

Facultad de Tecnología de la Construcción

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 4.13 KM APROXIMADAMENTE DEL TRAMO SIRAMA NORTE – CARLOS ESPINOZA EN EL MUNICIPIO DE CHICHIGALPA, DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA, 2022

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Luis Felipe
Guevara Espinoza
Carnet: 2016-0887U

Br. Henry Noel Sáenz
Zeledón
Carnet: 2017-0597U

Tutor:

Msc. Ing. Gioconda
Isabel Juárez Romero

2 de marzo de 2023
Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTO HENRY SÁENZ

A Dios:

Primero y, antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que di, por fortalecer mi corazón e iluminarme la mente en todo el proceso y por haber puesto en el camino a aquellas personas que han sido un soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres y hermanas:

Agradecer hoy y siempre a mi familia que siempre han procurado mi bienestar y que, si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles; mi madre Amada Liliam Zeledón Gonzáles y mi padre Henry Noel Sáenz Vanegas, que con sus consejos y experiencia han ayudado a que se cumplan uno a uno los objetivos; mis hermanas por alentarnos y darnos esperanza para continuar, para ellos nuestro agradecimiento total e indiscutible.

Profesora Gioconda Isabel Juárez:

Expresamos nuestro agradecimiento profundo a nuestro tutor, a la profesora Gioconda Isabel Juárez, quien nos brindó valiosos consejos, compartiendo sus conocimientos, asesorarnos y dirigirnos en la realización de nuestra tesis.

A la universidad:

Gracias a mi universidad por permitirme convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación y como recuerdo y prueba viviente en la historia; esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

A nuestros amigos:

Y todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron y nos apoyaron en la elaboración de nuestra tesis.

AGRADECIMIENTO LUIS GUEVARA

A Dios por haberme regalado la vida, por brindar fuerza, salud, entendimiento y sabiduría para seguir adelante y culminar con el estudio universitario.

A mis padres y hermano de manera especial, ya que con mucho esmero y sacrificio me han ayudado para poder cumplir uno de mis sueños que es terminar mis estudios universitarios, siendo ellos la base fundamental de mi vida. Al igual que a todas las personas que me han ayudado en el transcurso del camino.

A mi tutor, Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero, que nos guio durante toda nuestra trayectoria en el desarrollo de mi proceso de culminación de estudio. Quien es un excelente maestro y nos ha enseñado los valores para un futuro ejercer como personas profesionales con humildad, sencillez y responsabilidad ante la sociedad.

A la universidad, nuestra alma mater, que me permitió convertirme en un profesional en esta carrera. Que me permitió a llegar donde estoy por medio de los distintos desafíos que me prepararon para desempeñarme profesionalmente.

A la empresa donde trabajo por brindarme la oportunidad de desempeñar me profesionalmente en tareas directamente relacionadas a mi carrera y darme el tiempo suficiente para finalizar mi documento de finalización de estudios.

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedicamos principalmente.

A Dios:

Primeramente, a Dios por permitirme tener vida, salud y poder realizar unos más de mis propósitos que es ser Ingenieros Civiles.

A nuestros padres:

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre lo que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A nuestros hermanos:

Por ser una mano amiga, por estar siempre en las buenas y las malas y por ser como eres olvidadizo y odioso pero que amo infinitamente.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento para culminación de estudios comprende todos los criterios y estudios técnicos necesarios para la realización del proyecto titulado: “Diseño geométrico y estructura de pavimento del tramo de 4.13 km aproximadamente del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza en el municipio de Chichigalpa, departamento de Chinandega, 2021”

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

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.

Este capítulo abordará aspectos tales como: Introducción, antecedentes, ubicación de proyecto, justificación y objetivos.

CAPÍTULO II. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Se determinarán las características del terreno a lo largo del tramo en estudio, mediante los ensayos de laboratorio aplicados a cada una de las muestras; se identificará el banco de materiales próximo del tramo. Y se analizarán los suelos disponibles para el mejoramiento de la base y sub-base.

CAPÍTULO III. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Este capítulo abordará aspectos fundamentales como el trazado, clasificación de topografía, tipo de levantamiento topográfico, los equipos requeridos para ejecutar el levantamiento del tramo en estudio y se verificará las pendientes del terreno para su clasificación.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE TRÁNSITO

En este capítulo se determinará el volumen y composición vehicular, así mismo se obtendrá el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), posteriormente se analizarán las estadísticas del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el consumo real nacional de hidrocarburos y el Producto Interno Bruto (PIB), para determinar la tasa de crecimiento a utilizar para el cálculo de cargas combinadas.

CAPÍTULO V. DISEÑO GEOMETRICO

En este capítulo se contemplará los componentes principales para el diseño geométrico del tramo en estudio. Se clasificará el tramo en estudio para identificar el vehículo de diseño y se deberá verificar en base a los datos del aforo. De modo que se identificarán los distintos elementos que conforma un diseño geométrico.

CAPITULO VI. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

En el capítulo de diseño de pavimento contemplará los procedimientos para la estimación de los espesores de las capas de la estructura de pavimento articulado del tramo en estudio. Se estimarán los números estructurales por capa y se comprobarán los resultados con el software WinPas 12 basado en la norma AASHTO – 93.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta parte del documento se expone el resultado final del trabajo realizado a lo largo de la propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento articulado, así mismo como el análisis indicado del suelo, como el diseño de las curvas del tramo, como las capas de rodamiento de base y subbase. En este mismo se debe recomendar un espesor, así también como el uso del material de banco Cosmapa para el mayor reforzamiento del diseño de la carretera.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
1.1.1.Objetivo general.....	4
1.1.2.Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II. ESTUDIO GEOTÉCNICO	5
2.1. Introducción	5
2.2. Exploración y sondeos manuales	5
2.3. Ensayes de laboratorio de línea de proyecto.....	6
2.4. Análisis granulométrico de los suelos ASTM D – 422.....	7
2.5. Estados de límites de consistencia ASTM D – 4318.....	8
2.5.1.Límite líquido (L.L).....	8
2.5.1.Limite plástico (L.P).....	8
2.6. Clasificación de los suelos sistema AASHTO (ASTM D – 3282)	9
2.6.1.Índice de grupo.....	9
2.7. Ensayo proctor estándar ASTM D – 698.....	10
2.7.1.Determinación del porcentaje de humedad.....	11
2.7.2.Determinación del peso volumétrico húmedo.....	11
2.8. Capacidad de soporte (CBR) ASTM D – 1883.....	12
2.9. Trabajo de campo	13
2.9.1. Exploración y sondeo de tramo	13
2.10. Trabajo de laboratorio.....	14
2.11. Análisis de los resultados	14
2.12. Análisis de los resultados de compactación	15
2.13. Proctor modificado.....	15
2.14. Columna estratigráfica de la línea de proyecto.....	18
2.15. Exploración y muestreo de banco de materiales Cosmapa	19
2.16. Resultados de ensayo a bancos de materiales	19
CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TOPOGRÁFICO.....	22

3.1. Generalidades	22
3.2. Conceptos Generales.....	23
3.2.1. Clasificación de topografía	23
3.2.2. Tipos de Levantamientos	23
3.3.1. Levantamiento topográfico del tramo Sirama Norte - Carlos Espinoza	25
3.3.2. Puntos obtenidos del levantamiento.....	25
3.4. Depuración de los puntos en Excel.....	26
3.4.1. Puntos de terreno Chichigalpa	26
3.5. Relieve del tramo en estudio.....	26
3.5.1. Análisis de pendientes naturales.....	27
3.6. Plano topográfico	31
3.6.1. Poligonal abierta.....	31
CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	32
4.1. Generalidades.....	32
4.2. Clasificación Vehicular	32
4.3. Aforo Vehicular.....	33
4.4. Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS).....	36
4.5. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	37
4.6. Factores de ajuste.....	38
4.7. Estimación de tasa de crecimiento.....	41
4.7.1. Tasa de crecimiento	41
4.7.1.1. Tasa de crecimiento del TPDA histórico	41
4.7.1.2. Tasa de crecimiento por consumo de hidrocarburos	42
4.7.1.3. Tasa de crecimiento por Producto Interno Bruto (PIB)	44
4.8. Tránsito de diseño	46
4.9. Periodo de diseño	47
4.10. Factor direccional (FD)	48
4.11. Factor de distribución por carril (Fc)	49
4.12. El índice de Serviciabilidad	49
4.12.1. Índice de serviciabilidad inicial (Po).....	50
4.12.2. Índice de serviciabilidad final (Pt).....	50
4.12.3. Perdida de serviciabilidad (Δ PSI).....	50

4.13. Número estructural (SN).....	50
4.14. Factor de equivalencia (F.ESAL).....	51
4.15. Factor de crecimiento (Fc).....	53
4.16. Tráfico de diseño (TD).....	53
4.17. Ejes equivalentes (ESAL o W18).....	55
CAPITULO V. DISEÑO GEOMETRICO	57
5.1. Introducción	57
5.2. Componentes Principales del Diseño Geométrico.....	57
5.3. Sistemas y clasificaciones.....	58
5.4. Clasificación funcional	58
5.5. Colectoras rurales	59
5.6. Derecho de vía	60
5.7. Vehículo de diseño	60
5.8. Velocidad de diseño.....	63
5.9. Distancia de visibilidad.....	65
5.10. Distancia de visibilidad de parada	65
5.11. Distancia de visibilidad de rebase.....	66
5.12. Alineamiento horizontal de las carreteras	67
5.13. Peralte máximo (em _{ax}).....	69
5.14. Factor de fricción lateral (f)	69
5.15. Radios mínimos y grados máximos de curva.	70
5.16. Grado máximo de curvatura (G _{máx}).....	72
5.17. Pendiente transversal	72
5.18. Pendiente longitudinal mínima.....	73
5.19. Pendiente longitudinal máxima	73
5.20. Elementos geométricos de la curva horizontal	73
5.21. Sobreanchos en curvas (S)	75
5.20. Longitud de transición (LT)	77
5.21. Alineamiento vertical.....	82
5.22. Curvas verticales Convexas o en Cresta	82
5.23. Curvas verticales Cóncavas o en Columpio.....	84
5.24. Pendiente longitudinal mínima	85

5.25.	Pendiente longitudinal máxima	85
5.26.	Pendiente transversal	86
5.27.	Ancho de hombros	86
5.28.	Sobreancho del pavimento (SAP).....	87
5.29.	Número de carriles.....	87
5.30.	Aceras o banquetas.	87
5.31.	Sub-corona o subrasante.....	87
5.32.	Subrasante.....	88
5.33.	Taludes.	88
5.34.	Drenaje superficial.	88
5.35.	Parámetros de diseño geométrico	89
CAPÍTULO VI. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO		90
6.1.	Introducción	90
6.2.	El método de AASHTO 1993	90
6.3.	ESAL ´S de diseño (ejes equivalentes).....	90
6.4.	Índice de serviciabilidad.....	91
6.5.	Perdida de serviciabilidad.	91
6.6.	Variables para Diseño de Pavimento (AASHTO-93)	92
6.7.	Variables en función al tiempo	92
6.8.	Factor de distribución por dirección	93
6.9.	Factor de distribución por carril	93
6.10.	Confiabilidad (R)	93
6.11.	Desviación estándar (So).....	93
6.12.	Coeficiente de drenaje	94
6.13.	Modulo resiliente (Mr).	96
6.14.	Determinación de los coeficientes de capas estructurales.	97
6.14.1.	Coeficientes de capa.....	97
6.14.2.	Coeficiente estructural de la carpeta (adoquín) (a1).	97
6.14.3.	Coeficiente estructural para capa subbase (a2).....	97
Diseño estructural del pavimento propuesto.....		97
6.14.4.	Número estructural (SN).	97
6.14.5.	Determinación del número estructural (SN).	98

6.14.6. Cálculo del espesor de la estructura de pavimento	101
Datos por utilizar en el diseño.....	103
6.14.7. Uso de programa WinPas.....	104
6.14.7.2 Registro del proyecto.	106
6.14.7.3 Selección del tipo de estructura de pavimento.....	107
6.14.7.4. Introducción de factores para el diseño de estructura de pavimento	108
6.14.7.5. Espesores de estructura de pavimento.....	109
CONCLUSIÓN	110
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFIA	113
ANEXO	I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. clasificación mediante el sistema AASHTO.	10
Tabla 2. Resumen del ensaye de CBR al 100% de compactación.	15
Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio de proctor.	15
Tabla 4. Resultados de estudios de suelos.	16
Tabla 5. Resultados de estudios de suelos.	17
Tabla 6. Resultados de CBR y proctor del banco de materiales.	20
Tabla 7. Resultados de ensayos a sondeos en banco de préstamo.	20
Tabla 8. Requisitos para material a utilizarse en sub-base según a NIC-2019.	21
Tabla 9. Requisitos para Material a Utilizarse en Base Según a NIC-2019.	21
Tabla 10. Puntos del terreno	26
Tabla 11. Resultado de pendiente natural del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza.....	28
Tabla 12. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.	30
Tabla 13. Resumen de conteo vehicular por 7 días consecutivos de 12 horas en ambos sentidos.....	34
Tabla 14 . Distribución direccional por porcentaje de tipo de vehículo.	36
Tabla 15: Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)	37
Tabla 16. Estaciones de corta duración y su composición.....	38
Tabla 17. Factores de ajuste del segundo cuatrimestre del año mayo – agosto.	40
Tabla 18. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).	40
Tabla 19 Resumen de datos de TPDA Estación de Mayor Cobertura (EMC) San Marcos – Masatepe.	41
Tabla 20 Tráfico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020	42
Tabla 21. Registro de consumo nacional real de los derivados del petróleo	43
Tabla 22. Resumen de cálculo de tasa de crecimiento.....	43
Tabla 23. Resumen de Informe anual del año 2008 al año 2019.....	44
Tabla 24. Resumen de calcula de tasa de crecimiento	45
Tabla 25. Resumen de tasas de crecimiento obtenidos	46
Tabla 26. Tabla de resultado de tasa de crecimiento.....	46
Tabla 27. Clasificación funcional de las carreteras regionales.....	47
Tabla 28 Períodos de diseño	48
Tabla 29 Factor de distribución por dirección.....	48
Tabla 30 Factor de distribución por carril.....	49
Tabla 31. Tránsito de diseño (TD).....	54
Tabla 32. Cálculos de ESAL's de diseño.....	56
Tabla 33. Sistema de clasificación funcional.....	59
Tabla 34. Dimensionamiento de los Vehículos de Diseño.....	61

Tabla 35	Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.....	62
Tabla 36.	Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.....	64
Tabla 37.	Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.....	66
Tabla 38.	Distancia de visibilidad adecuada para adelantar.....	67
Tabla 39.	Tasas máximas de sobreelevación según tipo de área.....	69
Tabla 40.	Factores de fricción lateral	70
Tabla 41.	Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales.	72
Tabla 42.	Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento	78
Tabla 43.	Elementos geométricos de las curvas horizontales-circulares.....	81
Tabla 44.	Elementos geométricos de las curvas horizontales-circulares.....	81
Tabla 45.	Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.	83
Tabla 46.	Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de Rebase	83
Tabla 47.	Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio... ..	85
Tabla 48.	Pendiente máxima para Carreteras Rurales (Locales).	86
Tabla 49.	Anchos mínimos de hombros y aceras.	87
Tabla 50.	índices de serviciabilidad inicial.....	91
Tabla 51.	índices de serviciabilidad Final	91
Tabla 52:	Coefficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles.	94
Tabla 53.	Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular	99
Tabla 54:	Resumen de los Factores Calculados.	103
Tabla 55.	Esfuerzos unitarios patrón (piedra triturada).	IX
Tabla 56.	Puntos del terreno	XII
Tabla 57.	Puntos del terreno	XIII
Tabla 58.	Puntos del terreno	XIV
Tabla 59.	Resumen de aforo vehicular Sirama Norte – Carlos Espinoza (Sur a Norte).....	XVI
Tabla 60.	Resumen de aforo vehicular Carlos Espinoza – Sirama Norte (Norte a Sur)	XVII
Tabla 61.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2.0	XVIII
Tabla 62.	Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.....	XIX
Tabla 63.	Diagrama de cargas permisibles para vehículos liviano y pasajeros.	XX
Tabla 64.	Diagrama de cargas permisibles para vehículos pesados.....	XXI
Tabla 65.	Factores equivalentes de carga para pavimento flexibles, ejes simples, Pt = 2.0.	XXII
Tabla 66.	Factores de carga para pavimentos flexibles, eje tándem, Pt = 2.0	XXIII

Tabla 67. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes trídem, Pt = 2.0.....XXIV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de sondeo manual	6
Figura 2. Representación gráfica del ensaye del límite plástico (LP).....	8
Figura 3. Columna estratigráfica de los sondeos manuales realizados.....	18
Figura 4. Relación entre el relieve y su representación mediante curvas de nivel.....	27
Figura 5 Perfil del terreno natural del Emp. Sirama Norte – Carlos Espinoza.	30
Figura 6. Trazo de poligonal abierta del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza	31
Figura 7: Comportamiento del tráfico diurnos en días de aforo.....	35
Figura 8. Porcentaje por tipo de vehículos registrado en el aforo.....	35
Figura 9. Dependencia de estaciones (San Marcos – Masatepe).....	38
Figura 10. Peso x ejes (kips) camión C3.	51
Figura 11. Modelo vehicular WB-15 (T3-S2).....	62
Figura 12. Elementos geométricos de una curva circular simple.....	73
Figura 13. Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.	96
Figura 14. Diseño número estructural.....	100
Figura 15. Espesores mínimos en función del SN	101
Figura 16. Espesores mínimos en función del SN	102
Figura 17: Pantalla de inicio.....	105
Figura 18: Pantalla del proyecto.....	106
Figura 19: Selección del tipo de estructura de pavimento.....	107
Figura 20: Alternativa.....	108
Figura 21: Verificación de solución alternativa.....	109
DE Figura 22. Macro localización municipio de Chichigalpa.....	I
Figura 23. Micro localización tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza.....	II
Figura 24. Carpeta asfáltica totalmente dañada 0+000 a 0+500.....	III
Figura 25. Carpeta de rodamiento trocha desgastada 0+500 a 4+130.....	III
Figura 26. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 0+010.....	IV
Figura 27. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 2+000.....	IV
Figura 28. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 3+000.....	V
Figura 29. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 0+010.....	V
Figura 30. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 2+000.....	VI
Figura 31. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 3+000.....	VI
Figura 32. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 0+750.....	VII
Figura 33. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 2+500.....	VII
Figura 34. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 3+750.....	VIII
Figura 35. Ensaye de CBR.....	VIII
Figura 36. Resultados de proctor modificado	IX
Figura 37. Ubicación del banco de materiales Cosmapa.....	X

Figura 38. Exploración manual y extracción de estratos.....	X
Figura 39. Levantamiento topográfico.	XI
Figura 40. Levantamiento topográfico.	XI
Figura 41. Conteo vehicular.	XV

GLOSARIO

Adoquines: Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además, sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se deale la base. (SIECA, 2002, cap. 5, pág 25)

Subbase y base: Son las capas de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Las características de los materiales para base o subbase varían si estas no son estabilizadas. El CBR para la subbase debe ser de 20% a 40% y la base debe poseer un CBR del 80% según la norma AASHTO – M-147.

Cama de arena: Compuesta de arenas naturales de río, arena volcánica o minerales, debiendo estar libres de arcilla y materia orgánica. La cama de arena es una capa previa al adoquín y permite el drenaje del agua proveniente de la superficie.

Arena de sello: El adoquín se instala con separaciones no mayor a 5 milímetros. La arena de sello es arena cribada por el tamiz No. 8 para llenar las juntas entre las juntas de adoquines.

Agregados: Un material granular duro de composición mineralógica como arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Capa subrasante: Capa de terreno de una carreta, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Camino, trocha, carretera: En términos genéricos, se designa como una vía terrestre para fines de circulación de vehículos y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Banco de material: Lugar donde se extrae material de préstamo para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer el tipo de suelos existente con sus propiedades físico-mecánicas, así como el volumen aproximado de material que pueda ser utilizable.

Pavimento articulado: Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual a su vez se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por las calles, caminos y carreteras.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico y estructural de la red de carreteras en Nicaragua permite el crecimiento económico, siendo un componente integral para el transporte de las personas y las cargas. Las carreteras se clasifican según su función, de tal forma que se determinan aspectos relevantes para su diseño. Chichigalpa es un municipio de Chinandega que se caracteriza por ser la “tierra del ron y el azúcar”, ya que las principales actividades económicas de la ciudad son la producción del azúcar San Antonio y el ron Flor de Caña.

El presente documento abordará el diseño geométrico y estructura de pavimento, de modo que se realizarán los estudios previos para al diseño: estudio de tráfico, estudio de suelo y estudio topográfico.

El tramo de estudio Sirama Norte – Carlos Espinoza es un camino de 4.13 km, ubicado en un área rural del municipio de Chichigalpa, departamento de Chinandega. El tramo en estudio transita por un área de producción agrícola, conecta la comunidad Carlos Espinoza y Vía Dolores con el municipio de Chichigalpa, a como se logra apreciar en la macro localización y micro localización. (Ver anexo Figura 19, 20, pag, I, II).

Para el diseño geométrico es necesario aplicar el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011 y SIECA 2004. Para el diseño de la estructura de pavimento se debe aplicar la norma AASHTO – 93. De tal forma que el diseño cumpla con las características necesarias para brindar seguridad y eficiencia en los costos de operación en los años proyectados para el diseño.

ANTECEDENTES

El tramo en estudio es el único camino que conecta la comunidad Carlos Espinoza y Vía Dolores con el municipio de Chichigalpa. Se caracteriza por su actividad agrícola. La población de las comunidades depende de los servicios que se brindan en la ciudad de Chichigalpa, tales como: asistencia medicina, seguridad pública y sistema de abastecimiento de producto (comercio).

La superficie de rodamiento de la vía actual se caracteriza por ser principalmente un camino de tierra con piedras (una trocha) y únicamente los primeros 500 mts se encuentran pavimentados con una capa de asfalto de 2 pulgadas de espesor. El camino está lleno de baches, no cuenta con andenes peatonales y no cuenta con obras de drenaje mayor a excepción de un vado de concreto de 10 mts a largo del ancho de carril.

En la actualidad hay una importante inversión en la infraestructura vial en las autopistas y carreteras clasificadas como troncales en el departamento de Chinandega. Estas mejoras viales impulsan la economía de la región y permiten mayor seguridad al usuario. El diseño geométrico toma en cuenta las condiciones actuales del terreno y el diseño estructural de pavimento realiza una proyección de modo que la carretera sea sometida a soportar las cargas y cumpla con su tiempo de vida útil.

JUSTIFICACIÓN

El proyecto tiene como objetivo la propuesta de diseño geométrico y estructural de un tramo de carretera ubicado en el departamento de Chinandega, municipio de Chichigalpa, tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza. Actualmente, la carretera no tiene superficie de rodamiento, lo que la hace vulnerable a diversos factores climáticos que existen durante todo el año, principalmente en invierno.

La calidad de la infraestructura vial influye en la prestación de condiciones para la atracción y desarrollo turístico, lo cual influye positivamente al impulsar y promover la economía familiar y bienestar social en el municipio por eso necesario que cada lugar cuente con sistema de comunicación por medio de sus vías de acceso.

Esta vía comunica la zona urbana de Chichigalpa con la comarca Carlos Espinoza por su ubicación geográfica, se considera una vía muy importante, que contribuye a la economía directa de la ciudad a través del comercio, la agricultura y la ganadería.

Mejorar las condiciones de accesibilidad a servicios públicos como:

- Salud y educación para mejorar la calidad de vida.
- Mejorar la seguridad de peatones y ciclistas.
- Incrementar los intercambios comerciales entre áreas rurales y urbanas.
- Reducir el tiempo de viaje.

OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Diseñar geométrica y estructuralmente el pavimento articulado de 4.13 km aproximadamente del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza en el municipio de Chichigalpa, Departamento de Chinandega.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Revisar las propiedades físico-mecánicas de los suelos adyacentes al tramo en estudio, así como los bancos de préstamos de materiales “Cosmapa”.
- Realizar el levantamiento topográfico del tramo en estudio para obtención de la configuración del terreno.
- Realizar aforo vehicular con el fin de la determinación de las cargas que soportará la estructura de pavimento.
- Diseñar geométricamente 4.13km aproximadamente utilizando las normas Diseño de Carretera Regional Centroamericana SIECA – 2004.
- Diseñar mediante las normas A.A.S.H.T.O – 93 la estructura de pavimento y geometría del tramo en estudio.

CAPÍTULO II. ESTUDIO GEOTÉCNICO

2.1. Introducción

Los estudios geotécnicos incluyen la realización de levantamientos apropiados para conocer el estado del suelo existente en la vía, y las fuentes o reservorios de materiales disponibles en el área del proyecto, a fin de determinar sus buenos y malos usos, con base en sus propiedades y características en el proceso de construcción y Diseño de estructuras de pavimento.

En el interior de la estructura del pavimento, la subrasante actúa como cimentación, como parámetros de evaluación de esta capa se utiliza la capacidad de soporte bajo cargas de tráfico o la deformación por esfuerzo cortante.

Las propiedades físico-mecánicas son las que se utilizan para la selección del material, la especificación de la construcción y el control de la calidad del suelo y, en el caso de las subrasantes, esto puede estar relacionado con el módulo de resiliencia y/o el valor del soporte CBR.

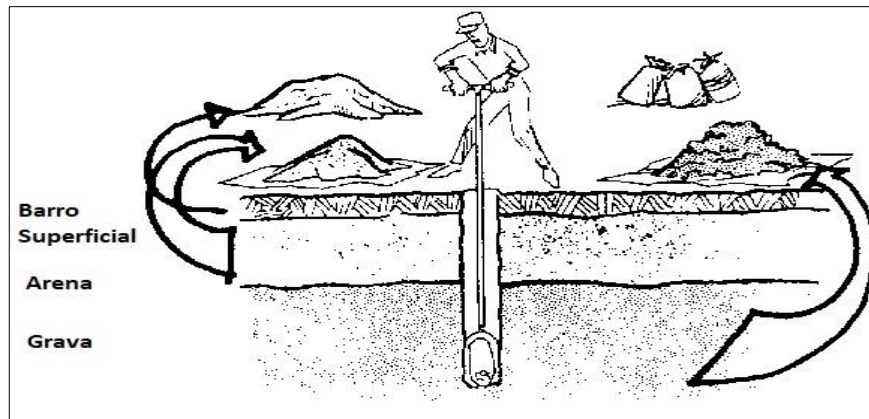
Para el diseño es necesario que el estudio de suelo contemple: Exploración y sondeos manuales, Caracterización, Propiedades y Capacidad de soporte (CBR).

2.2. Exploración y sondeos manuales

El sondeo geotécnico es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión in situ del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

El sondeo consiste en la perforación manual a cielo abierto, con unas medidas de 25 cm x 25 cm y una profundidad de 150 cm, de esta forma se separaron las muestras identificadas en cada capa teniendo en cuenta el espesor de cada capa.

Figura 1. Representación de sondeo manual



Fuente: <https://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms05.htm>

Los equipos utilizados en la realización del proceso de sondeo manual fueron los siguientes:

- Palín doble.
- Pala simple punta redonda.
- Barreno.
- Barra metálica.

2.3. Ensayes de laboratorio de línea de proyecto

Las muestras extraídas de los diferentes estratos de suelos fueron sometidas a pruebas de laboratorio, para ser analizadas y determinar las características y propiedades física-mecánicas.

Las muestras recolectadas se sometieron a cuatro ensayos básicos, contratando los servicios del laboratorio de materiales y suelo: NICASOLUM; en el cual estuvimos presente en cada una de las pruebas, para determinar las características de los suelos existentes en el tramo en estudio y a su vez del banco de préstamo de material.

Aplicar procedimientos estándar regidos por las normas internacionales ASTM (American Society for Testing And Materiales) y la AASTHO, para diseño de carreteras:

- Análisis granulométrico de los suelos ASTM D – 422.
- Determinación de los estados de consistencia ASTM D – 4318.
- Clasificación de los suelos – Sistema AASHTO (ASTM D – 3282).
- Proctor estándar ASTM D – 698.
- Proctor modificado ASTM D – 1557.
- Valor relativo soporte (CBR) ASTM D – 1883.

