Universidad Nacional de Ingeniería

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO DE 3 KM DESDE EL BARRIO PEDRO JOAQUÍN CHAMORRO HACIA LA COMUNIDAD EL ROSARIO MUNICIPIO DE LA TRINIDAD, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, POR EL MÉTODO AASHTO – 93.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Milena Regina Corea Molina Carnet:2017-0218N	Br. Dariana Belén Morales Gómez Carnet:2017-0271N	Br. Moissa Karina Palacios Molina Carnet:2017-0258N	

Tutor:

Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez

15 de mayo de 2024

Managua, Nicaragua

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción 1

1.1.1. Localización del tramo 2

1.2. Antecedentes 4

1.3. Justificación 5

1.4. Objetivos 6

1.4.1. Objetivo general 6

1.4.2. Objetivos específicos 6

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Generalidades 8

2.2. Metodología 8

2.3. Levantamientos topográficos 8

2.3.1. Planimetría 9

2.3.2. Altimetría 9

2.4. Establecimiento de BM 11

2.5. Perfil longitudinal 13

2.6. Pendiente 15

2.7. Características de la topografía 16

2.8. Evaluación del levantamiento topográfico 16

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1. Generalidades 20

3.2. Metodología 20

3.2.1. Tipos de vehículos 21
3.2.2. Clasificación vehicular por sus ejes 21
3.3. Estación de conteo vehicular 22
3.4. Aforo vehicular 23
3.5. Determinación del tráfico promedio diario semanal (TPDS) 26
3.5.1. Composición vehicular del TPDS 27
3.6. Cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA) 28
3.6.1. Composición vehicular del TPDA 31
3.7. Tasas de crecimiento 34
3.7.1. Determinación de la tasa de crecimiento 34
3.7.2. Tasa de crecimiento vehicular 37
3.8. Tránsito de diseño 38
3.8.1. Periodo de diseño 38
3.8.2. Factor de crecimiento 39
3.8.3. Factor distribución por dirección 40
3.8.4. Factor distribución por Carril 40
3.9. Ejes equivalentes (ESAL) 41
3.9.1. Número estructural asumible 42
3.9.2. Factor de equivalencia (F ESAL) 42
3.9.3. Ejes equivalentes (ESAL o W18) 43
CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELO
4.1. Generalidades 46
4.2. Metodología 46
4.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales 49

4.4. Estados de consistencia 53
4.5. Clasificación de suelos 55
4.6. Estratigrafía de los suelos 59
4.7. CBR 61
4.8. Resultados del estudio de suelos del banco de material 63
4.9. Análisis del banco de materiales 64
4.10. CBR de diseño 66
4.10.1. Identificación de la subrasante 66
CAPITULO V: DISEÑO GEOMETRICO
5.1. Generalidades 70
5.2. Metodología 70
5.3. Tipo de terreno 70
5.4. Clasificación de la carretera 71
5.5. Vehículo de diseño 71
5.6. Velocidad de diseño 73
5.7. Elementos de la sección transversal 75
5.7.1. Calzada 75
5.7.2. Ancho de Calzada 75
5.7.3. Carril 75
5.7.4. Hombros o espaldones 75
5.8. Alineamiento horizontal 76
5.8.1. Longitudes en rectas 76
5.8.2. Peralte 77
5.8.3. Radio mínimo 77

5.8.4. Grado de curvatura 78
5.8.5. Bombeo normal 79
5.8.6. Sobreancho en curvas 79
5.8.7. Curvas circulares simples 80
5.9. Alineamiento vertical 87
5.9.1. Pendientes de Control para el Diseño 87
5.9.2. Curvas verticales 88
5.9.3. Tasa de curvatura K 89
CAPITULO VI: DISEÑO DE ESPESORES
6.1. Introducción 96
6.2. Método AASHTO-93 96
6.3. Variables a considerar en el Método de diseño AASHTO 97
6.3.1. Periodo de diseño 97
6.3.2. ESAL (Ejes equivalentes) 97
6.3.3. Índice de confiabilidad (R): 97
6.3.4. Desviación estándar 98
6.3.5. Índice de serviciabilidad 99
6.3.6. Módulo de resiliencia de la subrasante 100
6.3.7. Coeficiente de drenaje 100
6.3.8. Coeficientes estructurales de capa 101
6.3.9. Módulo de resiliencia de la base y subbase 104
6.3.10. Número estructural 104
6.4. Cálculo de espesores 109
6.4.1. Espesor de la capa de rodamiento 109

6.4.2. Espesor de base 109

6.4.3. Espesor de subbase 110

CONCLUSIONES..... 112

RECOMENDACIONES 114

BIBLIOGRAFÍA..... 115

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas cartográficas del levantamiento..... 9

Tabla 2 Bancos de nivel 13

Tabla 3 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.... 16

Tabla 4 Primera evaluación del levantamiento topográfico 17

Tabla 5 Segunda evaluación del levantamiento topográfico 17

Tabla 6 Tercera evaluación del levantamiento topográfico 18

Tabla 7 Aforo vehicular tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario 25

Tabla 8 Tráfico promedio diario semanal 27

Tabla 9 Vector geográfico-R..... 28

Tabla 10 TPDA histórico por tipo de vehículo, ECS Sacaclí-San Gabriel 29

Tabla 11 Factores de expansión primer cuatrimestre (enero – abril) 30

Tabla 12 Tráfico promedio diario anual tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario. 31

Tabla 13 Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura 33

Tabla 14 Tasa de crecimiento TPDA histórico ECS 313 35

Tabla 15 Registro histórico del PIB y POB 37

Tabla 16 Periodo de diseño según el tipo de carretera (SIECA 2002) 39

Tabla 17 Factor de crecimiento 40

Tabla 18 Factor distribución por dirección..... 40

Tabla 19 Factor distribución por carril (AASHTO 93) 41

Tabla 20 Tránsito de diseño (Barrio Pedro Joaquín Chamorro - El Rosario) 41

Tabla 21 Factor ESAL por interpolación..... 43

Tabla 22 ESAL de diseño..... 44

Tabla 23 Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO 47
Tabla 24 Referencia de sondeos manuales 48
Tabla 25 Clasificación de partículas según tamaño de suelos 49
Tabla 26 Abertura de tamices..... 50
Tabla 27 Granulometría..... 51
Tabla 28 Estados de consistencia 54
Tabla 29 Clasificación de suelos 59
Tabla 30 CBR 62
Tabla 31 Resultado de pruebas de CBR del banco de materiales 64
Tabla 32 Evaluación de banco de materiales 64
Tabla 33 Estudios de suelos banco de materiales 65
Tabla 34 Especificaciones de terraplén y subrasante 66
Tabla 35 Percentil de diseño para subrasante 67
Tabla 36 Selección de CBR de diseño de la subrasante..... 68
Tabla 37 Clasificación de las carreteras 71
Tabla 38 Dimensiones de los vehículos de diseño..... 73
Tabla 39 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales 74
Tabla 40 Tasa de peralte (e) 77
Tabla 41 Valores de bombeo normal..... 79
Tabla 42 Elementos geométricos de las curvas horizontales del tramo 83
Tabla 43 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales..... 88
Tabla 44 Curvas verticales del tramo 91
Tabla 45 Resumen de criterios de diseño 94
Tabla 46 Índice de confiabilidad R..... 98

Tabla 47 Desviación estándar 99
Tabla 48 Índice de serviciabilidad..... 100
Tabla 49 Coeficiente de drenaje..... 101
Tabla 50 Datos para determinación de SN3..... 105
Tabla 51 Datos para determinación de SN2..... 107
Tabla 52 Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular..... 110
Tabla 53 Consolidado de espesores de pavimento..... 111
Tabla 54 Puntos camino P1 – P35 III
Tabla 55 Puntos camino P36 – P70 IV
Tabla 56 Puntos camino P71-P105 V
Tabla 57 Puntos camino P106 – P140 VI
Tabla 58 Puntos camino P141 – P175 VII
Tabla 59 Puntos camino P176 – P210 VIII
Tabla 60 Puntos camino P211 – P245 IX
Tabla 61 Puntos camino P246 – P280 X
Tabla 62 Puntos camino P281 – P315 XI
Tabla 63 Puntos camino P316 – P350 XII
Tabla 64 Puntos camino P351 – P385 XIII
Tabla 65 Puntos camino P386 – P420 XIV
Tabla 66 Puntos camino P421 – P455 XV
Tabla 67 Puntos camino P456 – P491 XVI
Tabla 68 Puntos camino P492 – P527 XVII
Tabla 69 Puntos camino P528 – P563 XVIII
Tabla 70 Puntos camino P564 – P599 XIX

