transito Promedio Anual Total ($TPDA_T$) se utilizará la siguiente ecuación:

$$TPDA_T = TN + TG + TA \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

$TPDA_T$ =Tránsito Promedio Diario Anual Total.

TN = Tránsito Normal.

TG = Tránsito Generado.

TA= Tránsito atraído.

- El Tránsito Normal.

Comprende el flujo que actúa sobre la carretera y crece como consecuencia de la economía del país, independiente de las mejoras que se hagan en la vía.

El crecimiento normal de tránsito se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_n = T_o (1 + i)^n \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

Tn= Cantidad de Vehículos para el año estimado (2037).

To= Tránsito Inicial (2022).

n= Cantidad de años.

i= Tasa de crecimiento anual.

- El Tránsito Generado.

Se denomina como el tránsito que se inicia y origina por el proyecto, debido al desarrollo socioeconómico de la zona de influencia del mismo y a medida que aparecen al lado de la vía servicios nuevos. Es entonces donde el Tránsito Generado se desarrolla generalmente en los primeros años luego de realizar la construcción de una carretera o mejoras a una vía.

- El Tránsito Atraído.

Es el resultante del crecimiento de otras vías que se desvían hacia la carretera proyectada (nueva o mejorada). Tanto los usuarios y componentes del tránsito atraído no cambian su origen, destino ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por percibir la ruta más óptima de acuerdo al tiempo que tardan en llegar a su destino y a las condiciones óptimas de acuerdo a su estructura.

La siguiente tabla de resumen tiene como fin presentar los cálculos por tipo de vehículo en donde se destaca los años del periodo de diseño propuesto (15 años) para su debida proyección comenzando con el año base 2022 y finalizando la proyección hasta el año 2037

Tabla 16. Proyección del tránsito.

<u>Tasa de crecimiento = 4.59%</u>															
Año	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb > 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.	
2022	1097	236	78	240	25	8	33	244	93	183	132	71	11	23	2474
2023	1147	247	82	251	26	8	35	255	97	191	138	74	12	24	2588
2024	1200	258	85	263	27	9	36	267	102	200	144	78	12	25	2706
2025	1255	270	89	275	29	9	38	279	106	209	151	81	13	26	2830
2026	1313	282	93	287	30	10	39	292	111	219	158	85	13	28	2960
2027	1373	295	98	300	31	10	41	305	116	229	165	89	14	29	3096
2028	1436	309	102	314	33	10	43	319	122	240	173	93	14	30	3238
2029	1502	323	107	329	34	11	45	334	127	251	181	97	15	31	3387
2030	1571	338	112	344	36	11	47	349	133	262	189	102	16	33	3542
2031	1643	353	117	359	37	12	49	365	139	274	198	106	16	34	3705
2032	1718	370	122	376	39	13	52	382	146	287	207	111	17	36	3875
2033	1797	387	128	393	41	13	54	400	152	300	216	116	18	38	4053
2034	1879	404	134	411	43	14	57	418	159	314	226	122	19	39	4238
2035	1966	423	140	430	45	14	59	437	167	328	237	127	20	41	4433
2036	2056	442	146	450	47	15	62	457	174	343	247	133	21	43	4636
2037	2150	463	153	470	49	16	65	478	182	359	259	139	22	45	4849
% vehículos	66.7%				2.7%			29.2%					1.4%		100%

Fuente: Elaboración propia.

Los valores del tránsito proyectado al año horizonte 2037 suman un total de 4849 Vpd en donde las más representativas son las motos con 2138 Vpd. Cabe destacar que para el diseño es de principal interés la proyección de los vehículos pesados de carga, son los que más afectan al diseño del pavimento.

2.6.10. Tránsito de diseño.

Los volúmenes de tránsito obtenidos de los Aforos manuales se utilizarán en el tránsito de diseño (TD) que es un factor tanto clave como fundamental para el diseño de estructura de pavimentos. Esto se basa a partir de la información suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El tránsito de diseño se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA_{2022} * FC * FD * Fc \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

TD= Tránsito de Diseño.

TPDA= Tránsito Promedio Diario Anual (2022).

FC= Factor de Crecimiento.

FD= Factor de Distribución Direccional.

Fc= Factor de Distribución por Carril.

- Factor de crecimiento.

Es el factor que considera las variables del volumen de tránsito en el período de diseño y se utiliza para definir de forma acertada las cargas equivalentes acumuladas. Este factor se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$FC = \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] * 365 \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$FC = \left[\frac{(1 + 4.59\%)^{15} - 1}{4.59\%} \right] * 365$$

$$FC = 7637.450$$

Donde:

i= tasa de crecimiento Vehicular.

n= período de diseño.

El factor de crecimiento es de 7637.450 es el mismo para cada tipología vehicular por lo que la ecuación a utilizar tiene como variables la tasa de crecimiento anteriormente calculada de 4.59% y el período de diseño de 15 años.

- Factor de distribución por dirección (FD).

Es el factor del total del flujo vehicular realizado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.50, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y viceversa con la otra dirección. Pueden darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, pero el porcentaje es mínimo en la mayoría de los casos con respecto al volumen total calculado y el conteo vehicular efectuado.

Tabla 17. Factor de distribución por dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual de diseño de estructura de pavimentos, SIECA 2002, Capítulo 3, P. 28.

El número de la vía en estudio es de 2 carriles por lo tanto el valor del factor de distribución por dirección (FD) sería de 0.5, pero como mencionamos anteriormente sobre la diferencia del paso vehicular en los distintos carriles, hicimos énfasis en los resultados obtenidos.

Estos valores se ven reflejados en la Tabla 1 sobre la distribución direccional por porcentaje, en el sentido El Portillo – Cofradía es de 51.29% y en el sentido Cofradía – El Portillo es de 48.71%, eligiendo la más crítica para el factor direccional que es el de mayor número porcentual El Portillo – Cofradía (51.29%).

- Factor de 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 tráfico 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.

La vía en estudio será diseñada con un carril por dirección, por lo tanto, se asignará el valor de 1, valor seleccionado de la siguiente tabla.

Tabla 18. Factor de 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 diseño de estructura de pavimentos, SIECA 2002, Capítulo 3, P. 29.

Una vez definido los valores de las variables se procederá a los cálculos respectivos reflejados en la siguiente tabla.

Se realiza un cálculo demostrativo, con los autos.

$$TD = 112 * 7637.450 * 0.51 * 1$$

$$TD = 436251.$$

Tabla 19. Tránsito de diseño.

Tipos De Vehiculos	Vehiculos	TPDA 2022	FC	FD	Fc	Tránsito Diseño (TD)
Vehículos Livianos	Autos	112	7637.450	0.51	1	436251
	Jeep	32	7637.450	0.51	1	124643
	Cta	111	7637.450	0.51	1	432356
	Mbus	10	7637.450	0.51	1	38951
Pesados de Pasajeros	Mb > 15 P	2	7637.450	0.51	1	7790
	Bus	13	7637.450	0.51	1	50636
	Liv C2	107	7637.450	0.51	1	416776
	C2 > 5 ton	41	7637.450	0.51	1	159699
Pesados de Carga	C3	127	7637.450	0.51	1	494678
	T3S2	76	7637.450	0.51	1	296028
	T3S3	41	7637.450	0.51	1	159699
Equipo Pesado	Veh. Const.	4	7637.450	0.51	1	15580
	Veh. Agric.	8	7637.450	0.51	1	31161
Total		684				2664248

Fuente: Elaboración propia.

El tránsito de diseño final es de 2,664,248 vehículos proyectados para el año 2037 todo este procedimiento de cálculo se hizo mediante la ecuación 6. Se presentan valores más elevados para vehículos livianos.

2.6.11. Determinación de los ejes ESAL'S equivalentes.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo, por lo tanto, es la suma de los ejes totales por cada conjunto vehicular que pasan por un mismo punto en específico en un periodo de tiempo determinado.

Según el “Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos” (SIECA 2002, Cap. 3, Pág. 1), “Los pavimentos se diseñan en función del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resista un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto, está compuesto de vehículos de diferentes pesos y número de ejes que, para efecto de cálculos, se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80KN o 18Kips, a los cuales, se le denomina “Equivalent simple axial load” o ESAL'S por sus siglas en inglés (Ejes Equivalentes)”.

2.6.12. Factor de equivalencia de carga (LEF).

Para poder determinar los Factores Equivalentes de Carga (LEF), por tipo de vehículo, se debe conocer el tipo de pavimento con el que se va a diseñar la superficie de rodamiento, los pesos por ejes de cada tipo de los vehículos sujetos a estudio debido a que producen diferentes deformaciones y tensiones en el pavimento, el número estructural (SN) que compone las diferentes capas de la carretera y las pérdidas de Serviciabilidad presente en la carretera.

Nuestro tramo Cofradía – El portillo será de pavimento flexible en base a eso procederemos a utilizar las distintas tablas y procedimiento que se muestran y citan de la siguiente forma “Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos” (SIECA 2002, Cap. 3, Pág. 5). “Es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas”. Se seleccionó una $pt= 2$ explícitamente por que el tramo en estudio es un camino de baja importancia y un valor de $SN=5$. Al mismo tiempo hicimos uso de las Tablas de diagrama de cargas permisibles por tipología vehicular seleccionadas del Departamento de vialidad MTI. (Ver Anexos, Tabla 76 – 77, Pág. XIV – XV).

Una vez seleccionando las variables anteriores hacemos uso de las tablas del “Manual Centroamericano para diseño de Pavimento (SIECA 2002)” que indican las diferentes LEFs para distintos tipos cargas por eje, para distintos tipos de pavimento y distintos tipos de serviciabilidad finales. (Ver Anexos, Tabla 78 – 80, Pág. XVI – XVIII).

Las tablas se dividen por ejes simples, ejes tándem y ejes tridem, cada uno en sus distintos apartados por índice de serviciabilidad final obteniendo así los factores equivalentes teniendo en cuenta el peso en Kips de cada eje de los vehículos.

2.6.13. Cálculo del ESAL’S de diseño.

Los cálculos de los ESAL’s de diseño se obtienen multiplicando el tránsito de diseño para cada tipo de vehículos por su respectivo factor de equivalencia siguiendo el procedimiento antes mencionado.

$$ESAL's \text{ o } W18 = TD * \text{Factor } ESAL's$$

Ecuación 8.

Cálculo tomando en cuenta los autos.

$$ESAL's \text{ o } W18 = 436251 * 0.00038$$

$$ESAL's \text{ o } W18 = 165.78$$

Donde:

TD= Tránsito de Diseño.

Factor ESAL's= Factores de carga equivalente.

Tabla 20. ESAL's de diseño.

Tipos De Vehículos	Vehículos	Peso		Tipos de eje	# Ejes	Factor ESAL's	Transito Diseño	ESAL'S diseño	ESAL'S diseño /Veh
		Tn	Kips						
Vehículos Livianos	Autos	1	2.20	Simple	1.00	0.000380	436251	165.78	331.55
		1	2.20	Simple	1.00	0.000380	436251	165.78	
	Jeep	1	2.20	Simple	1.00	0.000380	124643	47.36	94.73
		1	2.20	Simple	1.00	0.000380	124643	47.36	
	Cta	1	2.20	Simple	1.00	0.000380	432356	164.30	1634.31
		2	4.40	Simple	1.00	0.003400	432356	1470.01	
	Mbus	2	4.40	Simple	1.00	0.003400	38951	132.43	2087.77
		4	8.80	Simple	1.00	0.05	38951	1955.34	
Pesados de Pasajeros	Mb > 15 P	4	8.80	Simple	1.00	0.05	7790	391.06	7562.53
		8	17.60	Simple	1.00	0.92	7790	7171.47	
	Bus	5	11.00	Simple	1.00	0.13	50636	6405.45	125400.05
		10	22.00	Simple	1.00	2.35	50636	118994.60	
	Liv C2	4	8.80	Simple	1.00	0.05	416776	20922.16	404606.14
		8	17.60	Simple	1.00	0.92	416776	383683.99	
Pesados de Carga	C2 > 5 ton	5	11.00	Simple	1.00	0.13	159699	20201.92	395494.57
		10	22.00	Simple	1.00	2.35	159699	375292.65	
	C3	5	11.00	Simple	1.00	0.13	494678	62576.77	771203.00
		17	36.30	Tándem	2.00	1.43	494678	708626.24	
	T3S2	5	11.00	Simple	1.00	0.13	296028.00	37447.54	783438.10
		16	35.20	Tándem	2.00	1.26	296028.00	372995.28	
		16	35.20	Tándem	2.00	1.26	296028.00	372995.28	
	T3S3	5	11.00	Simple	1.00	0.13	159699	20201.92	330976.18
		16	35.20	Tándem	2.00	1.26	159699	201220.74	
		20	44.00	Tridem	3.00	0.69	159699	109553.51	
ESAL's por carril de tránsito									2,822,829

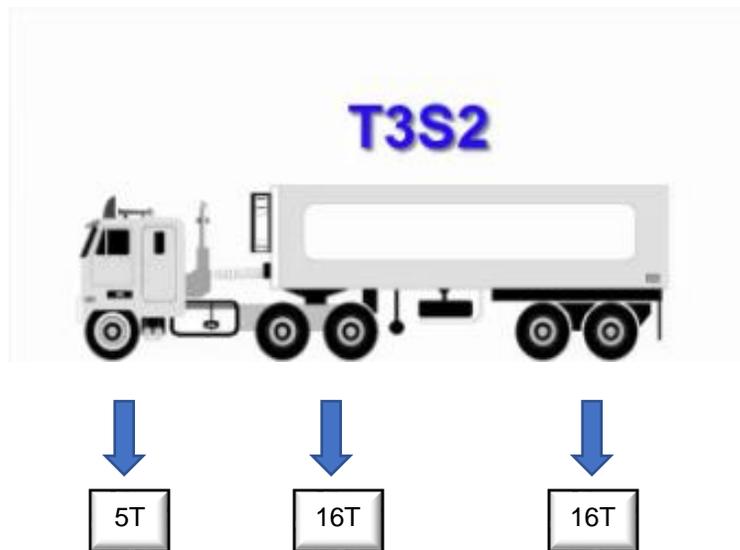
Fuente: Elaboración propia.

El número estimado de ejes equivalentes para el período de diseño de 15 años del tramo Cofradía – El portillo con propuesta de diseño de pavimento flexible es de **2,822,829** ejes equivalente por carril de diseño.

2.6.14. Cálculo del factor ESAL´s para vehículo T3S2.

Para efectuar el cálculo, es necesario expresar las cargas en Kips. Donde el valor será tomado en Ton, dependiendo de la clasificación vehicular y luego convertido en Kips.

Imagen 2. Cargas por eje de vehículo de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

1 Ton = 2.2 Kips

1 Kips = 1,000 Lbs

Factor de Conversión de Ton a Kips

1 Ton = 2.2 Kips/Ton

- Para eje Simple:

Los ejes simples para camiones T3S2 son los ejes que van en la parte superior y contienen el valor menor de peso de todos sus ejes. Su peso es de 5 Ton igual a 11 Kips.

$$p = 5 \text{ Ton} * 2.2 \text{ Kips/Ton} = 11 \text{ Kips}$$

Ecuación 9.

Pt = 2	SN= 5
Carga	LEF
10	0.079
11.0	Y
12	0.174

Por medio de interpolación, se procede a determinar el Factor ESAL's = 0.127.

$$Y = 0.079 + \left[\left(\frac{11 - 10}{12 - 10} \right) (0.174 - 0.079) \right] = 0.127$$

- Para ejes tándem

Los ejes simples para camiones T3S2 son los ejes que van en la parte inferior y contienen el valor mayor de peso de todos sus ejes. Su peso es de 16 Ton igual a 35.20 Kips.

$$p = 16 \text{ Ton} * 2.2 \text{ Kips/Ton} = 35.20 \text{ Kips}$$

Ecuación 10.

Pt = 2	SN= 5
Carga	LEF
34	1.08
35.20	X
36	1.38

Por medio de interpolación, se procede a determinar el Factor ESAL's = 1.26

$$Y = 1.08 + \left[\left(\frac{35.20 - 34}{36 - 34} \right) (1.38 - 1.08) \right] = 1.26$$

El factor Camión correspondiente a este vehículo es la sumatoria de los LEF de cada eje, es decir:

$$F_c = LEF_{Eje \ simple} + LEF_{Eje \ Tandém} + LEF_{Eje \ Tandém}$$

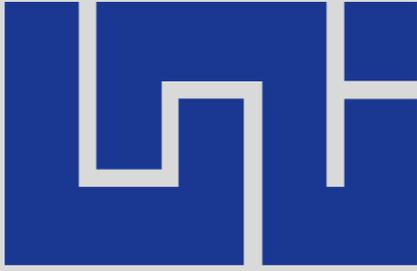
Ecuación 11.

$$F_c = 0.127 + 1.26 + 1.26 = 2.65$$

Una vez teniendo la sumatoria de factores utilizando la ecuación 8. tendremos el ESAL'S de este vehículo.

$$ESAL's \text{ o } W18_{T3-S2} = 2.65 * 296028 = 783438$$

Ecuación 12.



Capítulo III. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.



3.1. Planimetría.

Uno de los métodos más empleados en los levantamientos topográficos y quizás uno de los más precisos, es el levantamiento con cinta y teodolito (método utilizado este levantamiento); estos se aplican en general a la mayor parte de los levantamientos de precisión ordinaria, excluyendo la nivelación. En las poligonales abiertas lo primero que el topógrafo debe definir es el sentido del itinerario, el cual puede ser positivo (en sentido de las manecillas del reloj) o negativo (anti horario); una vez definido este, se procede a hacer una descripción general del trabajo para trazar la poligonal, se debe elegir las estaciones de forma ventajosa para poder avanzar en el levantamiento.

En la mayoría de los levantamientos con teodolito se localizan ciertos detalles o accidentes de tipo naturales o artificiales del terreno con respecto a los vértices de las poligonales. La cantidad de detalles puede ser pequeña (levantamientos de linderos) o grandes (levantamientos taquimétricos).

Métodos utilizados en el levantamiento de detalles:

- Por ángulo y distancia de una estación del polígono.
- Por medio de los ángulos desde dos estaciones del polígono.
- Tomando medidas lineales desde dos estaciones.
- Por el ángulo de una estación y la distancia de otra.
- Por ordenadas perpendiculares levantadas de los lados del polígono establecido.

3.1.1. Alineamiento horizontal.

En el alineamiento horizontal, se levantaron las secciones transversales a cada 20 m, generando una nube de puntos a lo largo del tramo, conformado por lecturas en la banda derecha, banda izquierda y centro.

Se tomaron datos del terreno natural, tomando también en consideración puntos como casas, aceras, postes, etc. Los cuales han permitido tener mayor referencia del terreno.

Se muestran algunos puntos como ejemplo de los detalles levantados a lo largo del tramo.

Tabla 21. Levantamiento de detalles.

Código	Norte (m)	Este (m)	Elevación	Descripción
LIND	1336394.20	593622.67	102.83	Lindero
BD	1336399.60	593626.19	103.28	Banda derecha
C	1336402.35	5936.30.77	103.46	Centro
BI	1336403.47	593636.00	103.27	Banda izquierda
P	1336411.55	593654.06	105.12	Poste
BM	1336416	593643	106	Banco de nivel

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

3.1.2. Levantamiento de poligonales abiertas.

Es aquella poligonal sin comprobación por cierre; debido a que los errores lineales o angulares no pueden ser detectados, en la cual su punto de inicio y su punto de llegada son diferentes. Atendiendo a esto, el punto inicio puede ser de coordenadas conocidas, pertenecer a una línea base donde sus dos extremos tienen coordenadas conocidas o pueda estar orientada. Por lo tanto, la única comprobación posible en este caso, consistirá en repetir las mediciones o volverla a levantar en sentido contrario.

Cuando se está situado en un punto la dirección de la norte se puede determinar: realizando observaciones solares, observaciones a estrellas o empleando instrumentos como la brújula. En la actualidad existe un sistema que nos permite conocer la posición de cualquier punto en la superficie terrestre y haciendo uso de

esto formar una línea base de la cual conocemos las coordenadas de sus extremos y con estas determinar el azimut de esta línea.

3.1.3. Levantamiento con estación total.

La estación total es el instrumento más utilizado en levantamientos topográficos ha sustituido casi en su totalidad a los distanciómetros electrónicos y los teodolitos. Una estación total es un instrumento que consta de tres partes importantes: un teodolito con la capacidad de medir ángulos verticales y horizontales, un distanciómetro que sirve para medir distancias horizontales y verticales, así como un equipo con la capacidad de almacenar y procesar datos para su posterior presentación en tiempo real.

El procedimiento general que utiliza una estación total para realizar una medición es el de triangulación que consiste en determinar la coordenada de un punto cualquiera a través de dos puntos con coordenadas conocidas. Esto quiere decir que la estación total se debe centrar y nivelar sobre el punto con coordenadas conocidas o asumidas, visar hacia el otro punto conocido y registrarlo; de esta manera, se podrá comenzar dirigiendo la visual hacia todos los demás puntos de interés; en la mayoría de estaciones totales estos puntos se denominan de la siguiente manera:

- **Coordenadas de la estación:** Es uno de los puntos con coordenadas conocidas, sobre el cual se centra y nivela la estación total, y sobre el cual se comienza la observación hacia los demás puntos.
- **Vista atrás:** Es el segundo punto con coordenadas conocidas, en el cual se realizará la primera observación. No necesariamente debe quedar atrás del aparato como su nombre lo indica, sino puede ir ubicado en cualquier otro sitio una vez se tenga una visualización correcta.
- **Observación:** Corresponde al punto al que se le quiere determinar las coordenadas, puede ubicarse en cualquier sitio a conveniencia de las posteriores observaciones que realizará el topógrafo.

El levantamiento topográfico en el tramo se efectuó con Estación Total el cual se inició en la estación 0 + 000 y finalizó en la estación 2+ 542, con coordenadas UTM WGS84 las cuales se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 22. Coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (UTM84 – zona 16 N).

Comunidad	Estación	Este x (m)	Norte Y (m)	Elev. Z (m)
El Portillo (Inicio)	EST 0+000	593649.782	1336428.630	103.175
Cofradía (Final)	EST 2+542	594922.140	1338476.481	92.691

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

3.1.4. Perfil longitudinal.

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

Con los datos del levantamiento topográfico, se pudo generar el perfil longitudinal del terreno en estudio auxiliándose del software AutoCAD civil 3D 2020.

3.2. Altimetría.

Rama de la topografía que calcula la coordenada vertical o cota de los puntos en el terreno o de una construcción. Para calcular las cotas de los puntos se utilizará un método topográfico denominado Nivelación. También hay una rama de la topografía para calcular de manera rápida y sencilla la planimetría y la altimetría simultáneamente llamada Taquimetría o Altiplanimetría.

Nivelación:

Instrumentos utilizados para nivelaciones de precisión:

- Nivel de anteojo.
- Mira estadimétrica.

- Opcionalmente se utiliza un pie de mira (sapo).

Tipos de nivelaciones:

- Nivelación geométrica o directa (nivel y mira).
- Nivelación trigonométrica (teodolito, mira o señales).

En ingeniería es común hacer nivelación de alineación para proyectos de carreteras, acueductos, canales, etc. Estas nivelaciones reciben el nombre de nivelación de perfiles longitudinales y se toman a lo largo del eje del proyecto.

En el caso de nivelaciones para proyectos viales, la nivelación se hace a lo largo del eje de proyecto con puntos de mira a cada 20 o 40 metros, dependiendo del tipo de terreno, más en los puntos de quiebre brusco del terreno.

- Los puntos de cambio y las estaciones deben ubicarse de manera de abarcar la mayor cantidad posible de puntos intermedios. Debe tenerse cuidado en la escogencia de los puntos de cambio, ya éstos son los puntos de enlace o de transferencia de cotas. Deben ser puntos firmes en el terreno, o sobre estacas de madera, vigas de puentes, etc.
- Siendo los puntos de cambio puntos de transferencia de cotas, en ellos siempre será necesario tomar una lectura adelante desde una estación y una lectura atrás desde la estación siguiente.
- Para compensar los errores de esfericidad y refracción, y el posible error de horizontalidad, es necesario estacionar en el punto medio entre las dos miras (método del punto medio). Se lanzan visuales a las dos miras haciendo las lecturas de los tres hilos del retículo. La diferencia entre los dos hilos extremos nos permite calcular la distancia del equialtímetro a la mira, y la diferencia entre los hilos centrales de la visual de frente y la visual de espalda nos dará la diferencia de nivel.

3.2.1. Establecimiento de BMs.

Se establecieron 4 puntos de BMs (2 al inicio del tramo y 2 al final), los cuales están debidamente marcados con coordenadas UTM y referenciados en las

distintas estaciones, para poder realizar el cálculo de las diferentes elevaciones (Z) las cuales se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 23. Ubicación de BMs.

BM N°	X (ESTE)	Y (NORTE)	Z (ELEV.)
BM1	593643	1336416	106
BM2	593760.254	1336510.399	102.677
BM3	594881.380	138432.250	92.852
BM4	594923.570	1338474.730	92.820

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

3.2.2. Curvas de nivel.

Se determinaron las elevaciones de 1422 puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software AutoCAD civil 3D 2020 generando así el mapa de curvas de nivel (superficie), que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que servirá de apoyo para el diseño de las obras de drenajes.

3.2.3. Características de la topografía existente.

El tramo de camino que corresponde a este Proyecto, producto de las características de la configuración topográfica del terreno en que se enmarca dicho tramo, siendo del tipo plano, lo que predomina en todo su entorno zonas de bosques con árboles de grandes dimensiones en toda su trayectoria.

En la geometría del plano de mediación, existen curvas horizontales con radios de curvaturas cuyos valores en la mayoría de los casos son pequeños, observados en diferentes puntos. En muchos casos las distancias entre las curvas del tipo opuesto corresponden a valores muy pequeños donde se observa que las curvas incluidas se encuentran en situaciones geométricas complejas o en relación con la ubicación de infraestructura existente generalmente correspondiente a obras tipo puente, o a la configuración topográfica del tipo fuente. El suelo corresponde a la presencia de irregularidades con la plataforma vial, donde puede ser un talud de corte y relleno en ambos casos de un tamaño considerable.

- **El derecho de vía y otras obras.**

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

- **Pendiente longitudinal.**

Estas pendientes se determinaron a partir de la siguiente ecuación:

$$Pendiente = \frac{\Delta H}{D} * 100 \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

P = Pendiente del terreno en %.

ΔH = Diferencia de Altura.

D = Distancia horizontal entre los puntos considerados.

Ejemplo de cálculo de pendientes:

$$Pendiente = \frac{\Delta H}{D} * 100$$

$$Pendiente = \frac{103 - 103.824}{106.84} * 100$$

$$Pendiente = -0.77\%$$

Tabla 24. Consolidado de pendientes por estaciones.

No.	PVI Station	PVI Elevation	Pendiente de entrada	Pendiente de salida	Tipo de terreno
1	0+000.00m	103.824m		-0.77%	Plano
2	0+106.84m	103.000m	-0.77%	-0.28%	Plano
3	1+419.33m	99.379m	-0.28%	-0.87%	Plano
4	1+979.98m	94.500m	-0.87%	-0.26%	Plano
5	2+541.68m	93.047m	-0.26%		Plano

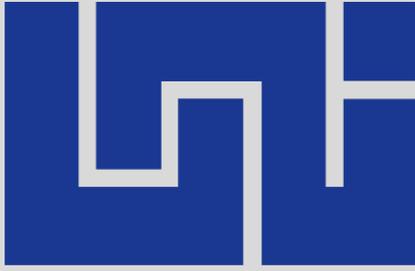
Fuente: AutoCAD Civil 3D 2020.

La pendiente máxima de este tramo es -0.87% (plano), se encuentra en la estación 1+419.33m con una elevación 99.379 m. La pendiente mínima del tramo es -0.26% (plano) ubicado en la estación 1+979.98m elevación 94.500m.