2.4. Análisis granulométrico de los suelos ASTM D – 422

Este ensaye se realizó con el propósito de determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas y verificar la gradación del suelo existente en el camino, este método es utilizado en la verificación del cumplimiento de especificaciones de materiales seleccionados para trabajos en vías terrestres.

En termino general un suelo conforme a su granulometría se clasifica de la siguiente forma:

- Grava: de un tamaño menor a 76.3 mm (3”) hasta tamiz No. 10 (2mm).
- Arena gruesa: de un tamaño menor al tamiz No. 10 hasta No. 40 (0.425 mm).
- Arena fina: de un tamaño menor de 0.425 mm hasta tamiz No. 200.
- Limos y arcillas: tamaños menos de 0.075 mm (No. 200).

Las curvas granulométricas obtenidas de cada una de las muestras de suelos, extraídas de la línea de proyecto y de igual forma de los bancos de préstamo, proporcionan información inicial acerca del comportamiento del suelo; la mayoría de las curvas presenta una forma inclinada lo cual indica una granulometría uniforme. (Ver anexo, Figura 23 – 31, pág. IV - VIII)

2.5. Estados de límites de consistencia ASTM D – 4318

El contenido de agua en el que se produce el cambio de estado se puede definir a partir del límite de Atterberg, es decir, mide la consistencia de los suelos finos. Límite líquido y límite plástico son solo dos de los cinco términos propuestos por Atterberg y son ampliamente utilizados, principalmente para identificar y clasificar suelos.

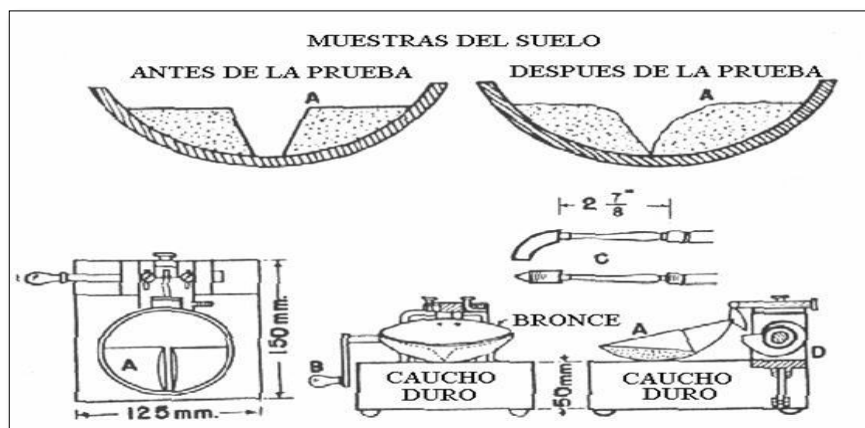
2.5.1. Límite líquido (L.L)

Es el límite entre el estado plástico y el suelo semilíquido. Los terrones de cualquier contenido de humedad se colocan en cápsulas de bronce, separados por la acción de una herramienta (muescador) para formar surcos, se dejan caer desde una altura de 1 cm, se rompen o se dejan caer 25 veces, de 12,7 mm de longitud. Surco cerrado.

2.5.1. Límite plástico (L.P)

Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo. Será definido arbitrariamente como el contenido de humedad más baja del suelo al momento de formar un cilindro, dicho suelo se rodará entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros presenten grietas que se rompen a un diámetro de 3 mm aproximadamente.

Figura 2. Representación gráfica del ensaye del límite plástico (LP).



Fuente: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/limites-atterberg/>

Se puede observar en los ensayos de estado de consistencia, obtenidos en el laboratorio que nuestro suelo es no plástico.

2.6. Clasificación de los suelos sistema AASHTO (ASTM D – 3282)

Teniendo en cuenta la variedad de suelos en la naturaleza, ingeniería ha elaborado algunas clasificaciones para ellos; cada uno de estos métodos en realidad tiene su campo de aplicación basado en la necesidad y el uso las justifican.

Los sistemas de clasificación de suelos más utilizados actualmente para el propósito de construcción de carreteras son la American Association of State Highway and transportation Officials mejor conocido como AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Para este estudio se utilizará la clasificación AASHTO ASTM D – 3282; este sistema divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares, los cuales el 35% o menos de la muestra total pasa el tamiz N° 200 y la otra parte formada por suelos limosos y arcillosos que son los que más del 35% de la muestra total pasa el tamiz N° 200; la clasificación se realiza por descarte de izquierda a derecha. (Ver, Tabla 4, 5; página 16, 17).

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras se incorpora también un número llamado Índice de grupo (IG).

2.6.1. Índice de grupo

Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200. Los índices de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4; los correspondientes a los suelos limosos, entre 8 y 12 y los arcillosos entre 11 y 20 o más. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005 * (LL - 40)) + 0.01 * (F - 15)(IP - 10) \text{ (Ecuación 1)}$$

Tabla 1. clasificación mediante el sistema AASHTO.

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% pasante #10	50% máx										
#40	30% máx	50% máx					51% mín				
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Fuente: *Principles of Geotechnical Engineering. Braja M. Das, 1998, pag 127.*

De acuerdo con los resultados obtenidos, los estratos de suelo existente a lo largo del camino representan una clasificación regular, donde los suelos predominantes son los tipos: A – 1 b (IG=0), A – 2 – 5 (IG=0), A – 2 – 7 (IG=0).

2.7. Ensayo proctor estándar ASTM D – 698

Una vez se han clasificado los suelos en tres grupos según la ASTM D – 3282, se agruparon las muestras que pertenecen a un mismo grupo de suelo y se homogenizaron, para así proceder con el ensaye de compactación, Proctor Estándar ASTM D – 698.

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado es muy importante en las propiedades de este, especialmente en cuanto a su resistencia y deformabilidad. Así que el ensaye de Proctor Estándar permite determinar la

humedad óptima, la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima, lo cual el suelo presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de la humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, en caso de incrementarse esta energía, la humedad óptima baja y la densidad seca máxima aumenta.

Para escoger el método de compactación, se tomó en cuenta la granulometría en los tamices ¾", 3/8" y N°4, tanto en el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa cada tamiz D del Proctor estándar se utiliza para material que el 100% pasa el tamiz ¾" o que el 30% o menos es retenido por el tamiz ¾" y es compactado en un molde de 6".

Debido a que los tres tipos de suelo cumplen con la condición granulométrica que requiere el método D del Proctor Estándar, se procede a realizar el ensaye tomando en cuenta las especificaciones basadas en la ASTM. Se tomo un promedio de la granulometría de todas las muestras de un mismo tipo de suelo para así poder realizar la selección. (Ver, Tabla 4, 5; página 16, 17).

2.7.1. Determinación del porcentaje de humedad

$$\omega = \frac{(W_h+T)-(W_s+T)}{(W_s+T)-T} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- ✓ ω : Porcentaje de humedad (%).
- ✓ W_h : Peso de la muestra humedad (gr).
- ✓ W_s : Peso de la muestra seca (gr).
- ✓ T : Peso de la tara (gr).

2.7.2. Determinación del peso volumétrico húmedo

$$Y_d = \frac{Y_h}{\left(\frac{1+\omega}{100}\right)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- ✓ Y_d : Peso volumétrico seco (kg/m^3).
- ✓ Y_h : Peso volumétrico húmedo (kg/m^3).
- ✓ ω : Porcentaje de humedad (%).

En cada prueba se tomaron como mínimo cuatro puntos de referencias con diferentes grados de humedad. Después de tomar los datos recolectados se realizó una gráfica (Peso volumétrico seco Vrs Humedad) para así encontrar la humedad óptima (Ver, Tabla 4, 5; página 16, 17)

Otra característica importante de los suelos tomada en cuenta es la humedad natural: puesto que la resistencia de los suelos de la subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos presenten.

La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtiene en el ensaye de Proctor. Si la humedad natural resulta igual o inferior que la humedad óptima, el proyectista propondrá la compactación natural del suelo y el aporte de agua conveniente, si la humedad natural es superior a la óptima y según la saturación del suelo, propondrá aumentar la energía de compactación, airear el suelo o remplazar el material saturado.

2.8. Capacidad de soporte (CBR) ASTM D – 1883

Con el motivo de obtener la capacidad soporte de los diferentes estratos de suelo existentes en el camino, se ejecuta el ensaye de CBR (Ensayo de California Bearing Ratio), bajo condiciones de humedad y densidad controlada. (Ver proceso de CBR en anexo, Figura 35, pág. VIII).

Se compactaron tres especímenes con 10, 25 y 56 golpes, por cada suelo para que así sus densidades varíen hasta alcanzar el 100% o más de la densidad seca máxima determinada en el ensaye anterior de Proctor Estándar.

Se tomó la lectura del hinchamiento de cada espécimen antes y después de ser sumergidos en agua para lograr su saturación en un periodo de 96 horas y al

finalizar este periodo de saturación se sometieron los especímenes a un último ensayo de penetración.

En el ensayo de penetración se mide la carga necesaria para hacer penetrar un pistón metálico de 49.63 ± 0.13 mm (1.954 ± 0.005 pulg) de diámetro y un área de 3 pulg², en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1.27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12.7 mm (1/2”).

Para encontrar el valor CBR de diseño de los diferentes tipos de suelos se tomó en cuenta las lecturas a 0.1” y 0.2” de penetración para ser comparadas con el esfuerzo unitario patrón de la piedra picada. (Ver anexo, Tabla 55, pág. IX).

La siguiente expresión define el CBR del material en estudio:

$$CBR = \frac{Carga\ Unitaria\ de\ Ensayo}{Carga\ Unitaria\ Patron} * 100 \quad (Ecuación\ 4)$$

Para calcular el porcentaje de compactación alcanzado por un suelo con respecto a la densidad máxima seca, determinado en el ensayo de Proctor estándar se determina aplicando la siguiente expresión:

$$Comp\ (\%) = \frac{Densidad\ Seca\ (CBR)}{Densidad\ Seca\ Maxima\ (Proctor)} * 100 \quad (Ecuación\ 5)$$

Con los datos de la densidad seca alcanzada en cada molde debido al número de golpes y la selección de CBR se hizo una gráfica de densidad seca (kg/m³) vs CBR, y de esta manera poder encontrar la densidad y CBR al 95% de compactación.

2.9. Trabajo de campo

2.9.1. Exploración y sondeo de tramo

Se realizó el estudio geotécnico a como lo indica el procedimiento en el Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos (MTI 2008, página 6), para la realización de un estudio de suelo en caminos que serán pavimentados con estructuras articuladas (Adoquinado), se realizaron 17 sondeos manuales a cada 250 metros de distancia, con una profundidad de 1.5 metros por calicata, alternando entre

banda derecha y banda izquierdas, para evitar ciertas áreas donde se pudo localizar elementos que dificultaban el proceso de excavación del sondeo (roca volcánica, rastros de cerámica y algunas raíces), extrayendo un total de 34 muestras: estas muestras fueron clasificadas de manera se realizó el análisis físico-mecánico de las muestras extraídas del tramo de carretera, obteniendo así la granulometría y clasificación de los suelos descritos en los métodos AASHTO Y SUCS.

Para el estudio de suelo que se realizará para la propuesta de diseño geométrico y de estructura de pavimento articulado de 4.13 Km lineales del tramo Sirama norte – Carlos Espinoza. También se extrajeron muestras del banco de materiales Cosmapa, para su análisis y posible uso como base y subbase.

2.10. Trabajo de laboratorio

En los laboratorios de la empresa Nicasolum se realizaron los diferentes ensayos a las muestras recuperadas del sitio para determinar las características de los suelos existentes en el tramo en estudio y de esa manera poder obtener una clasificación de estos.

Se muestra una tabla de resumen brindada por dicha empresa que muestra los resultados obtenidos de los sondeos manuales realizados en cada estacionamiento donde se realizaron las diferentes prácticas de laboratorios para determinar los límites de consistencia y análisis granulométrico respectivamente en esta tabla se muestra descrito el contenido.

2.11. Análisis de los resultados

El análisis de granulometría de los diferentes estratos nos permite conocer el porcentaje de material fino o grueso existente en cada capa según estos resultados de suelo presenta un material A – 1 – b (0) ($0 \leq \text{espesor} \leq 30 \text{ cm}$) en los 17 sondeos, después de esta capa el tramo presenta una sola capa que se clasifica como A-2 –7 (0) ($30 \leq \text{espesor} \leq 150 \text{ cm}$).

2.12. Análisis de los resultados de compactación

La prueba del valor soporte californiana CBR realizada a los diferentes tipos estratos de suelo nos permite interpretar que tan buenas son sus propiedades físicas y mecánicas tiene un suelo. Se realizó la homogenización de las muestras con el fin de realizar una prueba por cada estrato.

Tabla 2. Resumen del ensayo de CBR al 100% de compactación.

Tipo de suelo	Densidad Seca (Kg/m ³)	CBR	Clasificación Cualitativa
A – 1 – b	1.911	15.85	Regular
A – 2 – 5	1.690	12.8	Regular
A – 2 – 7	1.763	12.7	Regular

Fuente: Elaborado propio.

2.13. Proctor modificado

Esta prueba consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen definido, dejando caer una carga (pistón) de 5 kg a una altura de aproximadamente 45 cm, compactando la tierra en 5 capas con 50 golpes para determinar la densidad seca máxima del suelo y la humedad óptima necesaria.

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio de proctor.

Tipo de suelo	Densidad Seca Máxima (Kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	Humedad Natural (%)
A – 1 – b	1.911	15.35	14.13
A – 2 – 7	1.763	22.62	14.5
A – 2 – 5	1.690	19.30	12.4

Fuente: Elaborado propio.

Tabla 4. Resultados de estudios de suelos.

EST.	Sondeo	Muestra	Humedad/ Absorción %	Profundidad (m)	% Que pasan en tamices										LL	IP	Clasificación H.R.B.	Descripción	C.B.R 100%	
					3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40						N°200
0+010	1	1	14.3	0 - 35	100	100	96.1	93.4	87.8	84.1	74.8	66.1	55.5	28.5	12.6	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15
0+010	1	2	16.8	35 - 150	100	100	100	99.7	96.4	87.8	80.9	69	58.5	41.6	31.9	44.3	11.4	A - 2 - 7 (0)	Arena gravo limosa, color café	12.7
0+250	2	1	19.9	0 - 30	100	100	97.5	93.7	87.2	81.4	74.8	68.2	54.7	28.3	17.2	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café	15
0+250	2	2	16.4	30 - 150	100	100	100	100	97.3	90.5	86.6	73.9	58.5	39.6	28.1	43.1	10.6	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7
0+500	3	1	15.9	0 - 40	100	100	97.6	91.6	84.8	81.1	72.5	68.5	54.3	30.6	18.6	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15
0+500	3	2	18.6	40 - 150	100	100	100	100	98.9	92.4	86.7	67.9	55.3	33.4	22.9	44.7	12	A - 2 - 7 (0)	Arena gravo limosa, color café	12.7
0+750	4	1	14.4	0 - 35	100	100	98.3	90.7	83.7	79.2	73.6	62.7	50.9	30.1	17.1	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café	15
0+750	4	2	17.4	35 - 150	100	100	100	100	95.4	90.2	87	69.2	59	44	34.3	42.5	8	A - 2 - 5 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.8
1+000	5	1	15.6	0 - 30	100	100	97.5	91.6	86.5	77.8	72.9	65.2	50.7	25.3	15.7	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena gravo limosa, color café claro	15
1+000	5	2	17.6	30 - 150	100	100	100	100	97.8	87.9	82.1	70.2	59.9	34.1	22.6	45.1	10.8	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7
1+250	6	1	15.3	0 - 30	100	100	98.3	92.5	87.5	78.5	72	67.1	57	33.5	20.2	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15
1+250	6	2	16.7	30 - 150	100	100	100	100	100	90.4	82.1	65.8	51.3	28.3	17.5	43.4	12.4	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7
1+500	7	1	13.3	0 - 35	100	100	95.8	92.3	87	79.7	75.5	67.3	55.4	29.2	18.7	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.6
1+500	7	2	17.2	35 - 150	100	100	100	100	98	89	84.3	65	51.6	35	24.8	46.3	11	A - 2 - 7 (0)	Arena gravo limo, color café	12.7
1+750	8	1	13.5	0 - 150	100	100	96.4	89.4	83.4	78.1	71.2	65.8	54	27.5	17.6	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.6
1+750	8	2	15.6	35 - 150	100	100	100	100	98.2	91.5	85.4	69.5	59.3	36.4	26.6	46.4	13	A - 2 - 7 (0)	Arena gravo limosa, color café	12.7
2+000	9	1	14	0 - 35	100	100	100	94.8	91.2	81.8	76.5	66.7	54.8	35.1	21.4	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.6
2+000	9	2	17.1	35 - 150	100	100	100	96.7	94.8	89.3	85.2	75.9	62.5	43.2	32.9	42.6	12.4	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7

Fuente: Elaborado propio.

Tabla 5. Resultados de estudios de suelos.

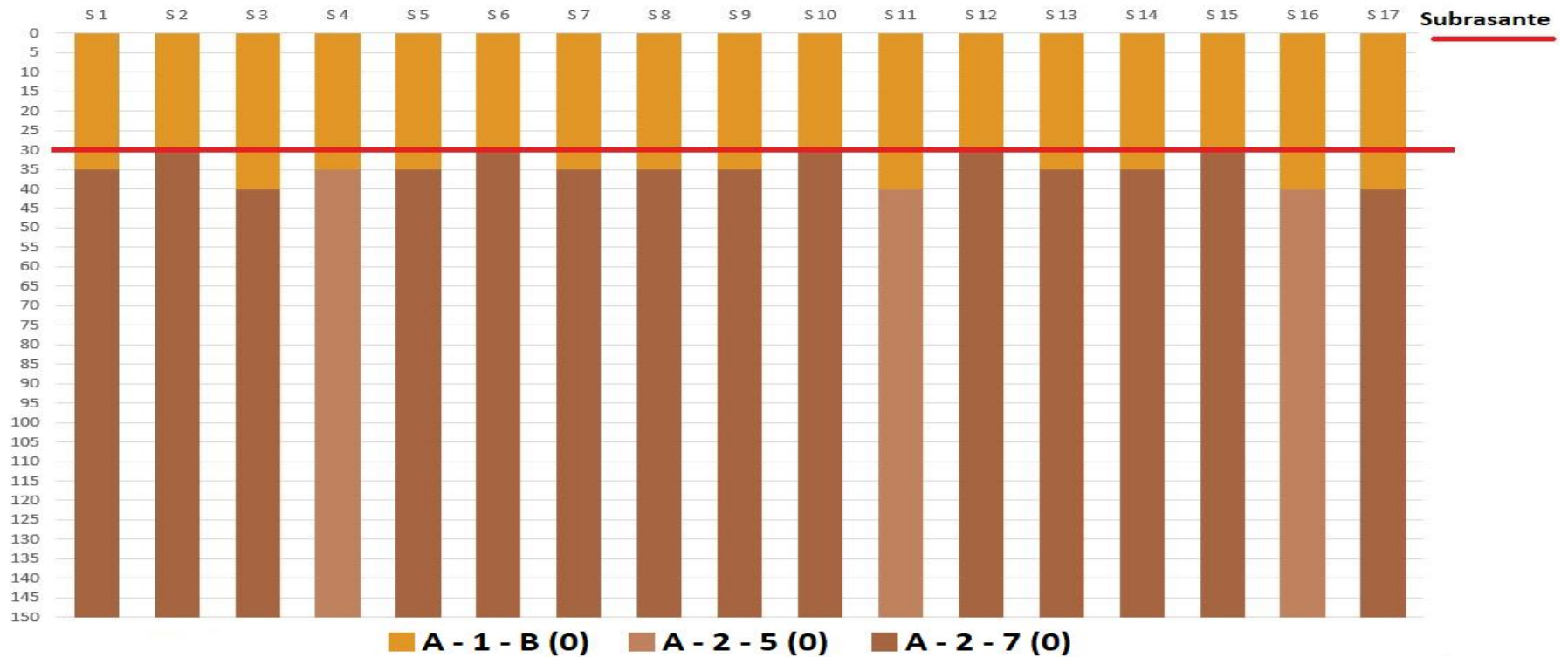
EST.	Sondeo	Muestra	Humedad/ Absorción %	Profundidad (m)	% Que pasan en tamices										LL	IP	Clasificación H.R.B.	Descripción	C.B.R 100%	
					3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	N°4	N°10	N°40						N°200
2+250	10	1	15.2	0 - 30	100	100	93.3	87.5	82.8	79.9	73.2	65.6	52.2	35.5	20.8	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.6
2+250	10	2	16.3	30 - 150	100	100	100	97.8	95	89.5	78.9	67.3	57	36.2	25.7	42.1	10.7	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7
2+500	11	1	15.3	0 - 40	100	100	97.1	90.1	85	82.5	75.5	62.7	51.7	31.5	19.5	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.6
2+500	11	2	18.6	40 - 150	100	100	100	98.2	88.3	86	77.9	62.2	53.3	40.4	30.2	43.5	10.5	A - 2 - 5 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.8
2+750	12	1	13.4	0 - 30	100	100	95.5	87.3	82.3	79.1	73.1	65.3	53.8	32	20.5	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15.7
2+750	12	2	18.5	30 - 150	100	100	98.1	92.5	88.1	80.7	77	65.4	51.4	38.2	29.3	46	12.7	A - 2 - 7 (0)	Grava arena limosa, color café	12.7
3+000	13	1	16.6	0 - 35	100	100	96.4	90.3	85.9	78.6	72.6	61.2	50.7	31.5	21.6	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15.7
3+000	13	2	17.9	35 - 150	100	100	100	100	99.3	96.9	91.2	80.2	65.2	42.6	32.1	41.3	11.5	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.7
3+250	14	1	14.4	0 - 35	100	100	100	97.5	91.2	86.3	74.1	65.7	54.2	34.9	24.1	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	15.7
3+250	14	2	16.3	35 - 150	100	100	99.6	96.2	94	89	80.1	65.3	50.7	38.3	26.9	41.9	10.8	A - 2 - 7 (0)	Grava limo arenosa, color café	12.7
3+500	15	1	13.5	0 - 30	100	100	97.7	91	87.4	82.8	75.1	65.3	53.7	28.1	18.2	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café	16.1
3+500	15	2	17	30 - 150	100	100	100	100	96.2	93	86.5	71	59.3	39.7	35.6	45.8	14.1	A - 2 - 7 (0)	Arena gravo limosa, color café	12.7
3+750	16	1	8.7	0 - 40	100	100	97.9	91.7	88.1	82	72.3	66.1	55.1	32.6	19.8	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena limo gravosa, color café claro	16.1
3+750	16	2	17.8	40 - 150	100	100	100	99.3	93.1	88.2	80	63.2	51.6	41.8	32	44.4	8.8	A - 2 - 5 (0)	Arena limo gravosa, color café	12.8
4+000	17	1	14	0 - 40	100	100	96.9	91.7	89.4	81.5	74.7	62.8	53	26.8	15.3	0	NP	A - 1 - b (0)	Arena gravosa con limo, color café claro	16.1
4+000	17	2	15.5	40 - 150	100	100	100	98.2	93.4	89.6	81.8	64.6	51.5	29.8	21.8	44.1	10.8	A - 2 - 7 (0)	Arena limo gravosa, color café claro	12.7

Fuente: Elaborado propio.

2.14. Columna estratigráfica de la línea de proyecto

La distribución estratigráfica de los suelos al largo del tramo deja ver las capas superficiales a 1.50 m, siendo esta la profundidad de los sondeos realizados. Los suelos predominantes son de tipo: A – 1 b (0), A – 2 – 7 (0), y A – 2 – 5 (0): que su profundidad varía entre los 20 cm y 150 cm cada estrato, según se observa en el siguiente gráfico.

Figura 3. Columna estratigráfica de los sondeos manuales realizados.



Fuente: Elaborado propio

2.15. Exploración y muestreo de banco de materiales Cosmapa

El banco de materiales Cosmapa está localizado 5 km del tramo, los pozos que fueron abiertos se realizaron de forma manual con dimensiones de 1.5 m x 1.5 m x 3 m de profundidad. Se realizaron 3 calicatas en diferentes puntos estratégicos del banco. (Ver anexo, Figura 37 pág. X).

2.16. Resultados de ensayo a bancos de materiales

El banco Cosmapa que fue ensayado se logró la clasificación de acuerdo con los resultados como un material A – 1 – a (material selecto), con un límite líquido de 24%, con un índice de plasticidad de 4.2, es un material de primera, el cual se está proponiendo para nivel de terracería y base. Este banco se encuentra con una humedad natural del 24%, posee una densidad máxima seca de 2.266 Kg/m³, con una humedad óptima del 7.8%.

Las propiedades físicas mecánicas de este banco son propias para el uso a destinar, las tres muestras realizadas nos arrojaron resultados similares entre ellos, donde esto deduce la calidad del material de banco, el cual es recomendado para la etapa de la construcción de la carretera.

En consenso de las propiedades físicas mostradas en el material de banco el CBR óptimo de diseño seleccionado es de 99.1 del tipo de suelo A-1-a (0) en el porcentaje de 100%.

Tabla 6. Resultados de CBR y proctor del banco de materiales.

	CBR		
	90%	95%	100%
A – 1 – a (0)	Calicata No. 1		
Densidad máxima seca	2.052	2.178	2.290
Porcentaje de compactación	90.60	96.10	101.10
Porcentaje de CBR	51.90	76.10	99.10
A – 1 – a (0)	Calicata No. 2		
Densidad máxima seca	2.036	2.165	2.290
Porcentaje de compactación	89.70	95.4	100.4
Porcentaje de CBR	50.70	73.7	94.50
A – 1 – a (0)	Calicata No. 3		
Densidad máxima seca	2.047	2.165	2.28
Porcentaje de compactación	90	95.2	100.2
Porcentaje de CBR	50.10	71.4	96.80

Fuente: Elaborado propio.

Tabla 7. Resultados de ensayos a sondeos en banco de préstamo.

Nombre del banco	LL	IP	PVSS	PVSC	Max. Dens	CBR			Desgates los angeles	Intemperismo acelerado	Clasificación
						90%	95%	100%			
Cosmapa	24.8	4.2	1649	1786	2.26	51.9	76.1	99.1	12	6	A - 1 - a (0)

Fuente: Elaborado propio.

Tabla 8. Requisitos para material a utilizarse en sub-base según a NIC-2019.

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	35% Max	AASHTO-89
Índice Plástico	5% Min - 12% Max	AASHTO-90
CBR	40% Min	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	50% Max	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% Max	AASHTO-104
Compactación	95 % min del peso volumétrico seco máximo	AASHTO 191

Fuente: Elaborado propio.

Tabla 9. Requisitos para Material a Utilizarse en Base Según a NIC-2019.

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	35% Max	AASHTO-89
Índice Plástico	5% Min - 12% Max	AASHTO-90
CBR	80% Min	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	50% Max	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% Max	AASHTO-104
Compactación	95 % min del peso volumétrico seco máximo	AASHTO 191

Fuente: Elaborado propio.

CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TOPOGRÁFICO

3.1. Generalidades

El estudio topográfico se puede definir como un conjunto de acciones realizadas sobre un terreno con herramientas adecuadas para obtener una representación gráfica o un plano. De esta forma podemos conocer la posición de los puntos de interés y su posición exacta mediante la latitud, longitud.

Para realizar un estudio topográfico es necesario disponer de varios instrumentos como el nivel y la estación total. El punto de partida de una obra empieza con un levantamiento topográfico, ya que es el principio de una serie de etapas básicas que van desde la identificación y señalamiento del terreno hasta deslindes y amojonamientos.

La topografía es el factor esencial para la localización física de la vía, para lo cual su estudio es fundamental, ya que proporciona la información de campo para el diseño geométrico de la carretera, permite la cuantificación de volúmenes de obra, permite el establecimiento de puntos de control, además define los alineamientos horizontales, las pendientes, distancias de visibilidad (de parada o de rebase), el peralte, las obras de drenaje y las secciones transversales, entre otros.

Para realizar la construcción de una carretera y tratar que sea lo más económico posible, hay que procurar que la distancia entre los puntos inicio y fin del tramo sea la menor posible, al igual que el movimiento de tierra, siempre y cuando se cumplan las normas y principios del diseño geométrico. Todas estas condiciones no son fáciles de lograr en un proyecto, pero deben lograrse en él las mayores ventajas y para esto se debe tener dominio del relieve del terreno, planos y fotos aéreas de la zona donde se va a realizar la construcción.