Tabla 71 Puntos camino P600 – P635 XX
Tabla 72 Levantamiento de detalles XXI
Tabla 73 Pendientes del terreno N°1 – N°35 XXII
Tabla 74 Pendientes del terreno N°36 – N°70 XXIII
Tabla 75 Pendientes del terreno N°71 – N°105 XXIV
Tabla 76 Pendientes del terreno N°106 – N°140 XXV
Tabla 77 Pendientes del terreno N°141 – N°175 XXVI
Tabla 78 Pendientes del terreno N°176 – N°210 XXVII
Tabla 79 Pendientes del terreno N°211 – N°245 XXVIII
Tabla 80 Pendientes del terreno N°246 – N°280 XXIX
Tabla 81 Pendientes del terreno N°281 – N°315 XXX
Tabla 82 Pendientes del terreno N°316 – N°350 XXXI
Tabla 83 Pendientes del terreno N°351 – N°359 XXXII
Tabla 84 Formato de aforo vehicular XXXIII
Tabla 85 Aforo vehicular cada 15 min. Dia lunes XXXIV
Tabla 86 Aforo vehicular cada 15 min. Dia martes XXXV
Tabla 87 Aforo vehicular cada 15 min. Dia miércoles XXXVI
Tabla 88 Aforo vehicular cada 15 min. Dia jueves XXXVII
Tabla 89 Aforo vehicular cada 15 min. Dia viernes XXXVIII
Tabla 90 Aforo vehicular cada 15 min. Dia sábado XXXIX
Tabla 91 Aforo vehicular. Dia domingo XL
Tabla 92 Aforo vehicular del día lunes XLI
Tabla 93 Aforo vehicular del día martes XLI
Tabla 94 Aforo vehicular del día miércoles XLIII

Tabla 95 Aforo vehicular del día jueves XLIV

Tabla 96 Aforo vehicular del día viernes XLV

Tabla 97 Aforo vehicular del día sábado XLVI

Tabla 98 Aforo vehicular del día domingo XLVII

Tabla 99 Estación de mayor cobertura XLVIII

Tabla 100 Vector geográfico- R XLVIII

Tabla 101 Diafragma de cargas permisibles por tipo de vehículos XLIX

Tabla 102 Factores equivalentes de cargas, ejes simples L

Tabla 103 Pesos de ejes por tipo de vehículo LI

Tabla 104 Clasificación de los suelos LII

Tabla 105 Radio y grado de curvatura recomendados LXXIII

Tabla 106 Valores de sobreancho (400-3000) LXXIV

Tabla 107 Valores de sobreancho (70-300) LXXV

Tabla 108 Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada LXXVI

Tabla 109 Control de diseño para curva vertical cóncava para distancia de visibilidad de parada LXXVI

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Macro localización del tramo Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario . 2

Ilustración 2 Micro localización del tramo Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario .. 3

Ilustración 3 Curvas de Nivel (Tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario Abajo) 10

Ilustración 4 Instrumentos topográficos 12

Ilustración 5 Perfil natural del terreno Est.0+000 – 3+000 (Sin escala) 14

Ilustración 6 Pendientes del terreno del tramo Barrio pedro Joaquín chamorro-El Rosario 15

Ilustración 7 Vista Satelital del tramo Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario abajo 23

Ilustración 8 Punto de aforo vehicular 24

Ilustración 9 Estaciones de sondeos manuales 48

Ilustración 10 Espesores mínimos de la estructura de pavimento 60

Ilustración 11 Columnas estratigráficas del suelo 60

Ilustración 12 Ubicación del banco de materiales "El Guasimal" 63

Ilustración 13 Vehículo de diseño (SU) 72

Ilustración 14 Sección transversal del tramo 76

Ilustración 15 sobreancho en curvas 80

Ilustración 16 Elementos geométricos de la curva circular simple 81

Ilustración 18 Curva horizontal simple 82

Ilustración 17 Creación de curvas horizontales en civil 3D 82

Ilustración 19 Creación de curvas verticales 89

Ilustración 20 Proceso de creación de curvas verticales 90

Ilustración 21 Elementos de curvas verticales 90

Ilustración 22 Coeficiente de capa de la rasante (a1) 102
Ilustración 23 Coeficiente de capa de base granular (a2) 103
Ilustración 24 Coeficiente de capa de Sub-base granular (a3) 103
Ilustración 25 Determinación de SN3 (Subbase) 106
Ilustración 26 Determinación de SN2 (Base) 108
Ilustración 27 Espesores de la estructura de pavimento 111
Ilustración 28 Estado del tramo en temporada lluviosa Est.2+300 I
Ilustración 29 Estado del tramo en temporada lluviosa Est.1+000 I
Ilustración 31 Estado actual del tramo Est.1+457 II
Ilustración 30 Estado actual del tramo Est.0+500 II
Ilustración 32 Ejecución de sondeo manual LXVI
Ilustración 33 Recolección de muestras LXVII
Ilustración 34 Sondeo manual LXVII
Ilustración 35 Secado de muestras LXVIII
Ilustración 36 Retiro de muestras del horno LXVIII
Ilustración 37 Colocación de muestra en tamices LXIX
Ilustración 38 Análisis granulométrico de las muestras LXIX
Ilustración 39 Análisis de los límites de resistencia LXX
Ilustración 40 Realización de aforo vehicular LXX
Ilustración 41 Comprobación de SN3 con software LXXI
Ilustración 42 Vehículos que transitan por el tramo LXXI
Ilustración 43 Comprobación de SN2 con software LXXII

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Comportamiento de vehículos por día 26

Gráfico 2 Composición vehicular (%) TPDS 27

Gráfico 3 Composición vehicular (%) TPDA 32

Gráfico 4 Composición vehicular TPDA (Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario) 34

Gráfico 5 Curva granulométrica del sonde manual 1, primer estrato 52

Gráfico 6 Curva granulométrica del sondeo manual 1, segundo estrato 52

Gráfico 7 CBR de la subrasante 68

Gráfico 8 Curva granulométrica del sondeo manual 1, tercer estrato LIII

Gráfico 9 Curva granulométrica del sondeo manual 1, cuarto estrato LIII

Gráfico 10 Curva granulométrica del sondeo manual 2, primer estrato LIV

Gráfico 11 Curva granulométrica del sondeo manual 2, segundo estrato LIV

Gráfico 12 Curva granulométrica del sondeo manual 2, tercer estrato LV

Gráfico 13 Curva granulométrica del sondeo manual 2, cuarto estrato LV

Gráfico 14 Curva granulométrica del sondeo manual 2, quinto estrato LVI

Gráfico 15 Curva granulométrica del sondeo manual 2, sexto estrato LVI

Gráfico 16 Curva granulométrica del sondeo manual 3, primer estrato LVII

Gráfico 17 Curva granulométrica del sondeo manual 3, segundo estrato LVII

Gráfico 18 Curva granulométrica del sondeo manual 3, tercer estrato LVIII

Gráfico 19 Curva granulométrica del sondeo manual 3, cuarto estrato LVIII

Gráfico 20 Curva granulométrica del sondeo manual 3, quinto estrato LIX

Gráfico 21 Curva granulométrica del sondeo manual 4, primer estrato LIX

Gráfico 22 Curva granulométrica del sondeo manual 4, segundo estrato LX

Gráfico 23 Curva granulométrica del sondeo manual 4, tercer estrato.....LX
Gráfico 24 Curva granulométrica del sondeo manual 4, cuarto estrato.....LXI
Gráfico 25 Curva granulométrica del sondeo manual 4, quinto estrato LXI
Gráfico 26 Curva granulométrica del sondeo manual 5, segundo estrato LXII
Gráfico 27 Curva granulométrica del sondeo manual 5, primer estrato.....LXII
Gráfico 28 Curva granulométrica del sondeo manual 5, tercer estrato.....LXIII
Gráfico 29 Curva granulométrica del sondeo manual 5, cuarto estrato.....LXIII
Gráfico 30 Curva granulométrica del sondeo manual 6, primer estrato..... LXIV
Gráfico 31 Curva granulométrica del sondeo manual 6, segundo estrato LXIV
Gráfico 32 Curva granulométrica del sondeo manual 7, primer estrato..... LXV
Gráfico 33 Curva granulométrica del sondeo manual 7, segundo estrato LXV
Gráfico 34 Curva granulométrica del sondeo manual 7, tercer estrato..... LXVI

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar nuestra meta, es importante agradecer cordialmente a las personas que fueron fundamentales en la realización de nuestro trabajo.

En especial a Dios todo poderoso por otorgarnos las fuerzas para continuar por 5 años nuestra carrera y hacernos crecer en el ámbito profesional.

Al Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez por otorgarnos su tiempo en cada revisión, tutoría, consejos y sabiduría para poder realizar nuestra monografía.

Gracias a cada uno de los docentes en la UNI-RUACS del periodo 2017-2021 por cedernos su conocimiento en cada una de las materias impartidas, de igual forma a las personas externas que nos orientaron en la realización de este estudio.

A nuestros amigos, familiares que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hacemos extensivo nuestro más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Llena de muchísima satisfacción por este gran logro alcanzado, dedico este trabajo monográfico primeramente a Dios por estar a mi lado día con día, por ser quien me dio la oportunidad de poder cumplir esta meta, ser quien me lleno de sabiduría, inteligencia y fortaleza para poder concluir mi carrera con éxito a pesar de las dificultades y obstáculos presentados en el camino.

A mis padres, que con cariño y esfuerzo contribuyeron para que pudiera cumplir este sueño. En especial a mi mama quien hizo muchos sacrificios para darme un mejor futuro y la oportunidad de contar con una profesión para poder salir adelante.

A mi familia, por siempre estar presentes, por confiar en mi en todo momento y por ser un pilar esencial en mi desarrollo moral.

A mis compañeras de monografía por su cariño, por todo el esfuerzo y dedicación durante todo este proceso que pasamos juntas.

A todos mis amigos que de alguna u otra manera estuvieron presentes en esta etapa y que me poyaron emocionalmente para no rendirme en el camino.