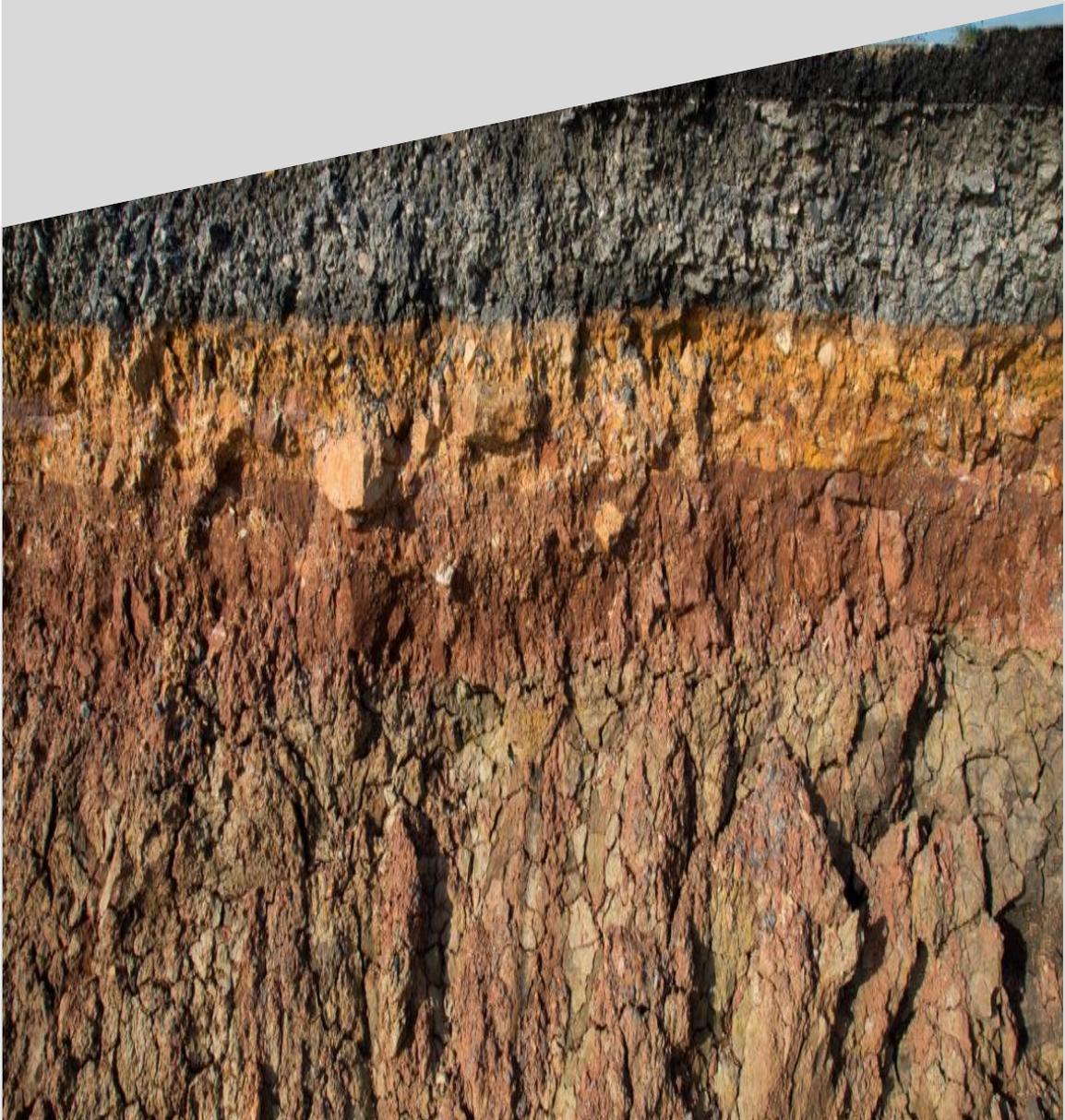
Tabla 25. Clasificación de terrenos en función de las pendientes.

Tipo de terreno	Rango de Pendientes (%)		
Llano o plano	P	≤	5
Ondulado	5	≥	15
Montañoso	15	≤	30

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



Capítulo IV. ESTUDIO GEOTÉCNICO.



4.1. Metodología.

En este capítulo se presentan los resultados de investigación de suelo efectuados, información que fue recopilada por sondeos de línea realizados por nuestra persona y el estudio de laboratorio por empresa DM con el propósito de evaluar las características geotécnicas de los materiales que conforman la estructura del suelo existente, la estructura del pavimento a construir y el correspondiente análisis e interpretación de los resultados.

Las propiedades físico – mecánicas del suelo son uno de los datos más importantes en el diseño de un pavimento. Estas propiedades siempre estarán presentes, aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como compactación, estabilización y mejoramiento del suelo etc. para conocer estas propiedades es necesario un muestreo que abarque todo el trazado del proyecto, a las que se les realizaran ensayos en laboratorio que permitan conocer los siguientes estudios:

- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Densidad máxima seca.
- Contenido de humedad optima.
- Valor soporte CBR.

4.2. Sondeos manuales de línea.

Para realizar el estudio geotécnico de la carretera de pavimento flexible a construir se efectuaron (11) sondeos con una maquina ahoyadora Perforadora Toyama 2T de 200 mm de diámetro y 90 cm de largo en broca perforadora (Ver Anexos, Foto 5 – 10, Pág. XXVIII – XXXIII).

Estos sondeos están ubicados representativamente en el sitio del Proyecto a cada 250 metros. Cada uno de los sondeos cuenta con una profundidad de 1.50 metros respectivamente. Dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 (inicio del tramo) hasta la estación 2 + 500 (fin del tramo). En estos sondeos se encontraron

31 muestras alteradas representativas de cada estrato encontrado, definiendo sus respectivas clasificaciones.

Una vez recopilados todos los estratos encontrados fueron trasladados al laboratorio con objetivo de establecer las propiedades físicas de cada una de las muestras obtenidas, adquirir los valores de CBR en la línea de la carretera y para determinar la capacidad de soporte del suelo.

Los ensayos de laboratorio se realizaron conforme a los Normas AASHTO o ASTM donde se mencionan las siguientes.

Tabla 26. Tipos de ensayos de suelos.

Tipo de ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-2788	D - 422
Limite liquido de los suelos	T-8990 y 9098	D - 423
Índice de plasticidad de suelos	T-9097	D - 424
Proctor Modificado	T - 180 - 90	D - 1557 - 91
CBR California	T -193 - 81	D - 1883 - 73

Fuente: AASHTO, Tercera Edición. Año 2003. P. 53-85.

También se definieron los tipos de suelos por clasificación AASHTO (ASTM D3282), (Ver Anexos, Tabla 82, Pág. XXVI). y clasificación SUCS (ASTM D2487), (Ver Anexos, Tabla 83, Pág. XXVII). respectivamente para dar a conocer un análisis completo del suelo del tramo.

4.2.1. Resultados de ensayos a sondeos manuales de línea.

A continuación, se presentarán los resultados de cada muestra representativa para su análisis posterior. (Ver Anexos, Tabla 96, Pág. XLVI).

4.2.2. Análisis de los resultados.

En base a lo descrito anteriormente, podemos concluir que el suelo presenta homogeneidad y conformados predominantemente por los tipos de suelos **A-2-4, A-2-6, A-2-7, A-7-6**. Se estima que 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. También están presentes, pero en menor cantidad los suelo **A-1-a, A-1-b**, se conoce que son suelos de buena calidad según la clasificación de la AASHTO. Para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se realizó la secuencia estratigráfica del sitio en análisis. (Ver Anexos, Gráfico 4, Pág. XLVII).

4.3. Determinación del CBR de diseño.

Para encontrar los valores de los CBR de diseño de los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como sub – rasante, se realizó el procedimiento propuesto por el Instituto del Asfalto.

Tabla 27. Criterio para definir el CBR de diseño según el método del instituto de asfalto.

Cargas Equivalentes (ESAL´s)	Percentil de diseño %
Menor de 10,000 ESAL´s	60
Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL´s	75
Mayor de 1,000,000 ESAL´s	87.5

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de pavimento, SIECA 2002, Capítulo 7, P. 29.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR de Diseño, el cual recomienda elegir un valor adecuado ya sea de **60%, 75% o el 87.5%**, tomando en cuenta que el ESAL's previsto por el carril de diseño será de **2,822,829**. por tanto, para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **87.5%**, tal y como se indica en la tabla.

Para la obtención del CBR de diseño se separan los valores de CBR distintos obtenidos en las muestras según la sub – rasante definida.

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

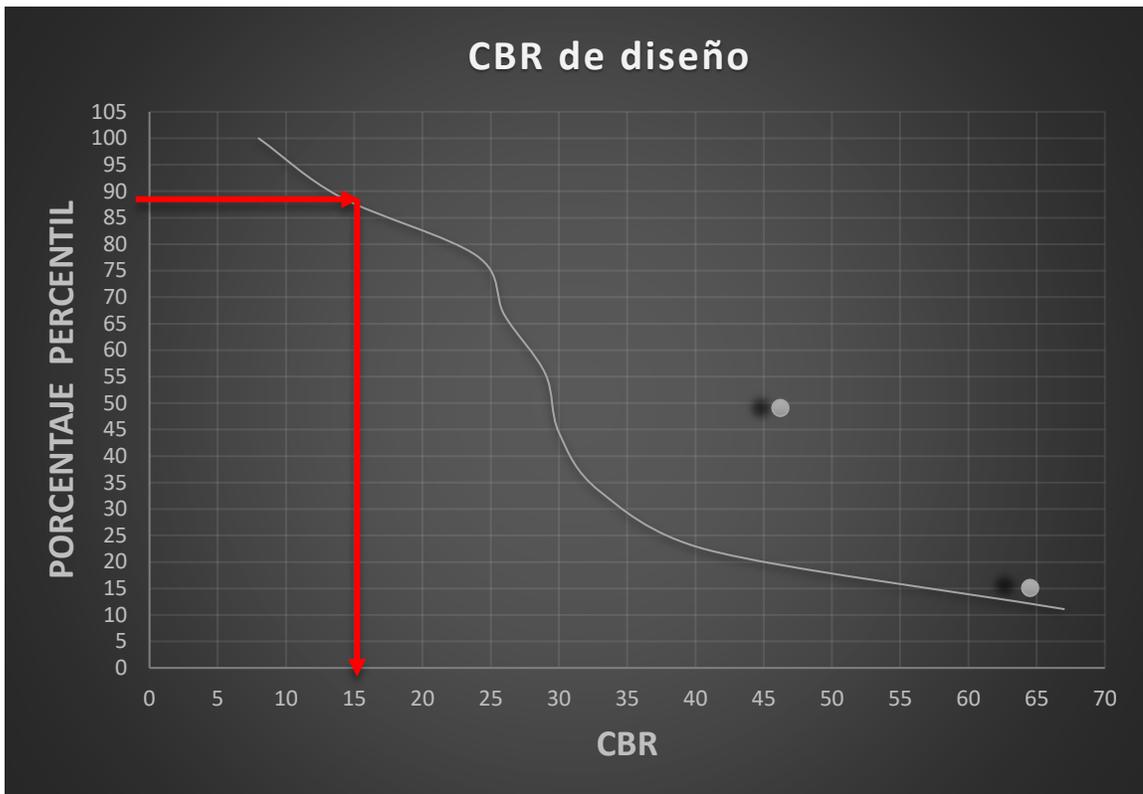
Tabla 28. Selección del CBR de diseño para la sub – rasante.

N	clasificación	CBR 95%	Valores iguales o mayores	% Percentil
1	A-2-7 (0)	8	9	100
2	A-2-7 (0)	14	8	88.89
3	A-1-b (0)	24	7	77.78
4	A-1-a (0)	26	6	66.67
5	A-2-6 (0)	29	5	55.56
6	A-2-6 (0)	30	4	44.44
7	A-1-a (0)	33	3	33.33
8	A-2-4 (0)	41	2	22.22
9	A-2-4 (0)	67	1	11.11

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos del CBR se realizó la siguiente gráfica donde se determinó el CBR para la sub – rasante.

Gráfico 3. CBR de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 87.5% obtenemos el CBR de diseño para la sub – rasante igual a **15.25%**.

El cual de acuerdo con la clasificación de CBR de la tabla, clasifica a la subrasante existente como Sub – base buena, ya que, se encuentra en el rango de 10 – 20 como se muestra a continuación.

Tabla 29. Clasificación de la sub – rasante.

% CBR	CLASIFICACIÓN
0-5	Sub – rasante de muy mala calidad
5-10	Sub – rasante mala
10-20	Sub – rasante regular a buena
20-30	Sub – rasante muy buena
30-50	Sub – base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 93 (3ra Edición).

4.4. Bancos de materiales identificados.

En base en los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios proporcionados por la Alcaldía de Nindirí, tomamos en cuenta 4 bancos de préstamo identificados a lo largo del tramo en estudio o relativamente cerca; para así poder conocer la función que puedan desempeñar a lo largo del tramo según los requerimientos de las especificaciones NIC – 2019, para ser usado ya sea como material base o sub – base, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 30. Detalles de bancos de préstamo identificados.

Bancos	Nombres	Clasificación tipo de suelo	Granulometría			LL (%)	IP (%)	Peso vol. Seco máx. (kg/m ³)	CBR (%)		
			(% que pasa Tamiz)						90	95	100
			Nº 3/8"	Nº4	Nº200						
1	El	A - 1 - b (0)	90	74	10	37	3	1474	22	39	57
	Paraíso I	A - 1 - a (0)	91	76	9	-	NP				
2	El	A - 2 - 4(0)	96	84	30	-	NP	1406	16	30	47
	Paraíso II	A - 1 - b (0)	90	73	16	-	NP				
3	El	A - 1 - b(0)	94	84	22	-	NP	1413	14	28	45
	Paraíso IV	A - 2 - 4(0)	92	82	29	-	NP				
4	Cofradía	A - 1 - b (0)	100	41	9	24	4	1445	47	55	57
		A - 1 - a (0)	91	78	12	-	NP				

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

Banco de préstamo N°1.

El Banco de Préstamo El Paraíso I se localiza a 4 Km al Norte, 1 km al este del tramo en estudio, en las coordenadas UTM X=596539, coordenada Y=1342252, ubicado en la comunidad de cofradía. El propietario de este banco es el Sr. José Bárcenas, posee una accesibilidad transitable y cuenta con un volumen a explotar de 8000 m³.

El material de este banco corresponde principalmente a Arena y limo de consistencia sólida tipo A-1-b (0) color marrón. Tiene 37% de Límite Líquido, 3% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 90% el tamiz de 3/8", 74% el tamiz No.4, y 10% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,474 kg/m³. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 22, 39 y 57%, respectivamente.

Banco de préstamo N°2.

El Banco de Préstamo El Paraíso II se localiza a 3.8 Km al Norte, 1 km al este del tramo en estudio, en las coordenadas UTM X=596512, coordenada Y=1341995, ubicado en la comunidad de cofradía. El propietario de este banco es desconocido y posee una accesibilidad en estado regular y cuenta con un volumen a explotar de 3500 m³

El material de este banco corresponde principalmente a Arena con gravilla y limo semidura tipo A-2-4 (0), no posee Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan

96% el tamiz de 3/8", 84% el tamiz No.4, y 30% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,406 kg/m³. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 16, 30 y 47%, respectivamente.

Banco de préstamo N°3.

El Banco de Préstamo El Paraíso IV se localiza a 3.0 Km al Norte, 800m al este del tramo en estudio, en las coordenadas UTM X=596712, coordenada Y=1341515, ubicado en la comunidad de cofradía. El propietario de este banco es desconocido y posee una accesibilidad en estado regular y cuenta con un volumen a explotar de 3500 m³

El material de este banco corresponde principalmente a Arena con limo y gravilla tipo A-1-b (0), no posee Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 94% el tamiz de 3/8", 54% el tamiz No.4, y 6% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,413 kg/m³. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 14, 32 y 45%, respectivamente.

Banco de préstamo N°4.

El Banco de Préstamo Cofradía se localiza del cementerio de Cofradía (entrada maselco) 800 metros hacia la izquierda, en las coordenadas UTM X=595240, coordenada Y=1337660, ubicado en la comunidad de Cofradía. El propietario de este banco es desconocido y posee una accesibilidad en estado regular y cuenta con un volumen a explotar de 6000 m³.

El material de este banco corresponde principalmente a Arena con gravilla y limo semidura tipo A-1-b (0), posee un límite líquido de 24% un índice de Plasticidad de 4%, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 3/8", 41% el tamiz No.4, y 9% el tamiz No.200. El PVS máx. es de 1,406 kg/m³. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 47, 55 y 57%, respectivamente.

4.4.1. Especificaciones para la elección de bancos de préstamo a utilizar.

- **Especificaciones para la base.**

Esta es la capa que se encuentra sostenida por la sub – rasante y que está por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación es muy cercana a la aplicación de las cargas sostenidas y que actúan a lo largo de la carretera, por lo tanto, requiere materiales de gran resistencia y calidad. Se deben de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC – 2019 que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 31. Especificaciones de materiales usados para una base granular.

ENSAYO	REQUERIMIENTOS	NORMA DE PRUEBA
Límite líquido	25% Máx.	AASHTO T-89
Límite plástico	0% Máx. (NP)	AASHTO T-90
CBR	80% Mín.	AASHTO T-193
Desgaste de los Angeles	35% Máx.	AASHTO T-96
Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
Compactación	95% Próctor Modificado	AASHTO-191

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003.8. (inciso a y b).

- **Especificaciones para la sub – base.**

Esta se define como aquella capa que se coloca por debajo de la capa base y está alejada de las cargas que la carpeta de rodamiento resiste a lo largo del tramo, los materiales que se requieren no deben de ser de gran resistencia, por lo que su módulo de elasticidad es menor. Debe de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC – 2019 que se muestran a continuación.

Tabla 32. Especificaciones de materiales usados para la sub – base.

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

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003.8. (inciso a y b).

4.5. Banco de préstamo propuesto para la capa base.

El Banco de préstamo N°3 (El Paraíso IV) posee un CBR al 95% Proctor modificado con un valor de 32%, se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos establecidos por la NIC – 2019, los cuales debe cumplir un banco para poder utilizarse como base granular donde se presentó mayores posibilidades para este tipo de uso.

Tabla 33. Requerimientos mínimos para la capa base.

PRUEBA	REQUERIMIENTOS	BANCO Nº 3	VALORACIÓN BASE
Graduación	Cuadro 1003-6	Cumple	<u>Cumple</u>
Limite Liquido	25% máx.	No posee	<u>Cumple</u>
Desgaste Los Angeles	Máx. 35%	No posee	<u>Cumple</u>
Intemperism o Acelerado	Máx. 12%	No posee	<u>Cumple</u>
Índice de plasticidad	Máx. 0% (NP) base	No posee	<u>Cumple</u>
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80%	32%	No Cumple
REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS			
TAMIZ (MM)	GRANULOMETRÍ A%	BANCO Nº 3	VALORACIÓN BASE
75	100	94	<u>Cumple</u>
4.75	47-59	54	<u>Cumple</u>
0.075	4-8	6	<u>Cumple</u>

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003.8. (inciso a y b).

El banco de préstamo N°3 (El Paraíso IV) cumplió con el límite líquido, índice de plasticidad, ensayo de desgaste de los ángeles, ensayo de Intemperismo acelerado y con los requisitos de graduación según la sección 1003.09 de la NIC 2000. El detalle más importante es el CBR al 95% próctor modificado que según las especificaciones debería ser del 80%, en nuestro caso el banco seleccionado no cumple siendo 32%. Aclaremos que este es el banco más óptimo por que cumple con los demás parámetros.

Ninguno de los bancos se podrá utilizar como base granular por lo que se consideró estabilizar con cemento portland al 5% y al 6% obteniendo así una mejor resistencia y capacidad del suelo al banco de materiales.

4.6. Banco de préstamo propuesto para la capa sub – base.

El Banco de préstamo N°4 Cofradía posee un CBR del 55% al 95% próctor modificado, se utilizó para hacer la comparativa con los requerimientos mínimos de la NIC – 2019, que debe cumplir un banco para poder utilizarse como material sub – base.

Tabla 34. Requerimientos mínimos para la capa sub – base.

PRUEBA	REQUERIMIENTO MÍNIMO NIC-2019	BANCO N° 1	VALORACIÓN
Graduación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Limite liquido	25% Máx.	24%	cumple
Desgaste Los Angeles	Máx. 40%	No posee	Cumple
Intemperismo Acelerado	Máx. 12 %	No posee	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 6%	4%	Cumple
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180)	Min. 30% para Sub-Base	55%	Cumple
CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS.			
TAMIZ (MM)	% QUE DEBE PASAR POR LOS TAMICES	BANCO N° 4	VALORACIÓN
75	100	100	Cumple
4.75	40-60	41	Cumple
0.075	0-12	9	Cumple

Fuente: Especificaciones NIC-2019 Sección 1003.8. (inciso a y b).

De acuerdo a la tabla el banco de préstamo N°4 (Cofradía) cumple con los requerimientos mínimos de las especificaciones NIC – 2019 como son la graduación, limite líquido, limite plásticos, desgaste de los ángeles, intemperismo acelerado y CBR Proctor modificado al 95% por lo que deberá ser utilizado para la capa sub – base, cabe destacar que la accesibilidad a este tramo es óptima/regular.

4.7. Estabilización con cemento para capa base de los bancos de préstamo.

Los bancos de préstamos a estabilizarse deben cumplir con las normas y especificaciones de la NIC – 2019 que se encuentran en la sección 1003.21, dichos requerimientos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 35. Requerimientos para base estabilizada con cemento.

PRUEBA	REQUERIMIENTO MÍNIMO NIC-2019
Clasificación AASTHTO	Grupo A-1 y A-2
Índice de Grupo	Menor de 1
CBR AASHTO T- 180	30% mín.
Limite Liquido AASHTO T-89	30 máx.
Índice de Plasticidad AASHTO T-90	15 máx.
Desgaste de los Ángeles	50% máx.
Intemperismo Acelerado	Menor de 12%

Fuente: Especificaciones NIC – 2019. Sección 1003.21.4. P 128.

Una vez definidas las especificaciones para el requerimiento mínimo de bases estabilizadas con cemento se procede a hacer su debida comparación la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 36. Evaluación de los requerimientos para bases estabilizadas con cemento.

BANCOS DE PRESTAMOS	CONDICIÓN DEL MATERIAL	NORMATIVA	RESULTADOS
El paraíso I	A-1-b (0)	Pertener al grupo A-1 o A-2 Índice de grupo ≤ 1	cumple
El paraíso II	A-2-4 (0)		No cumple
El paraíso IV	A-1-b (0)		cumple
Cofradía	A-1-b (0)		cumple
	CBR AL 95% PM	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
El paraíso I	39%	CBR al 95% Próctor Modificado mínimo 30%	Cumple
El paraíso II	30%		Cumple
El paraíso IV	32%		Cumple
Cofradía	55%		cumple
	LIMITE LIQUIDO	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
El paraíso I	22%	Limite Liquido AASHTO T-89 30 máx.	Cumple
El paraíso II	NP		Cumple
El paraíso IV	NP		Cumple
Cofradía	24%		cumple
	INDICE DE PLASTICIDAD	NORMATIVA NIC-2019	RESULTADOS
El paraíso I	3%	Índice de plasticidad AASHTO T-90 15 máx.	Cumple
El paraíso II	NP		Cumple
El paraíso IV	NP		Cumple
Cofradía	6%		cumple
NOMBRES	DESGASTE LOS ÁNGELES	NORMATIVA NIC-2019	CONDICIÓN
El paraíso I	NP	Desgaste los Ángeles Menor a 50%	Cumple
El paraíso II	NP		Cumple
El paraíso IV	NP		Cumple
Cofradía	NP		cumple
	INTEMPERISMO ACELERADO	NORMATIVA NIC-2019	CONDICIÓN
El paraíso I	NP	Intemperismo Acelerado Menor a 12%	Cumple
El paraíso II	NP		Cumple
El paraíso IV	NP		Cumple
Cofradía			cumple

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se obtiene que de los cuatro bancos de préstamos evaluados solo el banco de préstamo N°2 (El Paraíso II) no cumple con el ítem de la clasificación de suelos, por lo tanto, el resto son óptimos para una estabilización de suelos con cemento portland.

Con el fin de mejorar las condiciones de los materiales de bancos y poder hacer uso de ellos, se realizaron combinaciones con cemento en proporciones del 5% y 6%, con los siguientes resultados.

Tabla 37. Resultados de los materiales de bancos estabilizados con cemento.

Banco N°	Porcentaje de Cemento (Resistencia en Kg/cm ²)	
	5%	6%
El paraíso I	10.55	19.73
El paraíso II	14.93	21.53
El paraíso IV	16.94	25.95
Cofradía	21.82	25.55

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

Tabla 38. Resultados de los materiales de bancos estabilizados con cemento.

Banco N°	Porcentaje de Cemento (Resistencia en lb/pl ²)	
	5%	6%
El paraíso I	149.74	280.04
El paraíso II	211.91	305.59
El paraíso IV	240.44	368.32
Cofradía	309.7	362.64

Fuente: Alcaldía municipal de Nindirí.

Según las Especificaciones de la NIC – 2019 después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia última a la compresión, mínima de 2,100 KN/m², que equivale a 21 Kg/cm² o más bien 270 psi medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180) y el material tratado deberá tener un índice de plasticidad menor de 6.

De acuerdo a los resultados, los banco N° 3 y N° 4 cumplen con la resistencia requerida de 21 kg/cm² siendo el banco N° 3 el de mayor resistencia con 25.95 Kg/cm² cuando se combinan con el 6% en peso del cemento, y representan una opción para poder utilizarlos en la conformación de la base de la estructura del tramo.

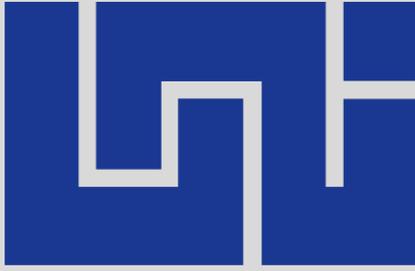
4.8. Resultados de evaluación de material para la base.

Se evaluó el banco de préstamo N°3 (El Paraíso IV), ya que posee la mayoría de sus requerimientos en regla, sin embargo, este no cumplió con la normativa mínima de un CBR de 80%, por lo cual ninguno de los cuatro bancos cumple para utilizarse como base granular. Se consideró estabilizar con cemento portland al 5% y al 6%.

Una vez definida esa sección tomamos en cuenta como base granular a dicho banco por su alta resistencia a la hora de estabilizar el suelo con cemento al 6% dando así una resistencia óptima de 25.95 Kg/cm² que cumple con las especificaciones técnicas de la NIC – 2019.

4.9. Resultados de evaluación de material para la sub – base.

Se evaluó el banco de préstamo N°4 (Cofradía) porque cumple con todos los requerimientos que se encuentran en las normativas de la NIC – 2019, dicho banco será utilizado naturalmente sin ninguna modificación física – mecánica a lo largo del diseño.



Capítulo V. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.



5.1. Metodología de diseño AASHTO 93.

La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica.

Para el método AASHTO la fórmula de diseño es.

$$\text{Log}W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log} \Delta PSI}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log} MR - 8.07 \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

W18: Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 KN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Zr: Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

So: Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI: Pérdida de Serviciabilidad.

MR: Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN: Número estructural.

5.2. Variables de diseño por considerarse en el método AASHTO 93.

5.2.1. Variables en función del tiempo.

- **Vida útil del pavimento.**

Es el tiempo transcurrido entre su construcción y el momento en que alcanza su mínima utilidad.

El período de diseño no debe confundirse con la vida útil del pavimento. La vida útil del pavimento puede extenderse indefinidamente mediante la colocación de carpetas reforzadas y otras contramedidas, o puede ser mucho más corta de lo

anticipado durante la fase de diseño debido a fallas prematuras o subdiseño del pavimento.

5.2.2. Variables en función del tránsito.

- **Factores equivalentes de carga (FEi).**

Una carga estándar para el diseño de pavimentos flexibles de carreteras y calles es el eje de 8.2 ton. (18000 libras).

Para pavimentos flexibles, existen distintos factores equivalentes (FEi) para diferentes tipos de cargas por ejes y diferentes índices de serviciabilidad, en este caso se cuenta con un índice de serviciabilidad final de 2 ($P_t = 2$).

- **Peso por ejes simples equivalentes.**

Se refiere al desgaste que produce cada vehículo en el pavimento, este corresponde al número de ejes equivalentes también conocido como “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 toneladas (18000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de fallo $F = 1$.

El ESAL´S de diseño para el tramo en estudio es de **2,822,829** (Ver Tabla 20, Pág. 29).

- **Confiabilidad (R).**

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

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad R del 80%, que corresponde a un valor recomendado para el tipo de vía, como colectora rural.

Tabla 39. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.

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

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

Ya

seleccionado el valor de confiabilidad (R = de 80%), se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la confiabilidad, el valor escogido se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 40. Desviación normal estándar (Zr) en función de la confiabilidad R.

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

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

- **Desviación estándar (So).**

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

Tabla 41. Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio.

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

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

- **Serviciabilidad.**

Se define como la capacidad de brindar confort y seguridad al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se debe elegir una serviciabilidad inicial y final. La inicial (P_o), está en función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal (P_t), está en función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista.

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

Tabla 42. Serviciabilidad inicial y final.

	Serviciabilidad inicial (Po)	Serviciabilidad final (Pt)
Pavimento rígido	4.5	
Pavimento flexible	4.2	
Caminos principales		2.5
Caminos de tránsito menor		2

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

Para el presente diseño se usó $P_o = 4.2$ y $P_t = 2$, por lo tanto, el valor de la pérdida de serviciabilidad será:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

5.3. Características de los materiales que conforman el pavimento.

5.3.1. Módulo de resiliencia (MR).

El CBR de diseño de este tramo es de 15.25%. Este se obtuvo con un percentil de 87.5%. (Ver Gráfico 3, Pág. 45).