Las condiciones topográficas de la región son un factor muy importante al seleccionar la situación de un nuevo trazado y son las que primero deben ser analizadas para poder establecer las diferentes alternativas de unión entre los puntos extremos a enlazar. Según las condiciones topográficas, se pueden definir tres tipos de trazados, los cuales se describen a continuación:

3.2. Conceptos Generales

3.2.1. Clasificación de topografía

La topografía se clasifica en dos puntos importantes los cuales son:

- Planimetría: Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo.
- Altimetría: Tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar.

3.2.2. Tipos de Levantamientos

Existen dos tipos de levantamientos los cuales son:

- Levantamiento Topográfico Planimétrico: son una serie de acciones para obtener los puntos y definir la proyección sobre el plano.
- Levantamiento Topográfico Altimétrico: son unas operaciones para obtener las alturas respecto al plano de comparación.

3.2.3. Equipo Topográfico

El equipo utilizado para el levantamiento topográfico fue:

- Estación Total Leica TS06 PLUS 5 R500.
- Trípode de metal Leica.
- Dos prismas Leica.
- Dos bastones para prima marca Leica.
- Brújula.
- GPS de mano, marca Garmin modelo eTrex 30, Precisión GPS < 10 metros, 95% típico; precisión DGPS (WAAS) < 5 metros 95% típico.
- Tapas de botella y clavos de acero de 4".
- Pintura en spray color rojo.

3.3. Levantamiento topográfico con Estación Total

La Estación Total es un instrumento electroóptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Para empezar con un levantamiento con Estación Total, se requiere definir las coordenadas de partida en el inicio del tramo, estas coordenadas son asumidas o georreferenciados con un GPS de mano o aparatos digitales de mayor precisión.

Las coordenadas se definieron con un dispositivo Garmin eTrex 30, una vez definidas las coordenadas de partida, se inicia con el levantamiento topográfico, levantando todos los detalles posibles.

Procedimiento de un levantamiento topográfico en el tramo de estudio:

1. Definir las coordenadas de partida.
2. Estacionar el instrumento en el punto de partida.
3. Crear un trabajo en la estación Total definiéndole nombre y coordenadas definidas con el dispositivo GPS (E, N y elevación o X, Y y Z).
4. Se debe levantar lo que son las zonas del ancho de la calle, derecho de vía, cruces, postes de tendido eléctrico, cajas de registro, postes de tendido telefónico y todos los aspectos necesarios que están dentro de la vía.
5. Cambio de estaciones para levantar todo el tramo de carretera que se desea conocer. Para el cambio de estación se visualiza el siguiente punto donde se debe estacionar el equipo (Estación Total), se traslada y se visualiza nuevamente el punto de estacionamiento anterior para continuar con el levantamiento topográfico del tramo de estudio.

3.3.1. Levantamiento topográfico del tramo Sirama Norte - Carlos Espinoza

1. Primero se instala un BM, colocando el GPS de mano para ubicar el sitio con coordenadas UTM, WGS84 en la zona 16N.
2. Teniendo las coordenadas de inicio, se procede a plantar la Estación Total, asegurándose de realizar el proceso de nivelación y orientación de este mismo.
3. Se configura el nombre del trabajo, y se debe guardar las coordenadas de salida en la estación, posteriormente se orienta al norte magnético y se registra con un ángulo de salida de 00°00'00".
4. El levantamiento topográfico es por el método de perfil longitudinal y sección transversal, el cual se procede a efectuar de la siguiente manera: de la estación 0+000 hacia adelante, se divide todo el tramo en subtramos de 20 metros aproximadamente, donde se levantaba la vía transversalmente, tomando los puntos de interés tales como ancho de vía, terreno natural y ancho de calle.
5. El cambio de la estación se realiza a cada 100 m. aproximadamente y en zonas de curvas horizontales donde se limitaba la visibilidad se colocaron estacionamiento con menor distancia de 100 m.
6. Como trabajo de campo, a cada cambio de estación, en los enlaces se verifica la vista atrás tratando de obtener un registro de coordenadas no mayor a ± 0.005 m, (5 mm). Considerando la precisión del equipo con el que se realizó el levantamiento.

3.3.2. Puntos obtenidos del levantamiento

El levantamiento con Estación Total se guarda en su memoria de datos, un orden de ejecución tales como número de puntos, coordenadas este, norte y elevación respectivamente y la descripción del punto levantado.

3.4. Depuración de los puntos en Excel

Posterior al levantamiento, se exportan los puntos de la Estación Total a una memoria USB; para depurar los puntos en un archivo Excel, lo cual se procede a revisar si los puntos levantados coinciden con el número y descripción.

3.4.1. Puntos de terreno Chichigalpa

En la tabla 10 se mostrarán una parte de los puntos levantados en la visita de campo. Ver tabla 56 a la tabla 58, en anexo XII a la XIV, se mostrarán los puntos obtenidos en el levantamiento topográfico.

Tabla 10. Puntos del terreno

Puntos de localización de terreno

N°	Northing	Easting	Pont elevation	Raw Description
2	1391206.84	499074.56	118.8713	BM
3	1391230.80	499049.03	118.5299	LP
4	1391226.04	499047.06	118.2034	TN
5	1391222.95	499045.77	118.622	TN
6	1391220.69	499044.37	118.815	B
7	1391217.5	499042.83	118.9394	LC
8	1391214.38	499041.10	118.8318	B
9	1391211.55	499039.61	118.4314	TN
10	1391208.65	499038.10	117.8081	TN
11	1391205.49	499036.46	118.0518	LP

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

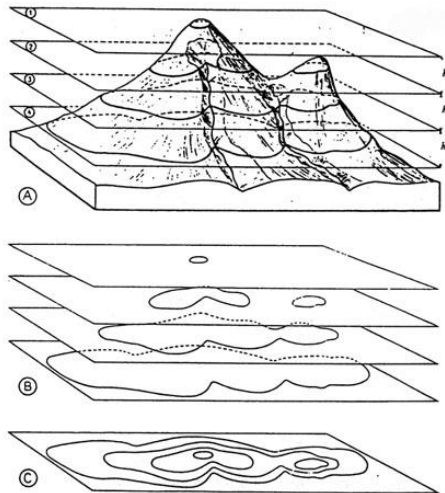
- **BM:** Punto de referencia topográfico con coordenadas y elevación conocida.
- **LP:** Limite de propiedad.
- **TN:** Terreno natural.
- **B:** Borde
- **LC:** Línea central.

3.5. Relieve del tramo en estudio

El relieve es uno de los aspectos más importantes que se analiza en un estudio topográfico, ya que proporciona información clave sobre las formas del terreno y su elevación en relación con el nivel del mar. El relieve hace referencia a las formas y altitudes de la superficie terrestre, y puede incluir montañas, valles,

llanuras, mesetas y otros accidentes geográficos. El estudio del relieve es crucial para la planificación de proyectos de construcción.

Figura 4. Relación entre el relieve y su representación mediante curvas de nivel.



Fuente: Aubouin, Dercout y Labasse, 1970.

La topografía del terreno influye en el alineamiento de las calles y carreteras. Para caracterizar sus variaciones se clasifican en tres tipos de acuerdo con la pendiente del terreno:

- ✓ Terreno plano
- ✓ Terreno ondulado
- ✓ Terreno montañoso

3.5.1. Análisis de pendientes naturales

A continuación, se muestra el cálculo de las pendientes a lo largo del tramo en estudio, a una distancia de 200 metros, para determinar el tipo de terreno.

$$m = \frac{Elv2 - Elv1}{D} * 100$$

Donde:

- **D:** Distancia entre dos estaciones.

Cálculo de pendiente natural de la Est. 0+000 a la Est. 0+200

$$m = \frac{121.2207 - 119.2266}{200} * 100 = 0.997\% \approx 1.00\%$$

Tabla 11. Resultado de pendiente natural del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza

Estación	Elevación (m)	Distancia horizontal (m)	Pendiente (%)
0+000	119.2266	200	1.00
0+200	121.2207		
0+200	121.2207	200	1.37
0+400	123.9523		
0+400	123.9523	200	2.15
0+600	128.2492		
0+600	128.2492	200	1.50
0+800	131.2518		
0+800	131.2518	200	1.94
1+000	135.1377		
1+000	135.1377	200	2.83
1+200	140.7974		
1+200	140.7974	200	2.16
1+400	145.1223		
1+400	145.1223	200	0.77
1+600	146.6682		
1+600	146.6682	200	2.51
1+800	151.6842		
1+800	151.6842	200	2.66
2+000	156.9985		
2+000	156.9985	200	2.41
2+200	161.8228		
2+200	161.8228	200	1.77
2+400	165.3700		
2+400	165.3700	200	2.47
2+600	170.3102		

2+600	170.3102	200	3.50
2+800	177.3110		
2+800	177.3110	200	2.84
3+000	182.9967		
3+000	182.9967	200	2.76
3+200	188.5227		
3+200	188.5227	200	2.80
3+400	194.1147		
3+400	194.1147	200	3.04
3+600	200.1973		
3+600	200.1973	200	3.00
3+800	206.1885		
3+800	206.1885	200	1.51
4+000	209.2175		
4+000	209.2175	200	4.61
4+130	218.4295		

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos, se determina que el tramo en estudio que las pendientes predominantes son menores del 5% en cada una de las estaciones, al analizar las mayores pendientes se logra identificar que al aproximarse al final del tramo las pendientes van en incremento excepto por la estación 3+800 a la estación 4+000 que el terreno natural posee una pendiente del 1.51, aislando este caso se identifica que la mayor pendiente en el tramo de estudio es 4.61%.

La configuración del terreno es plana debido a que las pendientes entre las estaciones son menores del 5% y la variación entre en las estaciones es leve, según la Tabla N°12 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales, se define que el terreno es plano, porque las pendientes se encuentran dentro del rango indicado por la tabla de la norma, varían levemente y son constante.

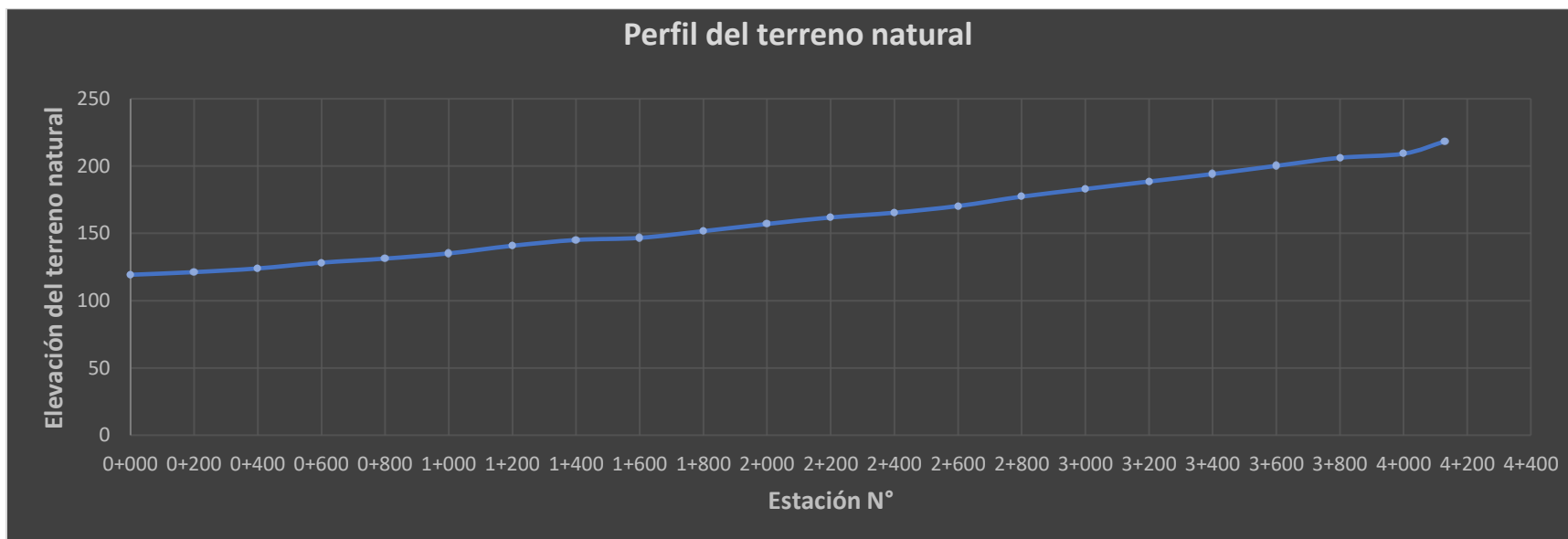
Tabla 12. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

Tipo de terreno	Rango de pendientes P(%)
Llano o Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 35$

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, cap. 3, pág. 116.

En la Figura N° 5 a continuación, se puede visualizar el perfil del terreno natural de todo el tramo en estudio que permite identificar si es un terreno accidentado, si la tendencia se mantiene a lo largo del tramo para clasificarlo como terreno plano.

Figura 5 Perfil del terreno natural del Emp. Sirama Norte – Carlos Espinoza.



Fuente: Elaboración propia, Gráfico Excel.

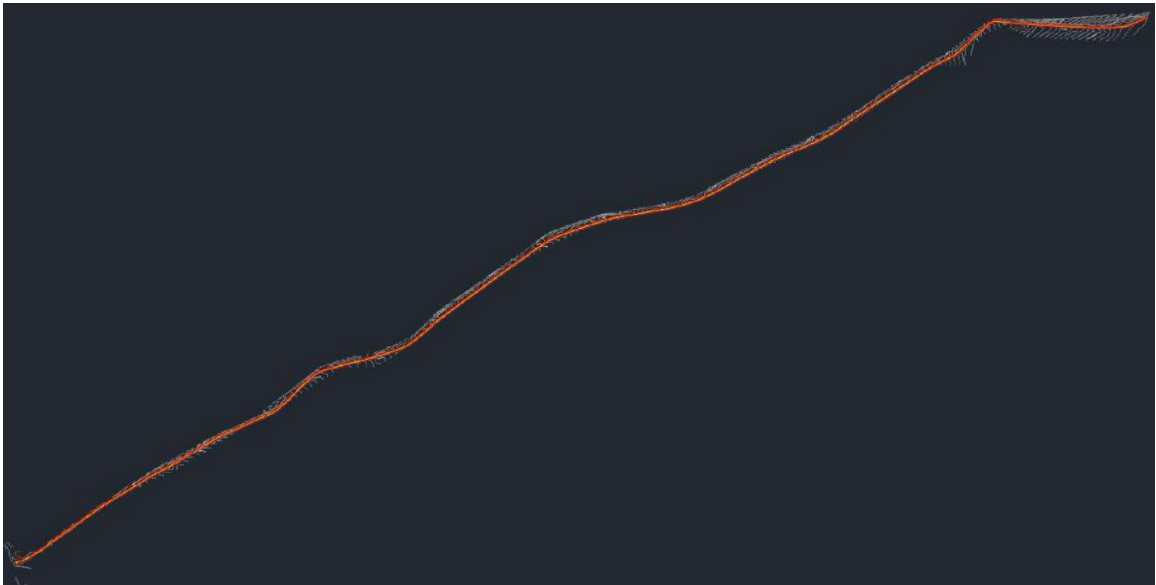
3.6. Plano topográfico

Una vez realizado el levantamiento topográfico, se debe insertar los puntos obtenidos en un plano con información de los ejes X, Y y Z. De modo que se obtiene una poligonal abierta.

3.6.1. Poligonal abierta

Se le conoce como poligonal abierta a un conjunto de segmentos de rectas unidos, cuyos extremos no coinciden en el mismo punto. En la Figura N°6 se podrá visualizar el tramo en estudio insertado en un plano con sus curvas de nivel.

Figura 6. Trazo de poligonal abierta del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D 2022.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE TRÁNSITO

4.1. Generalidades

El estudio de tránsito es requerido para el diseño de la estructura de pavimento articulado. El número de vehículos que pasan por un punto es registrado y proyectado con el fin de determinar las cargas a las que se somete la superficie de pavimento. De tal forma que su deterioro sea paulatino y cumpla con su vida útil.

4.2. Clasificación Vehicular

La hoja de clasificación vehicular utilizada en campo está compuesta por 17 tipos de vehículos, los cuales según el Anuario de Aforo de Tráfico 2020 (MTI), Pág. 26 está desglosada de la siguiente manera:

1. Motocicleta
2. Automóviles
3. Jeep
4. Camioneta
5. Microbús
6. Minibús
7. Bus
8. Liviano de Carga
9. Camión rígido sencillo, 2 ejes.
10. Camión rígido sencillo, 3 ejes.
11. Camión de Carga Tx-Sx<4
12. Camión de Carga Tx-Sx>5
13. Camión Combinado Cx-Rx<4
14. Camión Combinado Cx-Rx>5
15. Vehículo agrícola (Tractor)
16. Vehículo de construcción (Niveladora)
17. Otro (Remolque halado por un vehículo liviano)

A su vez el anuario vehicular simplifica la clasificación 33 vehicular en cuatro categorías: motocicletas, Vehículos livianos, vehículos pesados de pasajeros y vehículos pesados de carga.

4.3. Aforo Vehicular

Se le denomina aforo vehicular al proceso de cuantificar el número de vehículos que transitan por un punto de una vía, en un tiempo determinado. La duración del aforo varía según su propósito y para efectos prácticos realizar un aforo de 7 días brinda resultados más precisos, esto debido a que se aplican menos factores de ajuste.

La duración del aforo para este estudio es de 7 días continuos en el segundo cuatrimestre del año y cubre 12 horas al ser un conteo manual, por lo que se aplica un factor día para convertir un conteo de 12 horas a un conteo de 24 horas. A continuación, se presenta la figura N°1 en la página 4, con la ubicación de la estación de conteo del tramo en estudio.

El aforo vehicular se inició el lunes 2 de mayo del 2022 al domingo 8 de mayo del mismo año. Los resultados obtenidos en campo permiten determinar el porcentaje de vehículos livianos y vehículos pesados que circulan en el tramo de estudio, lo cual es preciso para el cálculo de espesor de la estructura de pavimento. En el presente documento se agregan dos tablas que poseen el resumen de la sumatoria por día del conteo realizado durante los 7 días por cada dirección, el conteo realizado en el formato de campo consistió en un registro en un intervalo de 15 minutos por casilla, obteniendo un total de 84 tablas de registro (Ver, Tabla 59, 60; página XVI, XVII).

En la tabla N°13, se presenta un consolidado del volumen de tránsito de los diferentes tipos de vehículos identificados en el conteo vehicular.

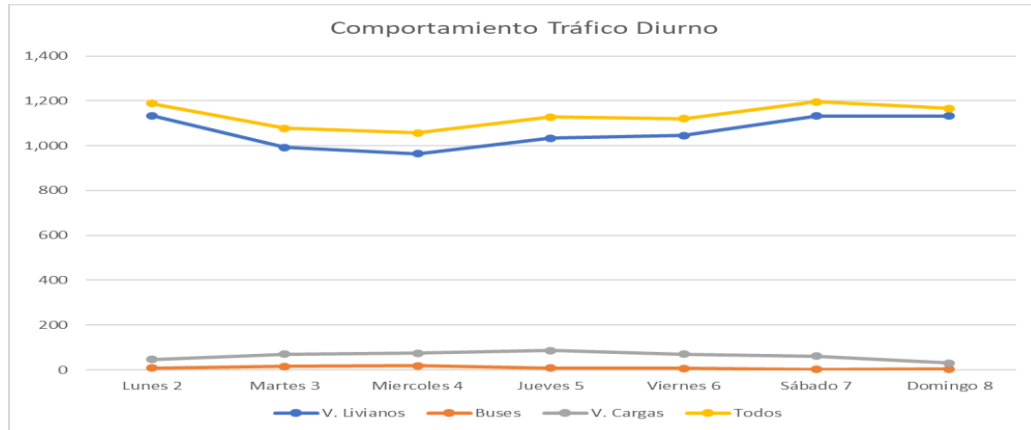
Tabla 13. Resumen de conteo vehicular por 7 días consecutivos de 12 horas en ambos sentidos.

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022											Total Veh/12hrs
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Carlos Espinoza - Sirama Norte (Norte a Sur) / Sirama Norte - Carlos Espinoza (Sur a Norte)											
Días	Vehiculos de Pasajeros							Vehiculos de Carga											Total Veh/12hrs
	Motos	Autos	SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Bus Grande	C. ligero	C2 > 4 ton	C3	C2-R2	C3-R2	T2 - S1	T2 - S2	T3 - S2	T3 -S3	Agrícolas	Contrucción	
Lunes 2	679	323	16	101	11	4	8	18	21	1	0	0	0	2	0	0	5	0	1,189
Martes 3	557	327	9	95	3	1	16	16	25	3	0	0	1	6	1	0	18	0	1,078
Miercoles 4	517	326	15	90	8	8	18	22	30	5	0	0	0	2	0	0	16	0	1,057
Jueves 5	615	314	6	89	0	10	8	16	38	11	1	2	0	0	3	3	12	0	1,128
Viernes 6	621	351	16	50	0	7	6	19	21	5	5	4	0	0	9	2	5	0	1,121
Sábado 7	694	356	6	68	0	9	2	19	19	2	6	0	0	0	1	2	12	0	1,196
Domingo 8	739	310	20	60	0	4	4	13	7	2	0	0	0	0	3	1	4	0	1,167
Total/veh	4,422	2,307	88	553	22	43	62	123	161	29	12	6	1	10	17	8	72	0	7,936
Total	7,497							439											7,936
Veh/12hr, % por tipo	55.72%	29.07%	1.11%	6.97%	0.28%	0.54%	0.78%	1.55%	2.03%	0.37%	0.15%	0.08%	0.01%	0.13%	0.21%	0.10%	0.91%	0.00%	100.00%
	93.69%							6.31%											100.00%
	% Vehiculos Livianos							% Vehiculos Pesados											

Fuente: Levantamiento de campo por los sustentantes.

Con los datos de la tabla N°13 se procedió a realizar un gráfico de tendencia con el comportamiento del tránsito diurno y un gráfico de barra con la composición vehicular.

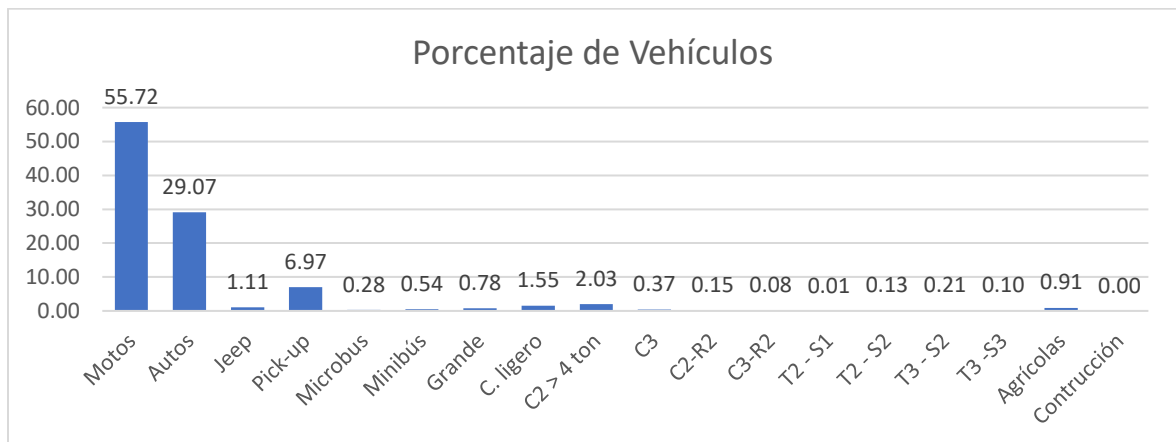
Figura 7: Comportamiento del tráfico diurnos en días de aforo.



Fuente: Elaboración propia.

En el figura N°7 se puede identificar que el mayor volumen de tránsito del tramo en estudio esta entre el sábado y el lunes. Y los vehículos livianos predominan un 93.69% al ser una vía que conecta dos poblados al Municipio de Chichigalpa por la NIC-54.

Figura 8. Porcentaje por tipo de vehículos registrado en el aforo.



Fuente: Elaboración propia

En el figura N°8 se puede identificar que el vehículo ligero más representativo es el auto con un 29.07% y entre los vehículos de carga más representativo es el camión rígido sencillo de 2 ejes con un 2.03%. Durante el registro de datos, se puede identificar una leve variación en la distribución direccional por porcentaje de tipo de vehículo (Tabla N°14).

Tabla 14 . Distribución direccional por porcentaje de tipo de vehículo.

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022											
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Carlos Espinoza - Sirama Norte (Norte a Sur) / Sirama Norte - Carlos Espinoza (Sur a Norte)											
Sentido del flujo vehicular	Vehiculos de Pasajeros							Vehiculos de Carga										Total Veh/12hrs	% Por Sentido
	Motos	Autos	SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Bus Grande	C. ligero	C2 > 4 ton	C3	C2-R2	C3-R2	T2 - S1	T2 - S2	T3 - S2	T3 -S3	Agrícolas		
Sirama Norte - Carlos Espinoza	2,215	1,089	39	278	9	19	31	62	73	9	3	3	1	4	8	3	0	3,846	48.69%
% Distribución	28.04%	13.79%	0.49%	3.52%	0.11%	0.24%	0.39%	0.78%	0.92%	0.11%	0.04%	0.04%	0.01%	0.05%	0.10%	0.04%	0.00%	48.69%	
Carlos Espinoza - Sirama Norte	2,207	1,218	49	275	13	24	31	61	88	20	9	3	0	6	9	5	35	4,053	51.31%
% Distribución	27.94%	15.42%	0.62%	3.48%	0.16%	0.30%	0.39%	0.77%	1.11%	0.25%	0.11%	0.04%	0.00%	0.08%	0.11%	0.06%	0.44%	51.31%	
Total Veh.	4,422	2,307	88	553	22	43	62	123	161	29	12	6	1	10	17	8	35	7,899	100.00%
% Total Veh.	55.98%	29.21%	1.11%	7.00%	0.28%	0.54%	0.78%	1.56%	2.04%	0.37%	0.15%	0.08%	0.01%	0.13%	0.22%	0.10%	0.44%	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

Para el cálculo del Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS), se define la siguiente ecuación.

$$TPDS = \frac{\text{Acumulado de conteo vehicular por tipo de vehiculo}}{\text{Cantidad de días del aforo}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Cálculo del TPDS para autos:

$$TPDS = \frac{2,307 \text{ autos}}{7 \text{ días}} = 329.57 \approx 330 \text{ vehículos/12 horas}$$

Tabla 15: Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022										Totales
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Carlos Espinoza - Sirama Norte (Norte a Sur) / Sirama Norte - Carlos Espinoza (Sur a Norte)										
	Vehiculos de Pasajeros							Vehiculos de Carga										
	Motos	Autos	SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Bus Grande	C. ligero	C2 > 4 ton	C3	C2-R2	C3-R2	T2 - S1	T2 - S2	T3 - S2	T3 -S3	Agrícolas	
Total Veh/12hrs	4,422	2,307	88	553	22	43	62	123	161	29	12	6	1	10	17	8	72	7,936
TPDS (vehículos/12 horas)	632	330	13	79	4	7	9	18	23	5	2	1	1	2	3	2	11	1,142
%TPDS	55.34%	28.90%	1.14%	6.92%	0.35%	0.61%	0.79%	1.58%	2.01%	0.44%	0.18%	0.09%	0.09%	0.18%	0.26%	0.18%	0.96%	100.00%
	93.26%							6.74%										100.00%
	% Vehiculos Livianos							% Vehiculos Pesados										

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición. (Manual Centroamericano para el diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 2, pág. 5).

Para determinar el TPDA del tramo en estudio se debe aplicar factores de ajustes que son tomados del anuario de aforo de tráfico 2020. Tales factores por utilizar se ven condicionado al tipo de aforo realizado, en este estudio se posee un Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS) por los que los factores de ajuste únicamente son el factor día, que convierte un aforo de 12 horas a 24 horas, y un factor de expansión por temporada que ajusta el volumen de tránsito al año.

Los factores de ajustes dependen en cada Estación de Mayor Cobertura (EMC), el tramo de estudio fue localizado geográficamente, posterior se identificó la composición vehicular del tramo de estudio y se comparó con las Estaciones de Corta Duración (EDC) próximas al tramo de estudio a como se muestra en la Tabla N°.16.

Tabla 16. Estaciones de corta duración y su composición.