A mi tutor, el Ing. Oliver Rivera quien siempre estuvo presente en todo momento, apoyándonos incondicionalmente en todo lo que necesitábamos, dándonos consejos, motivándonos a ser mejores y transmitiéndonos todos sus conocimientos para nuestro desarrollo profesional.

Br. Milena Regina Corea Molina

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo a:

Primordialmente a Dios y Nuestra Inmaculada Concepción de María por otorgarme la vida, la paz, la inteligencia, y las fuerzas físicas y espirituales para poder llegar a lograr mi título universitario.

A mi madre Karina Molina y mi abuela Rosibel por ser mis mayores mentores en la vida, a mis dos hermanos, tíos, primos, demás familia materna y mi padrino por su apoyo en todo momento con sus consejos, sus valores y la motivación constante que me ha llevado a ser una persona de bien, pero más que nada les agradezco por su amor.

Gracias a mis compañeras Milena y Dariana por ser una pieza importante en la realización de la monografía, por tantos años de amistad, y sobre todo entendernos en todo momento.

A mis amistades cercanas por su amor.

Al Ing. Oliver Gutiérrez nuestro tutor, por su cariño genuino hacia mi persona, por su apoyo siendo docente, sus consejos, correcciones y a todos los docentes que conocí durante mi estancia en la universidad.

A los ingenieros que me brindaron su ayuda incondicionalmente y a cada una de las personas externas por trasmitirme su valioso conocimiento.

Gracias a mi mami Mati hasta el cielo por cuidarme en todo momento.

"Todo lo que seas capaz de creer, eres capaz de conseguir"

Br. Moissa Karina Palacios Molina

DEDICATORIA

Mi monografía la dedico especialmente a Dios que me ha dado la vida, sabiduría, fortaleza e inteligencia, para alcanzar esta meta, por acompañarme en cada paso.

La dedico también a mis padres, por siempre apoyarme y guiarme, por su sacrificio y esfuerzo, educación y consejos, por creer en mi capacidad, por ser mi fuente de motivación e inspiración, a ellos por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mis las bases de responsabilidad y deseos de superación, por enseñarme la humildad y a valorar todo lo que tengo. A mi mami Francis en especial, por los sacrificios realizados, para poder culminar mis estudios y verme como una profesional, por sus largas y agotadoras noches de desvelo.

A mi hermana Kiara, por ser un pilar importante en mi vida, por querer ser motivo de inspiración para su futuro, que aprenda que todo lo que uno desea en la vida se puede lograr, que siempre existe un propósito y que Dios la acompañará en cada paso que dé, en cada sueño que haga realidad.

A mi tía Auxiliadora porque ha sido un gran apoyo para nuestra familia, para mi formación, por su amor incondicional.

A mis compañeras Moissa y Milena, por el apoyo, el esfuerzo y la dedicación, para poder concluir esta monografía, por su amistad y cariño.

A mi tutor de monografía Ing. Oliver Rivera, por su apoyo, por el tiempo dedicado para explicarnos cada pequeño detalle, a mis maestros de la UNI RUACS, a ellos por ser agentes importantes en mi formación como profesional.

A todos los que me apoyaron, pues es a ellos que se las debo ser un apoyo incondicional.

Br. Dariana Belén Morales Gómez

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación comprende los criterios y estudios necesarios para la elaboración del proyecto que lleva por nombre “DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO DE 3 KM DESDE EL BARRIO PEDRO JOAQUÍN CHAMORRO HACIA LA COMUNIDAD EL ROSARIO, MUNICIPIO DE LA TRINIDAD, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, POR EL MÉTODO AASHTO – 93” consta de 6 capítulos, donde se plantearán sus normas específicas.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

En este capítulo se plantean las principales características del proyecto como su ubicación, la introducción, sus antecedentes, la justificación que consta de la importancia y los beneficios para la comunidad del Rosario, los 3km de pavimento articulado y los objetivos previamente planteados para que el diseño cumpla con su objetivo final.

CAPÍTULO II. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Este apartado consta en revisar el estudio topográfico, ya que esto fue facilitado por la Alcaldía Municipal de La Trinidad, cumpliendo con las normativas preinscritas en el Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos del MTI y sus parámetros establecidos, poniendo en práctica la planimetría y altimétrica.

CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Este estudio contempla un aforo manual en el tramo de la carretera en estudio, con el objetivo de conocer el volumen y constitución vehicular en la zona, dicho aforo tuvo una duración de 7 días, con una duración de 12 horas en estos días (6am-6pm). Con estos datos se pudo conocer el TPDA (tránsito promedio diario anual) de 371 vehículos, posteriormente analizando las estadísticas del país sobre el producto interno bruto (PIB), el TPDA (tránsito promedio diario anual) y crecimiento poblacional para obtener el valor de la tasa de crecimiento que se utilizara en el estudio, y por la cual fue el valor de 3.97%. Con todo lo anterior ya

establecido se proyectó el tráfico actual con un periodo de diseño propuesto para 15 años. Y así adquirir el número de repeticiones por ESAL (eje equivalente)

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE SUELO

Contempla las características físicas y mecánicas a lo largo del tramo en estudio, por medio de las pruebas que se realizaron en el laboratorio aplicado en cada una de las pruebas que se extrajeron de la zona, el tipo de suelo que predomina es arena arcillosa con grava de tipo A-6 y en el método SUCS (SC) con un CBR del 7%. Una vez con los datos necesarios se elabora el gráfico donde se determina el CBR de diseño para la subrasante dando como resultado 17%

CAPÍTULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO

Para este capítulo fue fundamental el método que se proyecta en el documento AASHTO-93, NIC-2000 y así aplicar las normas específicas para determinar los distintos espesores que se encuentran en el pavimento. Obteniendo como resultados de esta, la capa de rodamiento de 4.00 pulgadas, este terreno no necesita de subbase, pero si cumple con los requisitos de las normas previamente mencionadas.

CAPÍTULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO

Este diseño se elaboró mediamente el software Civil 3D, para los criterios necesarios se dispone del Manual de Diseño Geométrico para la Región Centroamericana SIECA 2011, se ejecutó las curvas horizontales, verticales, peralte y sobre ancho a partir de los datos topográficos brindados por la Alcaldía Municipal de La Trinidad. La velocidad de diseño se propone mediante el volumen de tránsito de la zona siendo de 40km/h con esto se determina el Radio mínimo, distancia entre ejes, coeficiente de fricción longitudinal, Grado de curvatura máximo, pendiente trasversal, y distancia de visibilidad. Una vez completado se anexan los planos elaborados de dicha carretera.

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La infraestructura de transporte y carreteras representan un papel clave en el desarrollo y crecimiento de una nación. Las vías permiten que el transito se desenvuelva de forma regular y sin complicaciones para que las personas, sus mercancías y productos lleguen en perfectas condiciones y en el tiempo acordado a su destino.

En el tramo del barrio Pedro Joaquín Chamorro - El Rosario, del municipio de la Trinidad, departamento de Estelí, con coordenadas geográficas 12°57´53" N, 86°14´53" W, el problema con las vías de comunicación es muy constante, ya que se han deteriorado con los años, y no reciben el mantenimiento adecuado, generando estancamiento en la economía de la población, debido a que su principal sustento es la actividad agrícola y ganadera. Por esta razón se realizó el diseño geométrico y estructura de pavimento de la carretera tomando en cuenta las normas del manual centroamericano (SIECA), y también siguiendo la metodología del AASHTO 93.