La guía de diseño para estructuras de pavimento AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el módulo de resiliencia para la subrasante.

Tabla 43. Correlación entre el CBR y el módulo de resiliencia para la sub – rasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	MR= 1500 * CBR
CBR > 10%	MR= 4326 * Ln (CBR) + 241

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

Se utiliza la segunda ecuación ya que el CBR de la subrasante es de 15.25%.

$$MR = 4326 * \ln(15.25\%) + 241$$

Ecuación 15.

MR= 12028 PSI

5.3.2. Coeficiente de drenaje (mi).

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

Tabla 44. Capacidad del drenaje para remover la humedad.

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

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

Tabla 45. Niveles de humedad cercanos a la saturación.

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	<1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

5.3.3. Coeficientes estructurales de capa (ai).

El uso de las diversas capas del pavimento requiere del empleo de un coeficiente de capa, para convertir su espesor en un número estructural (SN), que es el indicativo del espesor total requerido de pavimento.

Mediante el uso de las figuras de la guía AASHTO, se determina el coeficiente estructural de cada capa del pavimento, según el método de diseño.

Se presentan 3 categorías de estos coeficientes de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada; carpeta de rodamiento (a1), base (a2) y sub – base(a3).

- **Carpeta de rodamiento (a1).**

El coeficiente de esta, se obtiene mediante la estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica, conociendo que el volumen de tráfico que transita en el tramo en estudio corresponde en mayor porcentaje a vehículos livianos seguido de vehículos pesados definiéndolo como un tráfico medio, se consideró una estabilidad de mezcla de 1300 lb /cm², y así haciendo uso de nomogramas se obtuvo un coeficiente estructural de capa a1 = 0.35, con un módulo resiliente (MR1) de 270000 psi. (Ver Anexos, Tabla 97, Gráfico 5 – 6, Pág. XLVIII – XLIX).

- **Base granular estabilizada con cemento (a2).**

Los requisitos de calidad deben ser superiores a los de la subbase. El material estará representado por un coeficiente (a2) que permite convertir una medida de

la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Se usa el nomograma de la guía AASHTO tomando como valor de entrada la resistencia a la compresión del banco El Paraíso 4 de 368.32 lb/pulg² utilizando 6% de cemento, horizontalmente se traza una línea hasta interceptar la línea vertical izquierda y derecha, obteniendo un valor de coeficiente estructural $a_2 = 0.142$ y un módulo de resiliencia (MR2) de 58000 psi. (Ver Anexos, Gráfico 7, Pág. L).

- **Sub – base granular no tratada (a_3).**

El valor del coeficiente estructural de capa de sub – base granular no tratada (a_3) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO. Tomando como parámetro de entrada el valor del CBR de la sub – base del Banco No. 4 (Cofradía), de 55%, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical izquierda y derecha con el valor de $a_3 = 0.127$ y un módulo resiliente (MR3) de 17500 lb/pulg². (Ver Anexos, Gráfico 8, Pág. LI).

5.3.4. Números estructurales (SN).

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

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

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * d_3 \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y sub – base respectivamente.

m2, m3: Coeficientes de drenaje para base y sub – base.

D1, D2, D3: Espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y sub – base.

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

Para conocer los valores correspondientes a los números estructurales (SN1, SN2, SN3) se utiliza el módulo resiliente de la capa inmediatamente por debajo, es decir para conocer el número estructural SN1, es necesario utilizar el módulo resiliente de la capa base en este caso tiene un valor de 580000 psi. Al utilizar los módulos resilientes de las capas inmediatas se garantiza proteger las capas de la estructura de pavimento.

El valor del número estructural de capa de granular se determina con el uso del nomograma de la guía AASTHO. Tomando como parámetro de entrada los valores anteriormente escogidos como lo son la Confiabilidad (R=80%), Desviación Entandar (So=0.45), el ESAL´S de Diseño de **2,822,829**, Módulos de Resiliencia de Cada Capa (M_{BG} = 58000 psi, M_{SBG} = 17500 PSI, M_{SR} = 12028 psi) y la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI = 2.2).

El cálculo del número estructural SN1, se obtuvo a partir de iteraciones con la ecuación No. 14 con el software Microsoft Excel, utilizando los valores anteriormente mencionados y con el valor MR de la base, el cual resulta de SN1= 1.72 para proteger la base.

Para el cálculo de SN2 y SN3 (SNrequerido), se utilizó el ábaco establecido por la guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un SN2 de 2.8 para proteger la sub – base y un SN3 de 2.99 para proteger la sub – rasante. (Ver Anexos, Gráfico 9, Pág. LII).

5.4. Cálculo de los espesores del pavimento.

- **Espesor del pavimento flexible (D1):**

$$SN1 = a1 * D1 \qquad \text{Ecuación 17.}$$

Se conoce el coeficiente a1 = 0.35 y SN1 = 1.72, se despeja D1.

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

Ecuación 18.

$$D1 = 1.72/0.35$$

$$D1 = 4.91 \text{ pulg} \approx \text{Usar 5 pulgadas.}$$

Se corrige el SN1 utilizando el valor D1 calculado:

$$SN1 = a1 * D1$$

$$SN1 = 0.35 * 5$$

$$\text{SN1} = 1.75$$

El espesor de 5 pulgadas cumple con el espesor mínimo (Ver Tabla 46, pág. 67) teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN1, entonces el valor del espesor la base se obtiene de la siguiente manera.

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

Ecuación 19.

$$D2 = \frac{2.8 - 1.75}{0.142 * 1}$$

$$D2 = 7.39 \text{ pulg} \approx \text{Usar 10 pulgadas.}$$

Se corrige el número estructural SN2:

$$SN2 = a2 * D2 * m2$$

Ecuación 20.

$$SN2 = 0.142 * 10 * 1$$

$$SN2 = 1.42$$

El espesor de 10 pulgadas cumple con el espesor mínimo (Ver Tabla 46, pág. 67).

El valor del espesor de la sub – base se calcula de la siguiente manera.

$$D3 = \frac{SN3 - (SN2 + SN1)}{a3 * m3}$$

Ecuación 21.

$$D3 = \frac{2.99 - (1.42 + 1.75)}{0.127 * 1}$$

D3 = -1.41 pulg ≈ **No se usará sub – base.**

Comprobación:

$$SN1 + SN2 + SN3 \geq SN_{requerido}$$

Ecuación 22.

$$1.75 + 1.42 + 0 \geq SN_{requerido}$$

$$3.17 \geq 3.08 \text{ “CUMPLE”}$$

Tabla 46. Espesores mínimos sugeridos por capa.

Número de ESAL´S	Espesor mínimo (Pulg)	
	Concreto asfáltico	Base Granular
Menos de 50000	1	4
50,000 – 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 – 2,000,000	3	6
2,000,000 – 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimento, AASHTO 93.

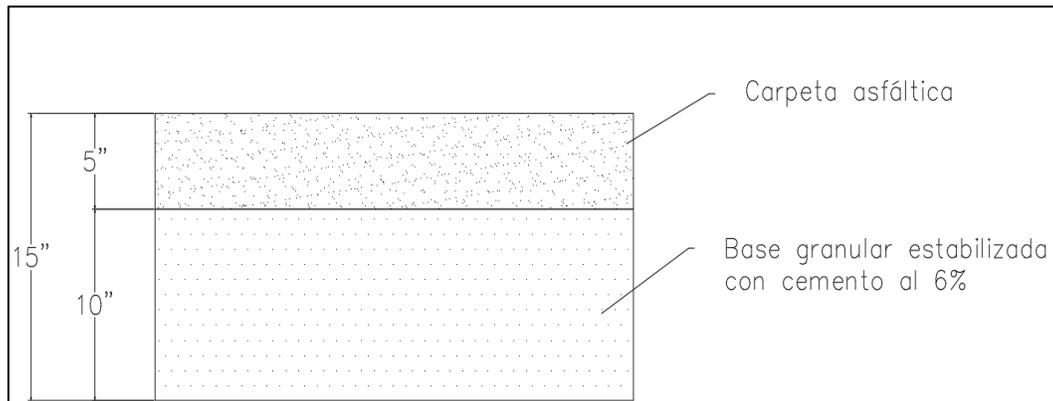
5.4.1. Espesores finales de diseño.

Según el análisis y resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento será de 5 pulgadas de asfalto y la base granular será de 10 pulgadas, la estructura total es de 15 pulgadas equivalentes a 38.1 centímetros.

Tabla 47. Espesores de diseño.

Capa	Condición	Espesor	
		Pulgadas	Centímetros
Carpeta de rodamiento (Asfalto)	Módulo elástico 270000 PSI	5	12.7
Base (El paraíso IV)	Estabilizada al 6%	10	25.4
Espesor total		15	38.1

Fuente: Elaboración propia.



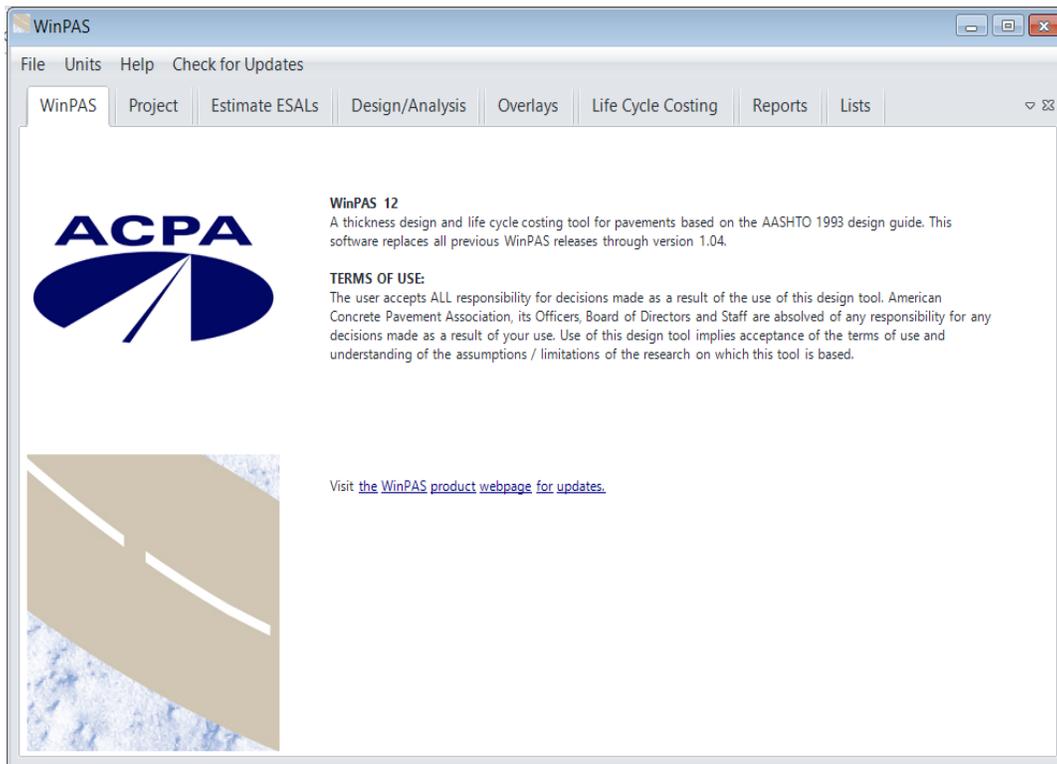
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3. Estructura final del pavimento flexible.

5.5. Diseño de pavimento usando el programa WinPas 12.

Para comprobar los resultados obtenidos de las distintas capas del pavimento con el software Microsoft Excel se usó el programa WinPas 12. El cual es una herramienta que ayuda a obtener los resultados de manera más rápida.

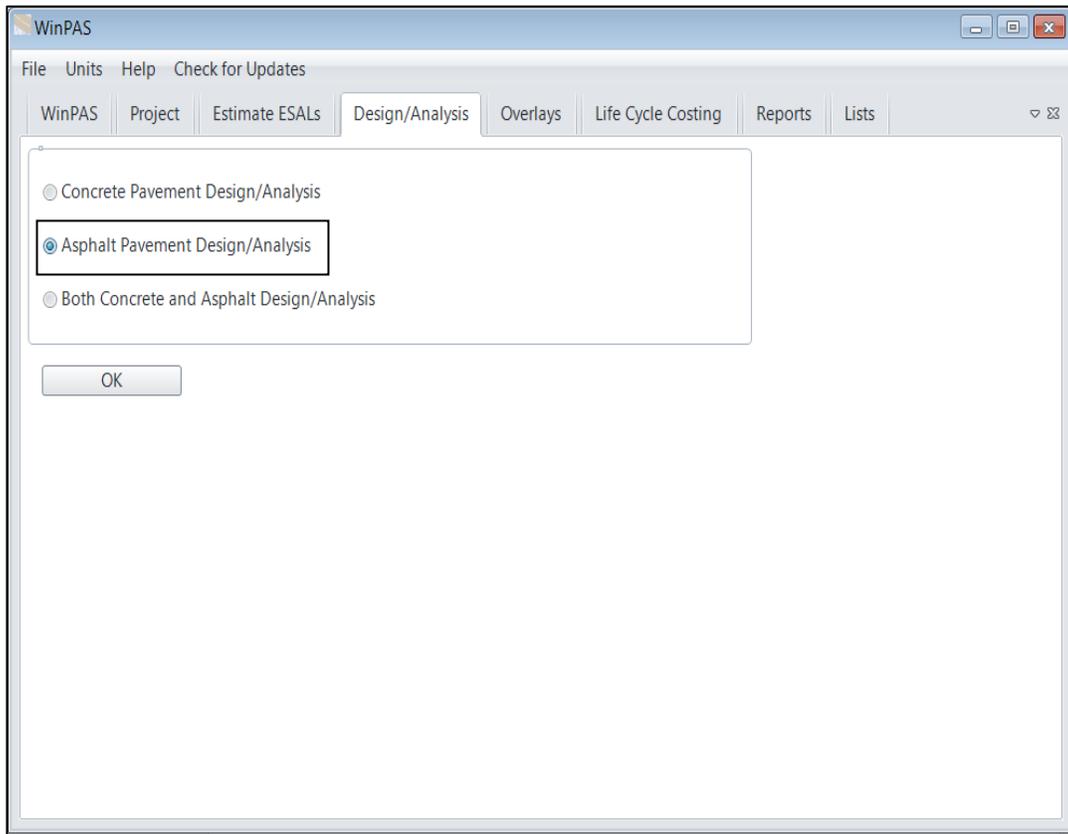
Imagen 4. Software WinPas 12.



Fuente: Software WinPas12.

Primero se selecciona la pestaña "Design/Analysis", donde nos muestra tres opciones de diseño, se elige la segunda opción "Asphalt Pavement Design/Analysis".

Imagen 5. Selección del tipo de pavimento a diseñar.



Se

Fuente: Software WinPas12.

abrirá una ventana donde se introducen los datos para el diseño.

Tabla 48. Datos para calcular los espesores en el software WinPas12.

Consideraciones del Diseño AASHTO 93	Valores
ESAL ´S de diseño	2,822,829
Confiabilidad	80%
Desviación normal estándar (Zr)	-0.841
Desviación Estándar (So)	0.45
Módulo de Resiliencia de Subrasante	12028
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2
ΔPSI	2.2

Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos todos los datos se le da click en la opción “Solve For” y el programa calcula el Número Estructural requerido.

Imagen 6. Introducción de datos en WinPas12 y número estructural requerido.

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs	
Asphalt Structural Number	3.08
Calculate Asphalt Structural Number	
Total Flexible ESALS	2,822,829
Reliability	80.00 %
Overall Standard Deviation	0.45
Subgrade Resilient Modulus	12,028.0 psi
Initial Serviceability	4.20
Terminal Serviceability	2.00

Asphalt Pavement Design/Analysis	
Asphalt Structural Number: 3.08	Solve For

Fuente: Software WinPas12.

Según el software WinPas 12 se requiere de un Número Estructural requerido de 3.08.

Posteriormente se propone la estructura del pavimento, haciendo click en la opción "Asphalt Pavement Design/Analysis".

Imagen 7. "Asphalt pavement design/analysis".

Asphalt Design Inputs

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs

Asphalt Structural Number 3.08

Calculate Asphalt Structural Number

Total Flexible ESALs 2,822,829

Reliability 80.00 %

Overall Standard Deviation 0.45

Subgrade Resilient Modulus 12,028.0 psi

Initial Serviceability 4.20

Terminal Serviceability 2.00

Save and Close

Help

Asphalt Pavement Design/Analysis

Asphalt Structural Number: 3.08 Solve For

Fuente: Software WinPas12.

Se introducen los coeficientes estructurales de capa (a_1 , a_2 , a_3), el coeficiente de drenaje (m_1 , m_2 , m_3), y los espesores (D_1 , D_2 , D_3). Al proponer los espesores calculados anteriormente con el software Microsoft Excel, estos cumplen, ya que, la suma de los Números Estructurales ($\sum SN = 3.17$) es mayor al Número Estructural requerido ($SN_{req} = 3.08$).

Imagen 8. Introducción de layers de diseño.

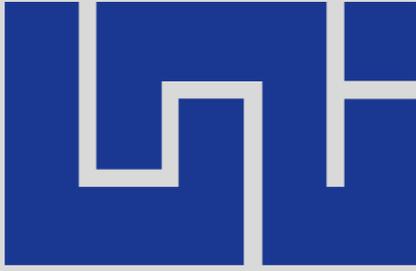
Calculate Asphalt Structural Number

Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness	Layer Struct No, S _{Ni}	Additional Thickness
Asphalt Cement Concrete	0.35	1	5	1.75	-0.26
▶ Graded Stone Base	0.142	1	10	1.42	-0.63
	0	0.4	0	0	-0.63
	0	0	0	0	-0.63
	0	0	0	0	-0.63
	0	0	0	0	-0.63

Sum of SN 3.17 OK
 SN 3.08

Save and Close Help

Fuente: Software WinPas12.



Capítulo VI. DISEÑO GEOMÉTRICO.



6.1. Metodología.

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

- Elaboración, propuesta y establecimiento de las Normas de Diseño del Proyecto.
- Planos Topográficos de la trayectoria del tramo de camino, conteniendo la información base proveniente de campo, específicamente del levantamiento topográfico.

6.2. Establecimiento y definición de los parámetros geométricos.

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

6.2.1. Localización del proyecto.

La trayectoria de la ruta del proyecto se encuentra enmarcada en el territorio de la zona geográfica 16N en que se ubica el departamento de Masaya y corresponde a la ruta actual que funciona como vía terrestre para comunicar al poblado de Cofradía y zonas poblacionales en su entorno con el poblado de El Portillo. El inicio del tramo (Est. 0+000), se localiza a 9.7 kilómetros del municipio de Nindirí.

6.2.2. Clasificación funcional.

El camino en estudio tal a como se encuentra actualmente tiene una clasificación como Arterial Menor Urbana (AMU), dentro de la clasificación funcional del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). De igual manera el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA 2011), pertenece a la NN – 154. (Ver Tabla 7, Pág. 15).

- **Estructura de pavimento y suelos.**

En términos generales, la carretera actual Cofradía – El Portillo carece de pavimentación, y toda la superficie de rodadura existente está compuesta por material selecto. Debido a la falta de drenaje longitudinal en varios tramos, la carretera presenta pérdida de material y baches. Además, el ancho de la carretera en promedio es de 5.50 metros.

- **Drenaje.**

En general, la carretera debería de contar con un sistema de drenaje que se compone principalmente de dos elementos. El primero es el drenaje transversal, que está formado por el drenaje menor y mayor. Los cruces de drenaje menor corresponden a las alcantarillas y los de drenaje mayor a los puentes. En el tramo en estudio no se cuenta con estos. El segundo elemento es el drenaje longitudinal, que lo conforman las cunetas laterales. Sin embargo, debido a la falta de mantenimiento adecuado, estas cunetas desaparecieron. La causa principal de su desaparición es el arrastre de sedimentos por las aguas de lluvia, que se depositan en la cuneta y disminuyen su sección hidráulica, provocando su obstrucción.

- **Alcantarillas.**

En la trayectoria de este tramo de camino, no se cuenta con la existencia de sistema de drenaje menor.

- **Vados.**

No existen estructuras de drenaje del tipo Vados secos clasificados como sistema de drenaje mayor.

- **Drenaje mayor.**

No se cuenta con la existencia de una estructura de drenaje del tipo puentes que en su mayoría corresponden a estructuras de dos vías de circulación vehicular.

- **Cunetas.**

En este tramo es notoria la carencia de cunetas laterales de forma longitudinal para el drenaje.

- **Pendiente transversal o bombeo.**

Durante los procesos constructivos de mantenimiento que se brindan a este tramo, la superficie que constituye el revestimiento del material granular, que normalmente provienen del banco de préstamo de la zona más cercana del tramo, donde se intenta la formación de una pendiente transversal o Bombeo, lo cual se debe alcanzar un 3 % según lo establecido, siendo el mínimo de un 2% que con el paso del tiempo y circulación vehicular se van produciendo deformaciones.

En el tramo de estudio se puede observar a lo largo del tramo la existencia de baches que se van extendiendo en toda la superficie, normalmente esto se debe por la ausencia de cunetas, produciendo que las aguas se distribuyan de forma laminar en la superficie de rodamiento a lo largo del tramo.

- **Sobreelevación o peralte.**

En general en los caminos a base de revestimientos que se colocan con material granular proveniente de bancos de préstamos, en el caso de curvas horizontales, que casi siempre corresponden a peraltes, lo que hacen que la corona que corresponde a elevar a manera de inversión de la pendiente transversal de la banda contraria al sentido de la curva, creando así la forma de sobreelevación o peralte de dicha curva.

En el tramo en estudio, se observó que en cada curva horizontal se presenta la misma situación, por lo que el carril izquierdo es el más circulado en las curvas horizontales, incidiendo esto de manera considerable en la deformación y desgaste de la superficie de rodamiento de manera irregular.

- **Taludes.**

Los taludes que forman las secciones transversales del tramo se representan de manera variable en dos estados o situaciones en los que las secciones transversales de la vía son visibles; estas situaciones a los siguientes casos:

- Situación de corte o terraplén.
- Situación de corte o relleno.

- **Hombros o acotamientos.**

El ancho del terraplén de la vía en la mayoría de la ruta de esta sección varía de manera irregular, lo que dificulta la definición precisa de la franja de rodamiento y la franja del hombro.

- **Volumen de tránsito actual y esperado.**

El volumen de tránsito registrado actualmente es bajo, obteniéndose un TPDA de 4849 vehículos/día, en el año horizonte (2037), el número total de vehículos que circulen a lo largo del período de diseño será de 2,187,087 vehículos durante 15 años.

- **Vehículo de diseño.**

En la parte correspondiente al estudio de tránsito, hemos puesto los tipos de vehículos que hacen mayor presencia en la vía y en todo caso apartando los vehículos livianos como el automóvil, camioneta, motos, jeep, el camión C2 es el que cuenta con mayor porcentaje de presencia en los pesados de carga según los resultados obtenidos en el estudio de tránsito realizado.

De lo anteriormente expuesto es importante no perder de vista ciertos elementos que corresponden a la longitud del tramo en estudio (2.5 Kilómetros), lo cual se decidió tomar como vehículo de diseño el camión tipo **WB – 15** de la AASHTO, que en nuestro país se le conoce como el camión cabezal del tipo **T3 – S2**.

Por lo tanto, aplicando los criterios para establecer como vehículo de prototipo, el que corresponde al transporte pesado, correspondiendo al transporte pesado, garantizando las dimensiones de los vehículos livianos y livianos de carga, en el

vehículo seleccionado en el marco de este criterio, el camión del tipo T3 – S2 equivalente al WB – 15 de la AASHTO, de acuerdo al estudio de tránsito tiene un porcentaje menor al C2.

Una vez realizado el diseño en que se contará con un trazado con la geometría adecuada para que dicho tipo de camión (WB – 15), realice las maniobras y operaciones vehiculares en el marco de la seguridad vial de la carretera, es por eso por lo que lo recomendado es diseñar la vía como vehículo de proyecto el Tipo **T3-S2**. (Ver anexos, Imagen 13, Pág. LIV).

En el diseño de los sobre anchos y radios de giros mínimos serán calculados utilizando como vehículo de diseño el **WB – 15**, a continuación, se muestra un esquema con las dimensiones típicas del vehículo de diseño.

Tabla 49. Dimensiones del vehículo de diseño.

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

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

6.3. Justificación de criterios adoptados.

Teniendo en cuenta el terreno accidentado de la carretera, algunas zonas del tramo se encuentran planas y que las restricciones topográficas y uso de suelo, no permiten proyectar una vía con los siguientes criterios de diseño.

6.3.1. Velocidad de diseño (Vd).

Para el tramo Cofradía – El Portillo, y a partir de los resultados obtenidos del estudio de tránsito para este tramo en estudio, hemos considerado establecer una velocidad de proyecto que se ajuste en todo lo posible a las necesidades, características y condiciones existentes en el camino del tramo, permitiendo mejorar la velocidad que se recorre actualmente, como considerablemente la

infraestructura existente, así como la transitabilidad y la confortabilidad de los usuarios del camino de toda el área del tramo.

Según la normativa SIECA (2011), para las carreteras colectoras rurales, el rango de velocidades debe ser de 30 – 80 kilómetros/hora.

Para el proyecto se ha seleccionado 40 kilómetros/hora (Vd), porque transitan bastantes vehículos de carga pesada (T3S2, T3S3, etc) que cargan y distribuyen materiales de construcción de las empresas cercanas al tramo, por las condiciones del tipo de terreno que permiten desarrollar esta velocidad sin que el proyecto sea muy costoso, proyectando una velocidad de ruedo 40 kilómetros/hora (VR).

Tabla 50. Velocidad de diseño y de ruedo.

VELOCIDAD DE DISEÑO KPH	VELOCIDAD DE RUEDO KPH
20	20
30	30
40	40
50	47
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98

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

6.3.2. Superficie de rodamiento.

Se prevé utilizar una estructura de pavimento flexible para la superficie de rodamiento, siguiendo las pautas establecidas en la sección 401.3 de las especificaciones NIC – 2019. Este pavimento flexible estará compuesto por una capa o carpeta de agregados pétreo y material asfáltico caliente, que se mezclará en una planta central y se extenderá y compactará sobre una superficie preparada de acuerdo con las especificaciones correspondientes. Todo esto se realizará en conformidad con los alineamientos, pendientes, espesores y secciones transversales indicados en los planos del proyecto.

6.3.3. Número de carriles.

De acuerdo a la clasificación funcional y el flujo de tráfico estimado para el proyecto, se determinó que el número de carriles será de dos. De acuerdo con la normativa SIECA del 2011, una vía arterial menor urbana (AMU) con un rango de tráfico de diseño de 3000 a 10000 vehículos por día también requiere dos carriles.

6.3.4. Ancho de carril de rodamiento.

De acuerdo con las normas establecidas por la SIECA, el ancho mínimo recomendado para carriles en carreteras rurales es de 3 metros. En este caso, se considera más apropiado utilizar un ancho de 3.30 metros para el tramo en cuestión, ya que es consistente con un presupuesto razonable y garantiza la seguridad y comodidad del usuario.

6.3.5. Ancho de hombros.

El Manual de la SIECA recomienda que el ancho de los hombros de las Colectoras Rurales debe estar entre 1.20 y 1.80 metros. Para el presente proyecto, se ha decidido fijar un ancho mínimo de hombro de 1.20 metros, no se contará con aceras ya que no se prevé la circulación de peatones.

Tabla 51. Anchos mínimos de hombros y aceras.

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

Fuente: Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2011, P. 142.

6.3.6. Ancho de corona.

En base a lo recomendado por el manual de la SIECA edición 2011, tanto para las zonas urbanas y rurales identificados a lo largo del tramo la distribución de los 9 metros de corona será la siguiente, 2.40 metros de hombros, 1.20 metros a cada lado, más 2 carriles de 3.30 metros, para un total de 6.60 metros de ancho de rodamiento.

6.3.7. Pendiente transversal.

Se está proponiendo utilizar una pendiente transversal del 2.00% en la sección transversal típica para las rectas de la vía.

Esta pendiente es adecuada para el drenaje, ya que permite que el flujo de agua alcance una velocidad suficiente sin provocar la erosión del suelo natural. Es importante tener en cuenta que la superficie de rodado de la vía será pavimentada con concreto asfáltico.