Tramo en estudio Sirama Norte – Carlos Espinoza		ECD. Emp. Chichigalpa – Chichigalpa		ECD. Emp. Quezalguaque – Emp. Chichigalpa	
% Vehículo liviano	%Vehículo pesado	% Vehículo liviano	%Vehículo pesado	% Vehículo liviano	%Vehículo pesado
94	6	87	12	74	26

La estación de corta duración (ECD) que se aproxima a la composición vehicular del tramo en estudio es la estación #5401, que pertenece al Emp. Chichigalpa – Chichigalpa y esta estación pertenece a la Estación de Mayor Cobertura #1802 San Marcos – Masatepe.

De modo que el TPDA del tramo de estudio para un aforo de una semana se estima por la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPDS * Fd * Fe \text{ (Ecuación 6).}$$

Donde:

- ✓ **TPDS** = Tránsito promedio diario (12 horas).
- ✓ **Fd** = Factor Día.
- ✓ **Fe** = Factor Expansión.

4.6. Factores de ajuste

Para estimar el TPDA del aforo vehicular, se aplican los factores de ajuste correspondiente a la Estación de Mayor Cobertura (EMC) 1802, San Marcos – Masatepe de la cual depende la ECD 5401 seleccionada.

Figura 9. Dependencia de estaciones (San Marcos – Masatepe).

EMC	NIC	N° est.	Tipo	Nombre del tramo
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-51	7901	ECD	Quilalí – Panalí - Wililí
	NIC-51B	5110	ECD	Inicio circulación Telpaneca - Telpaneca
	NIC-52	5201	ECD	Emp. Puerto Sandino – Puerto Sandino
	NIC-52B	5202	ECS	Emp. El Velero – El Velero
	NIC-53	5301	ECS	Ocotal – Macuelizo
	NIC-53	125	ECS	Macuelizo – Santa María
	NIC-54	5401	ECD	Emp. Chichigalpa – Chichigalpa
	NIC-55	5502	ECD	Susucayan – El Jicaro
	NIC-55	5501	ECS	El Jicaro – Murra – El Rosario
	NIC-56	1226	ECD	Emp. Quezalguaque – Quezalguaque
	NIC-57	5713	ECD	Cuyalí – Venecia
	NIC-57	5701	ECS	Venecia – La Colonia
	NIC-57	5702	ECS	La Colonia - Abisinia

Fuente: Anuario de aforo de tráfico año 2020, Pág. 64

Tabla 17. Factores de ajuste del segundo cuatrimestre del año mayo – agosto.

Descripción	Moto	Carro	SUV	Camioneta	Micro bus	Mini bus	Bus	C. ligero	C2>4t	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx>=5	Cx-Rx<=4	Cx-Rx>=5	V.A	V.C	Otros
Factor día	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.20	1.26	1.20	1.00	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.09
F. semana	0.98	1.06	1.10	1.03	0.94	0.91	0.89	0.92	0.85	0.88	1.00	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85
F. fin de semana	1.05	0.87	0.81	0.93	1.19	1.33	1.43	1.30	1.78	1.51	1.00	1.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.82
F. expansión	1.02	0.99	0.95	1.00	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66

Fuente: Anuario de aforo de tráfico año 2020, Pág. 385

Estimación de TPDA para autos:

$$TPDA = 330 * 1.33 * 0.99 \approx 435 \frac{\text{vehículos}}{\text{día}} \text{ (Ecuación 6)}$$

Tabla 18. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022										
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Carlos Espinoza - Sirama Norte (Norte a Sur) / Sirama Norte - Carlos Espinoza (Sur a Norte)										
	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga										Totales
	Motos	Autos	Jeep/SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Grande	C. ligero	C2 > 4 ton	C3	C2-R2	C3-R2	T2 - S1	T2 - S2	T3 - S2	T3 - S3	Agrícolas	
TPDS	632	330	13	79	4	7	9	18	23	5	2	1	1	2	3	2	11	1,142
Factor Día	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.20	1.26	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.38	1.38	1.00	
Factor Expansión	1.02	0.99	0.95	1.00	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	1.00	
TPDA	884	435	15	98	6	8	13	21	30	7	2	1	1	2	5	3	11	1,542
% TPDA	57.33%	28.21%	0.97%	6.36%	0.39%	0.52%	0.84%	1.36%	1.95%	0.45%	0.13%	0.06%	0.06%	0.13%	0.32%	0.19%	0.71%	100.00%
	93.77%							6.23%										100.00%

Fuente: Elaboración Propia.

4.7. Estimación de tasa de crecimiento

4.7.1. Tasa de crecimiento

Previo a determinar la tasa de crecimiento del parque vehicular, se debe conocer el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día. Para el cálculo de la tasa de crecimiento se debe considerar los datos que se disponen por cada año, consiste en aplicar la media geométrica de las tasas de crecimiento estimadas con la siguiente ecuación:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

- ✓ TC_{TPDA} = Tasa de crecimiento.
- ✓ $TPDA_i$ = Tráfico promedio diario del año en análisis.
- ✓ $TPDA_0$ = Tráfico promedio diario del año anterior.

4.7.1.1. Tasa de crecimiento del TPDA histórico

Para estimar la tasa de crecimiento del TPDA histórico, el criterio a tomar en cuenta es la Estación de Mayor Cobertura (EMC) 1802, San Marcos – Masatepe de la cual depende la ECD 5401 por su composición vehicular en relación con el tramo en estudio.

Tabla 19 Resumen de datos de TPDA Estación de Mayor Cobertura (EMC)

San Marcos – Masatepe.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
TPDA	4,554	4,887	4,936	5,132	6,324	6,221	6,883	7,402	8,500	8,908	9,449	9,178

Fuente: Elaboración propia

Estimación de tasa de crecimiento del año 2008 al año 2019

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{9,178}{4,554} \right)^{\frac{1}{12}} - 1 \right] * 100 = 6.01\% \text{ (Ecuación 8)}$$

Tabla 20 Tráfico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
127	NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe	2020	5661	1294	278	884	344	93	143	410	165	43		69					8	9.392
					2019	5213	1344	310	957	397	96	158	387	172	50		85					9	9.178
					2018	5167	1548	319	1032	386	98	159	431	205	54		93					7	9.499
					2017	4638	1379	346	1068	395	88	158	391	221	60		152			1		11	8.908
					2016	3942	1453	430	1165	423	94	163	421	272	45		81					11	8.500
					2015	3372	1291	370	993	388	85	161	382	235	36		80					9	7.402
					2014	3176	1151	348	936	320	75	145	369	240	41		69					13	6.883
					2013	2691	1161	319	875	318	86	145	351	187	25		52					11	6.221
					2012	2789	1084	357	895	341	72	130	347	230	24	2	44				1	8	6.324
					2011	1971	978	309	803	322	60	139	286	195	27		35					7	5.132
					2010	1501	1076	336	843	356	82	154	290	214	36		40					8	4.936
					2009	1326	1068	363	885	340	76	164	323	258	34		42					8	4.887
					2008	1056	944	327	917	349	78	175	335	270	42		46			1	1	13	4.554
					2004	288	814	305	1012	281	72	213	321	241	14		37			0		8	3.608
					2002	234	827	388	1113	260	61	190	223	237	25		31			1		13	3.602
					1999	224	585	287	938	142	66	196	208	150	34		21			2		17	2.871
					1997	184	500	234	746	18	69	169	91	206	18		13					12	2.260
					Liv.	8117				Pasaj.	580					Pesado	695						
						86%				6%						7%							

Fuente: Anuario de aforo de tráfico año 2020, Pág. 161

4.7.1.2. Tasa de crecimiento por consumo de hidrocarburos

La tasa de crecimiento por consumo de hidrocarburos se analiza con base a los datos publicados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) en el anuario estadísticos de hidrocarburos del año 2008 al año 2019. El criterio para considerar este rango de datos se fundamenta en la información disponible de parte del Banco Central de Nicaragua (BCN) y El Ministerio de Energía y Minas (MEM) que brinda datos del año 2008 hasta el año 2019.

Tabla 21. Registro de consumo nacional real de los derivados del petróleo

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Barriles	10,350.6	9,974.4	10,059.7	10,245.4	10,826.6	10,634.0	10,415.2	10,911.0	12,373.2	12,794.5	12,769.3	12,056.9	12,761.2

Fuente: <https://www.mem.gob.ni/>

Para estimar la tasa de crecimiento de los datos de la tabla 14, se debe aplicar la ecuación 7 por cada año de modo que la tasa de crecimiento sea interanual por la variación de los datos. Una vez estimada las tasas de crecimiento interanual, se calcula el promedio.

- Tasa de crecimiento del año 2008 al 2019:

$$TC_{consumo} = \left[\left(\frac{10,059.7}{9,974.4} \right) - 1 \right] * 100 = 0.85\% \quad (\text{Ecuación 9})$$

Tabla 22. Cálculo de tasa de crecimiento consumo de hidrocarburos

Año	Barriles (miles)	TCA
2007	10,350.6	
2008	9,974.4	-3.63%
2009	10,059.7	0.85%
2010	10,245.4	1.85%
2011	10,826.6	5.67%
2012	10,634.0	-1.78%
2013	10,415.2	-2.06%
2014	10,911.0	4.76%
2015	12,273.2	12.48%
2016	12,794.5	4.25%
2017	12,769.3	-0.20%
2018	12,056.9	-5.58%
2019	12,761.2	5.84%
Promedio	11,310.1	1.87%

Fuente: Elaboración propia

4.7.1.3. Tasa de crecimiento por Producto Interno Bruto (PIB)

La tasa de crecimiento por Producto Interno Bruto (PIB) se realiza en base a los datos brindados en el informe anual del Banco Central de Nicaragua (BCN) del año 2008 al año 2019. La tasa de crecimiento debe ser interanual por la variación de los datos y se calcula la media geométrica para la tasa de crecimiento final.

Tabla 23. Resumen de Informe anual del año 2008 al año 2019

Principales indicadores macroeconómicos													
Conceptos	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Partidas informativas (millones C\$)													
PIB (a precios constantes)	125,540.10	129,120.10	125,557.40	129,564.30	137,638.30	145,333.00	151,921.00	158,857.00	166,687.00	177,894.90	186,212.40	179,873.30	173,074.50
PIB (Córdobas corrientes)	137,590.80	164,494.30	170,459.90	186,683.00	218,762.90	245,800.00	268,854.00	306,061.00	345,959.00	380,260.80	416,012.80	410,987.60	417,222.60
PIB (en millones US\$)	7,458.10	8,491.40	8,380.70	8,741.30	9,755.60	10,439.00	10,875.00	11,790.20	12,693.00	13,286.00	13,843.70	12,025.20	12,596.60
Población (miles de habitantes)	5,707.90	5,778.80	5,850.50	5,923.10	5,996.60	6,071.00	6,134.30	6,198.20	6,262.70	6,331.50	6,399.30	-	-
Base monetaria	9,847.80	10,369.50	12,425.70	14,549.80	18,278.00	19,174.40	20,466.90	23,502.50	29,661.40	29,138.00	33,113.60	30,132.70	34,477.70
Depósitos totales	45,454.70	48,776.40	56,489.10	70,400.30	82,043.50	86,550.10	98,591.80	117,345.70	133,636.10	145,144.10	160,719.00	127,423.20	129,775.00
Cartera de crédito bruta	42,026.30	47,198.60	44,241.70	45,289.10	53,852.40	69,457.20	84,281.80	100,712.10	123,839.20	144,709.50	164,739.70	161,993.00	137,661.40
Balance del SPNF a/d	(2,905.20)	(4,879.30)	(6,576.40)	(4,121.90)	(3,457.4)	(4,144.50)	(5,803.40)	(7,957.30)	(9,892.90)	(11,823.3)	(12,742.60)	(18,892.60)	(9,181.90)
Balance del SPNF d/d	1,312	(1,031.90)	(2,195.40)	(1,101.60)	354	(626.50)	(3,024.2)	(4,541.50)	(5,580.20)	(7,580.10)	(8,453.70)	(16,110.10)	(6,567.20)

Fuente: Elaboración propia

Tasa de crecimiento del año 2008 al 2019

$$TC_{PIB} = \left[\left(\frac{8,491.4}{7,458.1} \right) - 1 \right] * 100 = 13.85\% \quad (\text{Ecuación 10})$$

Tabla 24. Cálculo de tasa de crecimiento Producto Interno Bruto (PIB)

Año	PIB (Millones \$)	TCA
2007	7,458.1	
2008	8,491.4	13.85%
2009	8,380.7	-1.30%
2010	8,741.3	4.30%
2011	9,755.6	11.60%
2012	10,439.0	7.01%
2013	10,875.0	4.18%
2014	11,790.0	8.41%
2015	12,693.0	7.66%
2016	13,296.0	4.75%
2017	13,843.7	4.12%
2018	13,025.2	-5.91%
2019	12,596.6	-3.29%
Promedio	11,161.0	4.61%

Fuente: Elaboración propia.

El segundo método de la norma SIECA 2011 para la estimación de tasa de crecimiento, reconoce que los pronósticos de tránsito guardan estrecha relación con indicadores de las múltiples actividades humanas, bajo este criterio general se busca establecer relaciones razonables de tipo estadístico entre el comportamiento del tránsito (variable dependiente) y el de otros conocidos indicadores socioeconómicos nacionales o locales, que tienen incidencia en el transporte automotor, como los registros de consumo de combustible (gasolina, diesel) en el transporte, la tendencia de vehículos, el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), el crecimiento de la población económicamente activa, (variables independientes), que permitan obtener proyecciones aceptables acerca de los futuros volúmenes de tránsito por las carreteras. (SIECA, 2011, pág. 53)

Tabla 25. Resumen de tasas de crecimiento obtenidos

Tasa de crecimiento TPDA Historico	6.01%
Tasa de crecimiento PIB	4.61%
Tasa de crecimiento por consumo nacional de hidrocarburos	1.87%

Fuente: Elaboración propia.

Estimación de tasa de crecimiento promedio

$$TC_{promedio} = 6.01\% + 4.61\% + 1.87\% \approx 4.17\%$$

Tabla 26. Tabla de resultado de tasa de crecimiento

Tasa de crecimiento TPDA Historico	6.01%
Tasa de crecimiento PIB	4.61%
Tasa de crecimiento por consumo nacional de hidrocarburos	1.87%
Tasa de crecimiento a usar	4.17%

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Tránsito de diseño

Para el tránsito de diseño de pavimento, el cálculo cuantifica el número acumulado de ejes simples equivalentes, que circularan por el carril de diseño, durante un determinado período de diseño. (Fonseca, Ingeniería de Pavimento para Carreteras, 2001)

En las carreteras regionales se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como la base para el diseño, aunque igualmente se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se puede reducir dicho horizonte a un máximo de diez años. (SIECSA, 2004, cap. 2, pág. 11)

En el tramo de estudio no existe una superficie de pavimento por lo que se debe optar por un periodo de proyección de veinte años como base de diseño a como se recomienda en la norma. El tramo en estudio se determina su clasificación funcional con respecto al número de carriles y el TPDA por medio siguiente tabla 27.

Tabla 27. Clasificación funcional de las carreteras regionales.

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2004, cap. 3, pág. 9.

4.9. Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. La vida útil del pavimento es aquel tiempo que transcurre entre la construcción de este y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad. (Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, 2002, cap. 7, pág. 2)

Tabla 28 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 Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2002, cap. 7, pág. 3.

4.10. Factor direccional (FD)

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

Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc. (SIECA, 2002, cap.3, pág. 28)

Tabla 29 Factor de distribución por dirección

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2002, cap. 3, pág. 29.

En el tramo de estudió el comportamiento del TPDA por cada dirección se estimó de 48.69% de Norte a Sur y de 51.31% de Sur a Norte. Estos valores representan una distribución en ambos carriles de prácticamente el 50%, la diferencia de en la

distribución en el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es de 2.62% y es una diferencia descartable.

4.11. Factor de distribución por carril (Fc)

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 del diseño ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

Tabla 30 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 Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2002, cap. 3, pág. 29.

4.12. El índice de Serviciabilidad

El índice de Serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de Serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como pérdida de serviciabilidad (Δ PSI). (SIECA, 2002, cap. 3, pág. 4)

4.12.1. Índice de serviciabilidad inicial (Po)

En el manual de diseño de pavimentos en base al método AASHTO – 93, define que para una superficie de pavimento flexible el nivel de serviciabilidad óptimo para un proyecto de carretera nuevo es 4.2.

En el diseño de la estructura de pavimento articulado del tramo de carretera de Sirama Norte – Carlos Espinoza se contempla un valor de $P_o = 4.2$.

4.12.2. Índice de serviciabilidad final (Pt)

El valor más bajo de serviciabilidad según la norma AASHTO que puede tolerar los usuarios de la vía con caminos de menor tránsito es de 2.0.

En el diseño de la estructura de pavimento articulado del tramo de carretera de Sirama Norte – Carlos Espinoza se contempla un valor de $P_t = 2.0$.

4.12.3. Perdida de serviciabilidad (ΔPSI).

Entre mayor sea la perdida de serviciabilidad, mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, se calcula con la siguiente:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{(Ecuación 11)}$$

En el diseño de la estructura de pavimento articulado del tramo en estudio Sirama Norte – Carlos Espinoza es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2 \quad \text{(Ecuación 12)}$$

4.13. Número estructural (SN)

Para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se van a imponer. (SIECA, 2002, cap. 3, pág. 5).

En el diseño de la estructura de pavimento articulado del tramo en estudio Sirama Norte – Carlos Espinoza es **SN = 5**.

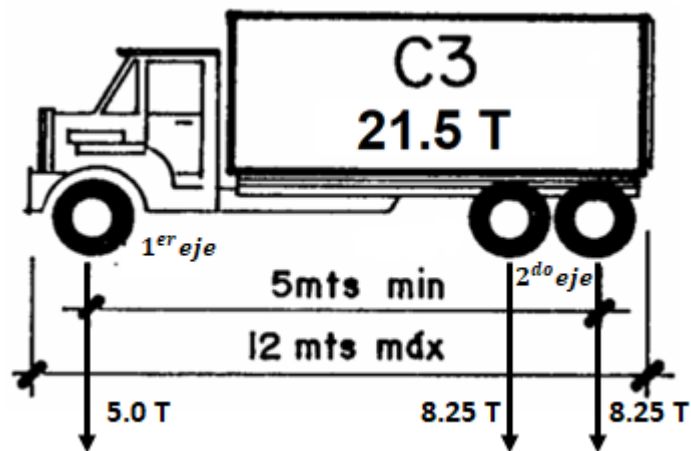
4.14. Factor de equivalencia (F.ESAL)

El concepto de convertir un tránsito mixto en un número de ESAL's de 80 KN fue desarrollado en el road test de la AASHTO, en este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido.

El factor equivalente de carga es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje. (AASHTO – 93, pág. 21).

Conociendo la serviciabilidad final ($P_t = 2.0$), el número estructural asumido ($SN = 5$) y los pesos se obtienen los factores de equivalencia.

Figura 10. Peso x ejes (kips) camión C3.



Fuente: *Elaboración propia*

Peso 1^{er} eje simple = 5.0 T

5.0 toneladas = 11,000 libras = 11 kips (Interpolar)

- Interpolación de factor de equivalencia para 11 kips

Carga (kips)		ESAL
10	=	0.079
11	=	X
12	=	0.174

Fuente: Elaboración propia.

- Se interpolan los valores

Carga (kips)		ESAL
2	=	0.095
1	=	X - 0.079

Fuente: Elaboración propia.

$$X = \left(\frac{0.095 + (2 * 0.079)}{2} \right) = 0.1265$$

Peso 2^{do} eje tándem = 8.25 + 8.25 = 16.50 T

16.50 toneladas = 36,300 libras = 36.3 kips (Interpolar)

- Interpolación de factor de equivalencia para 36.3 kips

Carga (kips)		ESAL
36	=	1.38
36.3	=	X
38	=	1.73

Fuente: Elaboración propia.

➤ Se interpolan los valores

Carga (kips)		ESAL
2	=	0.35
0.3	=	X - 1.38

Fuente: Elaboración propia.

$$X = \left(\frac{0.35 + (2 * 1.38)}{2} \right) = 1.43$$

4.15. Factor de crecimiento (Fc)

El factor de crecimiento toma en consideración las variables del volumen de tránsito en el periodo de diseño considerado y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas. Este factor se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$F_c = \left[\frac{(1+T_c)^n - 1}{T_c} \right] * 365 \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

- ✓ T_c = Tasa de crecimiento.
- ✓ n = Período de diseño

Se estima el factor de crecimiento tomando en cuenta que las variables son anuales y el período de diseño es de 20 años:

$$F_c = \left[\frac{(1 + 4.17)^{20} - 1}{4.17} \right] * 365 = 11,059.1102$$

4.16. Tráfico de diseño (TD)

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se debe usar el Tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Esto se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diurno (TPDA), el factor de crecimiento (Fc), factor de distribución (FD) y factor carril (fc).

El tráfico de diseño se determina con la ecuación:

$$T_D = TPDA * F_c * F_D * f_c \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde:

- ✓ **TPDA** = Tránsito Promedio Diario Anual.
- ✓ **F_c** = Factor de crecimiento.
- ✓ **f_c** = Factor de dirección.
- ✓ **F_D** = Factor de carril.

Aplicación de (**ecuación 14**) del tránsito de diseño para un periodo de 20 años y con una tasa de crecimiento de 4.17% para el caso del T3 – S2 es el siguiente:

$$T_D = 5 \frac{Veh}{día} * 11,059.11 * 0.5 * 1 \approx 27,648 Veh$$

Tabla 31. Tránsito de diseño (TD)

Tipo de vehiculo	Vehículos	TPDA actual (2022)	Fc	Factor por carril (FD)	Factor de dirección (fc)	Tránsito Diseño (TD)
Vehículos de Pasajeros	Auto	435	11,059.11	0.5	1	2,405,357
	Jeep	15	11,059.11	0.5	1	82,944
	Pick-up	98	11,059.11	0.5	1	541,897
	Microbus	6	11,059.11	0.5	1	33,178
	Minibús	8	11,059.11	0.5	1	44,237
	Bus	13	11,059.11	0.5	1	71,885
Vehículos de Carga	Camión ligero	21	11,059.11	0.5	1	116,121
	C2	30	11,059.11	0.5	1	165,887
	C3	7	11,059.11	0.5	1	38,707
	C. remolque < 4 ejes	2	11,059.11	0.5	1	11,060
	C. remolque > 5 ejes	1	11,059.11	0.5	1	5,530
	T2 - S1	1	11,059.11	0.5	1	5,530
	T2 - S2	2	11,059.11	0.5	1	11,060
	T3 - S2	5	11,059.11	0.5	1	27,648
	T3 - S3	3	11,059.11	0.5	1	16,589
Agrícola	11	11,059.11	0.5	1	60,826	
Transito total de diseño						3,638,456.00

Fuente: Elaboración propia

4.17. Ejes equivalentes (ESAL o W18)

Se define como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips o 18,000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento. Se obtiene conocimiento el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia (F.ESAL). Se calcula mediante la ecuación 15:

$$W_{18} = T_D * FESAL \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Donde:

- ✓ T_D = Tránsito de diseño.
- ✓ **FESAL** = Factor de equivalencia.

El ESAL de diseño para el vehículo de diseño T3 – S2:

$$W_{18} = (27,648 * 0.1265) + (27,648 * 1.264) + (27,648 * 1.264) = 73,394$$

El ESAL's calculado para el tramo en estudio equivale a 1,107,005 ejes equivalentes a 8.2 toneladas. Este dato es la suma del tránsito de diseño de cada uno de los vehículos registrado multiplicado con su factor de equivalencia.

Tabla 32. Cálculos de ESAL's de diseño

Tipo de vehiculo	Peso X eje (Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	# ejes	Factor ESAL'S	Transito Diseño	ESAL'S Diseño
Auto	1	2.2	Simple	1	0.00038	2,405,357	915
	1	2.2	Simple	1	0.00038	2,405,357	915
Jeep	1	2.2	Simple	1	0.00038	82,944	32
	1	2.2	Simple	1	0.00038	82,944	32
Pick-up	1	2.2	Simple	1	0.00038	541,897	206
	2	4.4	Simple	1	0.0036	541,897	1,951
Microbus	2	4.4	Simple	1	0.0036	33,178	120
	4	8.8	Simple	1	0.0556	33,178	1,845
Minibús	4	8.8	Simple	1	0.0556	44,237	2,460
	8	17.6	Simple	1	0.9246	44,237	40,902
Bus	5	11	Simple	1	0.1265	71,885	9,094
	10	22	Simple	1	2.18	71,885	156,710
Camión ligero	4	8.8	Simple	1	0.0556	116,121	6,457
	8	17.6	Simple	1	0.9246	116,121	107,366
C2	5	11	Simple	1	0.1265	165,887	20,985
	10	22	Simple	1	2.18	165,887	361,634
C3	5	11	Simple	1	0.1265	38,707	4,897
	16.5	36.37	Tándem	2	1.43	38,707	55,352
C. remolque < 4 ejes	4.5	9.9	Simple	1	0.0853	11,060	944
	9	19.8	Simple	1	1.459	11,060	16,137
	6.5	14.3	Simple	1	0.39945	11,060	4,418
	6.5	14.3	Simple	1	0.39945	11,060	4,418
C. remolque > 5 ejes	5	11	Simple	1	0.1265	5,530	700
	16	35.2	Tándem	2	1.264	5,530	6,990
	6.5	14.3	Simple	1	0.39945	5,530	2,209
	6.5	14.3	Simple	1	0.39945	5,530	2,209
T2 - S1	5	11	Simple	1	0.1265	5,530	700
	9	19.8	Simple	1	1.459	5,530	8,069
	9	19.8	Simple	1	1.459	5,530	8,069
T2 - S2	5	11	Simple	1	0.1265	11,060	1,400
	9	19.8	Simple	1	1.459	11,060	16,137
	16	35.2	Tándem	2	1.264	11,060	13,980
T3 - S2	5	11	Simple	1	0.1265	27,648	3,498
	16	35.2	Tándem	2	1.264	27,648	34,948
	16	35.2	Tándem	2	1.264	27,648	34,948
T3 - S3	5	11	Simple	1	0.1265	16,589	2,099
	16	35.2	Tándem	2	1.264	16,589	20,969
	20	44	Tridem	3	0.723	16,589	11,994
Agrícola	5	11	Simple	1	0.1265	60,826	7,695
	10	22	Simple	1	2.18	60,826	132,601
Total ESAL'S de diseño (W18)							1,107,005
ESAL O W18 = 1,107,005 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.							

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V. DISEÑO GEOMETRICO

5.1. Introducción

El diseño geométrico es una de las partes más importantes de los proyectos de construcción de caminos y calles, el objetivo es combinar los elementos que componen el camino, teniendo en cuenta las condiciones del terreno en estudio, los vehículos que lo transitarán y los elementos físicos que la componen, de forma que el rediseño de la vía tenga en cuenta que el trazado se adapte al máximo a las características y condiciones actuales de la zona, marcando así la diferencia para los habitantes de la zona que serán los principales beneficiarios.

La geometría de la vía consta de tres elementos 2D, el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el diseño transversal, que al conectarse dan como resultado un elemento 3D correspondiente a la vía en estudio. Un buen diseño se basa en una combinación alineada que proporcione la máxima seguridad, capacidad, velocidad, comodidad y uniformidad en la operación.

En este capítulo se presenta el diseño geométrico del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza el cual se realizó aplicando los criterios de diseño, “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA 2004) y los criterios de diseño, “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA 2011).

5.2. Componentes Principales del Diseño Geométrico

Los componentes principales del Diseño Geométrico son:

1. Alineamiento horizontal: El diseño geométrico en planta, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal del eje real o espacial de la carretera, constituido por una serie de tramos rectos llamados tangentes; enlazados entre sí por curvas.
2. Alineamiento vertical: El diseño geométrico en perfil, o alineamiento vertical, es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical

paralela al mismo. Dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o sub-rasante.

3. Sección transversal: La sección transversal apoyada a una poligonal permiten conocer los puntos de cota más cerrada o la cota de los puntos de influencia en el perfil de la sección, es decir, aquellos que determinen el relieve del terreno.

5.3. Sistemas y clasificaciones

Debido a que las carreteras son parte de un sistema de transporte integral, fue necesario clasificarlas de diferentes maneras dependiendo de la necesidad de reflejar una característica o propósito común. Así si se clasificaron por sus sistemas operativos, por su clase, por su función o por tipos geométricos y orográficos.