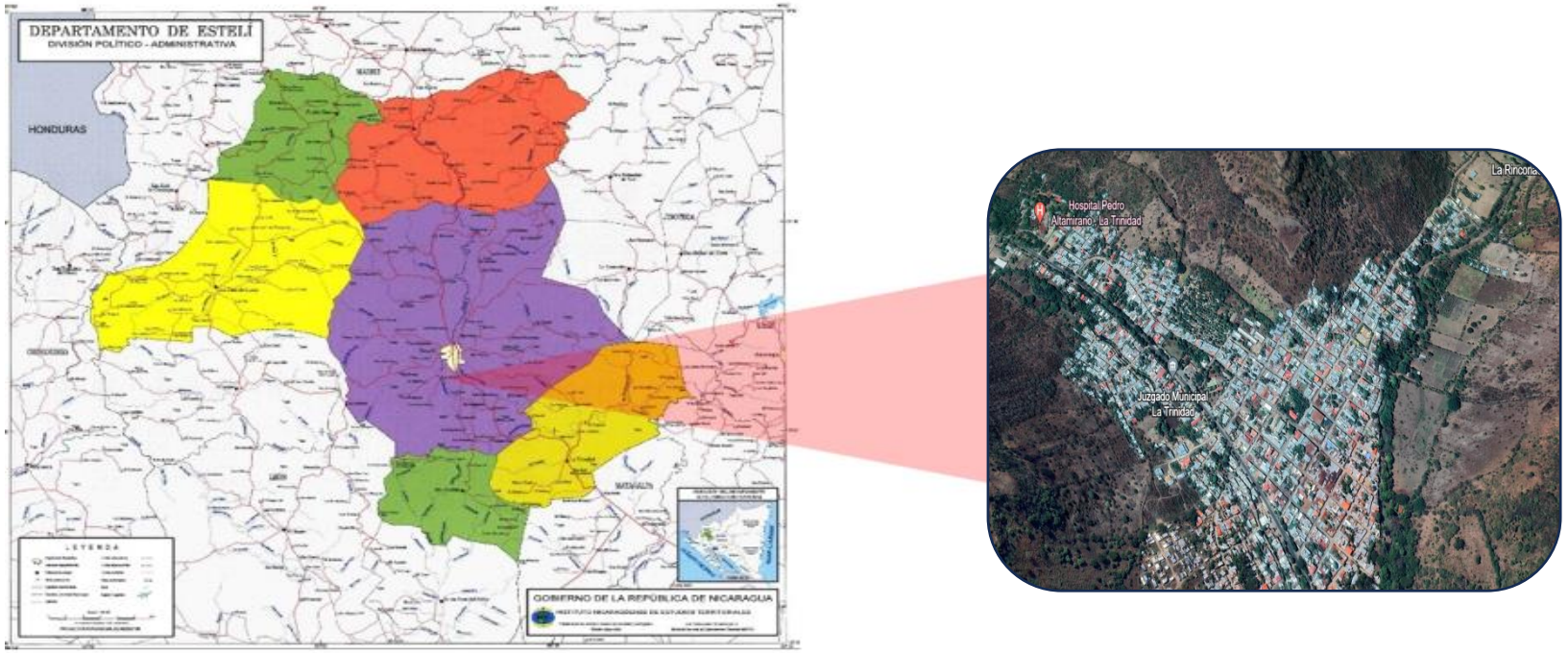
Se analizó el levantamiento topográfico brindado por la alcaldía municipal de la Trinidad-Estelí. Luego se elaboró el aforo vehicular para el conocimiento y análisis del comportamiento del tráfico y la determinación de los ejes equivalentes. El análisis de suelo se hizo a través de las muestras recolectadas tanto del tramo como del banco, que fueron sometidas a cada una de las pruebas para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. Así mismo se efectuó el diseño geométrico de la carretera en base a las normas estipuladas en el manual centroamericano SIECA (2011), haciendo uso del programa civil 3D y por último se realizó el diseño de estructura de pavimento haciendo uso del método AASHTO 93 y el manual de diseño de pavimentos SIECA (2002).

1.1.1. Localización del tramo

- **Macro localización**

El tramo se encuentra ubicado en las coordenadas 12°57´53” N, 86°14´53” W, municipio de la Trinidad, departamento de Estelí.

Ilustración 1 Macro localización del tramo Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario

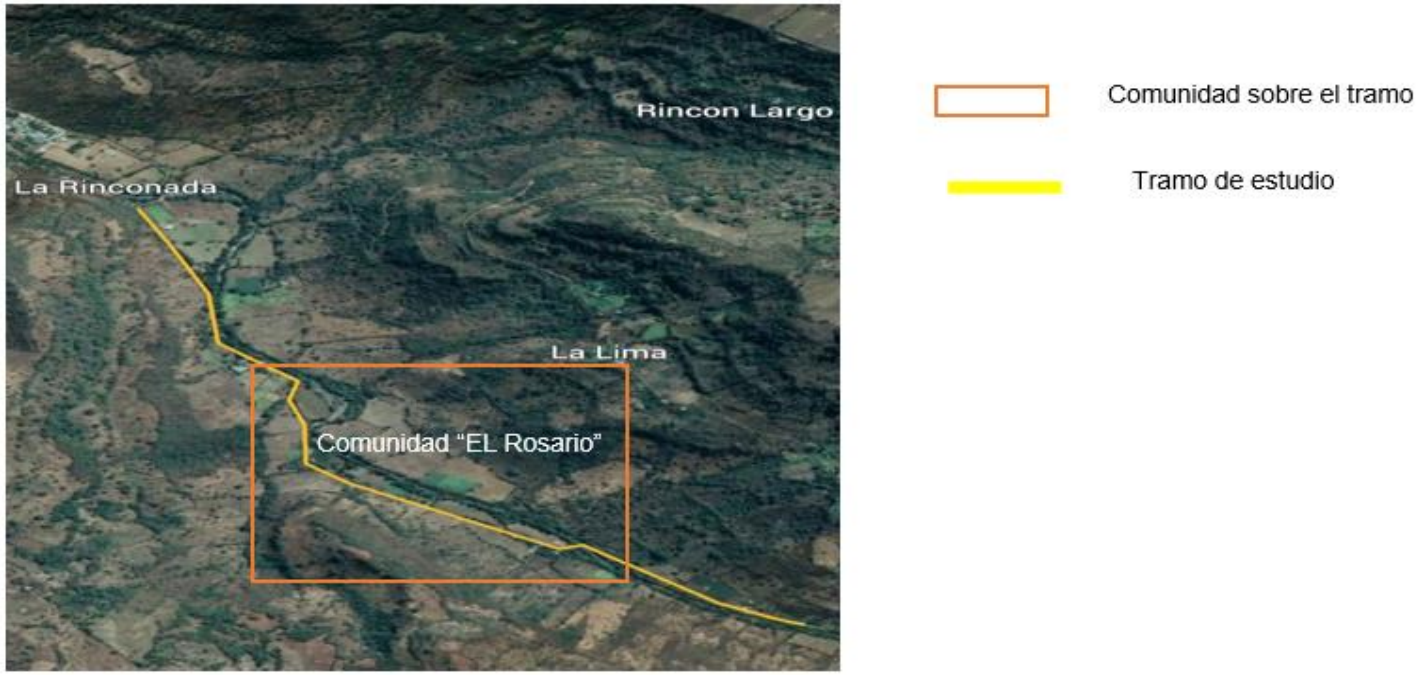


Fuente:https://earth.google.com/web/search/La+trinidad+esteli/@12.96569704,-86.2339678,610.8863276a,2143.60067308d,35y,-156.4901227h,44.97835853t,0r/data=CigiJgokCeuib1O56ylAEQbyClzi5ylAGXsPShO7jVXAIV9b1pO-jlXAOgMKATA

- **Micro localización**

El tramo se encuentra ubicado a 1km aproximadamente del municipio de La Trinidad-Estelí. Iniciando desde la estación 0+000 y culminando en la estación 3+000

Ilustración 2 Micro localización del tramo Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario



Fuente:https://earth.google.com/web/@12.96155888,86.2605033,740.13219572a,3054.85172577d,35y,136.67590641h,59.99774785t,0r/data=OgMKATA

1.2. Antecedentes

La comunidad El Rosario de la ciudad de la Trinidad fue asentada hace más de 50 años aproximadamente, a medida que se ha desarrollado la comunidad, se han construido lugares de importancia social tales como una escuela primaria, iglesias y un sin número de pequeños negocios que demandan cada vez el mejoramiento de las vías de acceso.

Se han realizado intervenciones pasadas para mejorar las condiciones de la vía, pero con el paso del tiempo el suelo se va deteriorando. En el invierno hay muchas afectaciones que percuten en la población, como es el difícil acceso ya que el terreno se torna muy plástico, provocando criaderos de zancudos y enfermedades entre los pobladores aledaños a la zona.

El paso de huracán IOTA y ETA en el año 2020 generó daños en el tramo de la comunidad El Rosario provocando que se detuviera el traslado de las cosechas de granos básicos y ganado, afectando económicamente a gran parte de las familias. Ver anexos, pág. I, ilustración 28 y 29.

1.3. Justificación

Debido a la producción agrícola y ganadera de los pobladores del lugar y de las comunidades aledañas, frecuentemente realizan viajes a la cabecera municipal, para ofrecer sus productos y realizar compras. Por tanto, se necesita una vía en buen estado, que facilite la movilización de los habitantes.

Los pobladores de las comunidades se ven afectados sobre todo en la época de invierno, debido a las inundaciones, lodo y acumulación de charcos por las fuertes tormentas, presentan problemas de salud como dengue, diarrea, entre otros. A su vez en la época seca a consecuencia de la acción del viento y el tráfico vehicular produce una cantidad considerable de polvo lo que genera problemas respiratorios, enfermedades dérmicas y oculares. Por ello surge la necesidad de los tres kilómetros de adoquinado en el tramo propuesto.

Los beneficios directos e indirectos que alcanzará el proyecto será lo siguiente: eliminación de estancamiento de agua de lluvia debido al mal estado de la carretera, reducción del riesgo a inundaciones, fácil acceso al sector salud y comercial, mejoramiento infraestructural vial para el transporte colectivo y selectivo, ahorro de tiempo y comodidad de los pobladores.

Una vez ejecutada la obra de adoquinado de 3km de camino ayudará al crecimiento y economía del municipio de La Trinidad y por consiguiente la de país.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo de 3km del Barrio Pedro Joaquín Chamorro hacia la comunidad el Rosario La Trinidad-Estelí, por el método AASHTO – 93.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar el estudio topográfico del tramo en estudio, proporcionado por la alcaldía municipal de la Trinidad-Estelí, tomando en consideración el manual de revisión de levantamiento topográfico del MTI.
- Efectuar un aforo vehicular para la determinación del TPDA aplicando vectores de correspondencias establecidos en Anuarios estadístico de aforos realizados del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y el cálculo de la cantidad de ejes equivalentes.
- Ejecutar estudio de suelo del tramo y de los bancos de materiales para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, mediante la aplicación de las normas AASHTO.
- Diseñar geométricamente el tramo, garantizando seguridad vial y confort, mediante la aplicación del Manual Centroamericano de Diseño Geométrico SIECA 2011 y del software Civil 3D 2021.
- Calcular los espesores estructurales de pavimento articulado utilizando la metodología AASTHO 93.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Generalidades

Según Alcántara García, (2014) la topografía se define como:

“La ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre”. (Pág.5)

En este capítulo se muestra el resultado del levantamiento topográfico del tramo de 3 kilómetros de pavimento articulado ubicado en la comunidad El Rosario, el cual fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de La Trinidad, departamento de Estelí. La topografía es de mucha importancia porque permite conocer las generalidades del lugar y de esta manera poder realizar el diseño geométrico del tramo.