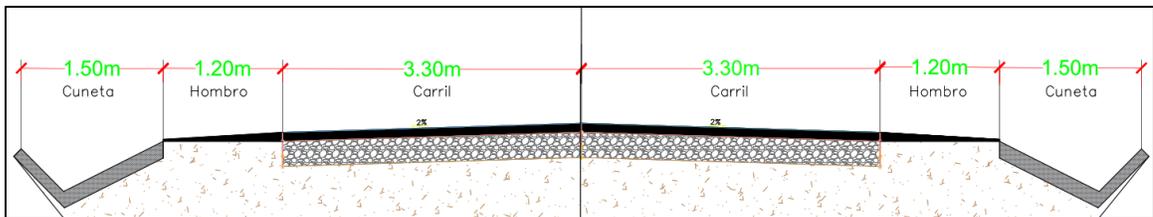
6.3.8. Pendiente transversal en la franja de hombro.

Se ha considerado que la pendiente transversal del pavimento proyectada para la carretera se extienda hasta el hombro. Se han establecido diferentes valores de pendiente dependiendo de la situación, en rectas se ha fijado un valor del 2%, mientras que en curvas la pendiente será la correspondiente al peralte.

6.3.9. Sección típica propuesta.

Se propuso una sección típica a lo largo del tramo que contará con cunetas de concreto (Tipo V).

Imagen 9. Sección típica propuesta.



Fuente: Civil 3D 2020.

6.3.10. Distancia de visibilidad.

La distancia de visibilidad hace referencia a la extensión de la vía que el conductor puede observar de forma clara. Esta puede dividirse en dos categorías: la visibilidad necesaria para realizar ciertas maniobras con seguridad y la visibilidad disponible. En el diseño del proyecto en cuestión se han considerado dos distancias de visibilidad: la de parada y la de adelantamiento.

Distancia de visibilidad de parada: Es la distancia necesaria forzada por el conductor para detener su vehículo en movimiento, en caso de que se presente una situación de peligro o se observe un objeto inesperado en su camino, se conoce como la distancia de visibilidad de parada. Su primer componente, d_1 , se determina mediante una ecuación matemática que involucra la velocidad del vehículo y el tiempo necesario para que el conductor detecte y reaccione a la situación.

Tabla 52. Distancia de visibilidad de parada en función de la velocidad.

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

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

Se ha determinado que la Distancia de Visibilidad de Parada (DVP) para el proyecto en cuestión es de **50** metros, según la tabla 52.

Distancia de visibilidad de adelantamiento: La distancia de visibilidad para adelantar o rebasar un vehículo en una carretera de dos carriles en ambos sentidos de circulación se refiere a la longitud necesaria de la carretera para que un vehículo pueda pasar a otro que viaja más lento en el mismo carril sin peligro de colisionar con los vehículos que vienen en dirección contraria en la vía. Para lograr una maniobra segura de rebase, se deben considerar los siguientes aspectos:

Tabla 53. Distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles.

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

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

La Distancia de Visibilidad de Adelantamiento es de **270** metros, según la tabla 53.

6.4. Alineamiento horizontal de la carretera.

6.4.1. Pendiente transversal (bombeo).

Considerando las especificaciones y recomendaciones del Manual Centroamericano de Normas, el proyecto será desarrollado tomando en cuenta dichas indicaciones.

- Para garantizar una adecuada evacuación de las aguas superficiales en las carreteras de la clasificación funcional mencionada, se recomienda el uso de una pendiente transversal de entre 1.5% y 3.0%. En particular, se sugiere utilizar una pendiente del 2.00% para el bombeo, con el fin de asegurar una evacuación eficiente del agua de la calzada.

6.4.2. Coeficiente de fricción lateral (f).

La siguiente tabla muestra los valores geométricos para los coeficientes de fricción lateral que, en función de las velocidades de diseño y sobreelevación máxima, generan los correspondientes radios mínimos de curvatura. Para una velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora en el proyecto en cuestión, el coeficiente de fricción lateral es de 0.23.

Tabla 54. 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.

6.4.3. Sobreelevación máxima.

El peralte máximo permitido para la carretera en cuestión es del 6.0%, lo cual se considera apropiado para la construcción, operación y mantenimiento del tipo de camino. Además, se ha establecido que la corona debe estar hacia el centro de la curva para contrarrestar la fuerza centrífuga de los vehículos que circulan en las curvas horizontales.

Tabla 55. Sobreelevación o peralte según el tipo de área.

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

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

6.4.4. Radios mínimos y sus correspondientes grados máximos de curva.

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

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e + f)} \quad \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

Rmin = Radio mínimo de curva, en metros

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

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.

Los valores recomendados de Radios Mínimos, el factor de fricción (f=0.23) y la tasa de sobreelevación o peralte (e = 6.0%) en base a la Velocidad de Diseño (Vd = 40 km/h), se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 56. Radios mínimos para distintas velocidades de diseño (Peralte = 6%).

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima (f)	Peralte Máximo 6 %		
		Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado	
30	0.28	20.8	21	54°34´
40	0.23	43.4	43	26°39´
50	0.19	78.7	79	14°30´
60	0.17	123.2	123	09°19´
70	0.15	183.7	184	06°14´
80	0.14	252	252	04°33´

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

Entonces sustituyendo en la ecuación de radios mínimos.

$$R_{min} = \frac{40^2}{127 (0.06 + 0.23)}$$

R_{min}= 43.44 metros.

Se trabajará con el radio mínimo recomendado de 43 metros.

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

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

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \text{ (Grados decimales).} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde

R = Radio mínimo de curva en metros.

Conociendo el Radio mínimo (R_{min} = 43 metros), se obtiene de igual forma el valor del Grado de Curvatura (G_c), debido a la relación mancomunada que existe entre ambos parámetros, lo cual se realiza a través de la ecuación anterior.

$$G_c = \frac{1145.92}{43}$$

$$G_c = 26.649 \approx 26^\circ 38' 57.49''$$

6.4.5. Peralte (e_d).

Al transitar por las curvas horizontales, los vehículos enfrentan una fuerza centrífuga que los empuja hacia el exterior de la carretera, lo que puede resultar peligroso. Para solucionar este problema, se ha diseñado una inclinación adecuada en la carretera, de manera que la fuerza paralela al peso del vehículo pueda contrarrestar la fuerza centrífuga. Como resultado, las secciones transversales en las curvas difieren de la sección típica que se utiliza para un nivel de carretera normal.

El peralte se obtuvo usando la tabla de la SIECA 2011. (Ver Anexos, Tabla 98 – 99, Imagen 12, Pág. LIII – LV).

6.4.6. Longitud de transición.

La longitud de transición (LT) de una carretera está relacionada con la velocidad de diseño (V_d) y el ancho de la corona de la carretera, ya que se requiere que la transición desde la sección recta a la sección curva sea suave y gradual para evitar cambios abruptos que puedan afectar la estabilidad del vehículo.

Para determinar la longitud de transición y la transición del bombeo se utilizaron las siguientes ecuaciones. (Ver Anexos, Tabla 100, Pág. LVI – LVII).

Longitud de transición.

$$LT : m * a * e$$

Ecuación 25.

Donde:

LT = Longitud de Transición, m.

a = Semiancho de calzada en tangente, m.

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

m = Pendiente Relativa.

Transición del bombeo (N).

$$N = \frac{LT * b}{e_d}$$

Ecuación 26.

Donde:

LT: Longitud de transición.

b: Bombeo.

ed: Peralte de diseño.

6.4.7. Pendiente relativa.

Se utilizó la tabla adjunta en el manual de Especificaciones Técnicas de la AASHTO para determinar el valor de la pendiente relativa (mr) que se utilizará en la determinación de las Longitudes de Transición (LT) y la longitud para revertir corona (N) para el proyecto. La velocidad de diseño establecida para el proyecto permitió determinar un valor de pendiente relativa de 0.70% (1:143) utilizando dicha tabla.

Tabla 57. Valores de pendiente relativa.

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

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

6.4.8. Sobreanchos en curvas.

Los sobre anchos en las curvas horizontales serán establecidos de acuerdo a las normas de la SIECA, tomando en cuenta que los conductores tienen dificultades para mantener los vehículos en el centro del carril mientras transitan en una curva, debido a que necesitan más espacio que cuando se desplazan en línea recta.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreebanco en las curvas horizontales es la siguiente. (Ver Anexos, Pág. LVI).

$$Sa = n * \left[R - \left(\sqrt{R^2 - L^2} \right) \right] + \frac{0.10 * V}{\sqrt{R}} \quad \text{Ecuación 27.}$$

Donde:

n = Número de carriles de la superficie de rodamiento.

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

R = Radio de curvatura, metros.

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

En anexos se presentan los datos utilizados para calcular los sobreebanco en el tramo.

Para una velocidad de 40 kilómetros/hora y utilizando como vehículo de diseño el WB15 (T3 – S2). El sobreebanco mínimo (S_{min}) necesario fue de 0.78 metros para un radio de 403.4 metros (Curva N°2), y el sobreebanco máximo (S_{máx}), calculado fue de 6.20 metros para un radio de 43 metros (Curva N°1 y N°12), se tomó el máximo recomendado de 1.80 metros.

Tabla 58. Datos generales de curvas horizontales.

No. De Curva	PC	PT	PI	Radio de curva	Radio mínimo	Criterio (Rcurva≥Rmin)	Longitud	Peralte	Longitud de transición	Transición del bombeo	Sa a usar
C1	0+009.275	0+023.371	0+016.387	43	43	CUMPLE	14.096m	6	28.31	9.44	1.80
C2	0+296.901	0+411.893	0+354.789	403.4	43	CUMPLE	114.992m	2.6	12.27	9.44	0.78
C3	0+506.593	0+565.125	0+536.328	134.7	43	CUMPLE	58.532m	4.6	21.71	9.44	1.80
C4	0+594.965	0+653.059	0+624.571	122.2	43	CUMPLE	58.094m	4.6	21.71	9.44	1.80
C5	0+743.017	0+782.043	0+762.556	310.9	43	CUMPLE	39.027m	3	14.16	9.44	0.98
C6	0+821.342	0+854.438	0+838.522	50	43	CUMPLE	33.096m	6	28.31	9.44	1.80
C7	0+927.298	0+966.481	0+947.184	93.1	43	CUMPLE	39.183m	5	23.60	9.44	1.80
C8	1+042.772	1+103.189	1+073.244	187.8	43	CUMPLE	60.416m	3.8	17.93	9.44	1.53
C9	1+107.322	1+123.738	1+115.605	50	43	CUMPLE	16.416m	6	28.31	9.44	1.80
C10	1+230.758	1+309.344	1+271.232	133.2	43	CUMPLE	78.586m	4.6	21.71	9.44	1.80
C11	1+386.850	1+505.475	1+451.697	118.2	43	CUMPLE	118.625m	4.6	21.71	9.44	1.80
C12	1+564.140	1+584.258	1+574.387	43	43	CUMPLE	20.118m	6	28.31	9.44	1.80
C13	1+671.866	1+734.200	1+704.036	102.3	43	CUMPLE	62.335m	4.8	22.65	9.44	1.80
C14	1+792.108	1+829.135	1+810.672	203.7	43	CUMPLE	37.027m	3.8	17.93	9.44	1.42
C15	1+859.970	1+884.360	1+872.413	50	43	CUMPLE	24.390m	6	28.31	9.44	1.80
C16	1+945.862	1+991.902	1+969.309	98.7	43	CUMPLE	46.040m	4.8	22.65	9.44	1.80
C17	2+058.116	2+114.365	2+086.838	112.8	43	CUMPLE	56.250m	4.6	21.71	9.44	1.80
C18	2+232.987	2+276.859	2+255.193	115	43	CUMPLE	43.872m	4.6	21.71	9.44	1.80
C19	2+362.041	2+387.610	2+375.073	53.6	43	CUMPLE	25.569m	6	28.31	9.44	1.80
C20	2+423.272	2+480.970	2+452.425	163.4	43	CUMPLE	57.699m	4	18.88	9.44	1.74

Fuente: AutoCAD civil 3D.

6.5. Alineamiento vertical.

6.5.1. Curvas verticales.

Con respecto a lo que son las curvas verticales, en el proyecto de la carretera Cofradía – El Portillo se tomaron normas de diseño de acuerdo a lo planteado en las SIECA 2004 y 2011, las cuales se utilizaron para llevar a cabo la revisión de los elementos de las curvas verticales de este tramo de carretera.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso de la tangente de inicio a la de la tangente de salida. Se deberá de tratar el empleo de una pendiente uniforme durante el cambio de una pendiente a otra. Si a la diferencia algebraica de las pendientes es menor de **0.5 %** no es necesario su empleo.

Existen dos tipos de curvas verticales:

En cresta o convexas: Se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño

En columpio o cóncavas: se diseñan conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

Cada una de estos tipos de curvas verticales cuentan con criterios de diseño establecidos en la SIECA 2011 que estaremos abarcando.

6.5.2. Condiciones de diseño de curvas verticales en cresta o convexas.

Según SIECA, en su sección 3.3.2, existen dos condiciones para diseñar este tipo de curvas: La primera considera que la longitud de la curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad de parada (S) y la segunda se presenta cuando S es menor que L.

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Ecuación 28.

Donde:

A = Diferencia algebraica de pendientes (%).

S = Distancia de visibilidad.

h1 = Altura del ojo del conductor.

h2 = Altura del objeto.

Cuando $S > L$

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{Ecuación 29.}$$

Tomando en cuenta los criterios de la Sieca 2011 concluimos que reemplazando en las fórmulas la altura del ojo del conductor $h_1 = 1.08$ metros y del objeto $h_2 = 0.60$ metros, la ecuación para diseño para la longitud mínima de la curva vertical es la siguiente.

Cuando $S < L$

$$L = \frac{AS^2}{658} \quad \text{Ecuación 30.}$$

Cuando $S > L$

$$L = 2S - \frac{658}{A} \quad \text{Ecuación 31.}$$

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad puede ser constante en una velocidad dada entonces L puede ser relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K, que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es.

$$L = K * A \quad \text{Ecuación 32.}$$

Tabla 59. Controles de diseño de curvas verticales en cresta (DVP).

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52	52
110	220	73.6	74
120	250	95	95

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, P. 125.

6.5.3. Condiciones de diseño de curvas verticales en columpio o cóncavas.

Según la SIECA, para el diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- El primero y a emplear en diseño, se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.
- La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

- **Criterio basado en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.**

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva.

Cuando la longitud de curva L es mayor que la distancia de visibilidad iluminada S.

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{Ecuación 33.}$$

Donde:

L = Longitud mínima de curva vertical en columpio, m.

S= Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehiculo, m.

A= Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

Cuando S es mayor que L, la fórmula utilizada es la siguiente.

$$L = 2S - \left(\frac{120 + 3.5S}{A} \right) \quad \text{Ecuación 34.}$$

- **Criterio basado en la comodidad.**

Tiene su fundamento en la suspensión de la carrocería de automóviles, el peso que mueve, la flexibilidad de las llantas, los tipos de asientos, entre otros. Se reconoce que la operación confortable de vehículos en curvas en columpio, se logra cuando la aceleración centrífuga alcanza 0.3m/seg², que, incorporado a la fórmula de diseño, resulta:

$$L \geq \frac{AV^2}{395} \quad \text{Ecuación 35.}$$

- **Criterio basado en el drenaje.**

Persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio (también utilizado para las de cresta cuando están alojadas en corte). Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno.

La fórmula empírica a utilizar será:

$$L \leq A * 43$$

Ecuación 36.

Se le da más consideraciones al valor del drenaje cuando el factor K es mayor a 51.

- **Criterio basado en consideraciones estéticas o apariencia.**

Cuando se trata de tomar en cuenta aspectos de estética o apariencia en estas curvas, existe la fórmula empírica:

$$L \geq A * 30$$

Ecuación 37.

A como se ha indicado en la descripción del primer criterio, la distancia de visibilidad de parada es la que controla la recomendación de longitudes mínimas para curvas en columpio, considerando valores menores y mayores de este parámetro. De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A.

Tabla 60. Control de diseño para curvas verticales en columpio.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, P. 127.

Tabla 61. Datos generales de curvas verticales.

No. Curva	Tipo	PIV	PCV	PTV	L	K diseño	A	K real	Seguridad (visibilidad)	
									S < L	
									S	Verificación
1	Columpio	0+106.84m	0 + 068.84	0 + 144.84	76	9	0.5	152	50	Cumple
2	Cresta	1+419.33m	1 + 344.33	1 + 494.33	150	4	0.6	250	50	Cumple
3	Columpio	1+979.98m	1 + 904.98	2 + 054.98	150	9	0.6	250	50	Cumple

Fuente: AutoCAD civil 3D.

6.6. Cálculos para curvas horizontales y verticales.

Tabla 62. Datos de la curva horizontal 1.

No. De Curva	Radio	Longitud	TANGENTE	Cuerda larga	Grado de curvatura
C1	43	14.096m	7.112m	14.033m	26°38'57.49"

Fuente: AutoCAD civil 3D.

- **Cálculo de radio mínimo y grado máximo de curvatura.**

El radio mínimo se calculó anteriormente (Ver ecuación 23, pág. 85) teniendo como resultado un radio de 43 metros. El valor del radio de la curva 1 es de 43 metros.

$$R_{min} \geq R_{curva} \text{ "Cumple la condición"}$$

El grado máximo de curvatura se calculó anteriormente (Ver ecuación 24, pág. 86) teniendo como resultado 26°38'57.49". El valor del grado de curvatura de la curva 1 es de 26°38'57.49".

$$G_{máx} \geq G_{curva}, \text{ "Cumple la condición"}$$

- **Cálculo del peralte.**

El radio de la curva es de 43 metros, el peralte se obtuvo usando la tabla de la SIECA 2011, dando como resultado un valor de 6%. Para las curvas de radios mayores el peralte se calculó mediante interpolación. (Ver anexo, Tabla 98 – Imagen 12, Pág. LV – LVI).

Tabla 63. Valor de peraltes según velocidad de diseño (40 km/h) y radio de curva, $e_{max} = 6\%$.

RADIO	20 KPH			30 KPH			40 KPH			50 KPH			60 KPH		
	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db
2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.		
1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.		
1000	B.N.			1000	B.N.			1000	B.N.			1050	B.N.		
500	B.N.			500	B.N.			736	1.5	22		750	2.0	28	
400	B.N.			450	B.N.			525	2.0	22		668	2.2	28	
350	B.N.			421	1.5	17		465	2.2	22		599	2.4	28	
300	B.N.			299	2.0	17		415	2.4	22		540	2.6	28	
250	B.N.			265	2.2	17		372	2.6	22		488	2.8	28	
200	B.N.			236	2.4	17		334	2.8	22		443	3.0	28	28
130	B.N.			212	2.6	17		300	3.0	22	22	402	3.2	28	26
127	2.0	17		190	2.8	17		269	3.2	22	21	364	3.4	28	25
113	2.2	17		170	3.0	17	17	239	3.4	22	19	329	3.6	28	23
100	2.4	17		152	3.2	17	16	206	3.6	22	18	294	3.8	28	22
90	2.6	17		133	3.4	17	15	178	3.8	22	17	261	4.0	28	21
80	2.8	17		113	3.6	17	14	155	4.0	22	17	234	4.2	28	20
71	3.0	17	17	95	3.8	18	14	138	4.2	22	16	210	4.4	28	19
62	3.2	17	16	96	3.9	18	14	114	4.6	23	15	190	4.8	28	18
53	3.4	17	15	82	4.0	19	14	110	4.6	24	16	172	4.8	28	18
43	3.6	17	14	72	4.2	20	14	102	4.8	24	15	156	5.0	28	17
36	3.8	17	13	63	4.4	21	14	98	4.8	25	16	148	5.1	28	16
31	4.0	18	14	56	4.6	22	14	95	4.9	25	15	142	5.2	29	17
27	4.2	19	14	54	4.6	22	14	88	5.0	26	16	128	5.4	30	17
24	4.4	20	14	50	4.8	23	14	79	5.2	27	16	115	5.6	31	17
21	4.6	21	14	45	5.0	24	14	71	5.4	28	16	102	5.8	32	17
19	4.8	21	13	40	5.2	25	14	63	5.6	29	16	79	6.0	33	17
15	5.2	19	11	36	5.4	26	14	56	5.8	30	16				
13	5.4	18	10	32	5.6	27	14	43	6.0	31	16				
12	5.6	17	9	30	5.7	27	14								
10	5.8	15	8	28	5.8	26	13								
8	6.0	14	7	21	6.0	22	11								

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, P. 97).

- **Cálculo de longitud de transición y transición del bombeo.**

Para la longitud de transición se utiliza la siguiente ecuación:

$$LT : m * a * e$$

$$LT : 143 * 3.3 * 6\%$$

$$LT : 28.314 m$$

Para la transición del bombeo se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = \frac{LT * b}{e_d}$$

$$N = \frac{28.314 m * 2\%}{6\%}$$

$$N = 9.44 m$$

- **Cálculo para curvas verticales.**

Se utilizará la curva vertical 2 (Cresta).

$$K = 4$$

$$P1 = -0.28\%$$

$$P2 = -0.87\%$$

$$L = 150 \text{ m}$$

$$\text{Est. PIV} = 1 + 419.33$$

$$S = 50 \text{ m}$$

$$A = |P2 - P1| = |-0.87 - (-0.28)| = 0.59.$$

Longitud mínima.

$$L = K * A = 4 * 0.59 = 2.36 \text{ m.}$$

Comparando con la longitud de diseño propuesta:

$$150 \text{ m} \geq 2.36 \text{ m, "Cumple la condición".}$$

Criterio de seguridad (visibilidad).

$$S < L$$

$$50\text{m} < 150\text{m} \text{ "Cumple".}$$

Tabla 64. Parámetros de diseño adoptados.

DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES.
Clasificación Funcional.	Arterial Menor Urbana	
Ancho del derecho de vía.	MT.	15
Velocidad de Diseño.	KPH	40
Velocidad de Ruedo.	KPH	40
Vehículo de proyecto.	TIPO-AASHTO	WB-15
Radio de curvatura Mínimo.	mt.	43
Grado de Curvatura máximo.	G. MIN. SEG.	26° 38' 57.49"
Número de Carriles.	UNID.	2
Ancho Carril.	mt.	3.30
Ancho total de Rodamiento.	mt.	6.60
Ancho de Hombros.	mt.	1.20
Ancho de Corona.	mt.	9
Pendiente transversal. (Bombeo)	%	2.00
Pendiente de Hombros.	%	2.00
Sobreelevación Máxima (peralte).	%	6.00
pendiente relativa.	1/m	143
Factor (L) entre ejes vehículo Diseño.	MT.	15.25
Sobrecancho Mínimo en curvas horiz.	MT.	0.78
Sobrecancho Máximo en curvas horiz.	MT.	1.80
Coefficiente de fricción lateral.	S/U	0.23
Distancia de Visibilidad de Parada	mt.	50
Distancia de Visibilidad de Adelantamiento	mt.	270

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES.

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

- Tras analizar los estudios del suelo, se determinó que los suelos más frecuentes a lo largo de la ruta de la plataforma del camino son A-2-4, A-2-6, A-2-7 y A-7-6. Se hallaron también en menor proporción suelos como A-1-a y A-1-b. La propuesta es utilizar el banco de material El Paraíso IV como base granular, el cual fue tratado con un 6% de cemento para estabilizarlo. Este material cumple con las especificaciones de la NIC-2019 Sección 1003.09 (a y b) para ser utilizado como material base.
- El tramo analizado se caracteriza por tener un terreno con características Planas. La pendiente máxima registrada en este tramo es de -0.87% (Est. 1+419.33), mientras que la pendiente mínima es de -0.26% (Est. 1+979.98). Es relevante destacar que a lo largo del tramo se identificaron 20 segmentos curvos.
- Del aforo vehicular de 12 horas diurnas, se obtuvo un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) calculado de 1152 vehículo/día y proyectado de 4849 vehículo/día. Posteriormente se estimó el número de repeticiones de ejes equivalentes basado en el (TD) y factor ESAL's obteniendo un (ESAL's) = 2,822,829 en un periodo de 15 años trabajando con un $P_o=4.2$, $p_t=2.0$, $\Delta\psi=2.2$ y un SN=5 asumido.
- Se establecieron los valores para los diferentes parámetros, como la distancia entre ejes (15.25 metros - T3S2), el coeficiente de fricción longitudinal (0.23), el radio mínimo de curvatura (43 metros), la pendiente transversal (2%), la distancia de visibilidad de parada (50 metros) y de rebase (270 metros), basados en la velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora.
- Luego de realizar los cálculos correspondientes, se determinó que los espesores adecuados para los diferentes materiales son los siguientes: 12.7 cm para la capa de asfalto que conforma la carpeta de rodamiento, 25.4 cm para la capa de base granular estabilizada con cemento al 6%, utilizando material del banco de préstamo El Paraíso IV. lo que da un total

de 38.1 cm para el espesor total de las capas que conforman la estructura del pavimento. Después de la realización de la comprobación con el software WinPAS, se obtuvo un valor de 3.08 para el SN requerido, mientras que la suma de los valores de SN1 y SN2 resultó en 3.17. Con estos resultados se concluye que el pavimento diseñado es capaz de soportar las cargas a las que estará sometido durante su periodo de diseño.

- La utilización del software Civil 3D 2020 en el diseño geométrico del tramo nos brindó la posibilidad de verificar de manera más eficiente los cálculos realizados, ahorrando tiempo y permitiendo una presentación más clara y organizada de los planos, lo que a su vez facilita la identificación de cada elemento de la vía.

RECOMENDACIONES.

- Durante la construcción de la carretera, la excavación realizada no debe exceder los niveles de corte establecidos en los planos de la subrasante proyectada en el diseño geométrico a lo largo de los 2.5 kilómetros del tramo.
- Es necesario retirar completamente el material que resulte de la excavación en la carretera, y trasladarlo a los vertederos autorizados por la Alcaldía Municipal de Nindirí, sin dejar ningún residuo en la vía o en áreas no permitidas.
- Para asegurar una estructura resistente y de alta calidad, se establece que el espesor de la base granular estabilizada al 6% será de 25.4 cm y se colocará una capa de 12.7 cm de Mezcla Asfáltica en Caliente (M.A.C).
- Antes de colocar el material de préstamo de base, se sugiere que se realice una limpieza y una escarificación de la superficie de la subrasante o rodamiento existente, con una profundidad de al menos 15 centímetros. Posteriormente, se debe compactar a un mínimo del 95% de la prueba de densidad de Proctor Estándar (ASTM D 698), para garantizar una buena compactación del material y una adecuada base para la construcción de la vía.
- Durante el periodo de curado de la capa de material granular estabilizada (Base), se prohíbe cualquier tipo de tráfico en ella. Es necesario mantener la capa húmeda de manera continua y uniforme durante este periodo, para lo cual se deberá aplicar agua a presión mediante boquillas que produzcan rocío fino y uniforme.
- Si se descubren suelos finos limo-arcillosos del grupo A-7 durante la construcción de la vía, que se caracterizan por ser altamente deformables, tener un alto contenido de humedad y baja resistencia, se deberán sub-excavar y reemplazar con material de préstamo del banco de El Paraíso IV.
- Es importante verificar que la capa base esté completamente libre de materiales no deseados, como basura, restos de árboles o grandes rocas, ya que esto podría afectar la calidad y la resistencia de la estructura.