Estas clasificaciones fueron necesarias para facilitar la comunicación entre planificadores, administradores, ingenieros y el público, dependiendo de la región en la que se encuentra, se pueden clasificar en colectoras rurales (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras) (SIECA 2004).

5.4. Clasificación funcional

Agrupar las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar, lo cual a su vez tiene íntima relación con la estructura y categorización de los viajes. (SIECA, 2004, pág. 82).

La categorización funcional de las carreteras admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño.

La ruta de camino tal a como se encuentra en la actualidad y según la clasificación funcional de Carreteras del Ministerio de Transporte e Infraestructura está catalogada como Colectora Rural.

En la tabla N°27 en el capítulo de tránsito, se clasifica el tramo en estudio como colectora rural, esto basado en su clasificación funcional que se identifica por el número de carriles, zona en la que se localiza el tramo en estudio y el rango de Transito Promedio Diario Anual (TPDA).

5.5. Colectoras rurales

Este tipo de carretera generalmente atiende el tránsito de distancias relativamente cortas que se mueve entre pueblos y aldeas, y también sirve como alimentador de caminos arteriales y colectores suburbanos. La velocidad en estas vías es moderada en comparación con las arterias principales.

Las colectoras amplían la zona de influencia de la red principal, por cuanto mueven el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderas importantes, puertos o embarcaderos, centros de educación con significativo movimiento de estudiante y áreas industriales, sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 3,000 y 500 vehículos/día. (Ver tabla 33, pág. 59).

Colectores rurales:

- El tramo en estudio realiza un recorrido entre 2 pueblos y una una intercepción a la ciudad.
- El tramo en estudio se encuentra en una zona agrícola y ganadera.
- Su volumen de tránsito registrado se encuentra en el rango de 3,000 y 500 vehículo/día.

Tabla 33. Sistema de clasificación funcional

Función	Clase de carretera	Nomenclatura	TPDA (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: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.33.

La clasificación funcional de las vías agrupa a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar y tiene estrecha relación con la estructura y categorización de los viajes.

Tomando en cuenta las diferentes modalidades del tránsito, se puede clasificar esta vía como Colectora Menor Rural, ya que será utilizada para juntar el tránsito de los caminos locales y poner a todas las zonas desarrolladas dentro de distancias apropiadas para el usuario hacia los caminos colectores, servir a las comunidades restantes más pequeñas y unir los generadores de tránsito localmente importantes con su vecindad rural.

5.6. Derecho de vía

El derecho de vía es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de esta, incluyendo dentro de sus límites el diseño balanceado de las calzadas con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme a su clasificación funcional.

No obstante, la conveniencia de contar con una franja de terreno de ancho uniforme para cada tipo de carretera, en la práctica dicha franja es variable y determinada apropiadamente en función de cada proyecto en particular.

Para el tramo en estudio, la franja de derecho de vía actual es variable en toda su trayectoria, teniendo anchos desde los 1.50 m.

5.7. Vehículo de diseño

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase y uso en el diseño geométrico.

Así cada vehículo de diseño tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría de los de su clase y al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación, se le brindan al diseñador los controles y

elementos, a los que deben ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones.

De cada tipo de vehículo que se utiliza en el diseño geométrico, se seleccionan los de mayores dimensiones físicas y de radio de giro mayores, dentro de su clasificación, para adoptar las condiciones más desfavorables, al efecto de alcanzar el objetivo específico de diseñar con estándares altos que proporcionen mayor seguridad vial.

De manera general en los conteos de tránsito, la presencia mayoritaria pertenece a los vehículos livianos, a la vez es necesario no perder de vista la presencia de los vehículos de carga como camiones T3-S2 y T3-S3; por tanto, consideramos utilizar como vehículo de diseño el tipo de Vehículo T3-S2 (WB-15). Las dimensiones para cada tipo de Vehículo se presentan a continuación:

Tabla 34. Dimensionamiento de los Vehículos de Diseño.

	P	Bus	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3 (1.3)	4.1	4.1 (4.1)	4.1 (4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1 (2.1)	2.6	2.6 (2.6)	2.6 (2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8 (5.8)	12.1	9.1 (9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo delantero	0.9 (0.9)	2.1	1.2 (1.2)	0.9 (0.9)	1.2	1.2
Voladizo trasero	1.5 (1.5)	2.4	1.8 (1.8)	0.6 (0.6)	0.9	0.9
Distancia entre ejes extremos, WB1	3.4 (3.4)	7.6	6.1 (6.1)	6.1 (6.1)	6.1	6.1
Distancia entre ejes extremos, WB2				9.1 (9.2)	12.8	14.3

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2004, Pág.38.

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo.

Donde:

- ✓ WB1, WB2: Es la distancia entre ejes extremos Dimensiones en metros.
- ✓ Voladizo Delantero/ Trasero: Es la distancia entre el eje extremo del vehículo y el borde posteriormente mencionado.

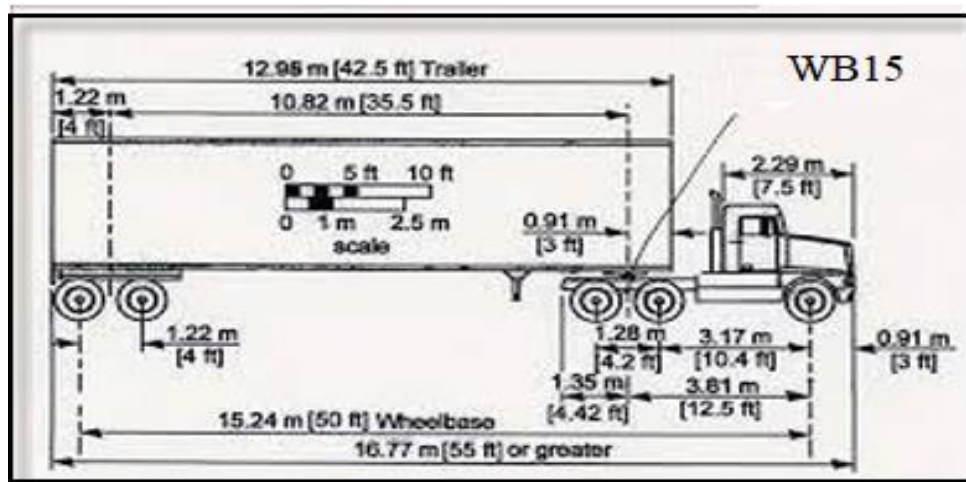
Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 35 Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.

Vehículo de diseño	Símbolo	Radio de giro mínimo de diseño (m)	Radio en la línea central RMG (m)	Radio interior mínimo (m)
Vehículo liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.39.

Figura 11. Modelo vehicular WB-15 (T3-S2)



Fuente: (SIECA, 2011).

El radio mínimo de giro y las longitudes de transición mostradas en la tabla anterior son para giros a 15 KPH o menos, usuales en el diseño de giros en rampas o intersección de calles. Velocidades más altas alargan las curvas de transición y requieren radios mayores de los mínimos.

Los radios son considerados mínimos para esta aplicación, aunque los conductores diestros podrían ser capaces de reducirlos.

5.8. Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Esta también debe ser equilibrada con la velocidad a la que un conductor probablemente conduzca con comodidad en la carretera construida.

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- ✓ Distribuciones de las velocidades.
- ✓ Tipo de área (rural, urbana).
- ✓ Condiciones del terreno (plano, ondulado, montañoso).
- ✓ Volúmenes de tránsito.
- ✓ Consistencia en el diseño de carreteras similares o complementarias.
- ✓ Condiciones ambientales.

Para determinar la velocidad de diseño de la vía es necesario conocer uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras, el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual que se determinó en el capítulo anterior dando como resultado 1,542 vehículos por día; la clasificación funcional de la vía expuesta en la Tabla 19, página 41 como Colectora Menor Rural, tomando en cuenta que éste tiene un relieve ondulado principalmente.

Tabla 36. Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.

No.	Descripción	Autopistas regionales			Troncales						Colectoras					
					Suburbanas			Rurales			Suburbanas			Rurales		
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000			20,000-10,000			10,000-3,000			3,000-500			3,000-500		
2	VHD, vehículos por hora	>2,000			2,000-1,000			1,500-450			300-50			450-75		
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92			0.92			0.95-0.91			0.92			0.85		
4	Vehículo de diseño	WB-20			WB-20			WB-20			WB-15			WB-15		
5	Tipo de terreno	P	O	M	P	O	M	P	O	M	P	O	M	P	O	M
6	Velocidad de diseño, km/hora	110	90	70	90	80	70	80	70	60	70	60	50	70	60	50
7	Número de carriles	4 a 8			2 a 4			2 a 4			2			2		
8	Ancho de carril, metros	3.6			3.6			3.6			3.3-3.6			3.3		
9	Ancho de hombros, metros	Int: 1.0-1.5 Ext: 1.8-2.5			Int: 1.0-1.5 Ext: 1.8-2.5			Int: 0.5-1.0 Ext: 1.2-1.8			Ext: 1.2-1.5			Ext: 1.2-1.5		
10	Tipo de superficie de rodamiento	Pav.			Pav.			Pav.			Pav.			Pav.-Grava		
11	Distancia de visibilidad de parada, metros	110-245			110-170			85-140			65-110			65-110		
12	Distancia de visib. adelantamiento, metros	480-670			480-600			410-540			350-480			350-480		
13	Radio mín. de curva, peralte 6%, metros	195-560			195-335			135-250			90-195			90-195		
14	Máximo grado de curva	5°53'-2°03'			5°53'-3°25'			8°29'-4°35'			12°44'-5°53'			12°44'-5°53'		
15	Pendiente longitudinal máx, porcentaje	6			8			8			10			10		
16	Sobreelevación, porcentaje	10			10			10			10			10		
17	Pendiente transversal de calzada, %	1.5 – 3			1.5 – 3			1.5 – 3			1.5 – 3			1.5 – 3		
18	Pendiente de hombros, porcentaje	2 – 5			2 – 5			2 – 5			2 – 5			2 – 5		
19	Ancho de puentes entre bordillos, metros	Variable			Variable			Variable			7.8 – 8.7			7.8 – 8.7		
20	Carga de diseño de puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%			HS 20-44+25%			HS 20-44+25%			HS 20-44			HS 20-44		
21	Ancho de derecho de vía, metros	80-90			40-50			40-50			20-30			20-30		
22	Ancho de mediana, metros	4-12			4-10			2-6			-			-		
23	Nivel de servicio, según el HCM	B-C			C-D			C-D			C-D			C-D		
24	Tipo de control de acceso	Control total			Control parcial			Sin control			Sin control			Sin control		
25	Clasificación funcional	AR-TS			AR-TS-TR			TR-CR			TS-CS			TR-CR		

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 3ra ed. 2011, Pág.13.

Según la tabla anterior, la velocidad de diseño para una carretera colectora rural con terreno plano es de 70 km/h, por lo cual ésta se utilizará como base para el diseño.

5.9. Distancia de visibilidad

Una carretera debe diseñarse de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad, las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar.

Durante este tiempo total, el o los vehículos que participan en la maniobra recorren distancias que dependen de su velocidad y que determinan, en definitiva, las distintas distancias de visibilidad requeridas en cada caso.

5.10. Distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno y la distancia para detener el vehículo desde el instante que aplica los frenos. Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente, y se calculan con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + 0.039 \frac{v^2}{a} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

- ✓ V: Velocidad de diseño, km/h.
- ✓ t: Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos.
- ✓ a: Tasa de desaceleración, m/s^2

Cuando la carretera está en una pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada debe modificarse y calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + \frac{v^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

- ✓ G representa la pendiente en valor absoluto (grado en porcentaje/100).

Otros criterios para seleccionar valores de diseño para este parámetro de visibilidad en carreteras de dos carriles, no toma en cuenta este ajuste y el alineamiento se diseña igual que en condiciones de terreno plano, ya que se considera que se produce un ajuste automático por las diferencias en longitud en las pendientes de subida y bajada.

Tabla 37. Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.

Velocidad (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
Pendiente en ascenso +i%	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243	
Calculado horizontal	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
Redondeado horizontal	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
Pendiente en descenso -i%	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	115	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.77.

5.11. Distancia de visibilidad de rebase

La distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la velocidad de proyecto; esto es, abandonar su carril, adelantar el vehículo que viaja delante de él y retornar a su carril en forma segura,

sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril que utilizará para efectuar la maniobra de adelantamiento.

La visibilidad de adelantamiento se requiere únicamente en carreteras de dos carriles, con tránsito bidireccional. Tal es el caso del tramo de carretera que se va a diseñar.

Tabla 38. Distancia de visibilidad adecuada para adelantar.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.79.

5.12. Alineamiento horizontal de las carreteras

El Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales describe lo siguiente:

- La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad de proyecto.
- La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
- El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible sin dejar de ser consistente con la topografía.
- Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible.

- Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.
- En terraplenes altos y largos solo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, para que el conductor pueda ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.

Los tramos rectos que permanecen luego de emplear las curvas de enlace se denominan también tramos en tangente y pueden llegar a ser nullos, es decir, que una curva de enlace quede completamente unida a la siguiente.

- Curvas circulares simples: Es la que une dos tangentes con un arco de círculo de radio constante.
- Curvas circulares compuestas: Son las formadas por varios arcos de círculo de radio decreciente, primero y creciente después.
- Curvas inversas: son aquellas compuestas de dos curvas circulares, de sentido contrario, contiguas y con tangente común en el punto de unión. En la práctica no pueden estar continuas, desde luego que la distancia mínima del punto de la segunda será cuando menos igual a la suma de las transiciones de ambas curvas.
- Curvas de transición: Es una curva que se sitúa para lograr el acuerdo entre la tangente y la curva circular, de manera que el cambio desde radio infinito en la tangente hasta el radio en la curva circular se haga paulatinamente. A medida que el radio de la curva circular es menor, la necesidad de la curva de transición es menor.

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

$$e + f = \frac{V^2}{127 * R} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

- ✓ e = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.
- ✓ f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.
- ✓ V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.
- ✓ R = Radio de curva, en metros.

5.13. Peralte máximo (em_{ax})

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas, condiciones del terreno, tipo de zona y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte máxima universalmente aplicable y que debe usarse un rango de valores.

Dado que las condiciones meteorológicas y topográficas imponen condiciones particulares en los diseños, se recomiendan para diseño los siguientes factores de peralte para diferentes tipos de área donde se localicen las carreteras.

Tabla 39. Tasas máximas de sobreelevación según tipo de área.

Tasa de sobreelevación, "e" en (%)	Tipo de área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 2da ed. 2004, Pág.4-36.

5.14. Factor de fricción lateral (f)

El coeficiente de fricción "f" se define como la fuerza de fricción dividida entre el componente del peso perpendicular al pavimento y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{V^2}{(127 * R)} - e \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

- ✓ V: velocidad de diseño, km/h.
- ✓ R: Radio de curva, m.
- ✓ e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y de la velocidad del vehículo.

En la Tabla 42 se presentan los valores del coeficiente de fricción lateral para las distintas velocidades que se utilizarán en el diseño.

Tabla 40. Factores de fricción lateral

Velocidad de diseño (km/h)	Factor de fricción máxima
20	0.35
30	0.28
40	0.23
50	0.19
60	0.17
70	0.15
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.11
120	0.09

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Street. (1994).

5.15. Radios mínimos y grados máximos de curva.

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar

la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento.

El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobreelevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.), con la superficie de rodamiento de la carretera. Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e).

Los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula siguiente:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(em_{\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

- ✓ V: Velocidad de diseño, km/h.
- ✓ $e_{m\acute{a}x}$: Tasa de sobreelevación en fracción decimal (%).
- ✓ $f_{m\acute{a}x}$: Factor de fricción lateral (adimensional).

Sustituyendo los valores de las distintas velocidades de diseño a utilizar en el proyecto con sus respectivos peraltes máximos y coeficiente de fricción lateral, en la **Ecuación 16**, se obtienen los radios mínimos:

$$R_{min} \left(70 \frac{km}{h} \right) = \frac{(70)^2}{127(0.15 + 0.08)} = 167.75 \text{ m}$$

Se debe tomar el radio mínimo según los siguientes criterios:

- Cuando la topografía del terreno es montañosa u ondulada.
- En las aproximaciones a los cruces de accidentes orográficos e hidrográficos.
- En intersecciones entre cambios entre sí.

Tabla 41. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales.

Velocidad de diseño (km/h)	Factor de fricción máxima	Peralte máximo = 8%		Grado de curvatura (Degree)
		Radio (m)		
		Calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'
40	0.23	40.6	41	27°57'
50	0.19	72.9	73	15°42'
60	0.17	113.4	113	10°08'
70	0.15	167.8	168	06°49'
80	0.14	229.1	229	05°00'
90	0.13	303.7	304	03°46'
100	0.12	393.7	394	02°55'
110	0.11	501.5	501	02°17'
120	0.09	667.0	667	01°43'

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.89.

5.16. Grado máximo de curvatura (G_{máx})

El grado máximo para una curva de carretera se define según la siguiente expresión:

$$G_{máx} = \frac{145692.26 \cdot (e_{máx} + f)}{V^2} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Dónde:

- ✓ $G_{máx}$: Grado máximo de curvatura (DD.MM.SS).
- ✓ f : Factor de fricción lateral (adimensional).
- ✓ V : Velocidad de diseño (km/h).

El Grado de Curvatura (G_{máx}), para un Radio mínimo de 167.8 metros, resultante fue de 6.838, equivalente a 6° 49' 00".

5.17. Pendiente transversal

A partir de las especificaciones y recomendaciones de la norma SIECA 2004 capítulo 4, pág. 7; sugiere la utilización de una pendiente transversal de entre 1.5 y 3.0 por ciento para las carreteras con superficie de rodamiento de calidad intermedia; y con el propósito de evacuar eficientemente las aguas superficiales de la calzada se propone la utilización del 3% para el bombeo.

Elementos de la curva

- PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.
- PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.
- PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.
- O = Centro de la curva circular.
- Δ = Angulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal. Es igual al ángulo central subtendido por el arco PC PT.
- R = Radio de la curva circular simple.
- T = Tangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.
- L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.
- CL = Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.
- E = Externa: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.
- M=Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

Cálculo de los elementos geométricos de la curva circular:

- Estimación de radio de curva:

$$Rc = \frac{T}{\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)} \quad (\text{Ecuación 22})$$

- Estimación de tangente:

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (\text{Ecuación 23})$$

- Estimación de ángulo de deflexión de las tangentes:

Es aquel que se mide en grados entre el PC y el PT, es decir, el ángulo central de la curva necesaria para entrelazar las tangentes de la curva circular.

- Estimación de grado de curvatura:

$$G = \frac{1,145.92}{Rc} \quad (\text{Ecuación 24})$$

- Estimación de cuerda larga:

$$CL = 2 * Rc * \text{sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right) \quad (\text{Ecuación 25})$$

- Estimación de distancia entre PI y el punto medio de la curva:

$$E = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación 26})$$

- Estimación de ordenada media

$$M = Rc * \left(1 - \cos \left(\frac{\Delta}{2} \right) \right) \quad (\text{Ecuación 27})$$

- Estimación de longitud de curva circular

$$L = \frac{\pi * Rc * \Delta}{180^\circ} \quad (\text{Ecuación 28})$$

5.21. Sobreanchos en curvas (S)

Los sobre anchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En las carreteras modernas con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobre anchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

Para establecer el sobre ancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- En curvas circulares sin transición, el sobre ancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada, como es el caso del proyecto en estudio. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.

- Cuando existen curvas de transición, el sobre ancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada.
- En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada.
- El ancho extra debe efectuarse sobre la longitud total de transición y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todo el ancho de los carriles modificados sea efectivamente utilizado. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60 m.
- Los bordes del pavimento siempre deben tener un desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir su uso por el conductor.
- Los sobreesanchos deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la carretera o, alternativamente, dejar los detalles finales al Ingeniero residente de campo.

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

$$S = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{V}{10} \sqrt{R} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

- ✓ S = Valor sobreesancho, metros.
- ✓ n = Número de carriles de la superficie de rodamiento.
- ✓ L = Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.
- ✓ R = Radio de curvatura, metros.
- ✓ V = Velocidad de diseño de la carretera, kilómetros por hora.

5.20. Longitud de transición (LT)

No se pueden iniciar bruscamente los peraltes máximos en los PC de las curvas horizontales ni pueden terminar igualmente en los PT, por esa razón se estiman las longitudes suficientes y necesarias en las tangentes para pasar cómodamente y sin riesgos de una sección en tangente a una sección en curva o dicho en otras palabras para pasar del bombeo al peralte máximo.

Las estimaciones no se limitaron únicamente a considerar la longitud de transición del peralte, sino que también se estimaron dentro de estas longitudes las distancias necesarias para hacer la transición en la tangente desde el bombeo igual a 3% - 0%, transición del bombeo.

La longitud de transición depende de la velocidad de diseño (70 km/hora) y la máxima pendiente relativa, para proveer longitudes largas en velocidades altas y longitudes cortas en velocidades bajas.

- El Gradiente máximo (G_{\max}), se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_{\max} = \frac{145,606(emax+fmax)}{vd^2} \quad (\text{Ecuación 30})$$

- El grado de desplazamiento de PI (D_{pi}), se calculó con la siguiente ecuación:

$$D_{pi} = \frac{145,606(emax)}{vr^2} \quad (\text{Ecuación 31})$$

- El desplazamiento de PI (H_{pi}), se calculó con la siguiente ecuación:

$$H_{pi} = emax \left[\frac{vd^2}{vr^2} \right] - emax \quad (\text{Ecuación 32})$$

- La Pendiente de la Rama 1 y 2 (S_1, S_2):

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

$$S_1 = \left(\frac{H_{pi}}{D_{pi}} \right) \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$S_2 = \frac{fmax-h_{pi}}{D_{max}-D_{pi}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

- La media Ordenada (M_o), de la curva vertical asimétrica se obtuvo:

$$M_o = D_{pi}(D_{max} - D_{pi})(S_2 - S_1)^2(D_{max}) \quad (\text{Ecuación 35})$$

- Debido a que esta carretera es de dos carriles, para el cálculo de la Longitud de Transición (LT), se utilizó la siguiente ecuación:

$$LT = \frac{(\text{Ancho de carril})(e)}{m} \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

- ✓ LT = Longitud de Transición, m
- ✓ e = Peralte de la curva circular en valor absoluto, m/m
- ✓ m = Pendiente relativa del borde.

Tabla 42. Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento

Velocidad de diseño (KPH)	Máxima pendiente relativa (%)	Talud máximo relativo equivalente
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:154
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.47	1:200
90	0.44	1:213
100	0.41	1:227
110	0.38	1:244
120	0.35	1:263

Fuente: Elaboración Propia

Si el peralte es menor al 3 %, es una curva CCS (curva circular simple), según AASHTO. Por Tanto, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$LT = b * e_D \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde:

- ✓ b = Bombeo o Pendiente Transversal, metro/metro.
- ✓ eD = Peralte de la curva circular en valor absoluto, m/m.
- ✓ Cálculo de la transición del bombeo (N).

$$N = \frac{LT*b}{eD} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Donde:

- ✓ LT: longitud de transición.
- ✓ b : bombeo.
- ✓ eD : peralte de diseño.

Ejemplo de cálculo de los elementos geométricos de la curva circular 1.

Datos:

Clasificación funcional de la vía: CR

Tipo de Terreno: P

Velocidad de Diseño: 70 Km/h

Número de carriles: 2

Ancho de carriles: 3.60 m

Ancho de rodamiento: 1.2m Pend. Transversal : 3 %

Ancho de hombros: 1.20 m Super elevación Máx. : 8%

Ancho de corona: 3.6 m Coef, fricción transv. (f) : 0.15

Pendiente relativa de los bordes: 0.55%

Tipo de Sup. Rod: Pav

$R_{\text{curva}}: 168 \text{ m}$

$\Delta_{\text{curva 1}} = 10^{\circ}58'5.88''$

$$R_{\text{mín}} = \frac{(70 \text{ km/h})^2}{127(8/100 + 0.15)} = 167.75 \text{ m}$$

$$G_{\text{máx}} = \frac{1145.92}{167.75} = 6^{\circ}49'52''$$

Se observa que el radio de la curva cumple con las normas $R_{\text{curva}} > R_{\text{mín.}}$

$$G = \frac{1,145.92}{168} = 6^{\circ}49'15.43'' \quad \text{(Ecuación 20)}$$

Se observa que el grado de curvatura cumple con las normas $G < G_{\text{máx.}}$

- Tangente **(Ecuación 19)**

$$T = 168 * \text{Tan} * \left(\frac{10^{\circ}58'5.88''}{2} \right) = 16.1297 \text{ m}$$

- Cuerda larga **(Ecuación 21)**

$$CL = (2)(168) \left(\text{Sen} \frac{10^{\circ}58'5.88''}{2} \right) = 32.112 \text{ m}$$

- Distancia entre PI y el punto medio de la curva **(Ecuación 22)**

$$E = (168) \left(\frac{1}{\cos \frac{10^{\circ}58'5.88''}{2}} - 1 \right) = 0.772 \text{ m}$$

- Ordenada media **(Ecuación 23)**

$$M = (168) \left(1 - \text{Cos} \frac{10^{\circ}58'5.88''}{2} \right) = 0.769 \text{ m}$$

- Longitud de curva circular **(Ecuación 24)**

$$L = \frac{(\pi)(168)(10^{\circ}58'5.88'')}{180} = 32.16 \text{ m}$$

- Longitud de transición **(Ecuación 32)**

$$LT = \frac{(\text{Ancho de carril})(e)}{m} = \frac{3.6(8.0\%)}{0.55\%} = 52.36 \text{ m}$$

Tabla 43. Elementos geométricos de las curvas horizontales-circulares.

Curva #	Radio	Rmin	Delta	L	G	PC	PI	PT	T	Vdiseño
C1	168	168	10°58'06"	32.161	10°23'42"	Est. 0+021 X: 499,113 Y: 1,391,209	Est: 0+037 X: 499,121 Y: 1,391,224	Est: 0+054 X:499,126 Y: 1,391,239	16.1296	70 km/h
C2	300	168	4°20'48"	22.759	5°49'17"	Est.0+314.73 X: 499,187 Y: 1,391,492	Est. 0+326 X: 499,189 Y: 1,391,503	Est. 0+337 X: 499,193 Y:1,391,514	11.385	70 km/h
C3	550	168	8°57'29"	85.88	3°10'31"	Est. 0+722 X, 499,307 Y:1,391,881	Est: 0+765 X: 499,9591 Y: 1,391,923	Est. 0+808 X: 499,499 Y",1,391,962	43.08	70 km/h
C4	168	168	21°14'15"	62.271	10°23'42"	Est. 0+935 X: 499,392 Y: 1,392,077	Est. 0+967 X: 499,405 Y: 1,392,106	Est. 0+998 X: 499,407 Y: 1,392,137	31.4971	70 km/h
C5	168	168	11°35'42"	33.99	10°23'42"	Est. 1+122 X: 499,419 Y: 1,392,260	Est. 1+139 X: 499,417 Y: 1,392,279	Est. 1+156 X: 499,429 Y: 1,392,293	17.057	70 km/h
C6	320	168	26°34'25"	148.41	5°27'27"	Est. 1+361 X: 499,581 Y: 1,392,529	Est. 1+437 X: 499,581 Y: 1,392,529	Est. 1+509 X: 499,590 Y: 1,392,604	75.567	70 km/h
C7	168	168	5°18'22"	15.558	10°23'42"	Est. 1+558 X: 499,595 Y: 1,392,652	Est. 1+565 X: 499,596 Y: 1,392,660	Est. 1+573 X: 499,598 Y: 1,392,667	7.784	70 km/h
C8	168	168	15°42'35"	46.063	10°23'42"	Est. 1+998 X: 499,692 Y: 1,392,081	Est. 2+021 X: 499,698 Y: 1,393,104	Est. 2+044 X: 499,804 Y: 1,393,709	23.176	70 km/h
C9	168	168	8°46'45"	25.742	10°23'42"	Est. 2+204 X: 499,790 Y: 1,393,263	Est. 2+217 X: 499,796 Y: 1,393,274	Est. 2+230 X: 499,804 Y: 1,393,284	12.896	70 km/h
C10	547.87	168	19°31'22"	186.67	3°11'15"	Est. 2+387 X: 499,902 Y: 1,393,406	Est. 2+481 X: 499,961 Y: 1,393,480	Est. 2+574 X: 499,992 Y: 1,393,569	94.253	70 km/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44. Elementos geométricos de las curvas horizontales-circulares.