2.2. Metodología

Revisar los resultados del levantamiento topográfico proporcionado por la Alcaldía Municipal de La Trinidad, a través del Manual de Revisión de Levantamiento Topográfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). En base a los resultados analizados permitió conocer y obtener una mayor visión de la geometría vial existente, como son los aspectos Altimétricos y Planimétricos.

2.3. Levantamientos topográficos

Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica. (SIECA, 2011, pág. 370)

El levantamiento topográfico del tramo se realizó con una estación total modelo Sokkia CX105, el cual inicia en la estación 0+000 (barrio Pedro Joaquín Chamorro) y finalizo en la estación 3+000 (El Rosario abajo), con coordenadas UTM WGS84 las cuales se detallan en la tabla 1, pág. 9.

Tabla 1 Coordenadas cartográficas del levantamiento

Comunidad	Est.	Coordenadas Cartográficas (UTM84-Zona 16N)		
		Este (X) (m)	Norte (Y) (m)	Elev. (Z) (m)
Bo Pedro Joaquín Chamorro	0+000	578824.885	1432861.762	651.776
Comunidad El Rosario Abajo	3+002.40	578868.774	1432895.626	648.267

Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Planimetría

Se llama planimetría al conjunto de los trabajos efectuados para tomar en el campo los datos geométricos necesarios que permitan construir una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal. (Garcia Marquez , 2003, p. 9)

- **Alineamiento horizontal**

Los datos proporcionados del levantamiento topográfico, se logró evidenciar que se realizó seccionamiento del camino a cada 20 m en tramos rectos y a cada 10m en tramos con la presencia de curvas, creando puntos a lo largo del tramo, constituidos por lecturas en banda derecha, banda izquierda y centro.

Además, el informe topográfico proporciona datos de terreno natural, considerando puntos como cercos, árboles, postes. Los cuales han funcionado para obtener una mejor descripción de la planimetría del tramo.

Se realizo un levantamiento de 635 puntos los cuales se muestran en anexos, pág. III-XX, tabla número 54-71.

2.3.2. Altimetría

Es la parte de la topografía que estudia la elevación de los puntos sobre la superficie terrestre, para dar su posición relativa o absoluta, y la proyecta sobre

un plano vertical; referida a un plano de comparación cualquiera o a una superficie de comparación como el nivel del mar. (Alcantara Garcia, 2014)

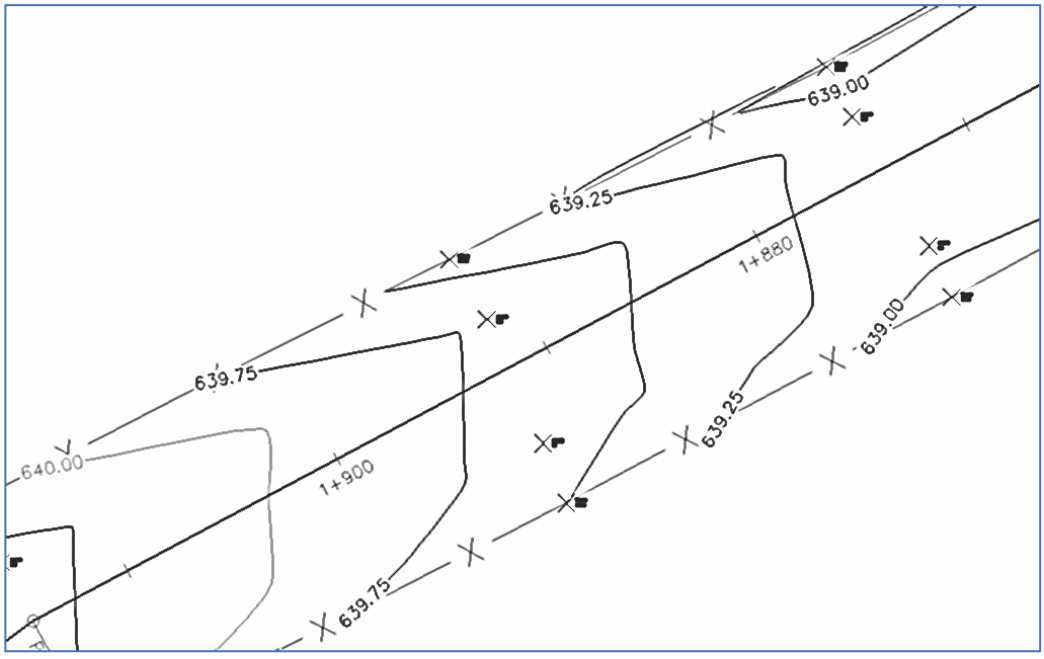
En el seccionamiento del camino, se obtuvieron también las elevaciones de los puntos tal como se muestra en anexos pág. XXII-XXXII, tabla 73-83.

Los 635 puntos topográficos que contempla el informe de levantamiento topográfico, permitieron realizar una descripción altiplanimétrica del tramo en estudio, haciendo uso de curvas de nivel generadas en el software Civil 3D.

Es importante mencionar que una curva de nivel es una línea imaginaria cuyos puntos están todos a la misma altura sobre un plano de referencia, pudiendo considerarse como la intersección de una superficie de nivel con el terreno. (Cleves, 2007, pág. 131)

Se presentan las curvas de nivel obtenidas en el software Civil 3D 2023 en la Ilustración 3, revelando el terreno del tramo analizado.

Ilustración 3 Curvas de Nivel (Tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario Abajo)



Fuente: Alcaldía Municipal de La Trinidad

2.4. Establecimiento de BM

El banco de nivel es una referencia topográfica de coordenadas y altimetría de un punto marcado en el terreno, destinado a servir como control de la elaboración y replanteo de los planos de un proyecto vial. (SIECA, 2011, pág. 357)

En el levantamiento topográfico del tramo en análisis, se establecieron 25 bancos de nivel, los cuales se muestran coordenadas cartográficas en la tabla 2, pág.13.

Para el establecimiento de los BM se tomó en cuenta la metodología planteada en el Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos, la cual indica que en el proyecto se instalarán puntos en toda la trayectoria del camino, que estarán ubicados a distancias promedio uno de otro conforme se establece en los términos de referencia, y que cuenten con inter visibilidad uno con otro, de acuerdo a la experiencia, se recomienda que la distancia promedio sea de 250m. Además, este equipo deberá estar de acuerdo a la metodología de trabajo que se empleará para la realización del levantamiento de la poligonal de la línea base conforme lo establecen los términos de referencia, los que deberán corresponder según se demande o el caso lo requiera a los siguientes tipos de equipos.

- Equipo Electrónico de alta precisión (Estación Total modelo Sokkia CX105) con memoria electrónica con capacidad suficiente para almacenamiento de un mínimo de 1,200 puntos con toda su información correspondiente.
- Equipo de poligonáceo completo, consistente en la aplicación del método de los tres (3) trípodes con sus respectivas bases nivelantes con plomadas ópticas, miretes, prismas reflectores con porta prisma, etc.
- Equipo de nivelación diferencial para el traslado de elevaciones, consistente en nivel de precisión automático con su respectiva estadia de aluminio telescópica de 5 m.

En la ilustración 4 se muestran los instrumentos y equipos empleados por la Alcaldía Municipal de La Trinidad en la ejecución del levantamiento topográfico del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario.

Ilustración 4 Instrumentos topográficos

	Estacion total Sokkia Cx105
	Trípode
	Base nivelante con plomada óptica
	Estadia de aluminio telescópica
	Prisma reflector con portaprisma
	Nivel óptico

Fuente: Elaboración propia

En el informe proporcionado, se muestran los BM´S que conformaron la poligonal base, los cuales se muestran en la Tabla 2, pág.13.