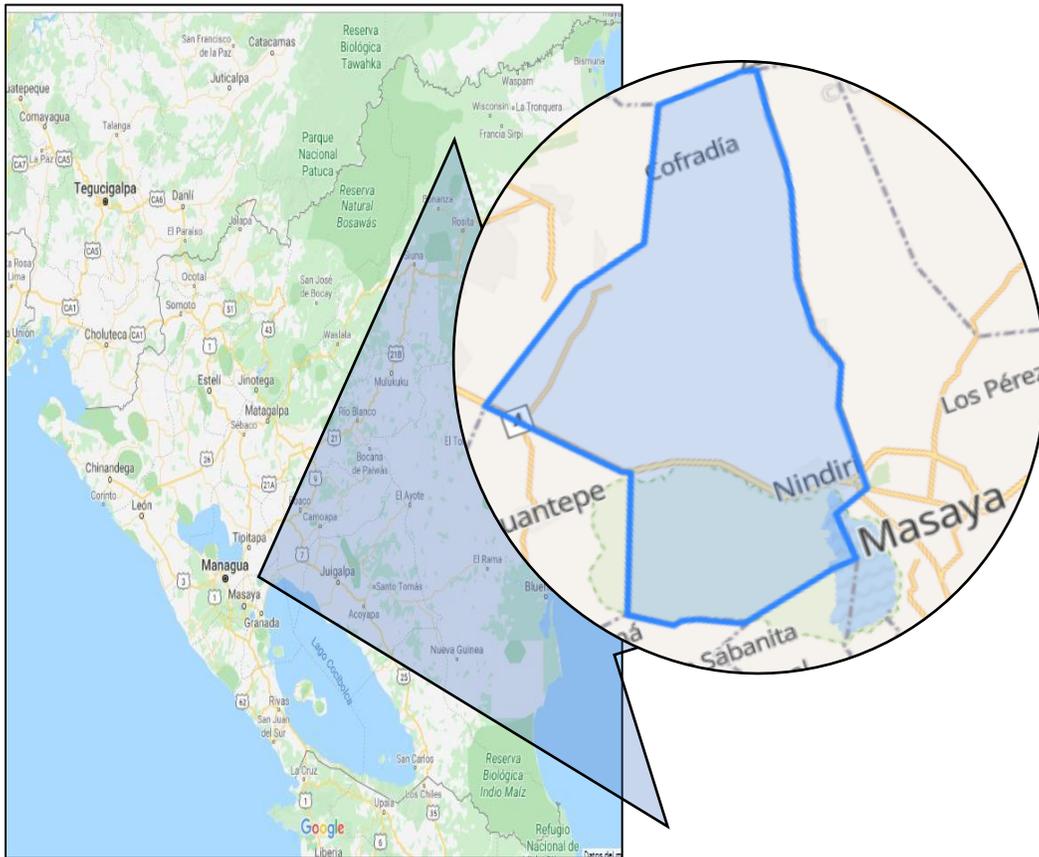
- Antes de la aplicación del material asfáltico, es necesario retirar todo tipo de materiales no deseados como tierra suelta, polvo y otros elementos, empleando herramientas como una barredora mecánica o un soplador o una combinación de ambos, según sea necesario. Estas acciones deben ser realizadas de acuerdo con las especificaciones de la sección 401.3.2 del tomo I de la Norma para la Infraestructura de Carreteras (NIC-2019).
- Deberán respetarse las temperaturas recomendadas para la aplicación de los materiales asfálticos según lo establecido en el Artículo 1002.10 de la NIC-20
- Se requiere que el cemento asfáltico sea uniforme en su composición, que no forme burbujas cuando se calienta a 177°C (350°F) y que cumpla con los estándares de viscosidad establecidos para el cemento asfáltico (AASHTO M226).
- El tipo de pavimento que se utilizará es concreto asfáltico en caliente de clase A.

BIBLIOGRAFÍA.

- AASHTO. (1993.). *Guide for designing of pavement structures. American of Association of State Hightways And Transportation.* Washington D.C.
- AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington D.C.
- Cal y Mayor, R. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones.* México: Alfa y Omega .
- MTI. (2014). *Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos, Calle y Puentes (NIC-2000).* Managua.
- MTI. (2020). *Anuario de Aforos de Tráfico.* Managua.
- MTI. (2019). *Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos, Calle y Puentes (NIC-2019).* Managua: Tomo II.
- MTI. (2020). *Red Vial de Nicaragua.* Managua.
- MTI. (2021). *Anuario Estadístico.* Managua.
- Müggenburg Rodríguez V., M. C., & Pérez Cabrera, I. (2007). tipos de estudio en el enfoque de la investigacion. *Redalyc*, 3.
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano Para Diseño De Pavimentos.* Guatemala .
- SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.* 2da edición.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.* 3ª edición.

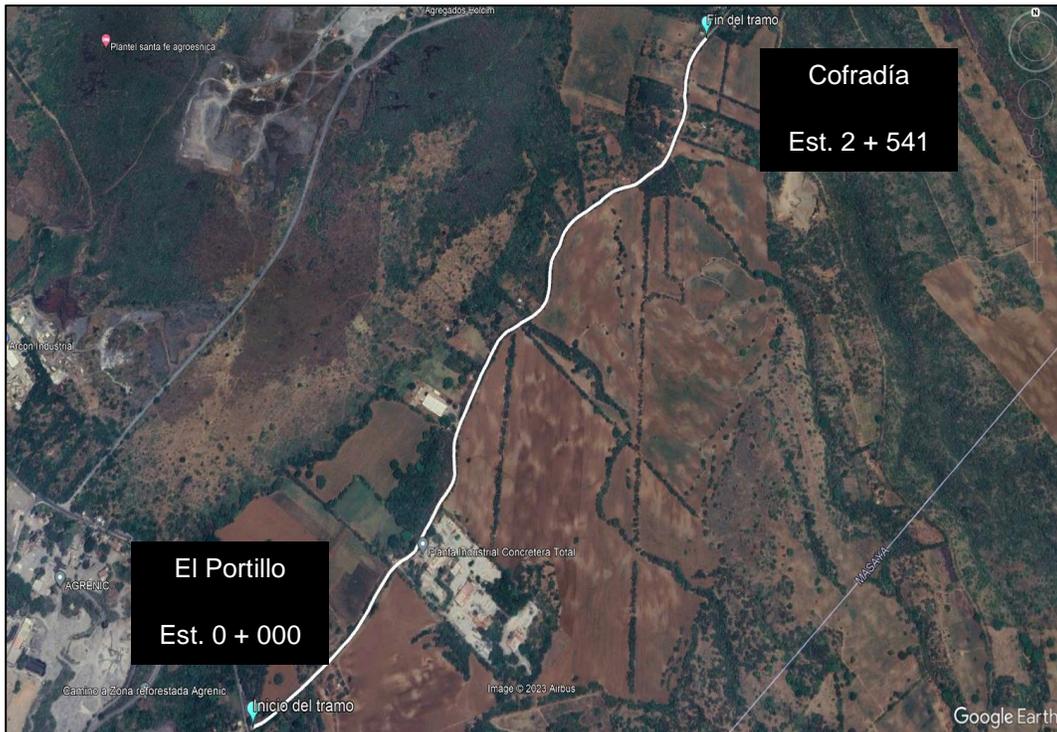
ANEXOS

Imagen 10. Macro localización (Departamento de Masaya – Municipio de Nindirí).



Fuente: Google maps. <https://www.google.es/maps/@12.0105787,-86.1217847,2427m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu>

Imagen 11. Micro localización (Tramo Cofradía – El Portillo).



Fuente: Google maps. <https://www.google.es/maps/@12.0983612,-86.1340737,2426m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu>

Foto N° 1. Inicio del tramo en estudio, comunidad El Portillo (Est. 0 + 000).



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 2. Condiciones del tramo Cofradía – El Portillo, Est. 1 + 000.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 3. Condiciones del tramo Cofradía – El Portillo, Est. 1 + 540.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 4. Fin del tramo en estudio, comunidad Cofradía (Est. 2 + 541).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Formato para conteo de tránsito vehicular por día.

Fecha:		Sentido:														
Tramo carretera:																
Hora	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL	TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cia	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.	(Minutos)	(Horas)

Fuente: Anuario de aforos de tráfico del MTI 2020.

Tabla 66. Conteo vehicular (martes 06 de septiembre 2022).

Fecha: Martes 06 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradía - El Portillo													Sentido: El Portillo - Cofradía		
Hora	Hora	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)
		Motos	Autos	Jeep	Cia	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.		
06:00	06:15	3	1	1	3							3	1			12	42
06:15	06:30	2	2		1								2		7		
06:30	06:45	6			1										9		
06:45	07:00	8		2	1	1		1							14		
07:00	07:15	9	2	2	2				2					1	17	56	
07:15	07:30	5	3		3				3		3				17		
07:30	07:45	4	4	1							3	2			14		
07:45	08:00	2	2								2	1		1	8		
08:00	08:15	3	3			1					1				8	46	
08:15	08:30	5	2		3				2		2		1		15		
08:30	08:45	3	4		2				2					1	12		
08:45	09:00	1	2	3	1				2		2				11		
09:00	09:15	3	1	2	1	1				1		2			11	29	
09:15	09:30	2			1										3		
09:30	09:45	2	2	2	1						1	1			9		
09:45	10:00	2	2		1			1							6		
10:00	10:15		3		1				2		2		2		10	37	
10:15	10:30	4			1				2	1					8		
10:30	10:45	8	2		1					2					13		
10:45	11:00	3			2				1						6		
11:00	11:15	3		2	1				2			1			9	33	
11:15	11:30	5	2		1				4		2				14		
11:30	11:45	6						1			1				8		
11:45	12:00	2													2		
12:00	12:15	9			2	1					3				15	44	
12:15	12:30	6	2							1		2			11		
12:30	12:45	6													6		
12:45	01:00	6			1				1	3		1			12		
01:00	01:15	5	3	1	1	1						2			13	35	
01:15	01:30	5	2		1									2	10		
01:30	01:45	4			2	1						1			8		
01:45	02:00	1	1		1			1							4		
02:00	02:15	1			1				4			2	1		9	44	
02:15	02:30	2	1	2	1				3						9		
02:30	02:45	5		3	2				2					1	13		
02:45	03:00	5	2		4				2						13		
03:00	03:15	3			2				2		3		2		12	39	
03:15	03:30	3	3		3				3						12		
03:30	03:45	1		2					2						5		
03:45	04:00	5		1				1			2		1		10		
04:00	04:15	6	2						1				2		11	36	
04:15	04:30	2	1		2				1		3				9		
04:30	04:45	2	2						2	1	2				9		
04:45	05:00	7													7		
05:00	05:15	4	3						1		2				10	57	
05:15	05:30	9	3						1		3				16		
05:30	05:45	12	2		2		1		1						18		
05:45	06:00	9	2		1		1								13		
TOTAL		209	66	24	54	6	2	5	48	12	34	19	13	2	4	498	498

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 67. Conteo vehicular (martes 06 de septiembre 2022).

Fecha: Martes 06 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradía - El Portillo														Sentido: Cofradía - El Portillo		
Hora	Hora	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)	
		Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.			
06:00	06:15	2	3		2												7	41
06:15	06:30	9			1			1									11	
06:30	06:45	10			2				2								14	
06:45	07:00	9															9	
07:00	07:15	4	3						3								10	38
07:15	07:30	5	2								2						9	
07:30	07:45	6		1	3	1			1								12	
07:45	08:00	4		1	1				1								7	
08:00	08:15	2	2	1	1			1			1						8	23
08:15	08:30	1	1	1	1							2					6	
08:30	08:45	2		1	1												4	
08:45	09:00	2			1						1	1					5	
09:00	09:15	5	1														12	38
09:15	09:30	1			1				3		1	1	1				11	
09:30	09:45	1			1	1			1	1	1	2	2		1		7	
09:45	10:00	1	2		1				2			1		1			8	
10:00	10:15	3	1								2						6	36
10:15	10:30	3	1	1									1				6	
10:30	10:45	1	2	1					3	1	1	1	2				12	
10:45	11:00	2		1	2				3	2	1	1	1				12	
11:00	11:15	1			2				2			2	1				8	41
11:15	11:30	2	1		1			1	2		2	1					10	
11:30	11:45	2	2	1	2				1	1	2	2					13	
11:45	12:00	2	1						1	1	4	1					10	
12:00	12:15	5	1		2				2		1						11	38
12:15	12:30	4	1		1			1	1		1		1				10	
12:30	12:45	4		1					1	1	1		1				9	
12:45	01:00	3			1					1	1		1		1		8	
01:00	01:15	5	2		1				1	2		1				1	12	35
01:15	01:30	2			1				2								5	
01:30	01:45	3							1	1	2				1		8	
01:45	02:00	1	2	1					1		3	1	1				10	
02:00	02:15	3	1		1						2	2					9	35
02:15	02:30	3	1		1				1	1			1				8	
02:30	02:45	2			1				1	2	1	1					8	
02:45	03:00	4	1		1			1		2							10	
03:00	03:15	3	2						4	1						1	11	41
03:15	03:30	3			1				2		3	1					10	
03:30	03:45	3	2		1				1		1	1					9	
03:45	04:00	4	1		1				2		3						11	
04:00	04:15	5	1	1	3				1	2	1	1	1				16	57
04:15	04:30	4	3		1			1			2						12	
04:30	04:45	5	3		1				2	1	1	2	2				17	
04:45	05:00	4	3		1	1			3								12	
05:00	05:15	6	1	2							1	1				2	13	58
05:15	05:30	10	1		2						1	2	1				17	
05:30	05:45	10	1	1	1						1	2					16	
05:45	06:00	6			2				1		1	1	1				12	
TOTAL		182	49	15	47	3	0	6	55	24	47	27	19	2	5		481	481

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 68. Conteo vehicular (miércoles 07 de septiembre 2022).

Fecha: Miércoles 07 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradía - El Portillo														Sentido: El Portillo - Cofradía		
Hora		Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)	
		Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.			
06:00	06:15	1	1	1	3							3	2				11	48
06:15	06:30	3	1		1								2				7	
06:30	06:45	8			3												13	
06:45	07:00	10		2	4			1									17	
07:00	07:15	8	1	2	3				3			1					18	59
07:15	07:30	7	3		4	1			2		3	1	1				22	
07:30	07:45	4	2									7					13	
07:45	08:00	5									1						6	
08:00	08:15	1	1									1	2				5	30
08:15	08:30	2	1		1				3	1	1						9	
08:30	08:45	1			1				2								4	
08:45	09:00	4	2	2	1	1			2								12	
09:00	09:15	2		1		1			1		1						6	21
09:15	09:30	3			1	1			1			1			1		8	
09:30	09:45	1			1							2					4	
09:45	10:00		1		1			1									3	
10:00	10:15		2		2						2						6	27
10:15	10:30	3							1	1	1					1	7	
10:30	10:45	7	2														9	
10:45	11:00	3			1				1								5	
11:00	11:15	4		2	1				1			2					10	29
11:15	11:30	5									2						7	
11:30	11:45	3						1	1	1	1	1					8	
11:45	12:00	1							1	1		1					4	
12:00	12:15	9									2						11	33
12:15	12:30	4															4	
12:30	12:45	4							1	1							6	
12:45	01:00	6			1				2	2	1						12	
01:00	01:15	4	1		1	1					1						8	29
01:15	01:30	5	1						1		1	1			2		11	
01:30	01:45	2			1						1				1		5	
01:45	02:00							1		1	1	1			1		5	
02:00	02:15	1			1				2			1					5	19
02:15	02:30	1							1			1					3	
02:30	02:45	4		1	1							1					7	
02:45	03:00	2							1			1					4	
03:00	03:15	2			2					1							5	30
03:15	03:30	1	1		2				2		1	1					8	
03:30	03:45	2			1				1		1	1					6	
03:45	04:00	5		1				1		1	1	2					11	
04:00	04:15	3	2						1								6	22
04:15	04:30	5	2							1							8	
04:30	04:45	2	1						2								5	
04:45	05:00	3															3	
05:00	05:15	2	2								1						5	46
05:15	05:30	9	4		2		1			2	1						19	
05:30	05:45	10			1				1			1					14	
05:45	06:00	6	1				1										8	
TOTAL		178	33	13	40	5	2	5	34	16	24	32	5	0	6		393	393

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 69. Conteo vehicular (miércoles 07 de septiembre 2022).

Fecha: Miércoles 07 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradia - El Portillo														Sentido: Cofradia - El Portillo		
Hora		Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)	
		Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.			
06:00	06:15	3	3		2												8	45
06:15	06:30	9			1			1									11	
06:30	06:45	12			2				2								16	
06:45	07:00	8					2										10	
07:00	07:15	3	3						3								9	36
07:15	07:30	6	1								2						9	
07:30	07:45	8		1		1			1								11	
07:45	08:00	5			1				1								7	
08:00	08:15	3	2		1				1			1					8	21
08:15	08:30	1	1		1							2					5	
08:30	08:45	2		1	1												4	
08:45	09:00	4															4	
09:00	09:15	5	1						3		1						10	26
09:15	09:30	1							1	3	1	1	2				9	
09:30	09:45	1							1	1	1						4	
09:45	10:00	1							2								3	
10:00	10:15	1	1														2	21
10:15	10:30	2	1	1													4	
10:30	10:45	1	2							1	1		2				7	
10:45	11:00	2			2				1	2		1					8	
11:00	11:15	1			2							2					5	33
11:15	11:30	2			1			1	3			1					8	
11:30	11:45	3	2	1	2							2					10	
11:45	12:00	3	1							1	4	1					10	
12:00	12:15	6			1						1						8	27
12:15	12:30	3	1		1				1		1						7	
12:30	12:45	3		1					1		1		1				7	
12:45	01:00	3			1										1		5	
01:00	01:15	6	1						1	1		1					10	27
01:15	01:30	2			1				2								5	
01:30	01:45	3									2						5	
01:45	02:00	1		1					1		3	1					7	
02:00	02:15	3	1								2						6	25
02:15	02:30	2	1		1					1							5	
02:30	02:45	2			2				1		1						6	
02:45	03:00	4	1		1				1		1						8	
03:00	03:15	4	2							1							7	30
03:15	03:30	3			1							1					5	
03:30	03:45	5	2		1					1							9	
03:45	04:00	5			1						3						9	
04:00	04:15			1	2				1		3	1					8	41
04:15	04:30	2	3		1				1		1						8	
04:30	04:45	7			1					2		1	2				13	
04:45	05:00	4	3		1	1				3							12	
05:00	05:15	8		2							1	1				2	14	46
05:15	05:30	10	1		2						1	1					15	
05:30	05:45	9	1		1												11	
05:45	06:00	3			1				1			1					6	
TOTAL		185	35	9	36	2	2	6	33	15	32	15	5	0	3		378	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 70. Conteo vehicular (jueves 08 de septiembre 2022).

Fecha: Jueves 08 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradia - El Portillo															Sentido: El Portillo - Cofradia	
Hora		Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)	
		Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.			
06:00	06:15	2	1		2							2	1				8	33
06:15	06:30	1	1				1										3	
06:30	06:45	6			1												7	
06:45	07:00	10		1		1							1		2		15	
07:00	07:15	9		1	2			1									13	47
07:15	07:30	8	2		1	1			2								14	
07:30	07:45	6	2	1		1					3	1					14	
07:45	08:00	1	1								2	1		1			6	
08:00	08:15	2	1			1					2						7	33
08:15	08:30	5			2				1		1	1			1		10	
08:30	08:45	1	3		2												7	
08:45	09:00	4				1			1		2	1					9	
09:00	09:15	1	1	1	1				1	1		3					9	25
09:15	09:30	2			1	1											4	
09:30	09:45	2	1	1	1						1						6	
09:45	10:00	2	2					1			1						6	
10:00	10:15				1				3		1		2				7	29
10:15	10:30	3			1				2		1		1	1			9	
10:30	10:45	5			2					2	1						10	
10:45	11:00	1			1						1						3	
11:00	11:15	1		1					2								4	22
11:15	11:30	1	1		1				3	1							7	
11:30	11:45	6						1	1		1						9	
11:45	12:00	1							1								2	
12:00	12:15	7			2	1			2		1	1					14	37
12:15	12:30	4	1						1	1		2	1				10	
12:30	12:45	7									1						8	
12:45	01:00	4										1					5	
01:00	01:15	3	2	1					1			2					9	24
01:15	01:30	1			1												2	
01:30	01:45	1			2	1			1				1				6	
01:45	02:00	2	1		1			1		1	1						7	
02:00	02:15	3			1				3			2	1				10	33
02:15	02:30	3	1	1	1				2	1		1					10	
02:30	02:45	2			2				1					1	1		7	
02:45	03:00		1		4						1						6	
03:00	03:15	2			1				2		2	1	3				11	26
03:15	03:30	4	1		1												6	
03:30	03:45	1							2			1					4	
03:45	04:00	3						1					1				5	
04:00	04:15	3										2					5	26
04:15	04:30	1			1				1		2			1			6	
04:30	04:45	5	1							1	1						8	
04:45	05:00	7															7	
05:00	05:15	5							1		2						8	43
05:15	05:30	7	1						1			2					11	
05:30	05:45	13															13	
05:45	06:00	10			1												11	
TOTAL		178	25	8	37	8	1	5	35	10	25	23	15	5	3		378	378

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 71. Conteo vehicular (jueves 08 de septiembre 2022).

Fecha: Jueves 08 de Septiembre		Tramo carretera: Cofradia - El Portillo														Sentido: Cofradia - El Portillo		
Hora		Vehiculos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Equipo Pesado		TOTAL (Minutos)	TOTAL (Horas)	
		Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2 > 5 ton	C3	T3S2	T3S3	Veh. Const.	Veh. Agric.			
06:00	06:15	3	2		1												6	38
06:15	06:30	8			1			1									10	
06:30	06:45	10			1			1									12	
06:45	07:00	9					1										10	
07:00	07:15	5	2					2									9	29
07:15	07:30	5	2							1							8	
07:30	07:45	5			3												8	
07:45	08:00	2		1	1												4	
08:00	08:15	4		1				1									6	17
08:15	08:30	2		1	1					2							6	
08:30	08:45																0	
08:45	09:00	2			1				1	1							5	
09:00	09:15	4						2			1	1					8	27
09:15	09:30	1			1			1			2						5	
09:30	09:45	1			1	1		1	1					1			6	
09:45	10:00	2	2		1			1			1			1			8	
10:00	10:15	2								2							4	20
10:15	10:30	2	1										1				4	
10:30	10:45				1			3			1						5	
10:45	11:00	1			1			4		1							7	
11:00	11:15				1			2					1				4	19
11:15	11:30	1	1					1		2		1					7	
11:30	11:45	1	1					1	1	2							6	
11:45	12:00	1						1									2	
12:00	12:15	4	1		2			2									9	30
12:15	12:30	4		1	1			1					1				9	
12:30	12:45	4						1	1								7	
12:45	01:00	2							1	1			1				5	
01:00	01:15	5	2		1					2							10	23
01:15	01:30	2															2	
01:30	01:45	4						1	1						1		7	
01:45	02:00	1	2									1					4	
02:00	02:15	4			1						2						7	27
02:15	02:30	3	1					1				1					6	
02:30	02:45	1			1				2		1						5	
02:45	03:00	4			1			1	2								9	
03:00	03:15	2						4	1							1	8	24
03:15	03:30							2		3							5	
03:30	03:45	1	1		1			1		1	1						6	
03:45	04:00	2	1					2									5	
04:00	04:15	5	1	1				1	2		1	1					12	37
04:15	04:30	5								2							8	
04:30	04:45	2	3		1				1				2				9	
04:45	05:00	4	2					2									8	
05:00	05:15	5	1	1						1	1						9	55
05:15	05:30	11	1							1	2	1					16	
05:30	05:45	10	1	1							1	2					16	
05:45	06:00	9			3						1	1					14	
TOTAL		165	28	9	26	1	1	6	39	16	21	16	14	2	2		346	346

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 72. Indicadores Macroeconómicos PIB.

Conceptos-		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PIB (a precios constantes) ^{1/} - Real GDP ^{1/}											
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP		4,026.0	4,101.5	4,464.7	4,872.0	6,763.7	7,423.4	8,497.0	8,298.7	8,758.6	9,774.3
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)		5,244.7	5,312.7	5,380.5	5,450.4	5,638.0	5,707.9	5,778.8	5,850.5	5,923.1	5,996.6
Población (miles de habitantes) ^{2/} - Population (thousands) ^{2/}		3,623.2	4,498.4	5,345.5	6,338.1	8,121.8	9,847.8	10,369.5	12,425.7	14,549.8	18,278.0
Base monetaria - Monetary base		23,471.3	26,708.3	31,155.9	35,238.4	38,792.8	45,454.7	48,776.4	56,489.1	70,400.3	82,043.5
Depósitos totales ^{3/} - Total deposits ^{3/}		11,327.1	14,724.6	18,776.3	24,415.5	31,941.8	42,026.3	47,198.6	44,241.7	45,289.1	53,852.4
Cartera de crédito bruta ^{10/} - Gross credit portfolio ^{10/}		(2,903.1)	(3,754.8)	(3,565.5)	(3,616.2)	(3,464.2)	(2,905.7)	(4,875.2)	(6,576.7)	(4,121.9)	(3,457.3)
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)		(1,117.5)	(1,404.8)	(965.9)	(790.0)	578.6	1,311.1	(1,027.8)	(2,195.7)	(1,101.6)	354.2
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)											

Conceptos-		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PIB (a precios constantes) ^{1/} - Real GDP ^{1/}								
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP								
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)		10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,756.7	13,286.0	13,843.7	13,117.9
Población (miles de habitantes) ^{2/} - Population (thousands) ^{2/}		6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9	6,393.8	6,460.4
Base monetaria - Monetary base		19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0	33,113.6	30,132.7
Depósitos totales ^{3/} - Total deposits ^{3/}		86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1	160,719.0	127,434.1
Cartera de crédito bruta ^{10/} - Gross credit portfolio ^{10/}		69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6	167,150.3	152,240.2
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)		(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.3)	(9,906.2)	(11,823.3)	(12,742.6)	(19,449.3)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)		(626.5)	(3,024.2)	(4,541.5)	(5,593.4)	(7,580.1)	(8,453.7)	(16,945.1)

Fuente: Informe Anual del BCN – 2018. (Descarga de archivo de Excel digital)

Tabla 73. Proyección Estimada de la Población del 2004 al 2018.

Años	Ambos Sexos	Hombres	Mujeres
1990 ^{av}	3,959,785	1,971,445	1,988,340
1991	4,058,434	2,020,954	2,037,480
1992	4,162,367	2,073,279	2,089,088
1993	4,268,685	2,126,910	2,141,775
1994	4,374,490	2,180,338	2,194,152
1995	4,476,881	2,232,052	2,244,829
1996	4,574,524	2,281,404	2,293,120
1997	4,669,352	2,329,402	2,339,950
1998	4,763,366	2,377,016	2,386,350
1999	4,858,570	2,425,220	2,433,350
2000	4,956,964	2,474,984	2,481,980
2001	5,058,643	2,526,353	2,532,290
2002	5,162,275	2,578,680	2,583,595
2003	5,267,714	2,631,897	2,635,817
2004	5,374,820	2,685,940	2,688,880
2005	5,483,447	2,740,742	2,742,705
2006 ^{av}	5,522,606	2,741,414	2,781,192
2007	5,595,541	2,775,638	2,819,903
2008	5,668,876	2,809,928	2,858,948
2009	5,742,310	2,844,240	2,898,070
2010	5,815,524	2,878,523	2,937,001
2011 ^{av}	5,996,619	2,966,111	3,030,508
2012	6,071,045	3,000,778	3,070,267
2013	6,134,270	3,029,990	3,104,280
2014	6,198,154	3,059,810	3,138,344
2015	6,262,703	3,090,448	3,172,255
2016	6,327,927	3,122,048	3,205,879
2017	6,393,824	3,154,465	3,239,359
2018	6,460,411	3,187,500	3,272,911
2019	6,527,691	3,220,940	3,306,751
2020	6,595,674	3,254,564	3,341,110
2021	6,664,364	3,288,408	3,375,956

Fuente: Anuario Estadístico 2021 (INIDE), P. 30.

Tabla 74. 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, Cuadraciclo, 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 finas 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.
	MINBUS		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. 28.

Tabla 75. Listado histórico TPDA ECD – 140 (Cofradía (parque infantil) – Emp. El Portillo).

136	NIC-20A	140	ECD	Cofradía (Parque Infantil) - Emp. El Portillo	2013	251	30	20	80	3		12	67	82	110		62		8	1	5	731	
					2010	128	45	28	91	1		15	46	69	12	3	54		2		12	506	
					2006	211	361	199	412	45	17	107	148	268	96	1	77				9	1.952	
					2003	77	667	407	646	43	24	157	130	174	101		92		1	2	6	2.527	
				EMC:700																			
				Tasa Crecimiento: 2,76%	2020	304	36	24	97	4		15	81	99	133		75			10	1	6	884
						Liv.				461		Pasaj.		18	Pesado						405		
						52%					2%		46%										

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2019. P. 158. Pdf.

Tabla 76. Diagrama de cargas permisibles (vehículos livianos y pasajeros).

Tipo de Vehículo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 77. Diagrama de cargas permisibles (vehículos pesados).

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 78. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt: 2.

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA 2002.

Tabla 79. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt: 2.

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA 2002.

Tabla 80. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt: 2.

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA 2002.

Tabla 81. Consolidado del levantamiento topográfico del tramo en análisis.

Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	1336416	593643	106	BS
2	1336511	593761	100	BS
3	1336510.4	593760.254	102.677	BS
4	1336394.2	593622.672	102.829	LINDER
5	1336399.6	593626.188	103.255	BD
6	1336402.35	593630.77	103.462	C
7	1336403.47	593635.999	103.274	BI
8	1336411.8	593616.424	103.229	LINDE
9	1336413.46	593621.174	103.175	BD
10	1336415.39	593626.18	103.426	C
11	1336417.04	593631.204	103.234	BI
12	1336403.63	593636.923	103.19	P
13	1336405.25	593637.539	103.094	P
14	1336406.53	593638.312	103.235	P
15	1336406.08	593640.998	104.473	P
16	1336408.77	593645.853	105.604	P
17	1336409.21	593647.459	104.692	P
18	1336409.84	593649.681	103.417	P
19	1336410.36	593650.969	103.376	P
20	1336410.86	593652.265	103.708	P
21	1336411.55	593654.06	105.122	P
22	1336411.89	593655.005	105.573	P
23	1336412.85	593658.347	105.18	LINDE
24	1336419.2	593656.358	105.165	LINDE
25	1336418.78	593654.089	105.178	LINDE
26	1336418.71	593653.181	104.56	LINDE
27	1336417.85	593650.852	103.701	LINDE
28	1336417.49	593650.101	103.282	LINDE
29	1336417.12	593648.756	103.253	LINDE
30	1336416.7	593647.306	103.432	LINDE
31	1336416.64	593645.633	104.528	LINDE
32	1336415.22	593640.727	105.233	LINDE
33	1336415.01	593639.732	104.637	LINDE
34	1336414.46	593637.069	103.398	LINDE
35	1336418.16	593632.181	103.298	BI
36	1336420.84	593643.656	104.425	P
37	1336420.75	593643.902	104.398	P
38	1336420.27	593644.96	103.831	P
39	1336419.9	593646.56	103.239	P
40	1336420.23	593648.919	103.136	P

41	1336420.89	593651.408	103.501	P
42	1336421.15	593652.248	103.881	P
43	1336423.14	593653.374	104.546	P
44	1336423.01	593653.071	104.365	P
45	1336425	593650.877	104.643	P
46	1336424.68	593650.877	104.784	P
47	1336424.48	593650.889	103.031	P
48	1336423.9	593648.179	103.066	P
49	1336423.19	593645.675	103.068	P
50	1336423.27	593645.586	104.829	P
51	1336423.57	593645.553	104.667	P
52	1336424.29	593648.228	104.693	P
53	1336427.79	593647.364	104.641	C
54	1336425.02	593638.253	103.841	C
55	1336422.58	593631.727	103.352	C
56	1336421.58	593629.639	103.234	C
57	1336420.83	593628.294	103.287	BI
58	1336419.71	593624.667	103.414	C
59	1336418.24	593621.399	103.293	BD
60	1336417.57	593619.966	103.169	P
61	1336417.07	593614.547	103.162	LINDE
62	1336429.97	593610.615	103.285	LINDE
63	1336431.55	593615.139	103.175	P
64	1336432.1	593616.681	103.258	BD
65	1336433.81	593619.98	103.381	C
66	1336435.21	593623.398	103.27	BI
67	1336435.75	593624.77	103.24	P
68	1336436.74	593626.137	103.093	P
69	1336436.88	593626.842	102.695	P
70	1336437.17	593627.276	103.118	P
71	1336437.55	593628.961	104.046	P
72	1336439.16	593635.056	105.271	P
73	1336439.43	593638.17	105.1	BD
74	1336438.4	593639.513	104.564	BD
75	1336440.44	593641.245	103.52	BD
76	1336441.18	593644.288	103.374	C
77	1336442.51	593646.522	103.669	BD
78	1336443.56	593648.973	105.089	BD
79	1336444.39	593647.011	104.328	LIND
80	1336436.52	593650.769	104.335	P
81	1336436.66	593650.553	104.332	P
82	1336436.57	593650.283	103.993	P
83	1336436.18	593648.236	103.477	P

84	1336435.42	593645.444	103.096	C
85	1336434.69	593642.905	103.27	BD
86	1336434.43	593641.249	103.827	P
87	1336434.43	593640.95	104.375	P
88	1336434.3	593640.778	104.387	P
89	1336431.79	593643.428	104.779	P
90	1336431.54	593643.496	104.828	P
91	1336431.03	593643.597	104.796	P
92	1336430.56	593643.691	104.63	P
93	1336432.25	593645.946	104.81	P
94	1336431.3	593646.331	104.778	P
95	1336431.27	593646.343	104.696	P
96	1336433.29	593648.855	104.793	P
97	1336433.05	593648.913	104.827	P
98	1336432.1	593649.193	104.773	P
99	1336432.07	593649.276	104.575	P
100	1336433.72	593648.571	103.412	P
101	1336432.95	593646.304	103.082	P
102	1336431.91	593643.505	103.635	P
103	1336428.63	593649.782	103.782	C
104	1336430.38	593654.162	103.376	C
105	1336428.8	593649.816	104.56	C
106	1336429.91	593653.873	104.179	C
107	1336431.39	593657.616	103.824	C
108	1336437.66	593667.754	103.236	C
109	1336434.34	593669.901	103.055	BD
110	1336433.04	593670.731	103.275	P
111	1336433.3	593673.423	103.537	LIND
112	1336441.11	593666.58	103.004	BD
113	1336443.67	593664.531	103.385	P
114	1336446.31	593662.506	103.978	LIND
115	1336457.65	593679.714	103.359	LIND
116	1336455.85	593680.839	103.071	P
117	1336454.12	593682.453	102.859	BD
118	1336451.3	593684.914	103.208	C
119	1336448.45	593687.586	102.881	BD
120	1336447.6	593688.372	103.142	P
121	1336446.89	593689.157	103.327	LIND
122	1336457.14	593701.059	103.464	LIND
123	1336458.06	593699.956	103.126	P
124	1336459.24	593698.854	102.981	BD
125	1336461.19	593697.119	103.23	C
126	1336464.03	593694.706	102.93	BD

127	1336465.87	593693.146	103.215	P
128	1336467.66	593691.353	103.523	LIND
129	1336478.82	593705.591	103.604	LIND
130	1336477.55	593706.517	103.191	P
131	1336476.32	593707.747	102.769	BD
132	1336473.54	593711.095	103.115	C
133	1336470.62	593713.93	102.754	BD
134	1336469.67	593714.611	103.115	P
135	1336468.96	593715.116	103.284	LIND
136	1336479.58	593727.396	103.225	LIND
137	1336480.4	593726.406	102.969	P
138	1336480.81	593725.771	102.669	BD
139	1336483.48	593722.369	103.057	C
140	1336486	593719.446	102.781	BD
141	1336487.35	593717.995	103.405	P
142	1336416.01	593643.008	106.055	BS
143	1336488.31	593717.684	103.614	LIND
144	1336497.91	593730.068	103.296	LIND
145	1336497.17	593730.529	103.213	P
146	1336495.88	593732.02	102.807	BD
147	1336493.18	593734.049	103.062	C
148	1336490.74	593736.31	102.877	BD
149	1336488.92	593737.26	103.182	P
150	1336487.87	593737.993	103.428	LIND
151	1336498.75	593751.645	103.364	LIND
152	1336499.9	593750.842	103.197	P
153	1336500.52	593750.175	102.726	BD
154	1336504.02	593747.239	102.964	C
155	1336507.28	593744.202	102.538	BD
156	1336508.27	593744.339	103.002	P
157	1336508.93	593743.719	103.526	LIND
158	1336520.65	593756.736	103.291	LIND
159	1336519.85	593757.435	103.201	P
160	1336518.01	593758.22	102.634	BD
161	1336515.43	593760	102.887	C
162	1336512.91	593762.957	102.672	BD
163	1336511.55	593764.506	103.015	P
164	1336510.58	593765.588	103.123	P
165	1336522.34	593779.819	102.77	LIOD
166	1336523.16	593778.823	102.698	P
167	1336524.08	593778.163	102.547	BS
168	1336527.65	593775.792	102.656	C
169	1336532.17	593772.604	102.415	BD

170	1336532.65	593771.917	103.024	P
171	1336533.27	593771.63	102.889	LIND
172	1336545.46	593784.815	103.243	LIND
173	1336543.96	593785.829	102.29	BD
174	1336540.92	593788.097	102.689	C
175	1336536.86	593791.724	102.529	BD
176	1336535.66	593792.944	102.843	P
177	1336534.94	593793.774	103.184	LIND
178	1336547.99	593808.578	103.292	LIND
179	1336548.48	593808.314	103.008	P
180	1336549.22	593807.574	102.351	BD
181	1336552.81	593803.686	102.629	C
182	1336556.98	593800.211	102.266	BD
183	1336520.28	593758.16	103.157	POSTE
184	1336460.59	593689.419	103.628	POSTE
185	1336557.83	593797.973	103.223	LIND
186	1336570.84	593814.016	103.451	LIND
187	1336569.93	593814.451	102.142	BD
188	1336566.34	593817.023	102.421	C
189	1336562.05	593820.511	102.305	BD
190	1336560.07	593820.904	103.259	P
191	1336551.2	593810.167	103.172	LIND
192	1336643.13	593899.281	101.854	BS
193	1336572.47	593832.956	103.355	POSTE
194	1336572.14	593834.493	103.61	LIND
195	1336573.04	593834.049	103.63	P
196	1336574.37	593833.308	102.226	BD
197	1336577.58	593830.604	102.389	C
198	1336581.34	593827.196	102.045	BS
199	1336582.71	593826.097	102.949	P
200	1336583.15	593825.739	103.445	LIND
201	1336613.98	593854.356	102.399	LIND
202	1336612.73	593855.797	102.44	P
203	1336611.22	593857.397	101.925	BD
204	1336608.23	593861.235	102.199	C
205	1336605.34	593864.333	101.869	BD
206	1336604.45	593865.351	102.784	LIND
207	1336603.88	593865.979	103.1	LIND
208	1336628.79	593889.1	103.096	POSTE
209	1336621.17	593881.519	102.532	LIND
210	1336622.58	593880.439	101.834	BD
211	1336625.76	593878.131	102.139	C
212	1336628.8	593874.822	101.903	BD

213	1336629.85	593873.76	102.421	P
214	1336631.14	593872.54	102.446	LIND
215	1336646.98	593888.223	102.634	LIND
216	1336646.3	593888.817	102.209	P
217	1336645.55	593889.742	101.896	BD
218	1336643.07	593893.364	102.141	C
219	1336639.64	593897.101	101.833	BD
220	1336639.27	593897.797	102.361	P
221	1336638.86	593898.246	102.578	LIND
222	1336654.09	593910.489	102.459	LIND
223	1336654.92	593909.47	101.644	BD
224	1336657.3	593906.275	102.043	C
225	1336659.61	593902.994	101.753	BD
226	1336660.54	593901.863	102.252	P
227	1336661.37	593900.785	102.53	LIND
228	1336675.05	593912.51	102.553	LIND
229	1336674.57	593913.134	102.182	P
230	1336674.17	593913.822	101.762	BD
231	1336671.87	593917.394	101.932	C
232	1336669.63	593920.804	101.565	BD
233	1336669.34	593921.36	102.237	LIND
234	1336669.04	593921.787	102.462	LIND
235	1336684.13	593932.535	102.487	LIND
236	1336684.64	593931.863	102.295	BD
237	1336685.46	593930.83	101.662	BD
238	1336687.17	593927.09	101.809	C
239	1336688.48	593924.029	101.694	BD
240	1336688.82	593923.223	102.215	BD
241	1336719.97	593942.725	101.713	BS
242	1336699.57	593928.343	102.365	LIND
243	1336699.36	593928.985	102.036	BD
244	1336699	593930.104	101.644	BD
245	1336697.67	593933.577	101.805	C
246	1336695.6	593937.785	101.583	BD
247	1336694.79	593938.698	102.134	P
248	1336694.17	593939.439	102.425	LIND
249	1336689.76	593935.494	102.071	POSTE
250	1336715.99	593936.726	102.395	LIND
251	1336715.95	593937.339	102.098	P
252	1336715.09	593939.004	101.549	BD
253	1336712.83	593942.523	101.817	C
254	1336710.81	593947.17	101.485	BD
255	1336710.12	593948.238	101.94	P

256	1336709.55	593949.215	102.295	LIND
257	1336724.71	593958.25	102.463	LIND
258	1336725.2	593957.553	102.094	P
259	1336725.74	593955.886	101.366	BD
260	1336727.94	593951.056	101.829	C
261	1336729.9	593946.624	101.483	BD
262	1336730.73	593945.338	101.882	P
263	1336731.49	593944.682	102.136	LIND
264	1336731.45	593944.655	102.148	LIND
265	1336812.98	593996.777	101.193	BS
266	1336744.2	593951.022	102.296	LIND
267	1336743.5	593951.9	101.753	P
268	1336742.4	593953.722	101.451	BD
269	1336740.39	593957.689	101.785	C
270	1336738.08	593962.698	101.341	BD
271	1336737.81	593963.884	101.832	P
272	1336737.3	593964.744	102.075	LIND
273	1336750.53	593973.399	102.409	LIND
274	1336751.4	593972.075	102.048	P
275	1336752.1	593970.724	101.218	BD
276	1336754.18	593965.769	101.735	C
277	1336756.68	593961.583	101.459	BD
278	1336757.55	593960.137	102.109	P
279	1336758.91	593958.32	101.749	LIND
280	1336773.97	593966.222	101.793	LIND
281	1336773.24	593967.895	102.101	P
282	1336772.27	593969.72	101.373	BD
283	1336770.3	593975.027	101.68	C
284	1336767.74	593980.179	101.271	BD
285	1336766.46	593982.119	101.507	P
286	1336764.88	593982.634	101.813	LIND
287	1336783.26	593993.673	102.449	LIND
288	1336784.44	593992.347	102.238	P
289	1336785.65	593990.468	101.278	BD
290	1336788.21	593985.958	101.623	C
291	1336791.12	593981.238	101.277	BD
292	1336791.64	593980.1	101.688	BD
293	1336792.36	593979.217	102.493	LIND
294	1336809.85	593991.045	102.133	LIND
295	1336809.71	593991.683	101.741	P
296	1336809.11	593992.51	101.22	BD
1419	1336416	593643	106	BM
1420	1336510.4	593760.254	102.677	BM

1421	1338205.495	594979.008	105.583	BM
1422	1338285.120	594978.754	106.792	BM

Fuente: Alcaldía Municipal de Nindirí.

Se resumió la tabla con el fin de ahorro de páginas, en total son 1422 puntos levantados, se dejaron los últimos dos ya que son la ubicación de los BM'S.

Tabla 82. Clasificación de suelos AASHTO M – 145.

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 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. $Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		ARENAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Areñas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		ARENAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SP	Areñas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM	Areñas limosas, mezclas de arena y limo.	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fórmula que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIE: Menos del 5% GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **	
			SC	Areñas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
			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.		
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.				
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

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

Tabla 83. Clasificación de suelos S.U.C.S.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el Tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	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				
<p>NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.) Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6 Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5</p>											

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

Foto N° 5. Sondeos de línea Est. 0 + 000.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 6. Sondeos de línea Est. 0 + 500.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 7. Sondeos de línea Est. 1 + 000.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 8. Sondeos de línea Est. 1 + 500.



Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 9. Sondeos de línea Est. 2 + 000.



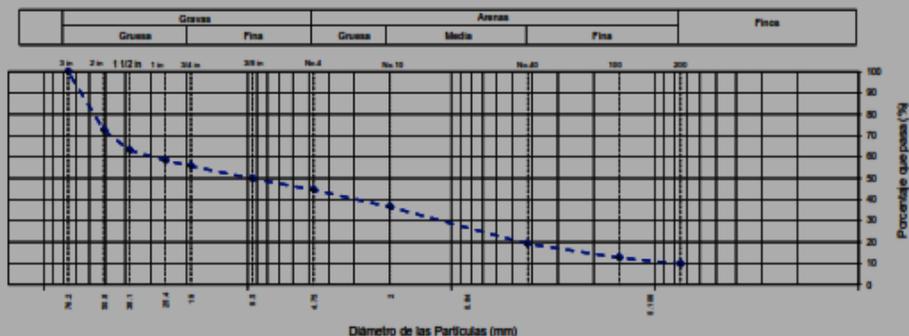
Fuente: Elaboración propia.

Foto N° 10. Sondeos de línea Est. 2 + 500.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha																																																																																																																			
		Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis ASTM D6913 / D6913M - 17		Muestra N°	marzo, 22 de noviembre de 2022																																																																																																																		
		Código	SM-001-2022																																																																																																																				
		Versión	ECC-001-2022																																																																																																																				
		Página	1																																																																																																																				
			1 de 4																																																																																																																				
Proyecto																																																																																																																							
Cliente : Yassar Robledo		Sondeo : 1	Muestreado por : D.C																																																																																																																				
Ubicación de Proyecto : Coñada - El Portillo, Nindirí, Masaya		Profundidad : 0.00 - 0.30 m	Ensayado por : D.C																																																																																																																				
Procedencia de la muestra : Sondeo No1, Muestra 1, Est 0+000 Ldar		Análisis : N/A	Fecha de Ensayo: 1-nov-22																																																																																																																				
Método de ensayo utilizado : Tamizado simple "B"		Procedimiento de obtención de muestra : Secado al aire																																																																																																																					
Tamiz de separación E11 : No aplica		Clasificación Visual - manual : GP	Grava : 55.4 % Arena : 34.8 % Fines : 9.8 %																																																																																																																				
DATOS DE ENSAYO																																																																																																																							
Tara + Material Húmedo = 3855.0 g		Código del Recipiente = 1-CD5A	Tara + Material Húmedo = 361.8 g	Código del Recipiente : V-2																																																																																																																			
Material Seco Sucio = 3661.0 g		Masa del Recipiente = 0.0 g	Material + Material Seco = 340.1 g	Masa del Recipiente = 0.0 g																																																																																																																			
Peso Lavado : = 3328.0 g			Contenido de Agua = 21.7 g	Humedad = 6.4%																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tamiz</th> <th rowspan="2">Abertura (mm)</th> <th rowspan="2">Fracción Retenida Acumulativa</th> <th rowspan="2">% Parcial Retenido</th> <th rowspan="2">% Acumulado que Pasa</th> <th colspan="2">Especificación</th> <th rowspan="2">Clasificación del Suelo</th> </tr> <tr> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 in.</td> <td>76.200</td> <td>0.0</td> <td>0</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">CLASIFICACION SUCS (ASTM D2457) GP - GM</td> </tr> <tr> <td>2 in.</td> <td>50.800</td> <td>1009.0</td> <td>28</td> <td>72</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1-1/2 in.</td> <td>38.100</td> <td>1349.0</td> <td>37</td> <td>63</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 in.</td> <td>25.400</td> <td>1522.0</td> <td>42</td> <td>58</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4">CLASIFICACION AASHTO (ASTM D3282) A-1-s (B)</td> </tr> <tr> <td>3/4 in.</td> <td>19.000</td> <td>1622.0</td> <td>44</td> <td>56</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8 in.</td> <td>9.500</td> <td>1839.0</td> <td>50</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4</td> <td>4.750</td> <td>2030.0</td> <td>55</td> <td>45</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10</td> <td>2.000</td> <td>2325.0</td> <td>64</td> <td>36</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="5">NOMBRE DEL GRUPO Grava pobremente graduada con limo y arena</td> </tr> <tr> <td>No. 40</td> <td>0.425</td> <td>2958.0</td> <td>81</td> <td>19</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 100</td> <td>0.150</td> <td>3197.0</td> <td>87</td> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 200</td> <td>0.075</td> <td>3304.0</td> <td>90</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pan</td> <td>—</td> <td>3328.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cc = 0.6</td> <td>0.090</td> <td>0.004</td> <td>1.159</td> <td>0.000</td> <td>29.071</td> <td colspan="2">Cc = 0.6 debe ser = 1 y + 3</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">Cu = 305 debe ser = 4</td> </tr> </tbody> </table>					Tamiz	Abertura (mm)	Fracción Retenida Acumulativa	% Parcial Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación		Clasificación del Suelo	Mínimo	Máximo	3 in.	76.200	0.0	0	100			CLASIFICACION SUCS (ASTM D2457) GP - GM	2 in.	50.800	1009.0	28	72			1-1/2 in.	38.100	1349.0	37	63			1 in.	25.400	1522.0	42	58			CLASIFICACION AASHTO (ASTM D3282) A-1-s (B)	3/4 in.	19.000	1622.0	44	56			3/8 in.	9.500	1839.0	50	50			No. 4	4.750	2030.0	55	45			No. 10	2.000	2325.0	64	36			NOMBRE DEL GRUPO Grava pobremente graduada con limo y arena	No. 40	0.425	2958.0	81	19			No. 100	0.150	3197.0	87	13			No. 200	0.075	3304.0	90	10			Pan	—	3328.0					Cc = 0.6		0.090	0.004	1.159	0.000	29.071	Cc = 0.6 debe ser = 1 y + 3									Cu = 305 debe ser = 4	
Tamiz	Abertura (mm)	Fracción Retenida Acumulativa	% Parcial Retenido	% Acumulado que Pasa						Especificación			Clasificación del Suelo																																																																																																										
					Mínimo	Máximo																																																																																																																	
3 in.	76.200	0.0	0	100			CLASIFICACION SUCS (ASTM D2457) GP - GM																																																																																																																
2 in.	50.800	1009.0	28	72																																																																																																																			
1-1/2 in.	38.100	1349.0	37	63																																																																																																																			
1 in.	25.400	1522.0	42	58			CLASIFICACION AASHTO (ASTM D3282) A-1-s (B)																																																																																																																
3/4 in.	19.000	1622.0	44	56																																																																																																																			
3/8 in.	9.500	1839.0	50	50																																																																																																																			
No. 4	4.750	2030.0	55	45																																																																																																																			
No. 10	2.000	2325.0	64	36			NOMBRE DEL GRUPO Grava pobremente graduada con limo y arena																																																																																																																
No. 40	0.425	2958.0	81	19																																																																																																																			
No. 100	0.150	3197.0	87	13																																																																																																																			
No. 200	0.075	3304.0	90	10																																																																																																																			
Pan	—	3328.0																																																																																																																					
Cc = 0.6		0.090	0.004	1.159	0.000	29.071	Cc = 0.6 debe ser = 1 y + 3																																																																																																																
							Cu = 305 debe ser = 4																																																																																																																
																																																																																																																							
OBSERVACIONES:																																																																																																																							
REALIZADO POR Nombre y firma: Laboralista			AUTORIZADO POR Nombre y firma: Ingeniero de Control de Calidad																																																																																																																				

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 85. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.

INFORME DE ENSAYO		Fecha	maries, 22 de noviembre de 2022		
DM	LÍMITES DE CONSISTENCIA DES SUELOS ASTM D4318	Muestra N°	ECC-001-2022		
		Código	ECC-002-2022		
		Versión	1		
		Página	2 de 4		
Proyecto:	0				
Cliente:	Yasser Robledo	Sondeo:	1	Mostrado por:	D.C
Ubicación de Proyecto:	Cobradia - El Portillo, Nindirí, Masaya	Profundidad:	0.00 - 0.30	Ensayado por:	D.C
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1. Muestra 1. Est 0+000 Lder	Análisis:	N/A	Fecha de Ensayo:	1-nov-22
Método de ensayo utilizado LL :	Método "A" - Multipunto	Procedimiento de obtención de muestra :	Secado al aire		
Tamiz de separación E11 :	No. 40	Clasificación Visual - manual (Global)	GP		
Método de separación de arena L :	Tamizado	Clasificación AASHTO (ASTM D3282) :	A-1-w (R)		
				Contenido de humedad:	= 6.4%
DESCRIPCIÓN					
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
Nro. de Recipiente	1	2	3	4	5
Masa de Recipiente	13.70	13.60	13.70	13.80	13.80
Masa de Recipiente + Suelo Humedo	39.20	38.10	37.00	20.00	20.00
Masa Recipiente + Suelo Seco	34.10	33.50	32.90	18.95	18.95
N° De Golpes	17	25	33	---	---
Cantidad mínima requerida LL: 20 g / LP: 6 g	(Cumplir)	(Cumplir)	(Cumplir)	(Cumplir)	(Cumplir)
Contenido de Humedad	25.0	23.1	21.4	20.4	20.4
LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	INDICE DE CONSISTENCIA (w)	INDICE DE LIQUEZ (LI)	
23	20	3	5.5		
GRÁFICO DE FLUIDEZ					
OBSERVACIONES:					
REALIZADO POR			AUTORIZADO POR		
Nombre y firma:			Nombre y firma:		
Laboratorista			Ingeniero de Control de Calidad		

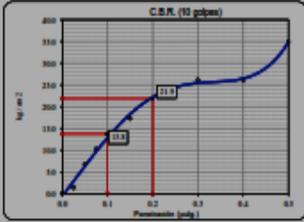
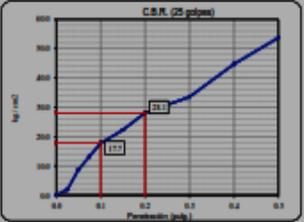
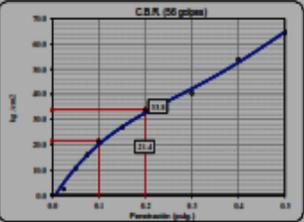
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 86. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.

INFORME DE ENSAYO		Fecha	marzo, 22 de noviembre de 2022						
DM	MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTÁNDAR. ASTM D628	Muestra N°	ECC-001-2022						
		Código	ECC-003-2022						
		Versión	1						
		Página	3 de 4						
Proyecto:	0								
Cliente:	Yasser Poblete	Sondeo	1	Muestreado por:	D.C.				
Ubicación de Proyecto:	Cofradía - El Portillo, Nindirí, Masaya	Profundidad:	0.00 - 0.30	Ensayado por:	D.C.				
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1. Muestra 1. Est 0+000 Lder	Avilón:	N/A	Fecha de Ensayo:	1-nov-22				
Método de ensayo utilizado :	A	Procedimiento de obtención de muestra :	Secado al aire	Vol. Molde:	926 cm ³				
Tamiz de separación :	No. 4	Clasificación Visual - manual (Global)	GP	Peso Molde:	4470 g				
Método de separación de suelo :	Tamizado	Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-1-a (0)						
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D628									
NÚMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	Mat. descartado			
Peso Suelo + Molde	gr.	6,186	6,315	6,468	6,433	% Grava (Pc)			
Peso Suelo Hum. Compactado	gr.	1,712	1,839	1,992	1,957				
Peso Volumétrico Humedo	gr.	1,049	1,066	2,151	2,113	0.0			
Recipiente Numero		0	0	0	0	% Hum. de Grava			
Peso de la Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	230.1	200.5	217.1	201.5				
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	211.8	188.4	199.3	181.4	GM de Grava			
Peso del agua	gr.	8.3	12.1	17.8	20.1				
Peso del suelo seco	gr.	212	188	199	181	0.00			
Contenido de agua	%	3.9	6.4	8.9	11.1	Tamiz separador			
Densidad Seca	gr/cc	1.779	1.866	1.875	1.963	No. 4			
Densidad Máxima Seca:		1.960	gr/cm³	Contenido Humedad Óptimo:		8.4 %			
		18.42	kN/m²						
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA									
CORRECCIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD POR MATERIAL DE SOBRE DIMENSIÓN ASTM D4716									
Gravedad específica aparente		0.000		VARIACIONES DE PORCENTAJES DE GRAVA INSITU					
Fracción de Sobre dimensión		0.0 %		5	10	15	20	25	30
Fracción fina		100.0 %		95	90	85	80	75	70
Contenido de Humedad de la Grava		0.0 %		0	0	0	0	0	0
Máxima Densidad Seca Corregida		gr/cm ³		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máxima Densidad Seca Corregida		kN/m ²		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Óptimo Contenido de Hum. Corregido		13.7 %		13.0	12.3	11.6	11.0	10.3	9.6
OBSERVACIONES:									
REALIZADO POR					AUTORIZADO POR				
Nombre y firma:					Nombre y firma:				
Laboratorista					Ingeniero de Control de Calidad				

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 87. Ensayo sondeo 1 – muestra 1. (0 m – 0.30 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha				
		ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883		Muestra N°	EXC-001-2022			
Código	ECC-004-2022							
Versión	1							
Página	4 de 4							
Proyecto:	0							
Cliente:	Yasser Robioto	Sondeo	1	Muestreado por:	D.C.			
Ubicación de Proyecto:	Cofradía - El Purillo, Nindirí, Managua	Profundidad:	0.00 - 0.30	Ensayado por:	D.C.			
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1, Muestra 1, Est 0+000 Lder	Análisis:	N/A	Fecha de Ensayo:	5-nov-22			
CALCULO DE ENSAYO DE CBR								
Molde N°	1	2	3					
Número de capas	5	5	5					
Número de golpes	10	25	50					
Condición de la muestra	NO SATURADO		NO SATURADO		NO SATURADO			
Peso suelo + molde (gr.)	12.101	11.504	12.517					
Peso molde (gr.)	5.008	7.002	5.008					
Peso suelo compactado (gr.)	4.502	4.502	4.509					
Volumen del molde (cm ³)	2.105	2.102	2.105					
Densidad húmeda (gr./cm ³)	1.944	2.094	2.142					
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.705	1.805	1.855					
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Peso de tara (gr.)	0.0	0.0	0.0					
Tara + suelo húmedo (gr.)	217.1	217.1	217.1					
Tara + suelo seco (gr.)	199.3	199.3	199.3					
Peso de agua (gr.)	17.8	17.8	17.8					
Peso de suelo seco (gr.)	199.3	199.3	199.3					
Humedad (%)	8.9	8.9	8.9					
EXPANSIÓN								
Fecha	Hora	Tiempo Hr	Expansión		Expansión		Expansión	
			mm	%	mm	%	mm	%
10-jun	11:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11-jun	11:00	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12-jun	11:00	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13-jun	11:00	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-jun	11:00	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PENETRACIÓN								
Penetración (pulg.)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1		Molde N° 2		Molde N° 3		Corrección CBR %
		Carga (kg)	Corrección CBR %	Carga (kg)	Corrección CBR %	Carga (kg)	Corrección CBR %	
0.025		26	1.4	26	1.9	44	2.3	
0.050		128	6.7	167	8.7	202	10.5	
0.075		197	10.2	254	13.2	307	15.9	
0.100	70.307	265	13.6	341	17.7	411	21.4	30.4
0.150		333	17.3	429	22.3	515	26.8	
0.200	105.460	421	21.9	542	28.1	651	33.8	32.1
0.300		502	26.1	646	33.6	776	40.3	
0.400		502	26.1	852	44.8	1035	53.8	
0.500		672	34.9	1035	53.8	1242	64.5	
								
Valor CBR 90% DSM = 20			Valor CBR 95% DSM = 25			Valor CBR 100% DSM = 30		
REALIZADO POR				AUTORIZADO POR				
Nombre y Firma:				Nombre y Firma:				
Laboratorio				Ingeniero de Control de Calidad				

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 88. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.