Curva #	Radio	Rmin	Delta	L	G	PC	PI	PT	T	Vdiseño
C11	300	168	4°39'14"	24.368	5°49'17"	Est. 2+739 X: 500,047 Y: 1,393,725	Est: 2+751 X: 500,051 Y: 1,393,736	Est: 2+763 X:500,056 Y: 1,393,748	12.19	70 km/h
C12	300	168	2°06'53"	11.073	5°49'17"	Est.2+900 X: 500,112 Y: 1,393,873	Est. 2+906 X: 500,114 Y: 1,393,878	Est. 2+912 X: 500,116 Y:1,393,883	5.537	70 km/h
C13	220	168	9°18'09"	35.719	7°56'17"	Est. 2+962 X: 500,135 Y:1,393,930	Est: 2+980 X: 500,141 Y: 1,393,946	Est. 2+997 X: 500,145 Y",1,393,964	17.899	70 km/h
C14	300	168	1°41'39"	8.871	5°49'17"	Est. 3+253 X: 500,208 Y: 1,394,212	Est. 3+258 X: 500,209 Y: 1,394,216	Est. 3+262 X: 500,210 Y: 1,394,221	4.435	70 km/h
C15	200	168	6°09'43"	21.509	8°43'55"	Est. 3+337 X: 500,231 Y: 1,394,293	Est. 3+348 X: 500,234 Y: 1,394,303	Est. 3+359 X: 500,238 Y: 1,394,313	10.765	70 km/h
C16	200	168	17°05'05"	59.637	8°43'55"	Est. 3+401 X: 500,254.84 Y: 1,394,352	Est. 3+431 X: 500,266 Y: 1,394,380	Est. 3+461 X: 500,269 Y: 1,394,410	30.041	70 km/h
C17	168	168	28°36'00"	15.558	10°23'42"	Est. 3+544 X: 500,279 Y: 1,394,492	Est. 3+587 X: 500,281 Y: 1,394,538	Est. 3+628 X: 500,319 Y: 1,394,565	42.822	70 km/h
C18	300	168	2°40'42"	14.023	5°49'17"	Est. 3+907 X: 500,535 Y: 1,394,741	Est. 3+914 X: 500,540 Y: 1,394,539	Est. 3+921 X: 500,545 Y: 1,394,750	7.013	70 km/h
C19	168	168	23°26'51"	68.752	10°23'42"	Est. 3+978 X: 500,588 Y: 1,394,789	Est. 4+013 X: 500,613 Y: 1,394,813	Est. 4+047 X: 500,628 Y: 1,394,844	34.864	70 km/h

Fuente: Elaboración Propia

5.21. Alineamiento vertical

Corresponde al perfil de la carretera o proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona o línea subrasante.

En términos generales existen curvas verticales en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

5.22. Curvas verticales Convexas o en Cresta

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Cuando S es menor que L

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{Ecuación 39}$$

Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

- ✓ L: longitud de la curva vertical, m.
- ✓ S: distancia de visibilidad, m.
- ✓ A: diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.
- ✓ h_1 : altura del ojo sobre la superficie del camino, m.
- ✓ h_2 : altura del objeto sobre la superficie, m.

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces $L = KA$, o de otra forma, $K = L/A$.

Tabla 45. Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de curvatura vertical	
		Calculada	Para diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.125.

Tabla 46. Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de Rebase

Velocidad de Diseño (Km/h)	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	Tasa de curvatura vertical, k
		Para diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.125.

5.23. Curvas verticales Cóncavas o en Columpio

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

- El primero 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.

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 menor que la distancia de visibilidad iluminada, S .

Se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{AS^2}{120+3.5S} \quad \text{Ecuación 41}$$

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

$$L = 2S - \left(\frac{120+3.5S}{A} \right) \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

- ✓ L : longitud de curva vertical en columpio, m.
- ✓ S : distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.
- ✓ A : diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %

Tabla 47. Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	Tasa de curvatura vertical, k
		Para diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.127.

5.24. Pendiente longitudinal mínima

Es la pendiente que se fija para permitir un drenaje adecuado. En los tramos en relleno puede ser nula, efectuándose el drenaje de la carretera mediante el bombeo transversal, pero en los tramos en corte se recomienda usar 0.50%, permitiéndose, excepcionalmente, hasta 0.30%.

5.25. Pendiente longitudinal máxima

La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de vía que se desea diseñar.

Las pendientes para calles colectoras urbanas deben ser tan a nivel como sea práctico, consistente con el terreno colindante. Una pendiente mínima de 0.30% es aceptable para facilitar el drenaje. No obstante, es recomendable que se utilice una pendiente de 0.50% o más.

La pendiente en una calle urbana generalmente se diseña debajo del nivel del terreno colindante para coincidir con el área de bordillo y de éstos al sistema de drenaje de lluvia.

Las pendientes máximas que se usarán en el proyecto corresponden a una Carretera Rural Local, ya que se tienen velocidades desde 20km/h como se muestra a continuación.

Tabla 48. Pendiente máxima para Carreteras Rurales (Locales).

Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) para la velocidad de diseño especificada, KPH								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Montañoso	17	16	15	13	13	12	10	10	---

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.120.

5.26. Pendiente transversal

Es la pendiente que se le da a la calzada en dirección perpendicular al eje de la carretera.

5.27. Ancho de hombros

Los hombros o espaldones, que son las franjas de carretera ubicadas contiguo a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes, tienen su justificación en:

- La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido.
- Para llenar la importante función de dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.
- Para permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- Para proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

Tabla 49. Anchos mínimos de hombros y aceras.

Tipo de carretera		Acceso	Tipo de superficie	Ancho de hombros (m)		Ancho de aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial menor rural	-	Alto	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial menor urbana	-	Alto	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector mayor rural	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector mayor urbana	-	Alto	0.5 – 1.0	1.2 – 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras menor rural	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras menor urbana	-	Intermedio	-	1.6 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local rural	-	Intermedio	-	0.75 – 1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75 – 1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.142.

5.28. Sobreancho del pavimento (SAP).

Es un área conveniente para redondear el vértice entre la terracería y el talud de relleno. (SIECA 3^{ra} edición 2011, pág. 143).

5.29. Número de carriles.

El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos. Según la Tabla 43, página 106 de acuerdo con el sistema de clasificación funcional del camino, el número de carriles a utilizar será 2; para proveer a la vía de una circulación vehicular en ambos sentidos.

5.30. Aceras o banquetas.

Mediana: La mediana o Faja separadora Central, es la franja de terreno localizada al centro de la carretera que separa los carriles de sentido contrario en carreteras divididas. (SIECA 3^{ra} edición 2011, pág. 143).

5.31. Sub-corona o subrasante.

Es la superficie constituida por los planos horizontales que delimitan el movimiento de tierras y sobre la cual se apoyan las distintas capas del pavimento. (SIECA 3^{ra} edición 2011, pág. 144).

5.32. Subrasante.

Es La elevación de la última capa de terracería en el eje o línea central en carreteras con tránsito en ambos sentidos.

5.33. Taludes.

Son los planos inclinados de la terracería que delimitan los volúmenes de corte o relleno.

5.34. Drenaje superficial.

Es el drenaje superficial que debe ser efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura. (SIECA 3^{ra} edición 2011, pág. 146).

Pueden encontrarse consideraciones para el diseño y estas están constituidas por lo siguiente:

- a) Cunetas
- b) Contracunetas
- c) Sub-Drenaje

5.35. Parámetros de diseño geométrico

Descripción	Unidad	Valores
Clasificación Funcional	Colectora Menor Rural (CR)	
Ancho del Derecho de Vía	m	12
Tipo de Terreno	Tipo	Plano
	Est.	0+000
	Est.	4+130
Velocidad de Diseño	Km/h	70
Velocidad de Ruedo	Km/h	73
Vehículo de Diseño	Tipo	T3-S2
Distancia entre ejes(L)	m	7.8
Radio de Curvatura Mínimo	m	168
Grado de Curvatura Máximo	Grad, Mín, Seg	6°49'00"
Número de Carril	Unidad	2
Ancho de Carril	m	3.6
Ancho de Rodamiento	m	7.2
Ancho de Hombros	m	1.2
Bordillo Típico	m	0.15 x0.36
Ancho de Corona	m	9.6
Pendiente Transversal o Bombeo	%	3
Pendiente de hombros	%	3
Sobreelevación o Peralte Máximo	%	8
Pendiente Longitudinal Mínima	%	0.5
Pendiente Longitudinal Máxima	%	8
Sobrecancho Máximo	m	1.5
Sobrecancho Mínimo	m	0.6
Factor de Fricción Lateral	WB-15	0.15
Distancia de Visibilidad de Parada	m	17
Distancia de Visibilidad de Rebase	m	485
Carpeta de rodamiento	Tipo	Adoquín de concreto
Carpeta de rodamiento	Tipo	Adoquín de concreto

CAPÍTULO VI. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

6.1. Introducción

Los bloques o adoquines son elementos contruidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie.

6.2. El método de AASHTO 1993

El método de Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993), describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos articulados, flexibles y rígidos de carreteras.

Los pavimentos de adoquines se componen de distintas capas al igual que los pavimentos flexibles y rígidos. La principal diferencia con estos últimos radica en la composición de la carpeta de rodadura, que está conformada por adoquines inter-trabados, que brindan al pavimento un comportamiento estructural semiflexible.

El Método AASHTO-93 recomienda que, para pavimentos con adoquín se deben aplicar los mismos criterios de diseño establecidos para pavimentos flexibles.

6.3. ESAL'S de diseño (ejes equivalentes)

Definiremos como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 37 toneladas, la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalen Factor). El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de ESAL's de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHTO.

6.4. Índice de serviciabilidad

El índice de Serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos, camiones etc.) que circulan en la vía para el cual ha sido diseñado, dentro de este existen dos, la Serviciabilidad inicial (P_0) que se escoge según la función del diseño de pavimento y su calidad de construcción y la Serviciabilidad final (P_t), la cual se clasifica según la función del camino adaptada a los criterios de diseño del proyectista. (AASHTO, 1993, pág. 172).

La pérdida de serviciabilidad es la diferencia que existe entre la serviciabilidad que presenta la carretera con reciente construcción de la estructura de pavimento con respecto a la serviciabilidad final presentada cuando la estructura llegue a fallar.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Tabla 50. índices de serviciabilidad inicial.

Serviciabilidad inicial (P_0)

Pavimento rígido	4.5
Pavimento flexible	4.2

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993, pág. 172.

Tabla 51. índices de serviciabilidad Final

Serviciabilidad final (P_t)

Caminos muy importantes	2.5
Caminos de menor transito	2

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993, pág. 172.

6.5. Perdida de serviciabilidad.

La Perdida de Serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final (Diseño de Pavimento de la AASHTO – 93. Edición 2006, Pág. 172). Se calcula con la ecuación siguiente:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

6.6. Variables para Diseño de Pavimento (AASHTO-93)

Para diseño de pavimentos se 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 de pavimento, la capa de base y la capa de subbase. Esta ecuación está en función de unas variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad entre otros.

A continuación, se presenta la **ecuación 43** indicando el significado de cada variable o parámetro involucrado:

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \text{Log}(\Delta PSI \cdot 4.2 - 1.5) \cdot 0.40 + 1094 (SN + 1)^{5.19} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8.07 \text{ (Ecuación 43)}$$

Dónde:

- ✓ W: Número estimado de ejes equivalentes.
- ✓ ZR: Desviación estándar normal.
- ✓ So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural.
- ✓ ΔPSI : Diferencia entre índice de servicio inicial y final MR: Módulo resiliente (en libras/pulgada²).
- ✓ SN: Número estructural.

6.7. Variables en función al tiempo

El Período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del pavimento se comiencen a alterar desproporcionadamente.

Para este diseño cuya vía es clasificada como Colectora Rural Menor (Clasificación determinada en función del TPDA de los resultados de la proyección del tráfico total utilizando) el período de diseño es de 20 años.

6.8. Factor de distribución por dirección

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado, a continuación, se presentan las tablas de los factores de distribución.

6.9. Factor de distribución por carril

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

6.10. Confiabilidad (R)

La confiabilidad (R) ha sido incorporada con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que los pavimentos construidos de la "misma forma" presenten comportamientos de deterioro diferente.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, AASHTO 1993 recomienda diferentes niveles de funcionalidad. Para el tramo en estudio y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizará es liviano, se asume un valor de confiabilidad R de 80%, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como caminos Colectores Menores Rurales.

6.11. Desviación estándar (So)

Desviación estándar del sistema, es función de las posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a

lo largo de toda su vida de servicio. El rango de valores que toma este parámetro esta entre 0.40 y 0.50 Para pavimentos flexibles en base SIECA 2002, Capitulo 7, pág. 5.

Para el presente diseño se asume un valor de desviación estándar $S_o = 0.45$.

6.12. Coeficiente de drenaje

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

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

Esta calidad de drenaje se expresa en la fórmula de dimensionado (Número estructural) a través de unos coeficientes de drenaje m , que afectan a las capas no ligadas.

Tabla 52: Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles.

Calidad de drenaje	P = % del tiempo en 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: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004, Capítulo 6, Pág.4.

El valor para utilizar en este diseño fue del $m = 1.00$.

6.13. Módulo de resiliencia (Mr.).

En el método de AASHTO del 1986 y 1993, reemplaza al CBR por el módulo de resiliencia para utilizarlo como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor k) para el diseño de pavimentos rígidos. En este método de AASHTO-93 se deben usar los valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, ya que la incertidumbre de la confiabilidad (R) debe tomarse en cuenta, convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (Mr) con el CBR, el valor R y el índice de suelo.

Se han dado correlaciones para encontrar el valor del módulo de resiliencia (Mr) como la siguiente relación:

Para suelos granulares con CBR mayor de 7.20% pero menor o igual a 20?%.

$$Mr = 3,000 * CBR^{0.65} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde:

- ✓ MR: Módulo de Resiliencia (PSI).
- ✓ CBR: Capacidad de soporte del suelo.

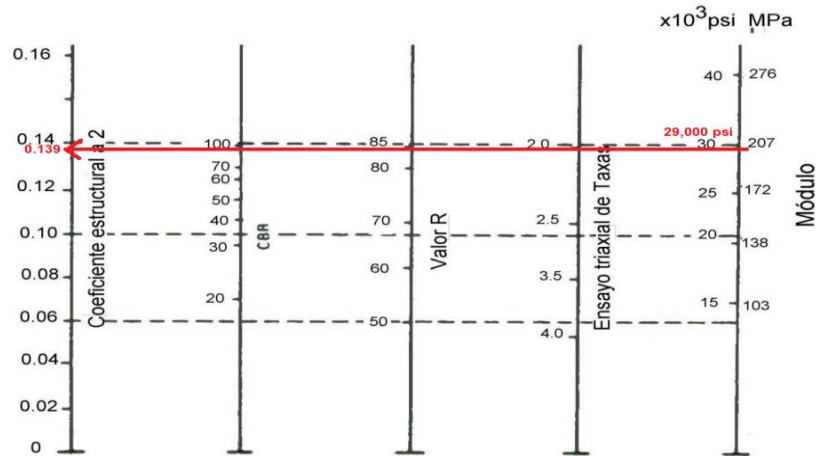
$$Mr_{subrasante} = 3,000 \text{ psi} * 12.7^{0.65} = 15,652.85 \text{ psi}$$

El material de subrasante posee propiedades de bueno a regular, por lo que la subrasante con CBR de 12.7% se considera sin mejoramiento.

En la presente investigación se presentará esta alternativa de diseño de la estructura de pavimento:

Alternativa: Se propondrá utilizar material del banco “Cosmapa” como material de subrasante. Se estima por medio del monograma el módulo de resiliencia y la constante a para un CBR de 99.1% del cambo de préstamo.

Figura 13. Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



Fuente: Norma de diseño estructural de pavimento, AASHTO – 93, pág. 118

El CBR de banco “Cosmapa” es de 99.1, este resultado se puede apreciar en la tabla Resultados de ensayos a sondeos en banco de préstamo (Ver tabla 7 Capítulo 1, página 20).

Capa base.

Para la capa base se empleará el material del banco de préstamo “Cosmapa” ubicado a 5 km del proyecto, cuyo CBR con proctor al 100%. El cuál es el ensaye de CBR de este material resultó 99.1%, utilizando un porcentaje de compactación al 100%, clasificándose como un material del tipo A-1-a (0), el cual cumple los requisitos para ser utilizado como capa sub base de buena calidad de Nic-2019.

Capa subbase.

Para la capa sub base se empleará el material proveniente del banco “Cosmapa” en su estado natural, el cual el ensaye de CBR de este material resultó 99.1%, utilizando un porcentaje de compactación al 100%, clasificándose como un material del tipo A-1-a (0), el cual cumple los requisitos para ser utilizado como capa sub base de buena calidad de Nic-2019.

6.14. Determinación de los coeficientes de capas estructurales.

6.14.1. Coeficientes de capa.

Además del coeficiente de drenaje, existen otros factores estructurales que involucran las características y propiedades de los diferentes materiales que formarán parte del paquete estructural. El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento. Estos, se representan con la siguiente simbología:

- a_1 : para la carpeta de rodamiento.

6.14.2. Coeficiente estructural de la carpeta (adoquín) (a_1).

Para la capa de adoquín, el valor del coeficiente $a_1=0.45$, fue tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, (Cap. 7, pág. 107). Cálculo de espesores, Método AASHTO.

6.14.3. Coeficiente estructural para capa base (a_2).

Para el cálculo del coeficiente estructural (a_2) para la capa base, el método AASHTO 1993 menciona el uso del programa Winpas 12 para estimar dicho coeficiente, de acuerdo con los datos de la estimados del coeficiente estructural para $CBR_{100\%}$ base (a_2) es 0.143 con un módulo de resiliencia de 29×10^3 PSI

Diseño estructural del pavimento propuesto.

6.14.4. Número estructural (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.

La determinación de este valor también se puede encontrar haciendo uso de nomogramas, fórmula o programas, la diferencia radica en la precisión, siendo el nomograma el más rápido, pero de poca precisión.

La ecuación utilizada para el diseño de pavimento flexible deriva de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST. La fórmula general que se usara para determinar los espesores del pavimento es la siguiente:

$$SN = a1 * D1 + a2 * m2 * D2 + a3 * m3 * D3 \quad (\text{Ecuación 45})$$

Donde:

- ✓ SN: Número estructural del pavimento.
- ✓ a1, a2, a3: Coeficiente estructural de las capas.
- ✓ D1, D2, D3: Espesores de las capas (pulg).
- ✓ m2, m3: Coeficiente de drenaje de capa granular.

Esta ecuación no tiene una única solución, hay prácticamente un infinito número de combinaciones de espesores que la pueden satisfacer. Se pretende que las capas granulares deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes, por lo cual el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA), propone el siguiente gráfico para determinar los espesores y capas de una estructura de pavimento.

6.14.5. Determinación del número estructural (SN).

La ecuación de diseño recomendada por la AASHTO permite la obtención del número estructural a partir de los siguientes parámetros:

- W: Número estimado de ejes equivalentes 37 toneladas en el período de diseño.
- ZR: Esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo

largo de un período de diseño. Dato seleccionado de 20 años según la tabla 29 del capítulo 3.

- R: Confiabilidad (80%), dato explicado en este capítulo.
- So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural. (0.45).
- ΔPSI : Diferencia entre índice de servicio inicial y final MR: Módulo resiliente (en libras/pulgada²).
- SN: Se obtiene el número estructural (SN) para luego determinar un conjunto de capas cuyos espesores (D_i) igualen o superen el número estructural calculado (SN) a partir del módulo resiliente de la subrasante.

Una vez obtenidos los parámetros anteriores, se utiliza el nomograma para determinar el número estructural (SN), proyectando líneas hacia los ejes verticales guías TL, con los valores ya establecidos de la confiabilidad, desviación estándar, ESAL's de diseño, los módulos de resiliencia y la pérdida de Serviciabilidad.

Muchas reparticiones establecen los espesores mínimos para tratamientos superficiales. El espesor de una capa de tratamiento superficial es despreciable en lo que se refiere al porcentaje de SN absorbido, pero tiene gran efecto en la base y subbase ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento. (AASHTO-93)

Los valores de espesores mínimos sugeridos para las capas de concreto asfáltico y base granular en función del tránsito son los siguientes:

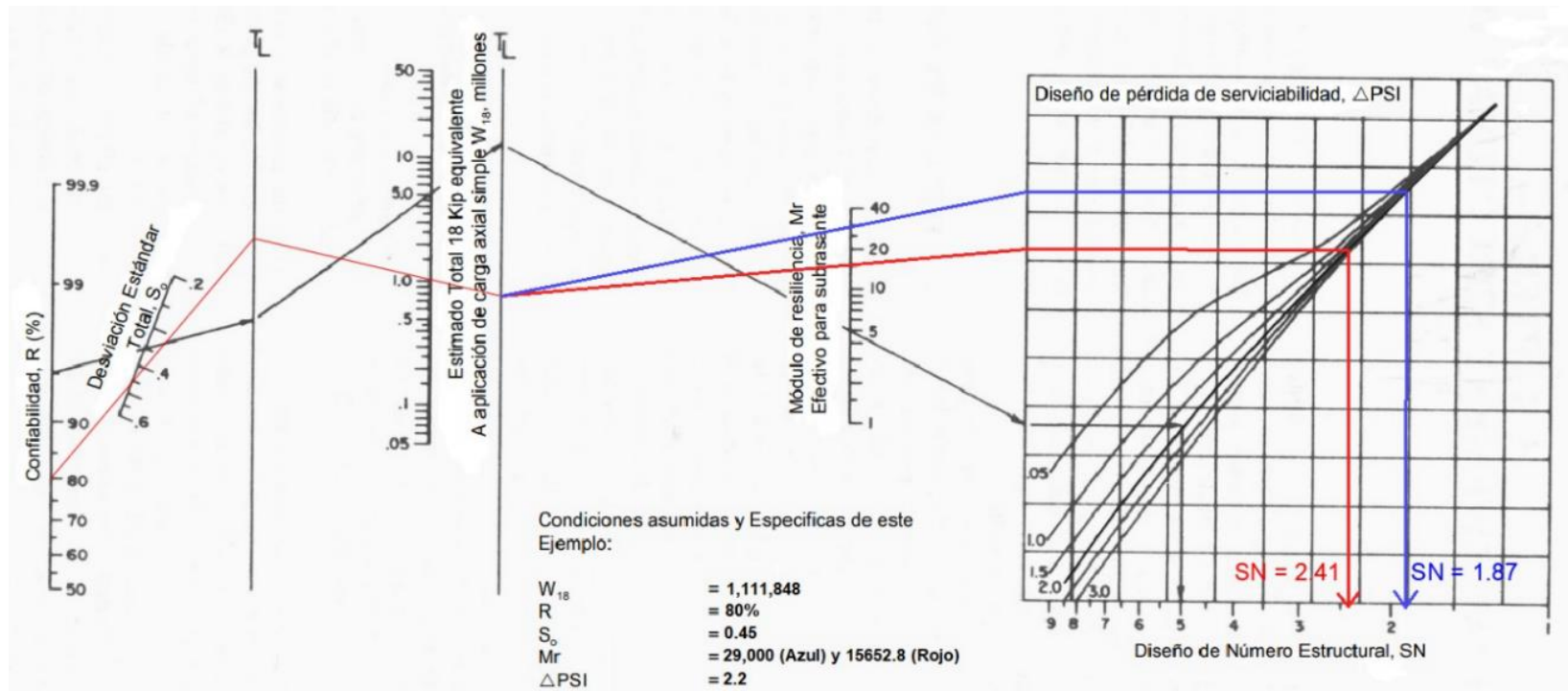
Tabla 53. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALS	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: ASSTHO-93

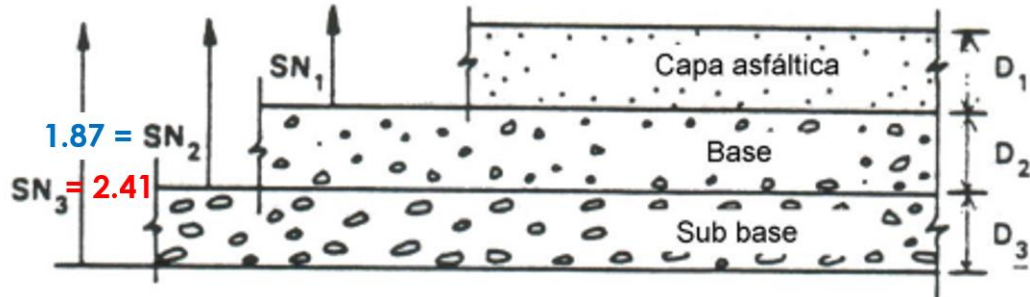
Esta metodología se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes.

Figura 14. Diseño número estructural.



Fuente: Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap. 7, pág. 6.

Figura 15. Espesores mínimos en función del SN



Fuente: ASSTHO-93

En caso de este diseño de pavimento el número estructural se estimará de la siguiente manera:

6.14.6. Cálculo del espesor de la estructura de pavimento

Dado a que el espesor del Adoquín estándar (4") se procede a calcular el número estructural absorbido por la superficie de rodamiento, con la siguiente ecuación.

$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad (\text{Ecuación 46})$$

Datos conocidos del Adoquín según Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos SIECA 2002.

- Cálculo de SN₁ de superficie de adoquín, considerando características del adoquín en la norma técnica N° NTON 12-009-19.

$$D_1 = 4" \quad (\text{Espesor del adoquín})$$

$$a_1 = 0.45$$

Se sustituyen los datos

$$SN_1^* = 0.45 * 4 = 1.8$$

- Cálculo de SN de base, conociendo SN requerido y SN₁

$$SN_2 = SN - SN_1^* \quad (\text{Ecuación 47})$$

Se sustituyen los datos

$$SN_2 = 2.41 - 1.8 = 0.61$$

Estimación de espesor de base y ajuste de número estructural bajo el criterio de la norma ASSHTO 93.

$$D_2 = \frac{SN_2}{(a_2 * m)} \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m$$

Se sustituyen los datos

$$D_2 = \frac{0.61}{(0.143 * 1)} = 4.26''$$

Tomando en cuenta los criterios de la norma AASHTO 93 en la **tabla 53** se identifica en dependencia del ESAL's el espesor mínimo recomendado para la base y se estima el número estructural con el espesor corregido.

$$SN_2^* = 0.143 * 6 * 1 = 0.858$$

- Comprobación manual de estructura de pavimento

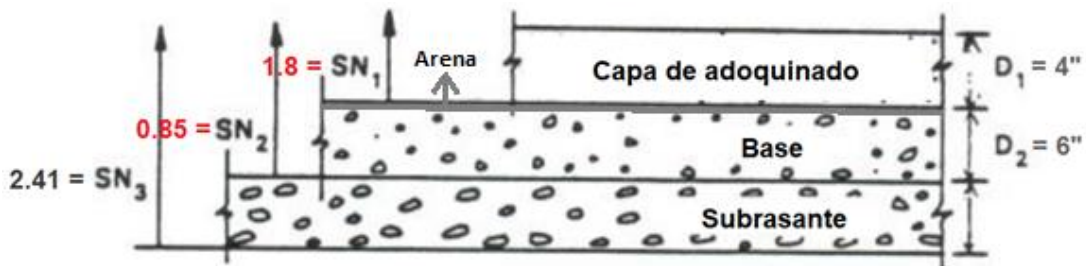
$$SN = (a_1 * D_1) + (a_2 + D_2 * m_2) \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$SN = (0.45 * 4) + (0.143 * 6 * 1) = 2.658$$

$$SN_{requerido} \leq SN_{calculado}$$

$$2.41 \leq 2.658$$

Figura 16. Espesores mínimos en función del SN



Fuente: Elaboración propia

Datos por utilizar en el diseño

Tabla 54: Resumen de los Factores Calculados.