Tabla 2 Bancos de nivel

Punto	Z	Y	X	Descrip.
1	619.900	1433372.289	581523.122	BM-01
2	621.097	1433378.496	581392.574	BM-02
3	624.167	1433395.882	581312.591	BM-03
4	627.109	1433399.184	581184.533	BM-04
5	627.371	1433422.745	581048.013	BM-05
6	630.677	1433497.544	580864.802	BM-06
7	628.041	1433520.739	580818.571	BM-07
8	626.477	1433483.805	580721.736	BM-08
9	625.277	1433426.097	580524.798	BM-09
10	629.141	1433495.108	580462.612	BM-10
11	627.377	1433506.804	580339.681	BM-11
12	634.341	1433597.217	580191.23	BM-12
13	638.727	1433595.463	580144.834	BM-13
14	641.208	1433580.911	580077.591	BM-14
15	636.977	1433538.255	579981.882	BM-15
16	640.341	1433404.311	579741.836	BM-16
17	641.767	1433347.721	579672.833	BM-17
18	640.141	1433267.907	579499.82	BM-18
19	639.416	1433230.021	579461.259	BM-19
20	639.116	1433189.938	579448.822	BM-20
21	640.581	1433149.722	579385.26	BM-21
22	642.721	1433113.492	579239.808	BM-22
23	644.341	1433037.115	579068.17	BM-23
24	644.277	1433032.061	579071.468	BM-24
25	647.541	1432918.713	578885.868	BM-25

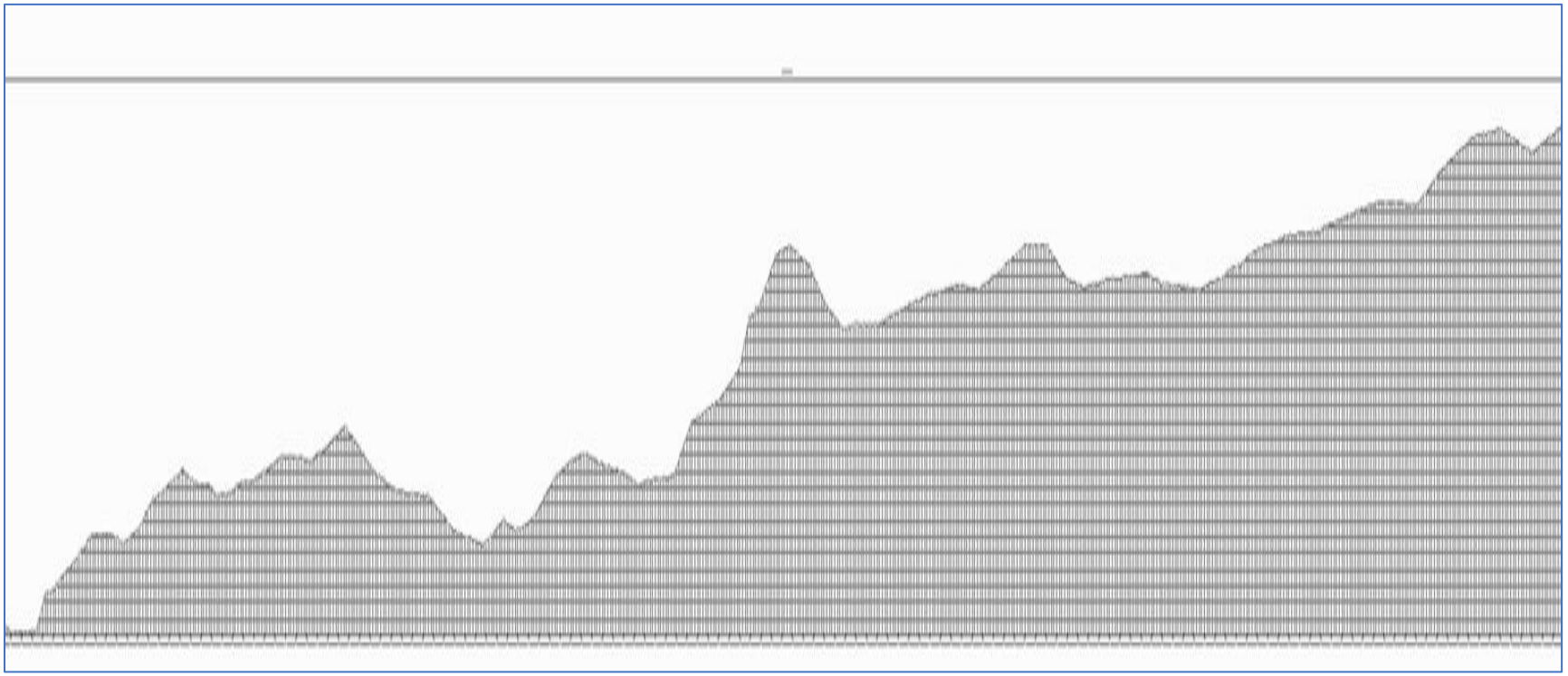
Fuente: Informe de Levantamiento Topográfico del Tramo Bo. Pedro Joaquín Chamorro – Comunidad El Rosario, Alcaldía Municipal de La Trinidad.

2.5. Perfil longitudinal

“Constituye el punto de partida para la planeación detallada y el replanteo de villas de comunicación (caminos)”. (Cleves, 2007, pág. 142)

Con los resultados del levantamiento topográfico, se pudo formar el perfil longitudinal del tramo en análisis apoyándose en el software Civil 3D 2023, el que se presenta de forma gráfica en la Ilustración 5, pág.14.

Ilustración 5 Perfil natural del terreno Est.0+000 – 3+000 (Sin escala)

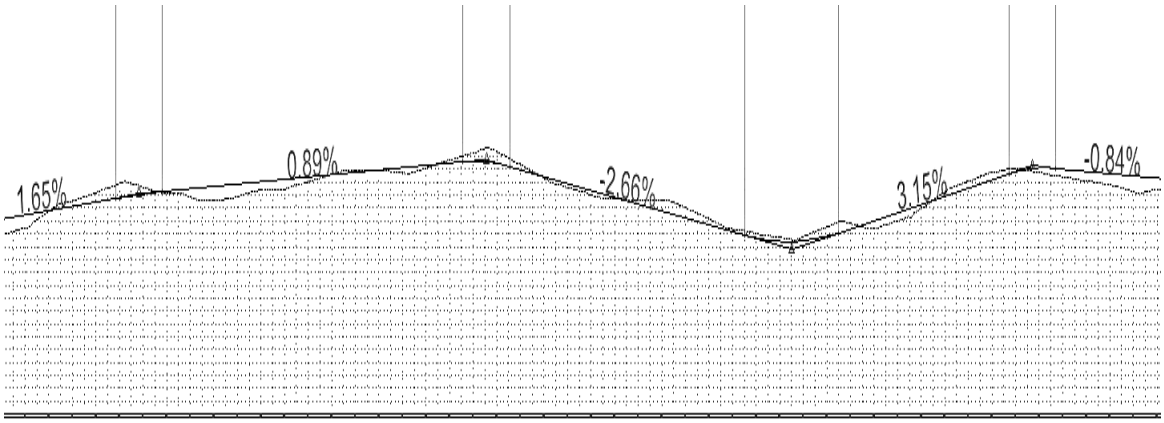


Fuente: Informe de Levantamiento Topográfico del Tramo Bo. Pedro Joaquín Chamorro – Comunidad El Rosario, Alcaldía Municipal de La Trinidad.

2.6. Pendiente

“La pendiente de un terreno entre dos puntos ubicados en dos curvas de nivel significativas es igual a la relación entre el intervalo de las curvas de nivel o equidistancia y la distancia longitudinal que los separa”. (CASANOVA MATERA, 2002, págs. 9-1)

Ilustración 6 Pendientes del terreno del tramo Barrio pedro Joaquín chamorro-El Rosario



Fuente: Informe de Levantamiento Topográfico del Tramo Bo. Pedro Joaquín Chamorro – Comunidad El Rosario, Alcaldía Municipal de La Trinidad.

Para la determinación de la pendiente del terreno natural, se utilizó el perfil longitudinal generado en el software civil 3D, se etiquetaron las pendientes y se generaron tablas con todas las pendientes del tramo. Luego se seleccionaron las que más se repiten, y se pudo observar que todas son menores al rango del 5%. Ver anexos, pág. XXII-XXXIII, tabla 73-83.

La topografía del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario Abajo, tomando en cuenta la SIECA (2011), que señala clasificación del tipo de terreno de acuerdo a las pendientes, se considera un terreno llano o plano, ya que sus pendientes máximas se encuentran en el rango menor o igual al 5% (Ver tabla 3, pág. 16).

Tabla 3 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), Capitulo 3, pág. 116.

2.7. Características de la topografía

La topografía del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario Abajo, se considera como Llano o Plano debido a las pendientes predominantes a lo largo del tramo que se encuentra entre el 5%.

El terreno es llano y/o plano, cuenta con algunas curvas horizontales que no muestran un buen diseño. El ancho de la calzada en algunos tramos es considerable, es decir su ancho va de 6 - 10 m, cuenta con un buen espacio para ambos carriles. A medida que se va avanzando en el tramo se pueden observar las pendientes en los bordes, por esta razón no se encuentran bombeos para el recubrimiento de las aguas superficiales.

2.8. Evaluación del levantamiento topográfico

Se presenta la valoración del estudio topográfico correspondiente, referenciando los criterios establecidos por el Manual de Estudios Topográficos del Ministerio de Transporte e Infraestructura, (Ver tabla 4, pág.17).

Es importante mencionar, que este levantamiento topográfico fue ejecutado por la Alcaldía Municipal de La Trinidad y que se proporcionaron una nube de puntos en archivo txt, los cuales fueron importados en el software Civil 3D para el análisis de las condiciones de la topografía del tramo en estudio.