INFORME DE ENSAYO					Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022	
DM	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis ASTM D6913 / D6913M - 17				Muestra N°	SM-002-2022	
					Código	ECC-021-2022	
					Versión	1	
					Página	1 de 4	
Proyecto							
Cliente	: Yasser Robledo		Sondeo	: 1		Muestreo por	: D.C
Ubicación de Proyecto	: Coahuala - El Portillo, Nindri, Masaya		Profundidad	: 0.30 - 1.00 m		Ensayado por	: D.C
Procedencia de la muestra	: Sondeo No1, Muestra 2, 0+000 Lder		Asílo	: N/A		Fecha de Ensayo	: 7-nov-22
Método de ensayo utilizado	: Tamizado simple "D"		Procedimiento de obtención de muestra	: Secado al aire		Grava	: 44.4 %
Tamiz de separación E11	: No aplica		Clasificación Visual - manual	: GM		arena	: 35.4 %
						Fina	: 20.2 %
DATOS DE ENSAYO							
Tara + Material Húmedo	= 2211.0 g	Código del Recipiente	= 1- CDSA	Tara + Material Húmedo	= 204.7 g	Código del Recipiente	: V-2
Material Seco Sucio	= 1904.0 g	Masa del Recipiente	= 0.0 g	Material + Material Seco	= 225.0 g	Masa del Recipiente	= 0.0 g
Peso Lavado	= 1528.0 g			Contenido de Agua	= 30.7 g	Humedad	= 15.1%
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Tamiz	Apertura (mm)	Fracción Retenida Acumulativa	% Parcial Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación		Clasificación del Suelo
					Mínimo	Máximo	
3 in.	76.200	0.0	0	100			CLASIFICACION SUCS (ASTM D2487) GC - GM
2 in.	50.800	0.0	0	100			
1 -1/2 in.	38.100	420.0	22	78			
1 in.	25.400	598.0	31	69			
3/4 in.	19.000	643.0	34	66			CLASIFICACION AASHTO (ASTM D3382) A-1-b (8)
3/8 in.	9.500	736.0	39	61			
No. 4	4.750	846.0	44	56			
No. 10	2.000	1000.0	53	47			
No. 40	0.425	1316.0	69	31			NOMBRE DEL GRUPO Grava fino arcillosa con arena
No. 100	0.150	1472.0	77	23			
No. 200	0.075	1528.0	80	20			
Pan	---	1528.0					
C _u	0.006	C _l	0.380	8.102	C _c = 2.9 debe ser > 1 y < 3		C _u = 1301 debe ser > 4
OBSERVACIONES:							
REALIZADO POR				AUTORIZADO POR			
Nombre y firma:				Nombre y firma:			
Laboralista				Ingeniero de Control de Calidad			

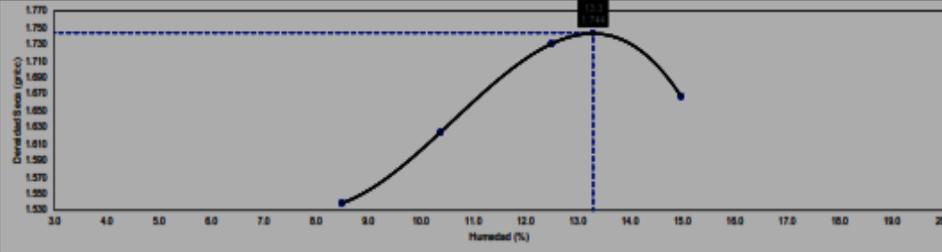
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 89. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.

INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022		
DM	LÍMITES DE CONSISTENCIA DE SUELOS ASTM D4318	Muestra N°	EXC-002-2022		
		Código	ECC-022-2022		
		Versión	1		
		Página	2 de 4		
Proyecto:	0				
Cliente:	Yasser Fobiano	Sondeo:	1		
Ubicación de Proyecto:	Cohradia - El Porillo, Nindirí, Masaya	Profundidad:	0.30 - 1.00		
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1. Muestra 2. 0+000 Ldir	Avalúo:	N/A		
Método de ensayo utilizado LL :	Método "A" - Multipunto	Procedimiento de obtención de muestra :	Secado al aire		
Tamiz de separación #11 :	No. 40	Clasificación Visual - manual (Global)	GM		
Método de separación de arena U :	Tamizado	Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-1-b (B)		
		Contenido de humedad:	= 16.1%		
DESCRIPCIÓN					
	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Nro. de Recipiente	1	2	3	4	5
Masa de Recipiente	13.60	13.00	13.60	13.60	13.00
Masa de Recipiente + Suelo Humedo	39.20	38.30	37.40	30.00	20.00
Masa Recipiente + Suelo Seco	34.00	33.40	32.80	19.00	19.00
N° De Golpes	16	24	33	---	---
Cantidad mínima requerida LL: 20 g / LP: 6 g	(Cumple)	(Cumple)	(Cumple)	(Cumple)	(Cumple)
Contenido de Humedad	25.5	24.7	24.0	19.2	19.2
LÍMITE LÍQUIDO					
LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD		ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	
25		19		6	
25		19		1.5	
GRÁFICO DE FLUIDEZ					
OBSERVACIONES:					
REALIZADO POR			AUTORIZADO POR		
Nombre y firma:			Nombre y firma:		
Laboratorista			Ingeniero de Control de Calidad		

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 90. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022				
		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTÁNDAR. ASTM D628		Muestra N°	ECC-002-2022				
				Código	ECC-002-2022				
				Versión	1				
				Página	3 de 4				
Proyecto: 0									
Cliente: Yasser Kobbeto		Sondeo: 1	Muestreado por: D.C						
Ubicación de Proyecto: Coñada - El Portillo, Nindirí, Masaya		Profundidad: 0.30 - 1.00	Ensayado por: D.C						
Procedencia de la muestra: Sondeo No1, Muestra 2, 0+000 Lder		Avalúo: N/A	Fecha de Ensayo: 7-nov-22						
Método de ensayo utilizado : A	Procedimiento de obtención de muestra : Secado al aire	Vol. Molde: 926 cm ³							
Tamiz de separación : No. 4	Clasificación Visual - manual (Global) : GM	Peso Molde: 4476 g							
Método de separación de suelo : Tamizado	Clasificación AASHTO (ASTM D3282) : A-1-b (0)								
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D628									
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	Mat. descartado			
Peso Suelo + Molde	gr.	6.022	6.136	6.279	6.251	% Grava (Pc)			
Peso Suelo Hum. Compactado	gr.	1.546	1.660	1.803	1.775	0.0			
Peso Volumétrico Humedo	gr.	1.670	1.793	1.947	1.917				
Recipiente Numero		0	0	0	0	% Hum. de Grava			
Peso de la Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	206.4	207.3	201.5	200.3				
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	194.7	187.8	178.1	174.2	GM de Grava			
Peso del agua	gr.	15.7	19.5	22.4	26.1	0.00			
Peso del suelo seco	gr.	185	188	179	174				
Contenido de agua	%	8.5	10.4	12.5	15.0	Tamiz separador			
Densidad Seca	gr/cc	1.539	1.624	1.731	1.667	No. 4			
Densidad Máxima Seca:		1.744	gr/cm ³	17.10		g/ft ³	Contenido Humedad Óptima: 13.3 %		
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA									
									
CORRECCION DE HUMEDAD Y DENSIDAD POR MATERIAL DE SOBRE DIMENSION ASTM D4718									
Gravedad específica aparente		0.000		VARIACIONES DE PORCENTAJES DE GRAVA INSITU					
Fracción de Sobre dimensión		0.0 %		5	10	15	20	25	30
Fracción fina		100.0 %		95	90	85	80	75	70
Contenido de Humedad de la Grava		0.0 %		0	0	0	0	0	0
Máxima Densidad Seca Corregida		g/cm ³		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máxima Densidad Seca Corregida		M/ft ³		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Óptimo Contenido de Hum. Corregido		13.7 %		13.0	12.3	11.6	11.0	10.3	9.6
OBSERVACIONES:									
REALIZADO POR					AUTORIZADO POR				
Nombre y firma:					Nombre y firma:				
Laboratorista					Ingeniero de Control de Calidad				

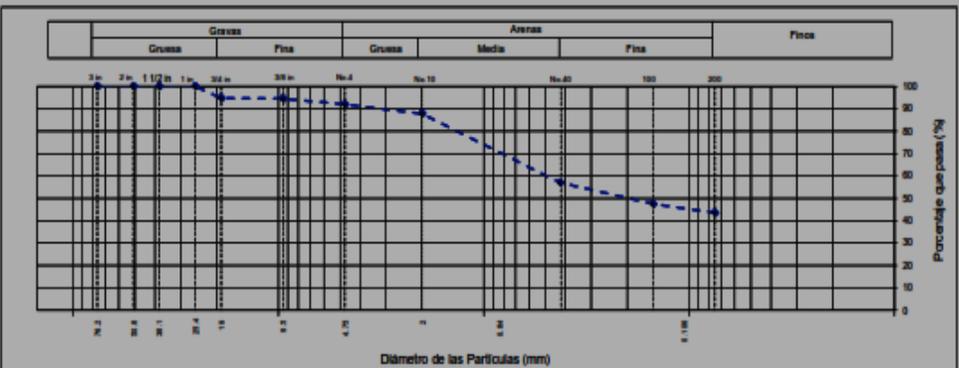
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 91. Ensayo sondeo 1 – muestra 2. (0.30 m – 1.00 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022		
		ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883		Muestra N°	EXC-002-2022		
				Código	ECC-024-2022		
				Versión	1		
				Página	4 de 4		
Proyecto:		0					
Cliente:		Yasser Robledo	Sondeo	1	Muestreado por:	D.C	
Ubicación de Proyecto:		Cofradía - El Portillo, Nindirí, Mataya	Profundidad:	0.30 - 1.00	Ensayado por:	D.C	
Procedencia de la muestra:		Sondeo No1. Muestra 2. 0+000 Lder	Avalúe:	N/A	Fecha de Ensayo:	11-nov-22	
CALCULO DE ENSAYO DE CBR							
Molde N°	1	2	3				
Número de capas	5	5	5				
Número de golpes	10	25	50				
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO				
Peso suelo + molde (gr.)	11.718	11.109	11.204				
Peso molde (gr.)	8.006	720	7.029				
Peso suelo compactado (gr.)	3.710	10.449	4.274				
Volumen del molde (cm ³)	2.105	2.219	2.219				
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.752	4.729	1.928				
Densidad seca (gr/cm ³)	1.526	4.125	1.712				
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso de tara (gr.)	0.0	0.0	0.0				
Tara + suelo húmedo (gr.)	203.0	203.0	203.0				
Tara + suelo seco (gr.)	180.4	180.4	180.4				
Peso de agua (gr.)	22.6	22.6	22.6				
Peso de suelo seco (gr.)	180.4	180.4	180.4				
Humedad (%)	12.5	12.5	12.5				
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo	Expansión		Expansión		
		Hr	mm	%	mm	%	
10-jun	11:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	
11-jun	11:00	24	0.00	0.00	0.00	0.00	
12-jun	11:00	48	0.00	0.00	0.00	0.00	
13-jun	11:00	72	0.00	0.00	0.00	0.00	
14-jun	11:00	96	0.00	0.00	0.00	0.00	
PENETRACION							
Penetración (mm)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1		Molde N° 2		Molde N° 3	
		Carga	Corrección	Carga	Corrección	Carga	Corrección
		kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²
0.025	26	1.4		36	1.9	42	2.2
0.050	126	6.7		167	8.7	193	10.0
0.075	197	10.2		254	13.2	293	15.3
0.100	70.307	246	18.3	320	16.6	369	19.2
0.150	333	17.3		429	22.3	494	25.7
0.200	105.460	407	20.1	524	27.2	604	31.4
0.300	502	26.1		646	33.6	743	36.6
0.400	502	26.1		952	44.8	992	51.5
0.500	672	34.9		1035	53.8	1190	61.8
		Valor CBR 95% DSM = 18		Valor CBR 95% DSM = 24		Valor CBR 100% DSM = 27	
REALIZADO POR				AUTORIZADO POR			
Nombres y firma:				Nombres y firma:			
Laboratorista				Ingeniero de Control de Calidad			

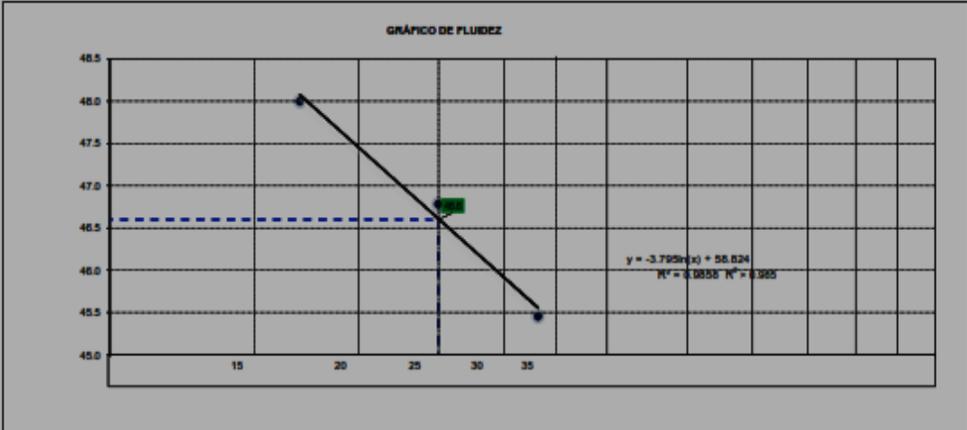
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 92. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022		
		Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis ASTM D6913 / D6913M - 17		Muestra N°	SM-003-2022		
				Código	ECC-013-2022		
				Versión	1		
				Página	1 de 4		
Proyecto							
Cliente : Yasser Robledo		Sondeo : 1		Muestreado por : D.C			
Ubicación de Proyecto : Coñadía - El Portillo, Nindirí, Masaya		Profundidad : 1.00 - 1.50 m		Ensayado por : D.C			
Procedencia de la muestra : Sondeo N°1, Muestra 3, Est. 0+000 Lder.		Análisis : N/A		Fecha de Ensayo : 7-nov-22			
Método de ensayo utilizado : Tamizado simple "B"		Procedimiento de obtención de muestra : Secado al aire		Grava : 8.0 % Arena : 48.4 % Fines : 43.6 %			
Tamiz de separación E11 : No aplica		Clasificación Visual - manual : SM					
DATOS DE ENSAYO Tara + Material Húmedo = 1146.0 g Código del Recipiente = 1- CDSA Material Seco Sucio = 1056.0 g Masa del Recipiente = 0.0 g Paso Lavado : = 621.0 g			DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Tara + Material Húmedo = 275.0 g Código del Recipiente : V-2 Material + Material Seco = 260.7 g Masa del Recipiente = 0.0 g Contenido de Agua = 14.3 g Humedad = 5.5%				
Tamiz	Abertura (mm)	Fracción Retenida Acumulativa	% Parcial Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación		Clasificación del Suelo
					Mínimo	Máximo	
3 in.	76.200	0.0	0	100			CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D3487) SC
2 in.	50.800	0.0	0	100			
1-1/2 in.	38.100	0.0	0	100			
1 in.	25.400	0.0	0	100			CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282) A-7-6 (2)
3/4 in.	19.000	57.0	5	95			
3/8 in.	9.500	60.0	6	94			
No. 4	4.750	87.0	8	92			
No. 10	2.000	132.0	12	88			
No. 40	0.425	467.0	43	57			NOMBRE DEL GRUPO Arena arcillosa
No. 100	0.150	570.0	52	48			
No. 200	0.075	613.0	56	44			
Fin	—	621.0					
D ₁₀ = 0.080 D ₃₀ = 0.016 D ₅₀ = 0.023 D ₆₀ = 0.023 C _u = 4.8 sobre ser = 1 y = 3 C _u = 4200 sobre ser = 4							
							
OBSERVACIONES:							
REALIZADO POR Nombre y firma: Laborantista				AUTORIZADO POR Nombre y firma: Ingeniero de Control de Calidad			

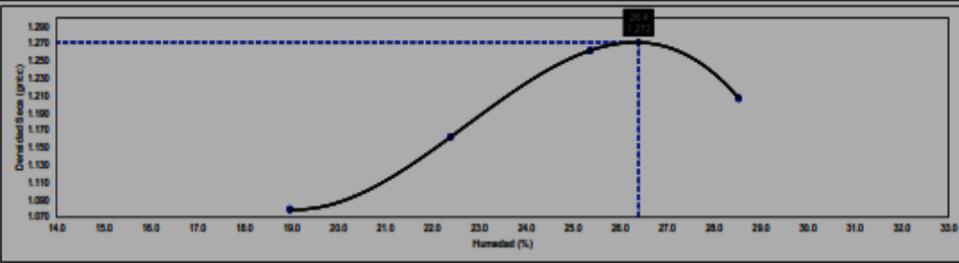
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 93. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO			Fecha	
		LÍMITES DE CONSISTENCIA DES SUELOS ASTM D4318			Muestra N°	EXC-003-2022
Código	ECC-014-2022					
Versión	1					
Página	2 de 4					
Proyecto: 0						
Cliente: Yasser Robledo		Sondeo: 1		Muestreado por: D.C		
Ubicación de Proyecto: Carretera - El Porfido, Nindirí, Masaya		Profundidad: 1.00 - 1.50		Ensayado por: D.C		
Procedencia de la muestra: Sondeo No1. Muestra 3. Est. 0+000 Ldar.		Análisis: N/A		Fecha de Ensayo: 7-nov-22		
Método de ensayo utilizado LL : Método "A" - Multipunto		Procedimiento de obtención de muestra : Secado al aire		Contenido de humedad: = 5.5%		
Tamiz de separación E11 : No. 40		Clasificación Visual - manual (Global) : SM				
Método de separación de arena U : Tamizado		Clasificación AASHTO (ASTM D3282) : A-7-6 (2)				
DESCRIPCION						
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Nro. de Recipiente	1	2	3	4	5	
Masa de Recipiente	13.80	13.70	13.70	13.70	13.70	
Masa de Recipiente + Suelo Humedo	39.70	38.80	37.70	20.40	20.40	
Masa Recipiente + Suelo Seco	31.30	30.80	30.20	19.00	19.00	
N° De Golpes	17	25	33	—	—	
Cantidad mínima requerida LL: 20 g / LP: 5 g	¡Cumplir!		¡Cumplir!		¡Cumplir!	
Contenido de Humedad	48.0	48.8	45.5	26.4	26.4	
LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		ÍNDICE DE CONSISTENCIA (IC)		ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)
47	26	21		2.0		
GRÁFICO DE FLUJEZ						
						
OBSERVACIONES:						
REALIZADO POR				AUTORIZADO POR		
Nombre y firma:				Nombre y firma:		

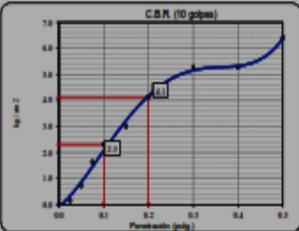
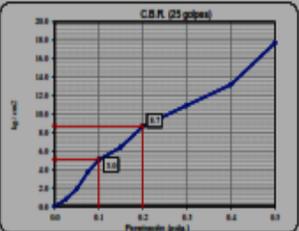
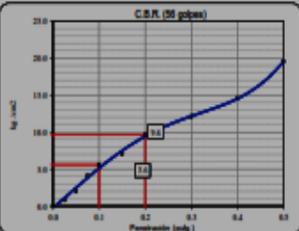
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 94. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022		
		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO. ASTM D628		Muestra N°	EXC-003-2022		
				Código	ECC-015-2022		
				Versión	1		
				Página	3 de 4		
Proyecto:	0						
Cliente:	Yasser Robledo	Sondeo:	1	Muestreado por:	D.C		
Ubicación de Proyecto:	Cofradía - El Portillo, Nindirí, Masaya	Profundidad:	1.00 - 1.50	Ensayado por:	D.C		
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1, Muestra 3, Est. 0+000 Lder.	Avalúo:	N/A	Fecha de Ensayo:	7-nov-22		
Método de ensayo utilizado :	A	Procedimiento de obtención de muestra :	Secado al aire	Vol. Molde:	926 cm ³		
Tamiz de separación :	No. 4	Clasificación Visual - manual (Global)	SM	Peso Molde:	4476 g		
Método de separación de suelo :	Tamizado	Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-7-6 (2)				
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557							
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	Mat. descartado		
Peso Suelo + Molde	gr. 5,665	5,704	5,042	5,913	% Grava (Pc)		
Peso Suelo Hum. Compactado	gr. 1,169	1,318	1,466	1,437	0.0		
Peso Volumétrico Humedo	gr. 1,204	1,423	1,583	1,552			
Recipiente Numero	0	0	0	0	% Hum. de Grava		
Peso de la Tara	gr. 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Peso Suelo Humedo + Tara	gr. 200.0	200.0	200.0	200.0	GM de Grava		
Peso Suelo Seco + Tara	gr. 166.1	163.4	166.7	155.6	0.00		
Peso del agua	gr. 31.9	36.6	42.3	44.4	Tamiz separador		
Peso del suelo seco	gr. 166	163	167	156	No. 4		
Contenido de agua	% 19.8	22.4	25.4	28.5			
Densidad Seca	gr/cc 1.879	1.163	1.263	1.267			
Densidad Máxima Seca:	1.272 g/cm ³	12.47 kN/m ³	Contenido Humedad Óptima: 26.4 %				
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA							
							
CORRECCION DE HUMEDAD Y DENSIDAD POR MATERIAL DE SOBRE DIMENSION ASTM D475							
Gravedad específica aparente	0.000						
Fracción de Sobre dimensión	0.0 %						
Fracción fina	100.0 %						
Contenido de Humedad de la Grava	0.0 %						
Máxima Densidad Seca Corregida	g/cm ³						
Máxima Densidad Seca Corregida	kN/m ³						
Óptimo Contenido de Hum. Corregido	13.7 %						
		VARIACIONES DE PORCENTAJES DE GRAVA IN SITU					
		5	10	15	20	25	30
		95	90	85	80	75	70
		0	0	0	0	0	0
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		13.0	12.3	11.6	11.0	10.3	9.6
OBSERVACIONES:							
REALIZADO POR			AUTORIZADO POR				
Nombre y firma:			Nombre y firma:				

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 95. Ensayo sondeo 1 – muestra 3. (1.00 m – 1.50 m) Est. 0 + 000.

		INFORME DE ENSAYO		Fecha	mércoles, 12 de octubre de 2022					
		ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883		Muestra N°	EXC-093-2622					
				Código	ECC-016-2622					
				Versión	1					
				Página	4 de 4					
Proyecto:	0									
Cliente:	Yasser Robledo	Sondeo:	1	Muestreado por:	D.C					
Ubicación de Proyecto:	Coñadía - El Portillo, Nindirí, Masaya	Profundidad:	1.00 - 1.50	Ensayado por:	D.C					
Procedencia de la muestra:	Sondeo No1, Muestra 3, Est. 0+000 Lder.	Avalúo:	N/A	Fecha de Ensayo:	11-nov-22					
CALCULO DE ENSAYO DE CBR										
Molde N°	1	2	3							
Número de capas	5	5	5							
Número de golpes	10	25	50							
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO							
Peso suelo + molde (gr.)	11,029	11,211	11,316							
Peso molde (gr.)	5,006	5,049	5,008							
Peso suelo compactado (gr.)	3,021	3,162	3,308							
Volumen del molde (cm ³)	2,105	2,086	2,105							
Densidad húmeda (gr./cm ³)	1,435	1,516	1,571							
Densidad Seca (gr./cm ³)	1,145	1,209	1,253							
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Peso de tara (gr.)	0.0	0.0	0.0							
Tara + suelo húmedo (gr.)	209.0	209.0	209.0							
Tara + suelo seco (gr.)	166.7	166.7	166.7							
Peso de agua (gr.)	42.3	42.3	42.3							
Peso de suelo seco (gr.)	166.7	166.7	166.7							
Humedad (%)	25.4	25.4	25.4							
EXPANSION										
Fecha	Hora	Tiempo	Expansión		Expansión		Expansión			
		Hr	mm	%	mm	%	mm	%		
10-jun	11:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
11-jun	11:00	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
12-jun	11:00	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
13-jun	11:00	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
14-jun	11:00	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
					0.00	0.00	0.00	0.00		
PENETRACION										
Penetración (psig.)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Carga kg	kg/cm ²	Corrección CBR %	Carga kg	kg/cm ²	Corrección CBR %	Carga kg	kg/cm ²	Corrección CBR %
0.025	3	0.2	14	0.7	16	0.8				
0.050	14	0.7	36	1.9	40	2.1				
0.075	31	1.6	71	3.7	79	4.1				
0.100	70.307	4.4	2.3	3.3	97	5.0	7.2	107	5.8	7.9
0.150	58	3.0	123	6.4	136	7.1				
0.200	105.460	6.0	4.1	3.9	167	8.7	6.2	184	9.6	9.1
0.300	101	5.3	211	10.9	232	12.1				
0.400	101	5.3	254	13.2	280	14.6				
0.500	123	6.4	341	17.7	376	19.6				
										
Valor CBR 90% DSM = 3			Valor CBR 90% DSM = 7			Valor CBR 100% DSM = 8				
REALIZADO POR Nombre y firma:					AUTORIZADO POR Nombre y firma:					

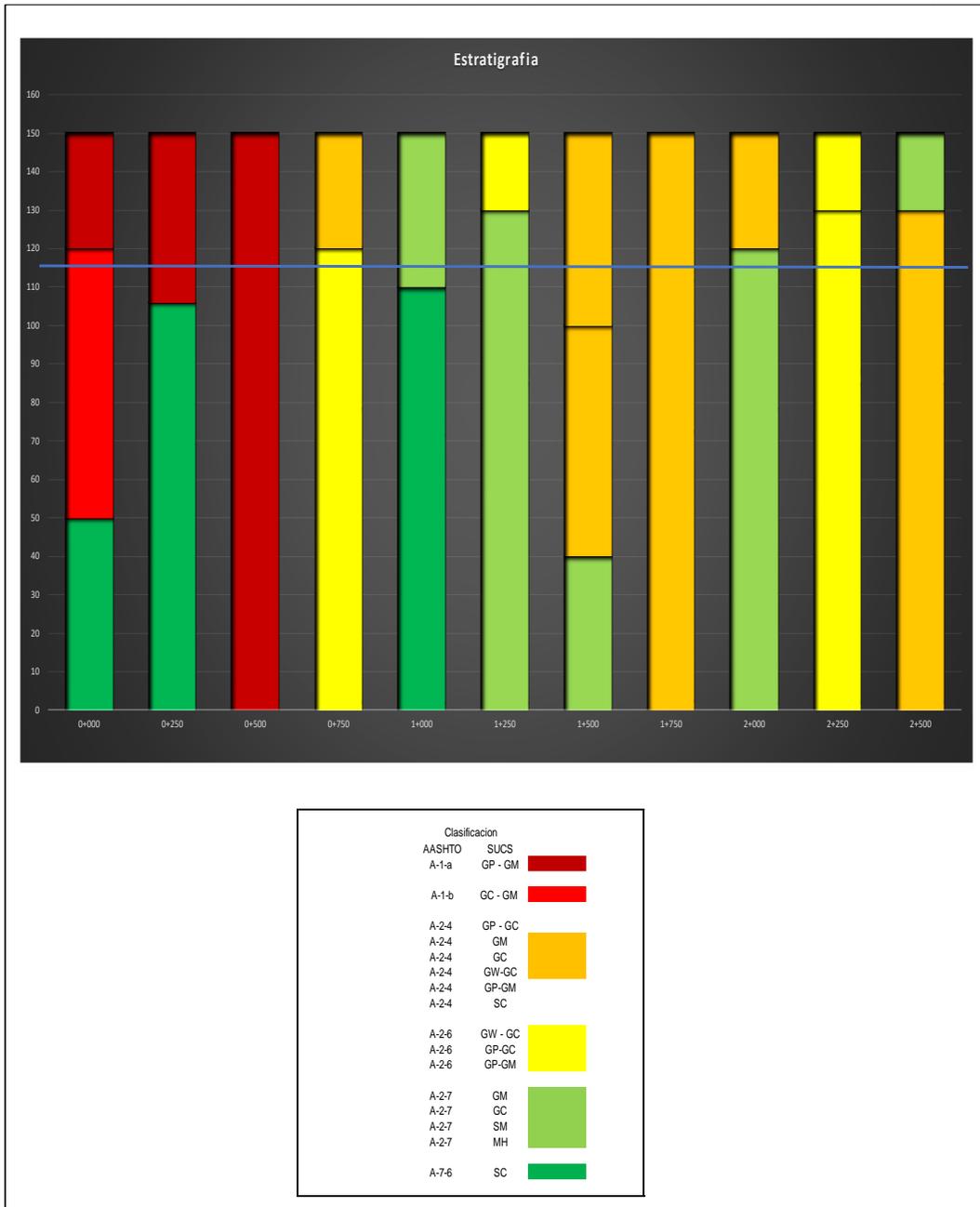
Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Tabla 96. Resumen de resultados obtenidos a muestras de sondeos de línea.