Resumen de los Factores Calculados	
ESAL'S	1,107,005
Periodo de Diseño	20
Confiabilidad (R)	80
Valor Desviador (ZR)	-0.841
Desviación Estándar (S0)	0.45
Serviciabilidad (P0)	4.2
Serviciabilidad (Pt)	2
ΔPSI	2.2
Modulo resiliente de la sub Rasante sitio (MR)(Psi)	15,652.8
Coefficiente de Drenaje (m)	1
Coefficiente de capa Adoquín (a1)	0.45
Coefficiente de Capa Base (a2)	0.143

Fuente: Elaboración Propia

6.14.7. Uso de programa WinPas.

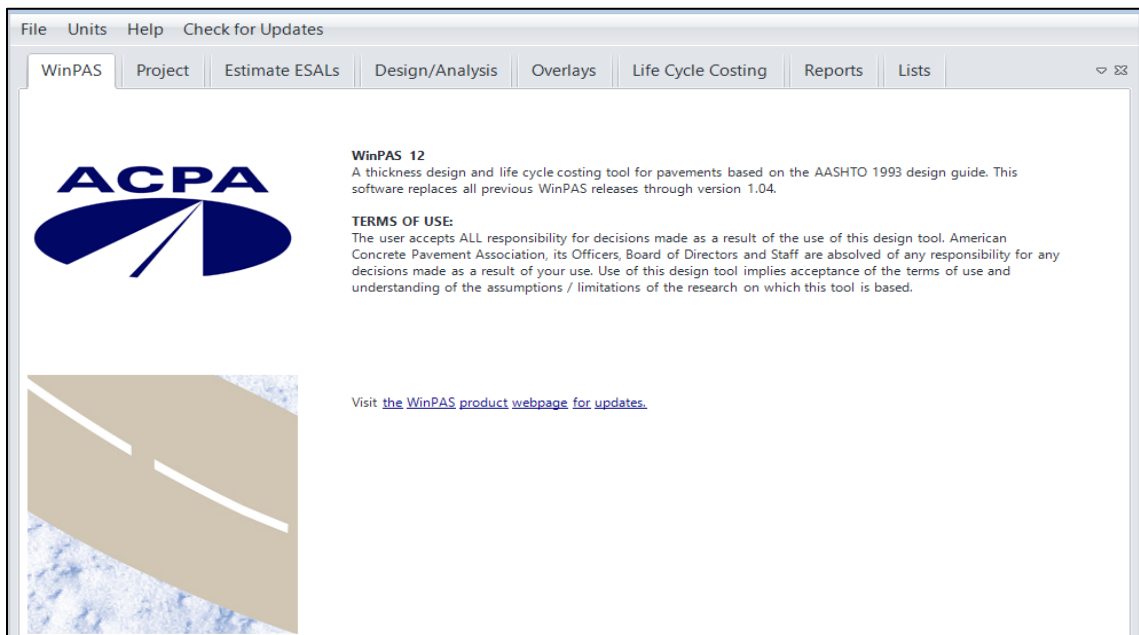
Para comparar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinan los espesores de las diferentes capas de pavimentos utilizando el software "WinPas (Pavement Analysis Software 12)", que está basado en la guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 93, debido a que resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño. A continuación, se muestran los parámetros de entrada para el programa WinPas.

- ESAL'S= 1,107,005
- Confiabilidad= 80%.
- Desviación Estándar (S_o)= 0.45.
- Módulo de Resiliencia Propuesta. Material sitio= 15,652.8
- Índice de serviciabilidad inicial (P_o)=4.20.
- Índice de serviciabilidad final (P_t)= 2.00.
- Coeficiente de Drenaje (m)= 1.00.
- Coeficiente de Capa a_1 = 0.45.

6.14.7.1. Pantalla de inicio.

En este apartado se presenta la pantalla de inicio del software, donde muestra el documento de diseño en el que se basa (guía de diseño de pavimento AASHTO 93), los derechos de autor del programa y una pequeña introducción.

Figura 17: Pantalla de inicio.

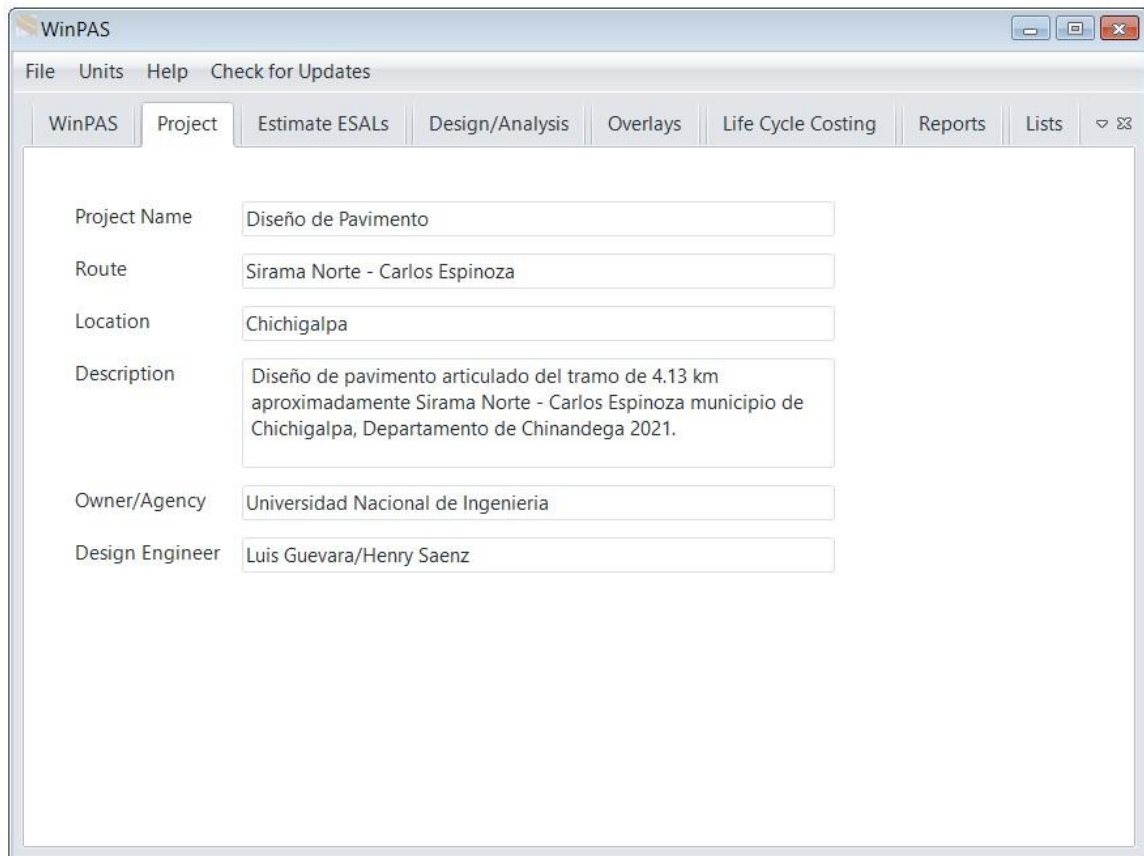


Fuente: WinPas V.12.

6.14.7.2 Registro del proyecto.

En esta ventana del interfaz permite introducir los datos generales del proyecto, al que se desea generar la estructura de pavimento, esta parte es opcional debido a que únicamente esta información le ayudará al programa a generar un reporte final con los datos que se le introduzcan a continuación.

Figura 18: Pantalla del proyecto.



The screenshot displays the WinPAS software interface. The window title is 'WinPAS'. The menu bar includes 'File', 'Units', 'Help', and 'Check for Updates'. The main menu contains 'WinPAS', 'Project', 'Estimate ESALS', 'Design/Analysis', 'Overlays', 'Life Cycle Costing', 'Reports', and 'Lists'. The 'Project' tab is active, showing the following fields:

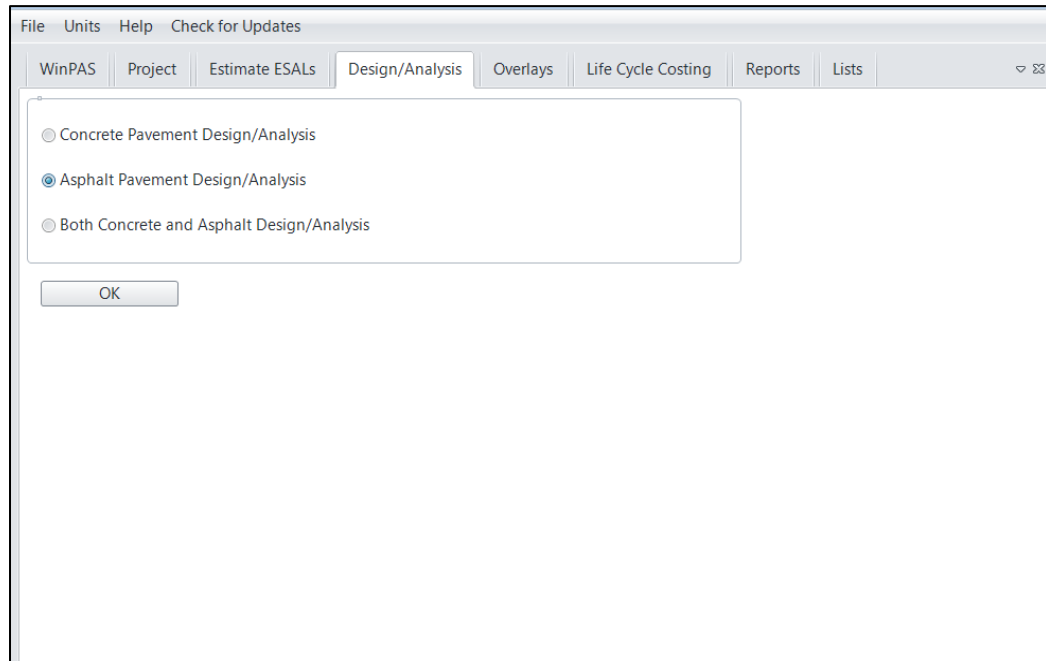
Project Name	Diseño de Pavimento
Route	Sirama Norte - Carlos Espinoza
Location	Chichigalpa
Description	Diseño de pavimento articulado del tramo de 4.13 km aproximadamente Sirama Norte - Carlos Espinoza municipio de Chichigalpa, Departamento de Chinandega 2021.
Owner/Agency	Universidad Nacional de Ingenieria
Design Engineer	Luis Guevara/Henry Saenz

Fuente: WinPas V.12.

6.14.7.3 Selección del tipo de estructura de pavimento.

En este segmento del programa se debe seleccionar el tipo de estructura de pavimento que se desea diseñar; en nuestro caso el tipo de estructura de pavimento es un pavimento articulado, no obstante, AASHTO 93 lo diseña de la misma forma que el pavimento flexible.

Figura 19: Selección del tipo de estructura de pavimento.



Fuente: WinPas V.12.

6.14.7.4. Introducción de factores para el diseño de estructura de pavimento

En esta pestaña se procede a realizar la introducción de los valores y factores necesarios para el diseño de la estructura de pavimento. Así como son desde los factores de tránsito hasta coeficientes del suelo (Modulo de resiliencia).

Alternativa. Cambio del material de subrasante con material de banco “Cosmapa”.

Figura 20: Alternativa.

The screenshot shows a software window titled "Asphalt Design Inputs". It contains two main sections. The top section, titled "Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs", includes several input fields with their respective values: "Asphalt Structural Number" (2.41), "Total Flexible ESALs" (1,107,005), "Reliability" (80.00 %), "Overall Standard Deviation" (0.45), "Subgrade Resilient Modulus" (15,652.8 psi), "Initial Serviceability" (4.20), and "Terminal Serviceability" (2.00). A "Calculate Asphalt Structural Number" button is positioned below these inputs. To the right of this section are "Save and Close" and "Help" buttons. The bottom section, titled "Asphalt Pavement Design/Analysis", displays a warning message: "Warning! Input Value Changed, Press Solve For to Recalculate", with a "Solve For" button next to it.

Fuente: WinPas V.12.

6.14.7.5. Espesores de estructura de pavimento.

Figura 21: Verificación de solución alternativa.

Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness	Layer Struct No, SNi	Additional Thickness
Asphalt Cement Concrete	0.45	1	4	1.8	1.36
Bitum. Treated Agg. Base	0.134	1	6	0.8	-1.42
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

Sum of SN 2.6 OK
 SN 2.41

Save and Close Help

Fuente: WinPas V.12

Como se puede apreciar en la figura 21, los espesores de la estructura de pavimento articulado coinciden y cumplen con los valores propuestos en la memoria de cálculo, por tanto, damos como satisfechos el espesor propuesto de 4 pulgadas para el espesor 1 (Adoquín) y 6 pulgadas para el espesor 2 (Base).

CONCLUSIÓN

Se realizó el diseño geométrico y estructural del pavimento articulado de 4.13 km aproximadamente del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza en el municipio de Chichigalpa, departamento de Chinandega, 2021. Al realizar dicho diseño se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

De los sondeos manuales realizados a lo largo del tramo, se logró determinar que los suelos más predominantes; A – 1 – b, A – 2 – 7 y A – 2 – 5.

En cuanto al banco de material de Cosmapa se ocupará para base y sub-base en el diseño estructural se conta con el suelo tipo A – 1 – a.

Se realizo levantamiento topográfico con una estación total en el tramo de estudio, obteniendo 1712 puntos (X, Y, Z).

El factor de ajuste utilizado fue el de la estación N°1802 (San Marcos – Masatepe), se obtuvo un TPDA de 1,542 vehículos por día a partir de conteos vehiculares realizados por siete días, 12 horas de 6:00 am a 6:00 pm en la estación 0+100 del tramo en estudio. En base al TPDA la composición vehicular es de 93.77% vehículos livianos y 6.23% vehículos pesados.

Para determinar la tasa anual de crecimiento empleada, se analizaron las estadísticas nacionales del crecimiento del tránsito en la estación de mayor cobertura N°1802, el consumo nacional real de hidrocarburos y el Producto Interno Bruto. A partir del análisis de estas variables se obtuvo una tasa de crecimiento del 4.17%, tomando en cuenta un periodo de diseño de 20 años (es un proyecto nuevo). Con los cálculos de los factores de cargas de ejes equivalentes de las tablas establecidas por la AASHTO, con el tránsito de diseño se obtiene el número estimado de eje equivalente de 8.2 toneladas para el periodo de diseño de la vía sientto de $W18 = 1,107,005$.

El diseño geométrico del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza se clasifica como colectora rural con un terreno tipo ondulado, el vehículo de diseño es WB-15, la velocidad de diseño es de 60 km/h, el ancho de rodamiento es de 7.2 m,

sobreancho máximo es de 1.5 m, el sobreancho mínimo es de 0.6 m y es de 2 carriles.

El diseño estructural del pavimento articulado se llevó a cabo mediante el método de la AASHTO – 93 cumplirá estructuralmente a los esfuerzos que será sometido; estará compuesta por una capa de rodadura de adoquín, con un espesor de 4.00 pulgadas, este mismo descansará sobre una cama de arena de 2.00 pulgadas, una base granular de 6.00 pulgada. La estructura de pavimento totaliza 10 pulgadas para la carpeta de rodamiento.

Los espesores de las capas que constituyen la estructura de pavimento del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza satisfacen las condiciones y demanda particular del proyecto para el periodo de diseño. La construcción del tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza es muy importante porque se estaría contemplando una colectora rural que impulsaría la actividad económica de la zona disminuyendo los costos de operación vehicular y mejorando la calidad de vida en la región.

RECOMENDACIONES

Recomendamos:

- Se recomienda material del banco estudiado y compactar al 100% como mínimo del proctor estándar.

- Durante la construcción de cada una de las capas de la estructura de pavimento diseñado para este proyecto, se deberán ejercer rigurosos controles como son la compactación y humedad con la que se realizaron en las pruebas de suelos.

- Para garantizar el buen funcionamiento y duración de la vida útil de la carpeta y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO-93, D. d. (s.f.).

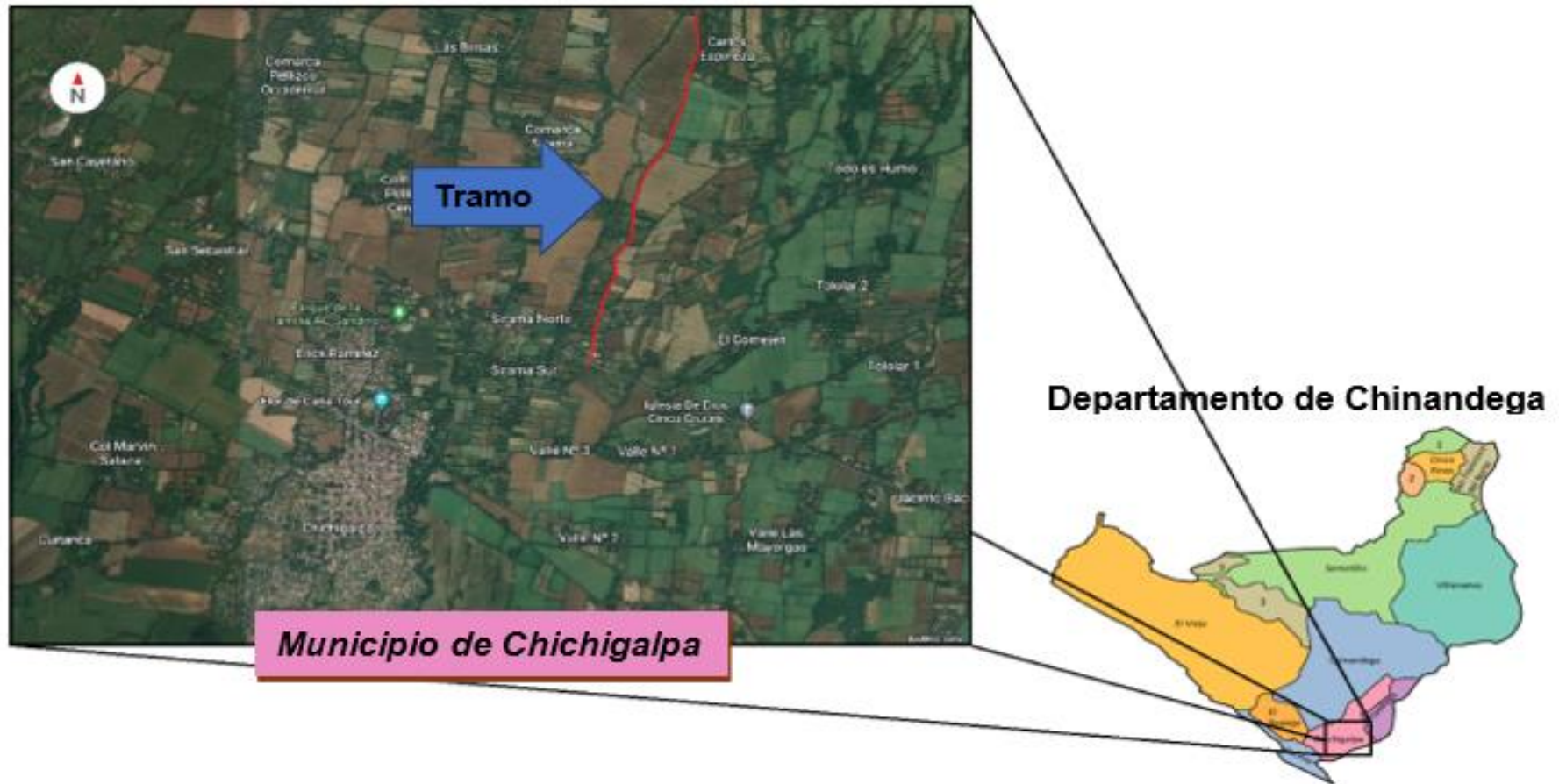
Iturbide, I. J. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala.

SIECA. (2011). *Normas para del diseño geometrico de carreteras regionales , 2 edision, pág. 13.*

- *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA Edición (2002).*
- *Manual de Carreteras: Suelo, Geotecnia y Pavimento, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, abril 2014.*
- *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC- 2000; Ministerio de Transporte e Infraestructura, Edición 2018.*
- *Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez. Mecánico de Suelo, Fundamentos de la Mecánica de Suelo, (Tomo I).*
- *Gonzalo Duque Escobar; y Carlos-Enrique Escobar Potes. Mecánica de los Suelos, Edición (2002).*
- *Guía de Laboratorio de Suelo de Mecánica de Suelo Recopilado por Ingeniero Iván Matus Lazo y Msc, Ingeniero Silvia Lindo O'Connor.*

ANEXO

Figura 22. Macro localización municipio de Chichigalpa.



Fuente: Elaboración propia con mapa de Google Earth.

Figura 23. Micro localización tramo Sirama Norte – Carlos Espinoza.



Fuente: Elaboración propia con mapa de Google Earth. Coordenadas UTM(inicio; 499125, 139118.7 y final; 500120.7, 13985052.1) 16N.

Figura 24. Carpeta asfáltica totalmente dañada 0+000 a 0+500.



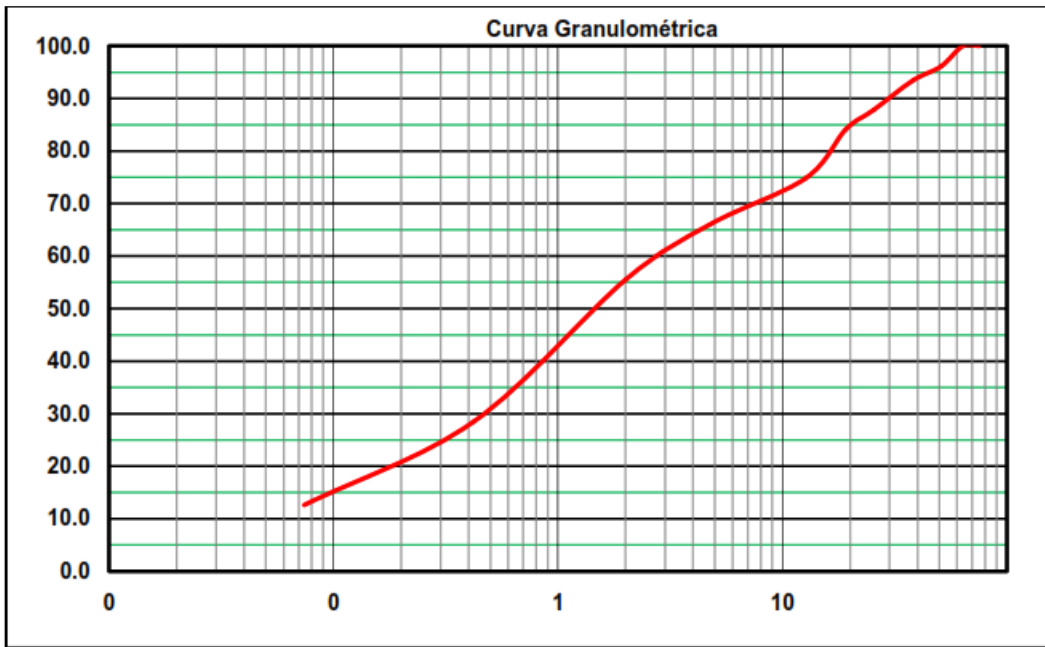
Fuente: Propia

Figura 25. Carpeta de rodamiento trocha desgastada 0+500 a 4+130



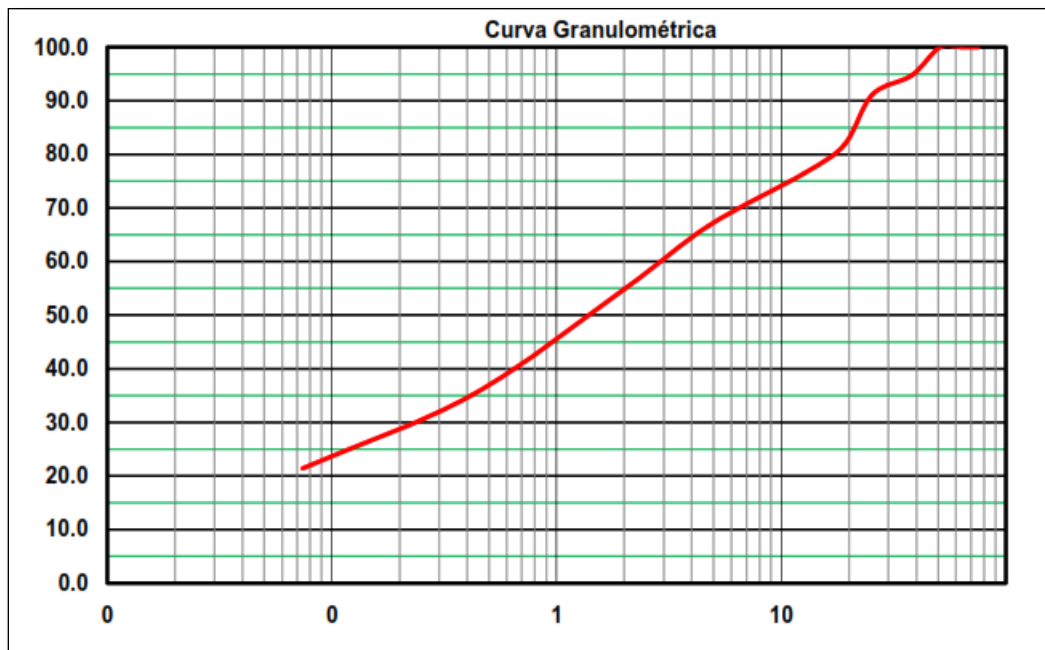
Fuente: Propia

Figura 26. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 0+010.



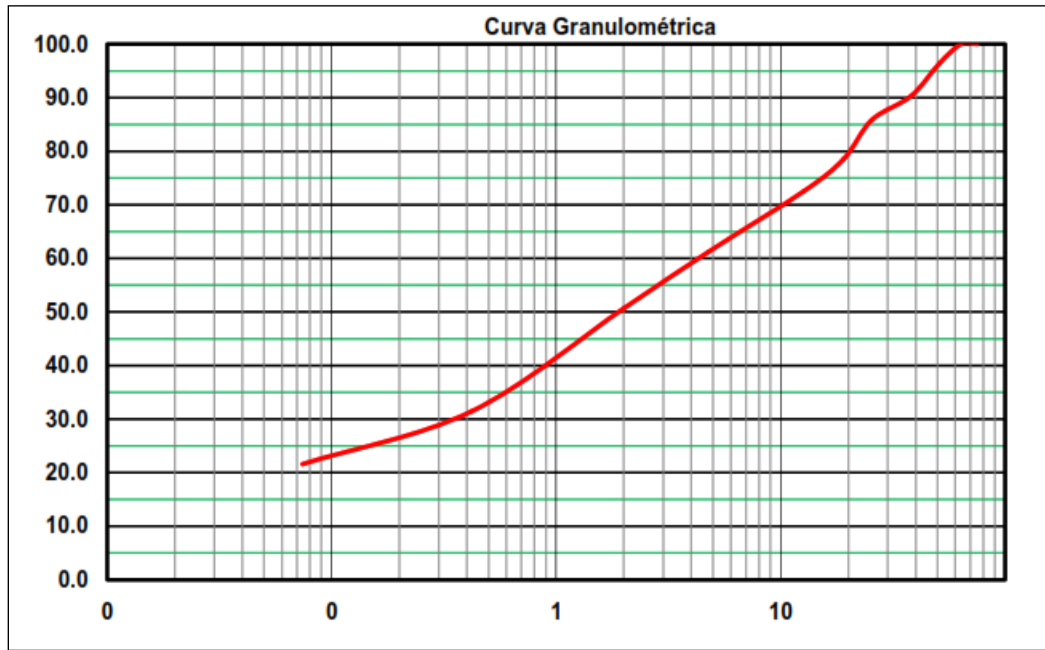
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 27. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 2+000



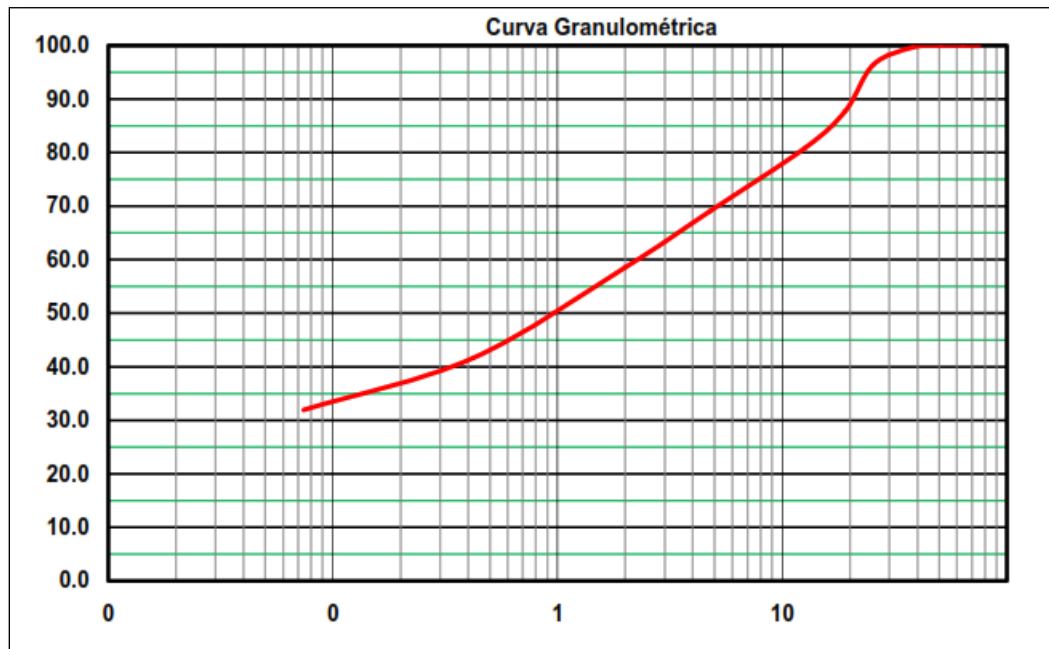
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 28. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 1 – b Est 3+000



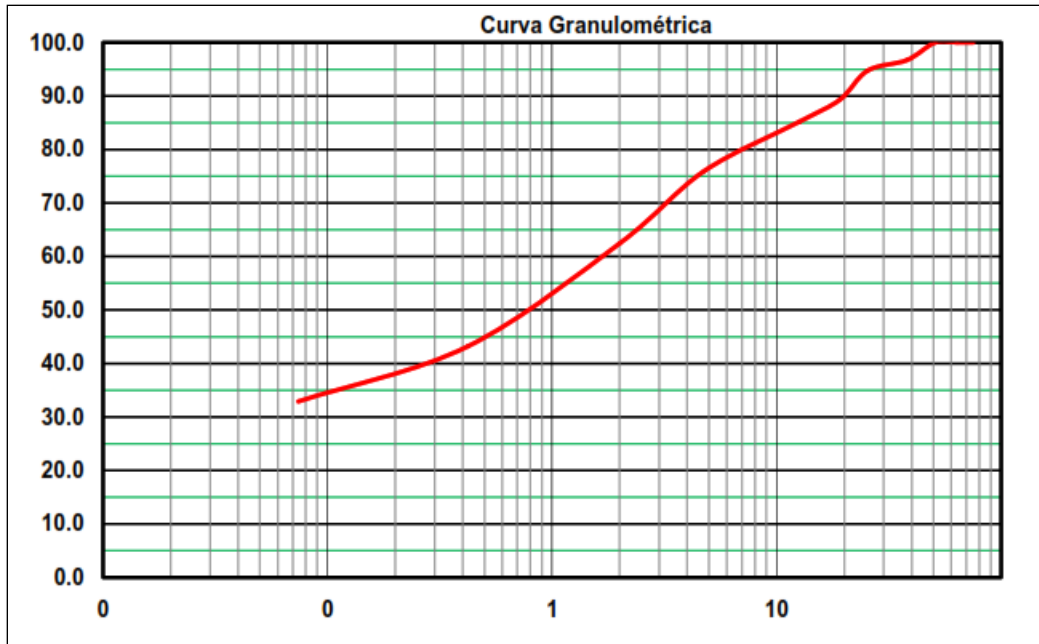
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 29. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 0+010



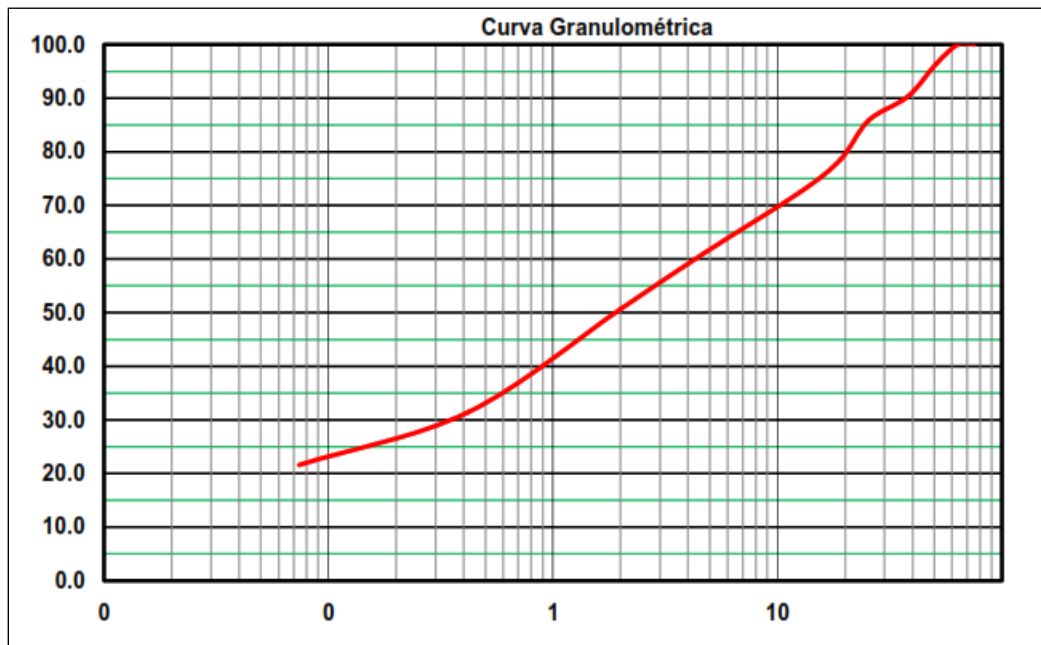
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 30. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 2+000



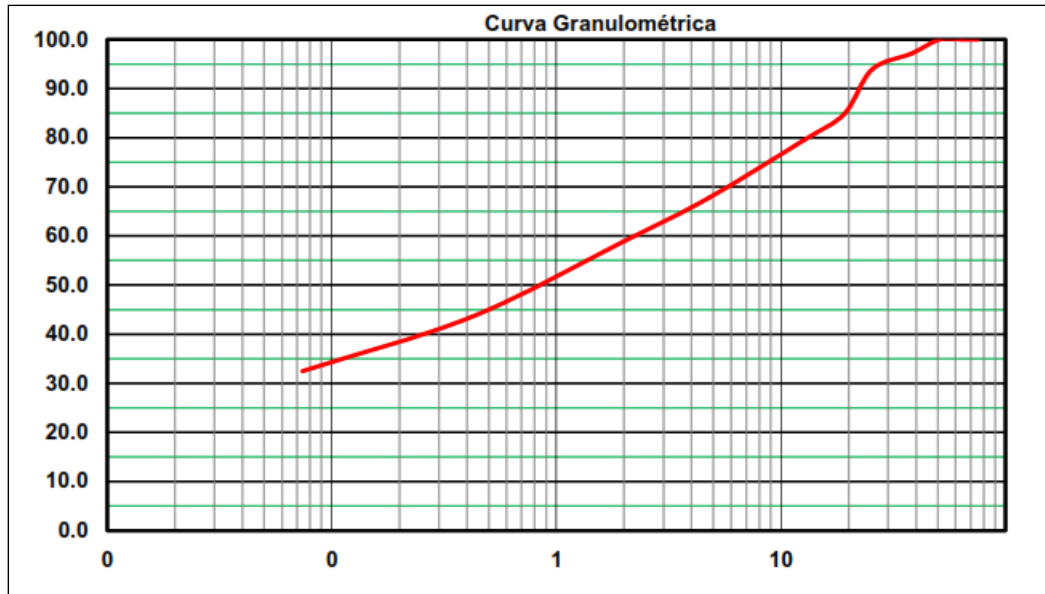
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 31. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 7 Est 3+000



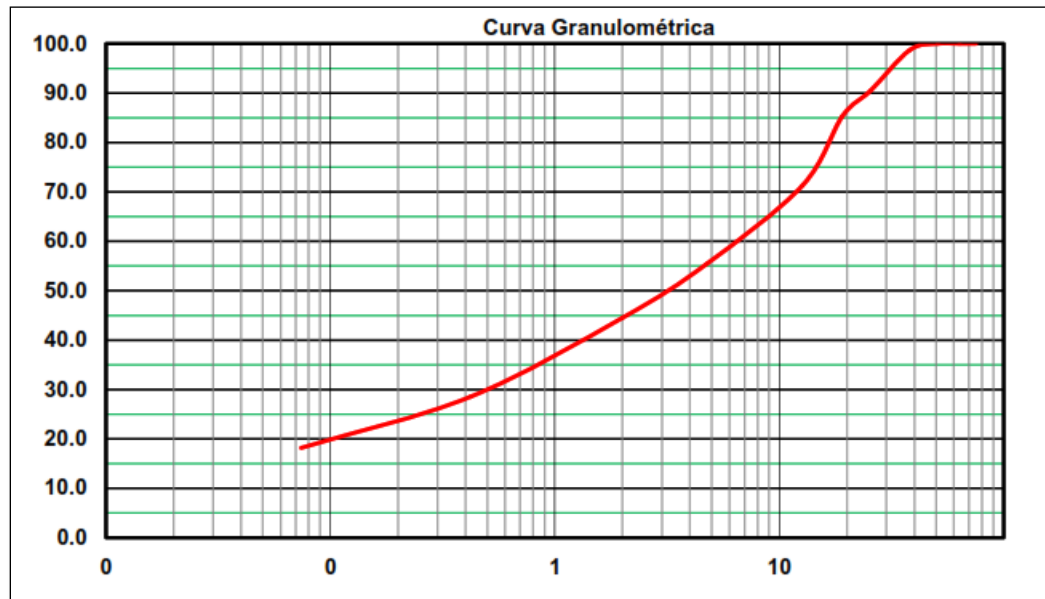
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 32. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 0+750



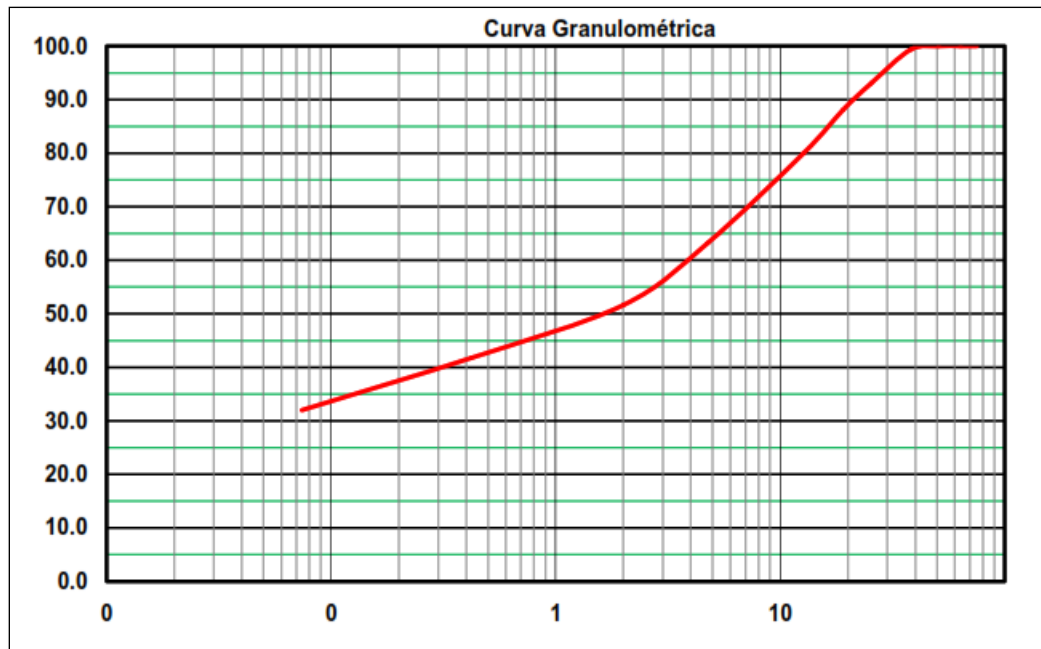
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 33. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 2+500



Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 34. Curvas granulométricas del tipo de suelo A – 2 – 5 Est 3+750



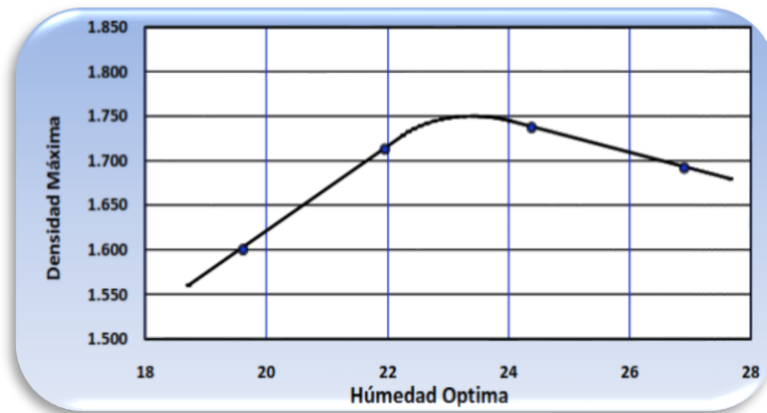
Fuente: Informe Geotécnico, Nicasolum.

Figura 35. Ensaye de CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Resultados de proctor modificado A – 2 – 7 (0)



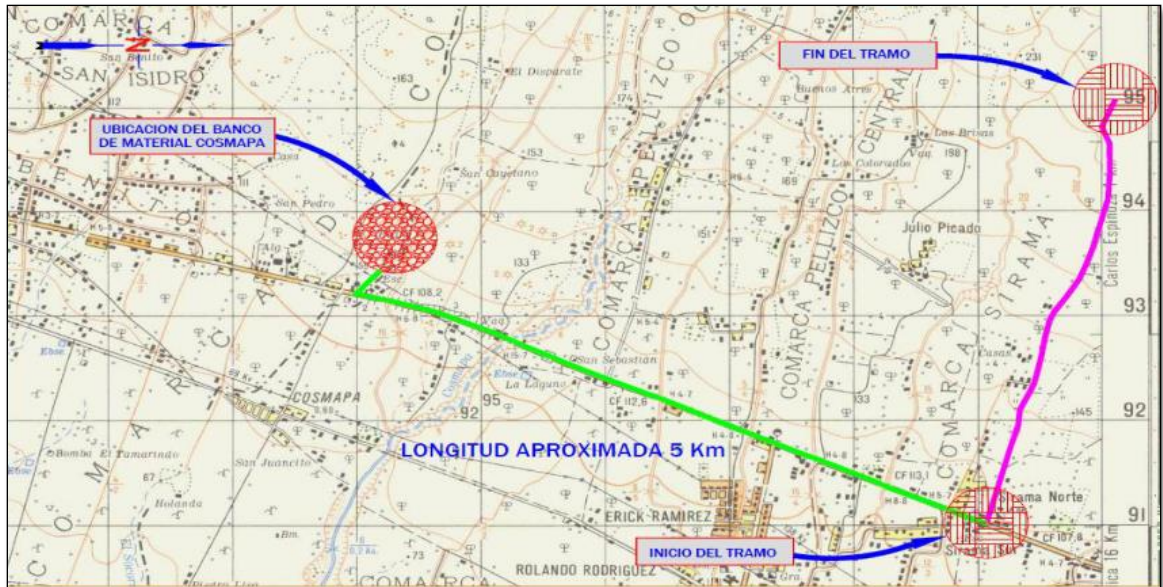
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 55. Esfuerzos unitarios patrón (piedra triturada).

Penetración			Esfuerzo Unitario Patrón		
Mm	Cm	Pulg	Kg/cm ³	MPa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	1.00	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

Fuente: Guía de laboratorio de suelo de mecánica de suelo recopilado por ingeniero Iván Matus Lazo y msc, ingeniero Silvia Lindo O'Connor, pág. 104.

Figura 37. Ubicación del banco de materiales Cosmapa.



Fuente: Ministerio de transporte e infraestructura (MTI).

Figura 38. Exploración manual y extracción de estratos.



Fuente: Elaborada propia.

Figura 39. Levantamiento topográfico.



Fuente: Elaborada propia.

Figura 40. Levantamiento topográfico.



Fuente: Elaborada propia.

Tabla 56. Puntos del terreno

Puntos de localización de terreno

N°	Northing	Easting	Pont elevation	Raw Description
1	1391206.835	499074.5578	118.8713	BM
2	1391230.803	499049.0292	118.5299	LP
3	1391226.044	499047.0668	118.2034	TN
4	1391222.959	499045.7751	118.622	TN
5	1391220.695	499044.3705	118.815	B
6	1391217.5	499042.8383	118.9394	LC
7	1391214.384	499041.1075	118.8318	B
8	1391211.553	499039.6109	118.4314	TN
9	1391208.645	499038.1008	117.8081	TN
10	1391205.498	499036.4656	118.0518	LP
11	1391161.07	499183.7576	118.8442	LP
12	1391156.356	499181.7955	118.4275	TN
13	1391153.284	499180.2069	118.8698	TN
14	1391150.746	499178.9982	119.2954	B
15	1391147.47	499177.5233	119.3931	LC
16	1391144.158	499176.1954	119.3069	B
17	1391141.43	499174.9353	118.9428	TN
18	1391138.265	499173.1506	118.1499	TN
19	1391133.903	499170.372	118.2259	LP
20	1391179.729	499084.7897	118.4003	LP
21	1391184.571	499086.859	118.4816	TN
22	1391187.687	499088.2983	118.8945	TN
23	1391189.303	499089.2075	119.0752	B
24	1391192.424	499090.948	119.1873	LC
25	1391195.585	499092.5952	119.0763	B
26	1391198.462	499094.1366	118.8386	TN
27	1391201.745	499095.4985	118.6204	TN
28	1391205.729	499097.636	118.9208	LP
29	1391166.136	499110.9348	118.6685	LP
30	1391170.304	499112.2246	118.7194	TN
31	1391174.111	499113.5358	118.9151	B
32	1391176.293	499114.4142	119.1207	B
33	1391179.467	499115.8252	119.2202	LC
34	1391182.691	499117.2912	119.1409	LC
35	1391184.645	499119.447	118.959	TN
36	1391188.859	499120.7447	118.9854	TN
37	1391193.422	499121.6249	119.2969	LP
38	1391171.956	499100.3752	118.6043	LP
39	1391175.923	499102.5594	118.6624	TN

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Puntos del terreno**Puntos de localización de terreno**

N°	Northing	Easting	Pont elevation	Raw Description
41	1391183.94	499107.455	119.1941	LC
42	1391187.08	499109.1587	119.1105	B
43	1391262.447	499138.5621	119.4059	PI
44	1391195.34	499118.9515	119.2394	TN
45	1391195.547	499117.0955	118.9207	TN
46	1391198.36	499110.2956	118.9696	LC
47	1391200.289	499105.7779	118.8869	TN
48	1391202.381	499102.4709	118.6789	TN
49	1391229.609	499106.6201	119.252	LP
50	1391227.57	499112.4101	119.4264	TN
51	1391225.476	499116.92	118.9164	B
52	1391223.659	499121.1135	119.0022	LC
53	1391221.407	499126.3103	118.7841	B
54	1391220.963	499127.1913	119.3744	TN
55	1391219.834	499130.0314	119.2376	LP
56	1391255.465	499114.5905	119.6107	LP
57	1391253.842	499119.7167	119.7888	TN
58	1391252.645	499123.8836	119.2266	TN
59	1391251.656	499126.9476	119.1762	B
60	1391250.468	499130.2958	119.3713	LC
61	1391249.367	499133.9366	119.2143	B
62	1391248.52	499136.8109	119.3562	TN
63	1391247.902	499138.9353	119.3603	LP
64	1391275.857	499147.1404	119.8644	LP
65	1391276.453	499143.7886	119.4751	TN
66	1391277.083	499141.819	119.6739	B
67	1391277.811	499138.8911	119.763	LC
68	1391279.221	499134.7012	119.4136	B
69	1391280.36	499131.2876	119.6598	TN
70	1391281.139	499128.2388	119.6668	LP
71	1391294.945	499151.6565	120.089	LP
72	1391295.582	499148.5839	119.7317	TN
73	1391295.882	499146.5763	119.8834	B
74	1391296.103	499143.3517	119.9688	LC
75	1391297.015	499139.736	119.751	B
76	1391298.096	499136.6264	119.7737	TN
77	1391298.855	499133.1753	119.809	LP
78	1391319.823	499139.8463	120.2644	LP
79	1391318.94	499142.4924	119.8285	TN

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Puntos del terreno

Puntos de localización de terreno

N°	Northing	Easting	Pont elevation	Raw Description
81	1391317.519	499148.2465	120.2918	LC
82	1391316.51	499151.6092	120.1453	B
83	1391315.941	499153.798	120.0151	TN
84	1391315.375	499156.829	120.3893	LP
85	1391338.161	499144.4219	120.4721	LP
86	1391337.679	499147.5964	120.2524	TN
87	1391337.411	499149.1949	120.4407	B
88	1391336.326	499152.6854	120.5522	LC
89	1391335.25	499156.2139	120.3925	B
90	1391334.857	499158.3203	120.2644	TN
91	1391334.152	499161.215	120.5759	LP
92	1391353.682	499166.1048	120.8833	LP
93	1391354.108	499162.7251	120.5193	TN
94	1391354.696	499160.6916	120.7131	B
95	1391355.371	499157.2352	120.8342	LC
96	1391356.306	499153.4018	120.6593	B
97	1391356.783	499152.4108	120.2442	TN
98	1391357.121	499151.3443	120.7701	TN
99	1391358.166	499148.0875	120.8581	LP
100	1391371.051	499170.3334	121.107	LP
101	1391371.727	499166.7132	120.7646	TN
102	1391372.129	499164.5365	120.9265	B
103	1391372.495	499161.4835	121.0378	LC
104	1391373.493	499157.6346	120.9319	B
105	1391374.113	499154.8777	121.2692	TN
106	1391374.97	499151.8633	121.1424	LP
107	1391437.345	499171.8724	121.7225	PI
108	1391385.044	499153.8939	121.2223	LP
109	1391384.107	499156.9346	121.4643	TN
110	1391383.429	499159.632	121.0001	B
111	1391382.564	499163.2937	121.1478	LC
112	1391381.477	499166.7127	121.0213	B
113	1391381.054	499168.7134	120.8892	TN
114	1391380.065	499172.5048	121.1644	LP
115	1391411.953	499159.4968	121.5519	LP
116	1391411.512	499163.19	121.7596	TN
117	1391411.057	499165.5732	121.3292	B
118	1391410.573	499169.2864	121.4877	LC
119	1391409.648	499172.6092	121.3754	B

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Conteo vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Resumen de aforo vehicular Sirama Norte – Carlos Espinoza (Sur a Norte).

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022											
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Sirama Norte - Carlos Espinoza (Sur a Norte)											
Días	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Camión Remolque		Trailer Articulado				Otros vehículos pesados		Total Veh/12hrs
	Motos	Autos	SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Grande	C. ligero	C2>4 ton	C3	<4 ejes	>5 ejes	T2-S1	T2-S2	T3-S2	T3-S3	Agrícolas	Contrucción	
Lunes 2	336	154	6	48	6	1	4	8	7	1	0	0	0	1	0	0	2	0	574
Martes 3	282	155	3	47	1	0	8	9	13	1	0	0	1	2	0	0	9	0	531
Miércoles 4	266	140	7	42	2	5	9	10	11	2	0	0	0	1	0	0	8	0	503
Jueves 5	309	156	4	47	0	4	4	9	18	2	0	0	0	0	1	1	8	0	563
Viernes 6	302	178	8	27	0	3	3	9	11	2	0	3	0	0	5	1	2	0	554
Sábado 7	354	175	3	35	0	4	1	10	9	0	3	0	0	0	0	1	5	0	600
Domingo 8	366	131	8	32	0	2	2	7	4	1	0	0	0	0	2	0	3	0	558
Σ	2,215	1,089	39	278	9	19	31	62	73	9	3	3	1	4	8	3	37	0	3,883

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Resumen de aforo vehicular Carlos Espinoza – Sirama Norte (Norte a Sur)

Ubicación: Departamento de Chinandega								Fecha: Lunes 2 de mayo del 2022 al Domingo 8 de mayo del 2022											
Tramo de estudio: Sirama Norte - Carlos Espinoza								Sentido: Carlos Espinoza - Sirama Norte (Norte a Sur)											
Días	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Camión Remolque		Trailer Articulado				Otros vehículos pesados		Total Veh/12hrs
	Motos	Autos	SUV	Pick-up	Microbus	Minibús	Grande	Camión lige	C2>4 ton	C3	<4 ejes	>5 ejes	T2-S1	T2-S2	T3-S2	T3-S3	Agrícolas	Construcción	
Lunes 2	343	169	10	53	5	3	4	10	14	0	0	0	0	1	0	0	3	0	615
Martes 3	275	172	6	48	2	1	8	7	12	2	0	0	0	4	1	0	9	0	547
Miércoles 4	251	186	8	48	6	3	9	12	19	3	0	0	0	1	0	0	8	0	554
Jueves 5	306	158	2	42	0	6	4	7	20	9	1	2	0	0	2	2	4	0	565
Viernes 6	319	173	8	23	0	4	3	10	10	3	5	1	0	0	4	1	3	0	567
Sábado 7	340	181	3	33	0	5	1	9	10	2	3	0	0	0	1	1	7	0	596
Domingo 8	373	179	12	28	0	2	2	6	3	1	0	0	0	0	1	1	1	0	609
Σ	2,207	1,218	49	275	13	24	31	61	88	20	9	3	0	6	9	5	35	0	4,053

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2.0

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO – 93, pág 22

Tabla 62. Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.

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, Cuadriciclos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).






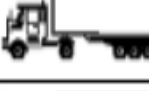






Fuente: Anuario de aforo de tránsito, MTI, 2020, pág. 36.

Tabla 63. Diagrama de cargas permisibles para vehículos liviano 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: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla 64. Diagrama de cargas permisibles para 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: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla 65. Factores equivalentes de carga para pavimento flexibles, ejes simples, Pt = 2.0.

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO – 93, pág 22.

Tabla 66. Factores de carga para pavimentos flexibles, eje tándem, Pt = 2.0

Carga por eje (kips)	(KN)	SN pulg (mm)					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: AASHTO – 93, pág 23.

Tabla 67. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes trídem, Pt = 2.0

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
6	26.7	.0004	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003
8	35.6	.0009	.0010	.0009	.0008	.0007	.0007
10	44.5	.002	.002	.002	.002	.002	.001
12	53.4	.004	.004	.004	.003	.003	.003
14	62.3	.006	.007	.007	.006	.006	.005
16	71.2	.010	.012	.012	.010	.009	.009
18	80.0	.016	.019	.019	.017	.015	.015
20	89.0	.024	.029	.029	.026	.024	.023
22	97.9	.034	.042	.042	.038	.035	.034
24	106.8	.049	.058	.060	.055	.051	.048
26	115.7	.068	.080	.083	.077	.071	.068
28	124.6	.093	.107	.113	.105	.098	.094
30	133.5	.125	.140	.149	.140	.131	.126
32	142.4	.164	.182	.194	.184	.173	.167
34	151.3	.213	.233	.248	.238	.225	.217
36	160.0	.273	.294	.313	.303	.288	.279
38	169.1	.346	.368	.390	.381	.364	.353
40	178.0	.434	.456	.481	.473	.454	.443
42	186.9	.538	.560	.587	.580	.561	.548
44	195.8	.662	.682	.710	.705	.686	.673
46	204.7	.807	.825	.852	.849	.831	.818
48	213.6	.976	.992	1.015	1.014	.999	.987
so	222.5	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	231.4	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	240.3	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	249.2	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	258.1	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	267.0	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	275.9	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	284.7	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	293.6	4.13	4.05	3.89	3.83	3.9	3.99
68	302.5	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	311.4	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	320.3	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	329.2	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	338.1	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	347.0	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	355.9	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	364.8	11.2	10.8	10.1	9.60	9.80	10.2
84	373.7	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	382.6	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	391.5	15.5	15.5	13.8	13.0	13.2	13.8
90	400.4	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: AASHTO – 93, pág 24.