		REPORTE DE LABORATORIO																											
		Resultados de las propiedades físicas y capacidad soporte de suelos																											
PROYECTO:		PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE												CLIENTE:		YASSER ROBLETO													
		COFRADÍA - EL PORTILLO (2.5 KM.)																											
Localización de Sondeo		Identificación de Muestras		Estratigrafía			NORMA: ASTM D 6913 / D 6913M - 17												NORMA: ASTM D 4318			Clasificación	ASTM D 628		ASTM D 1883			Clasificación SUCS (ASTM D 2487)	
							Granulometría (% que pasa)												Límites de consistencia de suelos				Densidad máxima	Húmeda óptima	CBR				
Estación	Banda	Sondeo No.	Muestra No.	desde (cm)	hasta (cm)	espesor (cm)	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100	No. 200	LL	LP	IP	NORMA:	ASTM D 628 (g/cm3)	ASTM D 628 (%)	ASTM D 1883 (%)	ASTM D 1883 (%)	ASTM D 1883 (%)	
							75	50	38	25	19	10	5	2	0.425	0.15	0.075	%	%	%	AASHTO (ASTM D 3282)								
00+000	Derecha	1	1	0	30	30	100	72	63	58	56	50	45	36	19	13	10	23	20	3	A-1a(0)	198	9.4	20	25	30	GP-GM		
00+000	LC	1	2	30	100	70	100	100	78	69	66	61	56	47	31	23	20	25	19	6	A-1b(0)	1744	13.3	18	24	27	GC-GM		
00+000	Derecha	1	3	100	150	50	100	100	100	100	95	94	92	88	57	48	44	47	26	20	A-7-6(2)	1272	26.4	3	7	8	SC		
00+250	LC	2	1	0	44	44	100	72	63	58	55	48	43	35	18	13	9	22	19	3	A-1a(0)	193	8.1	22	26	33	GP-GM		
00+250	LC	2	2	44	150	106	100	100	100	100	95	94	92	88	56	47	44	46	26	20	A-7-6(2)	1621	25.7	2	7	8	SC		
00+500	Izquierda	3	1	0	150	150	100	93	86	67	61	49	42	34	18	10	9	31	26	5	A-1a(0)	1948	11.6	25	33	40	GP-GM		
00+750	Derecha	4	1	0	30	30	100	73	64	59	56	51	46	37	18	14	8	32	21	11	A-2-4(0)	2.069	9.2	19	24	30	GP-GC		
00+750	LC	4	2	30	150	120	100	100	100	71	58	50	39	34	17	11	5	40	23	17	A-2-6(0)	1899	10.5	22	29	35	GW-GC		
01+000	LC	5	1	0	40	40	100	100	100	100	100	60	43	36	26	18	16	44	29	14	A-2-7(0)	169	18.7	12	16	20	GM		
01+000	LC	5	2	40	150	110	100	100	100	100	100	100	98	95	61	52	47	48	25	23	A-7-6(3)	132	22.5	3	3	4	SC		
01+250	Izquierda	6	1	0	20	20	100	77	74	62	55	40	28	17	9	6	6	37	23	14	A-2-6(0)	2.146	12.1	12	16	20	GW-GC		
01+250	Izquierda	6	2	20	150	130	100	100	96	85	77	67	57	47	34	27	24	41	25	16	A-2-7(0)	189	16.5	11	14	17	GC		
01+500	Derecha	7	1	0	50	50	100	90	79	71	65	50	39	29	19	15	13	32	24	8	A-2-4(0)	2.045	13.5	54	67	84	GM		
01+500	Derecha	7	2	50	110	60	100	83	78	66	62	51	37	29	18	14	13	31	21	10	A-2-4(0)	2.005	13.7	15	19	24	GC		
01+500	Derecha	7	3	110	150	40	100	100	100	96	92	84	73	60	40	29	26	42	30	12	A-2-7(0)	1774	18.9	9	11	14	SM		
01+750	Derecha	8	1	0	150	150	100	91	83	72	64	51	41	29	17	13	12	25	19	6	A-2-4(0)	2.051	12.9	33	41	52	GW-GC		
02+000	LC	9	1	0	30	30	100	88	84	74	68	57	42	28	15	12	11	36	28	8	A-2-4(0)	2	19.6	23	29	36	GP-GM		
02+000	LC	9	2	30	150	120	100	100	100	100	98	84	69	54	36	33	26	44	30	14	A-2-7(0)	1775	24.9	7	8	10	SM		
02+250	Izquierda	10	1	0	20	20	100	86	71	62	58	43	34	26	17	13	12	31	19	12	A-2-6(0)	2.172	8.6	12	16	20	GP-GC		
02+250	Izquierda	10	2	20	150	130	100	80	66	48	42	33	27	21	15	11	10	37	26	11	A-2-6(0)	1972	13.0	24	30	38	GP-GM		
02+500	LC	11	1	0	20	20	97	85	78	62	54	44	36	29	19	15	14	41	28	13	A-2-7(0)	2.02	15.0	19	24	30	GM		
02+500	LC	11	2	20	150	130	100	100	100	96	92	84	73	60	40	29	26	32	23	9	A-2-4(0)	1.74	13.0	5	6	8	SC		

Fuente: DM Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

Gráfico 4. Estratigrafía de clasificación de los suelos.



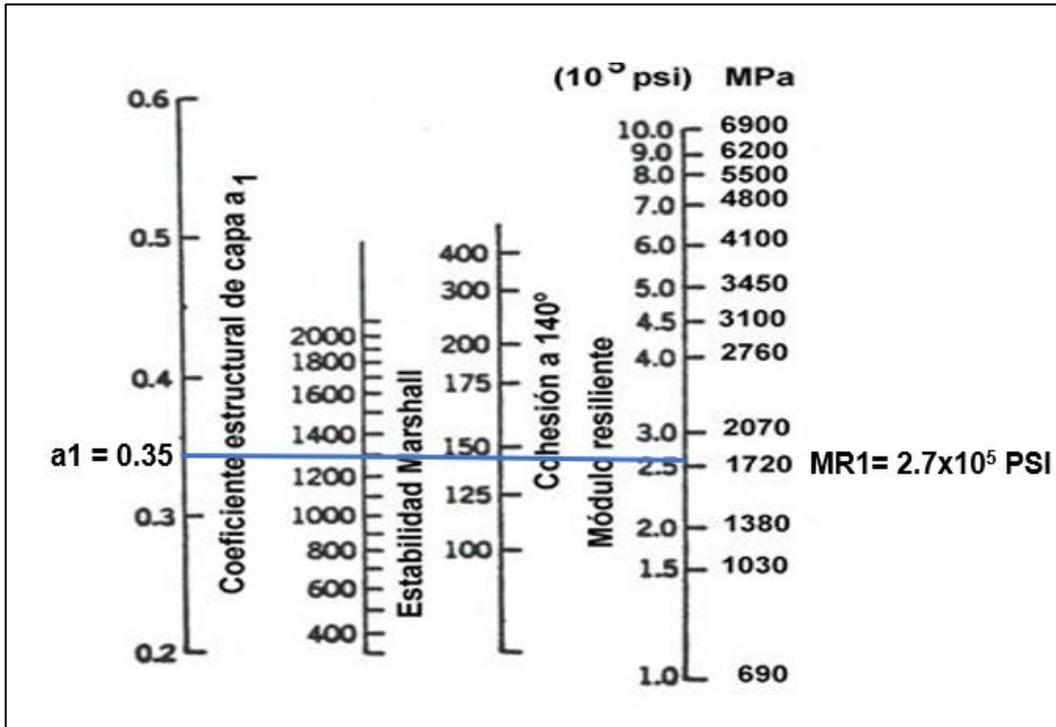
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97. Estabilidad del método Marshall.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338	1300	8006	
	750	-----	1200	-----	1800	-----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 5. Abaco para estimar el coeficiente estructural de la capa asfáltica.



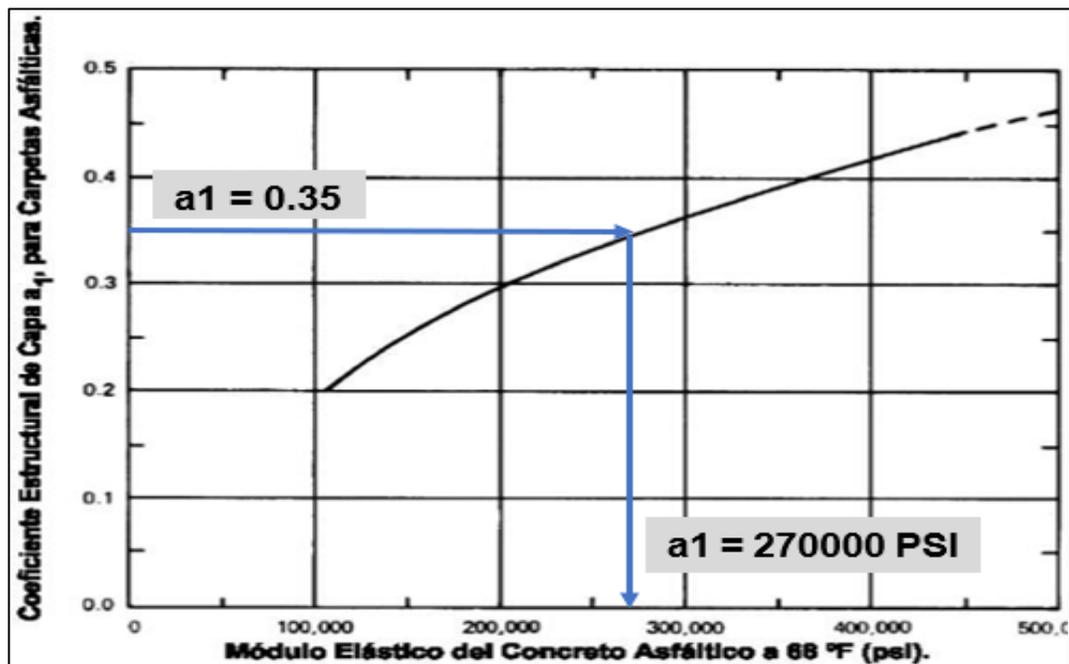
Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

En el caso de que no se cuente con el valor del módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica, se puede usar el gráfico anterior, para estimar el coeficiente estructural

(a1) a partir de la estabilidad Marshall de la mezcla. Se consideró una estabilidad de 1300 lb/cm² equivalente, obteniendo un coeficiente de capa a1= 0.35 y un módulo elástico del concreto asfáltico de 270000 psi.

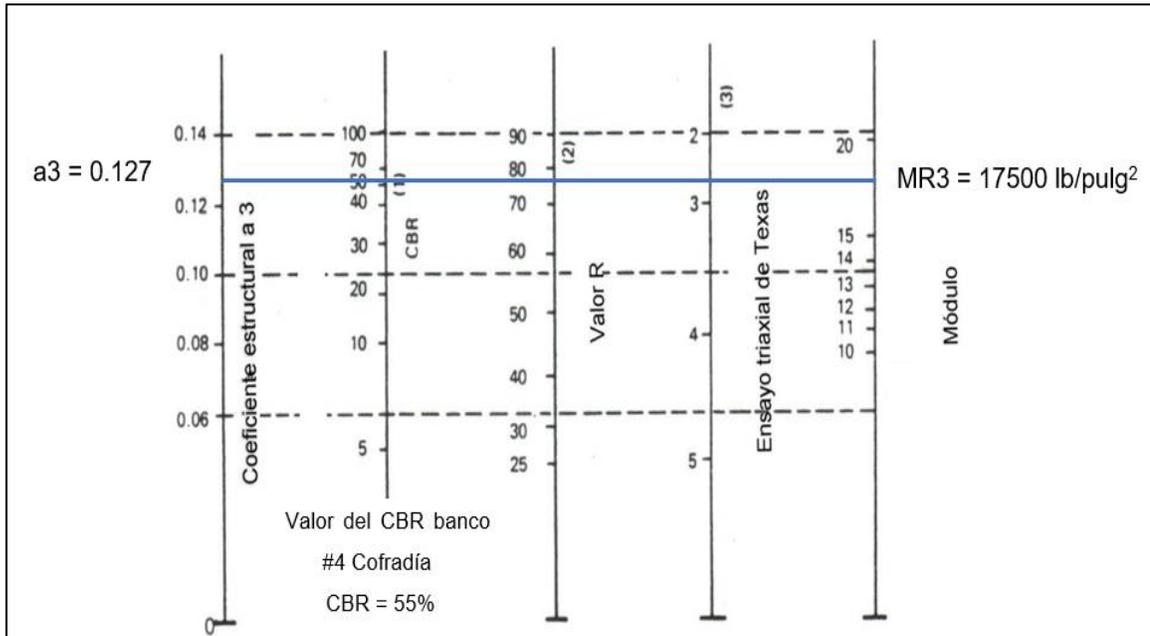
En el siguiente gráfico se puede comprobar el valor obtenido a1, tomando en cuenta el módulo elástico del concreto asfáltico de 270000 psi.

Gráfico 6. Comprobación de coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1).



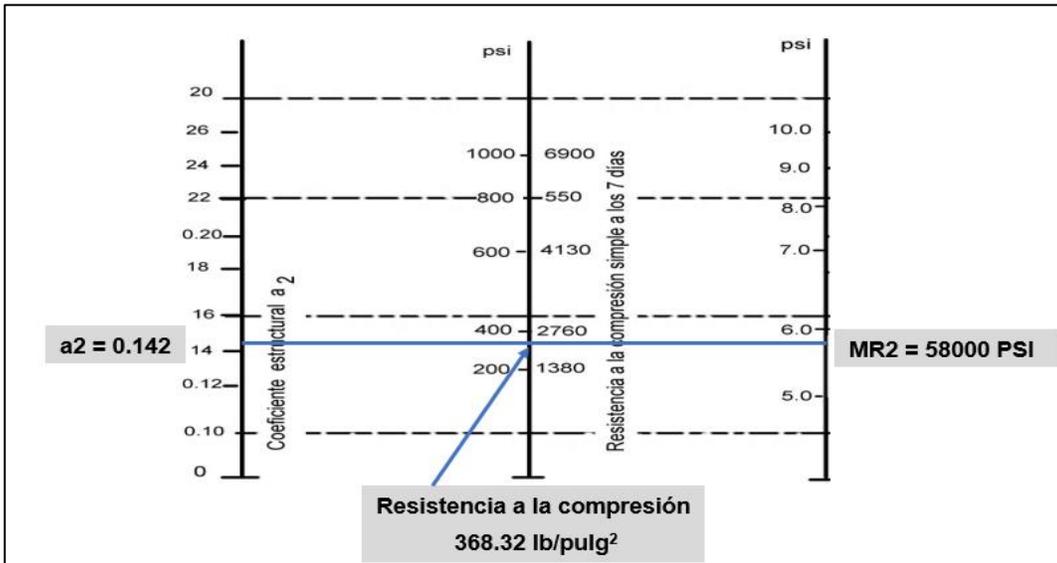
Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 7. Coeficiente estructural a2 y módulo de resiliencia para base estabilizada.



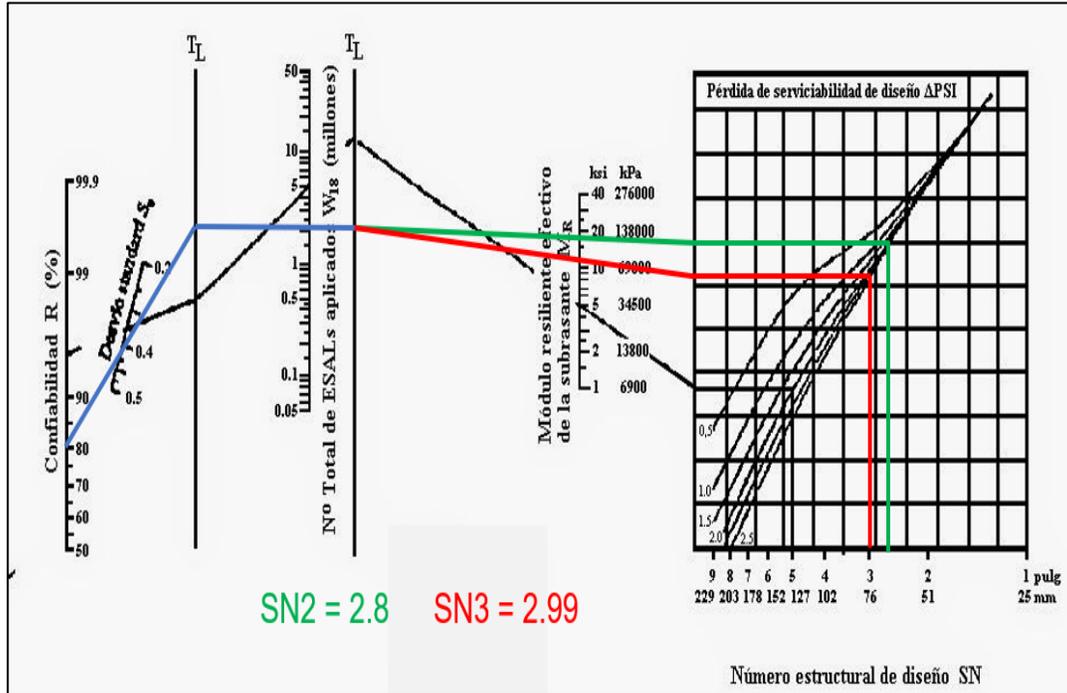
Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 8. Coeficiente estructural a3 y módulo de resiliencia para sub – base.



Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 9. Obtención del número estructural SN2 y SN3.



Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Se usaron como valores de entrada: Confiabilidad = 80%, Desviación estándar = 0.45, ESAL'S = 2,822,829, MRsubbase = 17500 psi, MRsubrasante = 12028 psi.

Tabla 98. Valor de peraltes según velocidad de diseño (40 km/h) y radio de curva, e_{max} = 6%.

RADIO	20 KPH			30 KPH			40 KPH			50 KPH			60 KPH		
	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db
2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.		
1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.		
1000	B.N.			1000	B.N.			1000	B.N.			1050	B.N.		
500	B.N.			500	B.N.			736	1.5	22		750	2.0	28	
400	B.N.			450	B.N.			525	2.0	22		668	2.2	28	
350	B.N.			421	1.5	17		465	2.2	22		599	2.4	28	
300	B.N.			299	2.0	17		415	2.4	22		540	2.6	28	
250	B.N.			265	2.2	17		372	2.6	22		488	2.8	28	
200	B.N.			236	2.4	17		334	2.8	22		443	3.0	28	28
130	B.N.			212	2.6	17		300	3.0	22	22	402	3.2	28	26
127	2.0	17		190	2.8	17		269	3.2	22	21	364	3.4	28	25
113	2.2	17		170	3.0	17	17	239	3.4	22	19	329	3.6	28	23
100	2.4	17		152	3.2	17	16	206	3.6	22	18	294	3.8	28	22
90	2.6	17		133	3.4	17	15	178	3.8	22	17	261	4.0	28	21
80	2.8	17		113	3.6	17	14	155	4.0	22	17	234	4.2	28	20
71	3.0	17	17	95	3.8	18	14	138	4.2	22	16	210	4.4	28	19
62	3.2	17	16	96	3.9	18	14	114	4.6	23	15	190	4.6	28	18
53	3.4	17	15	82	4.0	19	14	110	4.6	24	16	172	4.8	28	18
43	3.6	17	14	72	4.2	20	14	102	4.8	24	15	156	5.0	28	17
36	3.8	17	13	63	4.4	21	14	98	4.8	25	16	148	5.1	28	16
31	4.0	18	14	56	4.6	22	14	95	4.9	25	15	142	5.2	29	17
27	4.2	19	14	54	4.6	22	14	88	5.0	26	16	128	5.4	30	17
24	4.4	20	14	50	4.8	23	14	79	5.2	27	16	115	5.6	31	17
21	4.6	21	14	45	5.0	24	14	71	5.4	28	16	102	5.8	32	17
19	4.8	21	13	40	5.2	25	14	63	5.6	29	16	79	6.0	33	17
15	5.2	19	11	36	5.4	26	14	56	5.8	30	16				
13	5.4	18	10	32	5.6	27	14	43	6.0	31	16				
12	5.6	17	9	30	5.7	27	14								
10	5.8	15	8	28	5.8	26	13								
8	6.0	14	7	21	6.0	22	11								

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, P. 97).

Se realizó una interpolación para calcular el peralte para las distintas curvas, para ejemplo se tomará la curva número 2.

R_{curva} = 403.4 metros.

Radio (m)	Peralte (%)
372 (X1)	2.6 (Y1)
403.4 (X)	Y
415 (X2)	2.4 (Y2)

$$Y = Y1 + \left[\left(\frac{X - X1}{X2 - X1} \right) (Y2 - Y1) \right]$$

Ecuación 38.

$$Y = 2.6 + \left[\left(\frac{403.4 - 372}{415 - 372} \right) (2.4 - 2.6) \right]$$

$Y = 2.45\%$

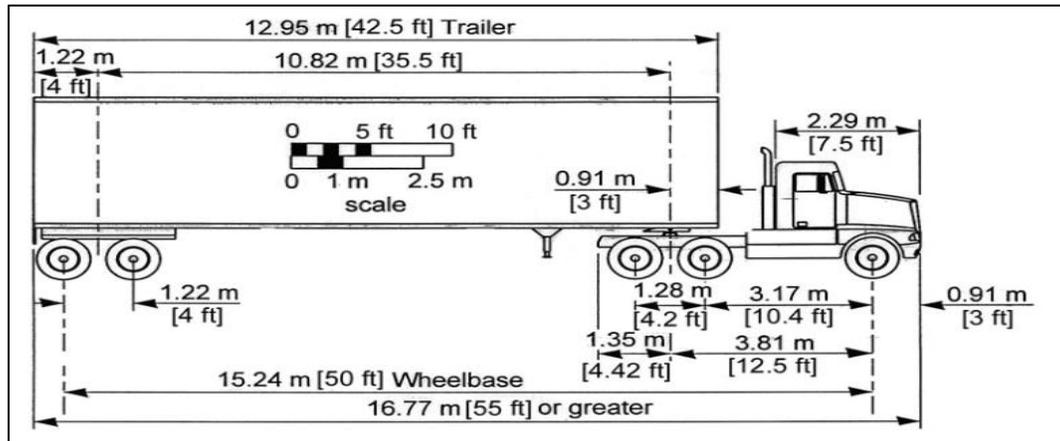
El valor resultante fue de 2.45%, el programa AutoCAD Civil 3D usó 2.60%, ya que toma el valor inmediato inferior al radio de cada curva, se usaron los peraltes proporcionados por el programa y se muestran en la tabla 96, Pág. LX.

Imagen 12. Peraltes en curvas.

Feature	Station 1	Station 2	Station 3	Superelevation 1	Superelevation 2	Superelevation 3	Superelevation 4
Transition In Region	0+265.31m	0+304.23m	38.923m				
Runout	0+265.31m	0+282.23m	16.923m				
End Normal Shoulder	0+265.31m			-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
End Normal Crown	0+265.31m			-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
Level Crown	0+282.23m			-2.00%	-2.00%	0.00%	0.00%
Runoff	0+282.23m	0+304.23m	22.000m				
Level Crown	0+282.23m			-2.00%	-2.00%	0.00%	0.00%
Begin Curve	0+296.90m						
Reverse Crown	0+299.16m			-2.00%	-2.00%	2.00%	2.00%
Begin Full Super	0+304.23m			-2.60%	-2.60%	2.60%	2.60%
Transition Out Region	0+404.56m	0+443.48m	38.923m				
Runoff	0+404.56m	0+426.56m	22.000m				
End Full Super	0+404.56m			-2.60%	-2.60%	2.60%	2.60%
Reverse Crown	0+409.64m			-2.00%	-2.00%	2.00%	2.00%
End Curve	0+411.89m						
Level Crown	0+426.56m			-2.00%	-2.00%	0.00%	0.00%
Runout	0+426.56m	0+443.48m	16.923m				
Level Crown	0+426.56m			-2.00%	-2.00%	0.00%	0.00%
Begin Normal Crown	0+443.48m			-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
Begin Normal Shoulder	0+443.48m			-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%

Fuente: Software Autodesk Civil 3D – 2020.

Imagen 13. Dimensiones del vehículo de diseño.



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011, 6ta. edición.

Tabla 99. Distribución de peraltes para cada una de las curvas presentadas.

N	Gmax	Gcurva	ed
C1	26.6493023	26.6493023	6
C2	26.6493023	2.84065444	2.6
C3	26.6493023	8.50720119	4.6
C4	26.6493023	9.37741408	4.6
C5	26.6493023	3.68581537	3
C6	26.6493023	22.9184	6
C7	26.6493023	12.3084855	5
C8	26.6493023	6.10181044	3.8
C9	26.6493023	22.9184	6
C10	26.6493023	8.603003	4.6
C11	26.6493023	9.69475465	4.6
C12	26.6493023	26.6493023	6
C13	26.6493023	11.201564	4.8
C14	26.6493023	5.62552774	3.8
C15	26.6493023	22.9184	6
C16	26.6493023	11.6101317	4.8
C17	26.6493023	10.1588652	4.6
C18	26.6493023	9.96452174	4.6
C19	26.6493023	21.3791045	6
C20	26.6493023	7.0129743	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100. Sobreechanco de cada curva propuesta.

N	Sa	Sa a usar	Longitud de transición		Transición del bombeo (N)
			m	LT	
C1	6.20	1.80	143	28.31	9.44
C2	0.78	0.78	143	12.27	9.44
C3	2.08	1.80	143	21.71	9.44
C4	2.27	1.80	143	21.71	9.44
C5	0.98	0.98	143	14.16	9.44
C6	5.33	1.80	143	28.31	9.44
C7	2.93	1.80	143	23.60	9.44
C8	1.53	1.53	143	17.93	9.44
C9	5.33	1.80	143	28.31	9.44
C10	2.10	1.80	143	21.71	9.44
C11	2.34	1.80	143	21.71	9.44
C12	6.20	1.80	143	28.31	9.44
C13	2.68	1.80	143	22.65	9.44
C14	1.42	1.42	143	17.93	9.44
C15	5.33	1.80	143	28.31	9.44
C16	2.77	1.80	143	22.65	9.44
C17	2.45	1.80	143	21.71	9.44
C18	2.40	1.80	143	21.71	9.44
C19	4.98	1.80	143	28.31	9.44
C20	1.74	1.74	143	18.88	9.44

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de sobreechanco para la curva número 2.

$$Sa = n * \left[R - \left(\sqrt{R^2 - L^2} \right) \right] + \frac{0.10 * V}{\sqrt{R}}$$

$$Sa = 2 * \left[403.4 - \left(\sqrt{403.4^2 - 15.25^2} \right) \right] + \frac{0.10 * 40}{\sqrt{403.4}}$$

$$Sa = 0.78 \text{ m.}$$

Cálculo de longitud de transición para la curva número 2.

$$LT : m * a * e$$

$$LT : 143 * 3.3 * 0.026$$

$$LT = 12.27 \text{ m.}$$

Cálculo de transición de bombeo para la curva número 2.

$$N = \frac{LT * b}{e_d}$$

$$N = \frac{12.27 * 0.02}{0.026}$$

$$N = 9.44.$$