Tabla 4 Primera evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Trabajos Topográficos control de gabinete		
Determinación de Coordenadas del Proceso de Georreferenciación.	Sí	
Transferimiento de datos crudos de campo en archivo.	Sí	Nube de puntos, archivo txt.
Determinación de Coordenadas Geodésicas.	Sí	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

Tabla 5 Segunda evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Levantamiento-Medición de la Plan altimetría transversal del camino.		
El Seccionamiento transversal del camino se realiza distanciado conforme lo establecido en los Términos de Referencia.	Sí	Datos mostrados en la tabla 54-72 (Ver anexos, pág. (III-XXI)
El Seccionamiento transversal del camino se realiza detallando toda la infraestructura existente dentro de la franja del camino establecida en los términos de referencia.	Sí	
El montaje de los datos del seccionamiento transversal se detalla en libreta topográfica de campo con los respectivos esquemas y números de códigos de cada detalle.	Sí	
Durante el levantamiento del seccionamiento se detallan el eje del camino, orillas de borde, cunetas, cercas del derecho de vía y divisiones de propiedades, Nombres de Propietarios, árboles de grosor mayor a los 15 cm, taludes, sondeos de línea, postes del tendido eléctrico y telefónico y demás detalles existentes en la vía.	Sí	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

Tabla 6 Tercera evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Revisión de Planos Topográficos y Resultados del diseño de la Geometría de la Vía.		
Se generan los planos topográficos de la Planimetría.	No	Se entregó nube de puntos
Revisión de la configuración topográfica de las curvas de nivel a intervalos de 0.50 m.	Sí	
Revisión de la trayectoria geométrica de la vía.	Sí	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1. Generalidades

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras. (Coronado Iturbide, 2002)

En este capítulo se presentan los datos obtenidos en el estudio de tránsito del tramo “El Rosario”, con una proyección de tráfico para un tiempo de 15 años en base al producto interno bruto PIB (ya que mide el valor producido por un país en un periodo determinado) y el crecimiento poblacional.

El ESAL (Equivalent simple axial load) se realizó con referencia a la proyección del tráfico de la zona, ya que los datos obtenidos ayudan en el diseño de espesores dependiendo de las solicitaciones de carga.

3.2. Metodología

Para conseguir la cantidad de vehículos que transitan en el tramo se realizó un aforo vehicular que consta de una semana, iniciando lunes 24 de abril y finalizando el domingo 30 de abril del año 2023, con una duración de 12 horas (6: 00 am- 6:00 pm) utilizando el formato de aforo del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) 2019. Ver anexos, tabla número 82.

En el aforo vehicular se tomaron en cuenta los dos sentidos del camino, fue realizado en la estación 0+000 del tramo y se utilizaron la ECS y la EMC correspondientes para el cálculo del TPDA.

3.2.1. Tipos de vehículos

Los tipos de vehículos que se muestran a continuación son los que circularon en el tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario Abajo en el tiempo que se realizó el aforo vehicular. Se describen en la División de Administración Vial, en el Anuario de Aforo de Tráfico (MTI 2020), de la siguiente, manera:

Motocicleta: Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Mini motos, Cuadriciclos, Moto Taxis, etc.

Automóviles: 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.

Liv C2: Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.

C2: 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.

3.2.2. Clasificación vehicular por sus ejes

La circulación de vehículos sobre el camino en el periodo al cual ha sido diseño, nos lleva a realizar un reducido espectro de ejes de carga, con una distancia entre ejes diferentes de acuerdo al tipo de vehículo, creando una gran variedad de deformaciones y esfuerzos en un definido punto de la estructura.

Se presenta el Diagrama de Cargas Permisibles para catalogar el vehículo de acuerdo al número y disposición de sus ejes. Ver anexos, tabla 101, pág. XLIX.

3.3. Estación de conteo vehicular

Las estaciones de conteo, se dividen de acuerdo a lo que especifica el Anuario de Aforos de Trafico (2020).

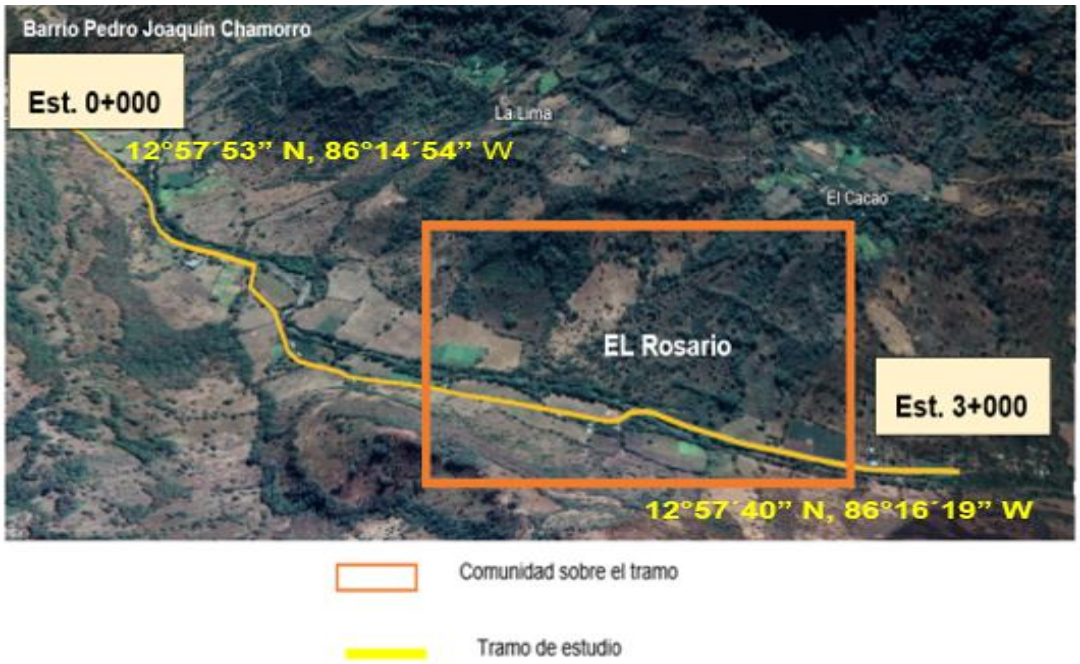
Estaciones de mayor cobertura (EMC): Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años se dividió el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, por 7 días consecutivos, cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los periodos.

Estaciones de corta duración (ECD): Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

Estación de conteo sumaria (ECS): Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles, jueves).

Ilustración 7 Vista Satelital del tramo Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario abajo



Fuente:https://earth.google.com/web/@12.96155888,-86.2605033,740.13219572a,3054.85172577d,35y,136.67590641h,59.99774785t,0r/data=OgMKATA

El tramo inicia en el barrio Pedro Joaquín Chamorro con la estación 0+000, siendo sus coordenadas de inicio 12°57´53" N y 86°14´54" y finaliza en la comunidad El Rosario en la estación 3+000 con coordenadas 12°57´40" N, 86°16´19" W (Ver Ilustración 7).

3.4. Aforo vehicular

Coronado Iturbide (2002), especifica que un aforo vehicular, es un censo que se efectúa para llevar el control de volúmenes de tránsito para una carretera determinada, con el propósito de evaluar la información recopilada para tener registros de un posible incremento o disminución del flujo vehicular en años futuros. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 2)

Ilustración 8 Punto de aforo vehicular

Fuente: Propia

El aforo vehicular, fue realizado en la estación 0+000, siendo sus coordenadas de 12°57´53” N y 86°14´54” W, se tomó este punto del tramo debido a su geometría, este lugar permitió efectuar el conteo vehicular en ambos sentidos de la vía con mucha más exactitud debido a que es el punto por donde circulan el 100% de los vehículos antes de desviarse en las siguientes intersecciones que llevan hacia las demás comunidades.

El aforo fue ejecutado en la semana del 24 al 30 de abril del año 2023, con los datos conseguidos durante la semana, se registraron los vehículos que recorrieron el tramo de acuerdo a su clasificación. Ver anexos, pág. XXXIV-XL, tabla 85-91.

Los resultados obtenidos en el aforo vehicular realizado, facilitan el análisis de tráfico del tramo en estudio, a través de la conformación de los diferentes vehículos que circularon durante de la semana que se efectuó el conteo. (Ver tabla 7, pág. 25)

Tabla 7 Aforo vehicular tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario

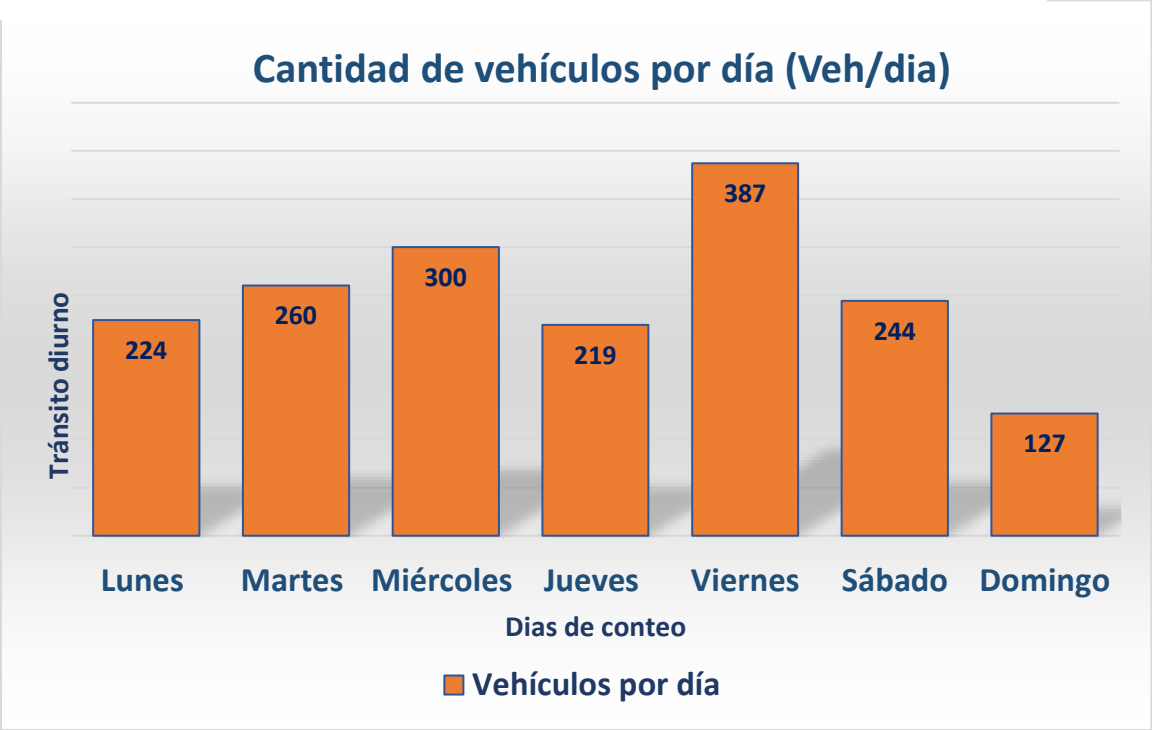
Tramo: Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El rosario
Ubicación: 0+00

Fecha	Día	VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
		Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Liv. de carga	C2	
24-abr-23	**Lunes**	76	16	2	110	13	7	224
25-abr-23	**Martes**	130	20	9	88	9	4	260
26-abr-23	**Miércoles**	147	18	6	116	8	5	300
27-abr-23	**Jueves**	99	28	6	75	5	6	219
28-abr-23	**Viernes**	190	64	19	101	9	4	387
29-abr-23	**Sábado**	73	39	9	102	15	6	244
30-abr-23	**Domingo**	49	20	4	33	17	4	127
Total/veh		764	205	55	625	76	36	1761
Total		1649				112		1761
Veh. /12hrs. % por tipo		43.38	11.64	3.12	35.49	4.32	2.04	97.96%
		93.64%				6.36%		100.00%
		%Vehículos livianos				**%Vehículos de carga**		

Fuente: Elaboración propia

En el Grafico 1, se presenta la conducta del paso de los vehículos en el tramo por día, en la semana que se realizó el aforo, siendo el viernes el día con un mayor flujo vehicular de 387, continuo de miércoles con 300 correspondiente.

Gráfico 1 Comportamiento de vehículos por día



Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinación del tráfico promedio diario semanal (TPDS)

Se realizó un promedio de los resultados del aforo vehicular, en ambos sentidos del tramo para determinar el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), obteniendo un producto de 252 vehículos por día, resultados en la tabla 8, pág. 27.

Tabla 8 Tráfico promedio diario semanal

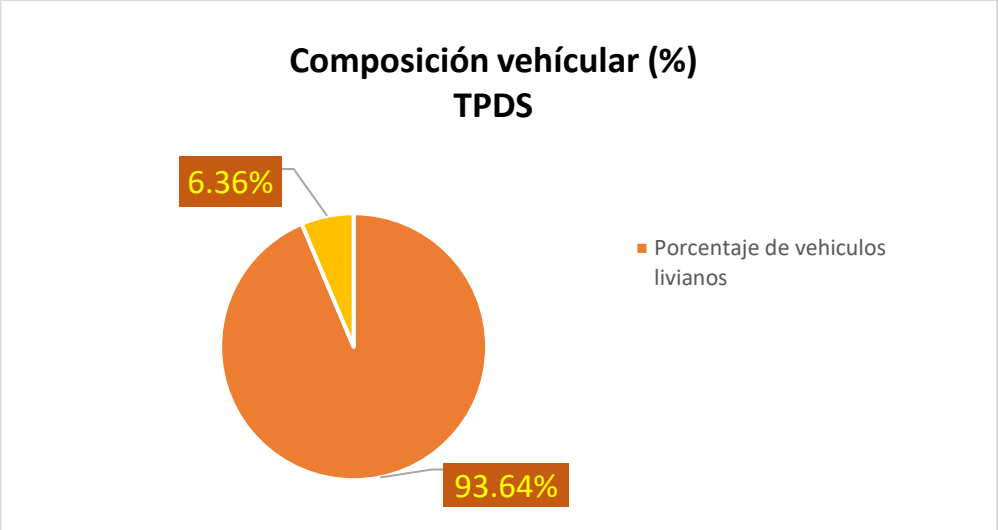
	VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
	Motos	**Autos**	**Jeep**	**Cam**	**Liv. de carga**	**C2**	
TPDS	109	29	8	89	11	5	252
Total	236				16		252
%	43.38	11.64	3.12	35.49	4.32	2.04	100.00%
	93.64%				6.36%		100.00%
	%Vehículos livianos				**%Vehículos de carga**		

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Composición vehicular del TPDS

El análisis del aforo vehicular, lleva al resultado del Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) de 252 vehículos por día. De acuerdo a la clasificación vehicular, se divide de la siguiente forma: el 6.36% vehículos livianos (motocicleta, automóvil, jeep, camionetas), y el 93.64% representa a vehículos de carga (Liviano de carga, C2), resultados en el Gráfico 2.

Gráfico 2 Composición vehicular (%) TPDS



Fuente: Elaboración propia

3.6. Cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en números de vehículos por día. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2018, pág. 16)

Según el Anuario de Aforos de Tráfico (2020), se debe tener en cuenta, vector geográfico y vector volumen. El Vector geográfico del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario es un vector R3, se encuentra en la región central norte, en el departamento de Estelí. (Ver tabla 9).

Tabla 9 Vector geográfico-R

N°	Vector	Código	Nombre de región	Departamentos
1	**R1**	**PS**	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	**R2**	**PN**	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
3	**R3**	**CN**	**Central Norte**	**Nueva segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales**
4	**R4**	**AS**	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe sur (RACS), Rio San Juan
5	**R5**	**AN**	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

Se establece una estación corta sumaria, según el Anuario de Aforos de Trafico del MTI esto se hace cuando los volúmenes de tránsito se encuentran en el rango de 300 a 5,000 vehículos por día, se elige la estación más similar y más cercana geográficamente al tramo. En este caso se eligió la estación 313, Sacaclí–San Gabriel, porque además de cumplir con los requisitos antes mencionados posee un porcentaje de composición vehicular similar al tramo en estudio. Ver tabla 10, pág. 29. Esta estación es dependiente de la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe. Ver anexos, pág. XLVIII, tabla 99.

Tabla 10 TPDA histórico por tipo de vehículo, ECS Sacaclí-San Gabriel

N°	Codigo NIC	EST.	Tipo	Nombre del tramo	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus<15pas.	MnBus 15-30s.	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
365	NN-46	313	ECS	Sacacli-San Gabriel	2015	90	1	1	14			3	5	1									**115**
					2011	57		2	22			6	3	4									**94**
					2008	28	3	1	32			9	2	5									**80**
					2002	10	4	8	19	0		7	3	4								9	**65**
				EMC:1802																			
				Tasa de Crecimiento:6,74	2020	125	1	1	19			4	7	1									**159**
						Liv. 147				**Pasaj. 4**			**Pesado 8**										
						92%				3%			5%										

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2020

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), resulta del factor expansión y el factor día, correspondientes, estos factores se establecen en el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020), considerando la estación de conteo similar al tramo, siendo la ECS 313 Sacaclí – San Gabriel, seleccionada por ser la estación más cercana geográficamente y posee características semejantes con la del tramo en estudio. Además, posee un porcentaje de composición vehicular similar al del tramo Bo. Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario.

Los datos que corresponden al 1 conteo, pertenecen al primer cuatrimestre del año, esto de acuerdo a los registros del conteo realizado por el MTI (2020) y el aforo vehicular, para la obtención de los factores de expansión TPDS a TPDA, presentados en la Tabla 11, realizado en la cuarta semana del mes de abril, dentro del periodo mencionado.

Tabla 11 Factores de expansión primer cuatrimestre (enero – abril)

Descripción	Motos	Carros	Jeep	Camionetas	Liv. 2-5 t.	C2
Factor Día	1,34	1,29	1,18	1,25	1,15	1,2
Factor Semana	0,95	0,96	1	0,97	0,91	0,83
Factor Fin de Semana	1,15	1,11	0,99	1,08	1,33	2,07
Factor Expansión a TPDA	1,15	1,15	1,35	1,13	1,15	1,04

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), según el Anuario de Aforos del Tráfico del MTI (2020), se calcula con la Ecuación 1 presentada:

$$TPDA = TP(D) * FE * FD * FS * FFS$$

Ecuación 1 Anuario de Aforos del MTI (2019)

Donde:

TP(D): Tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas.

FE: Factor expansión

FD: Factor día

FS: Factor semana

FFS: Factor de fin de semana

Utilizando la ecuación 1, se obtiene una proyección de los diferentes vehículos. En este caso solamente se multiplica el TPD con el factor día y factor expansión a TPDA debido a que el conteo fue realizado los 7 días de la semana, obteniendo así un valor del TPDA de 371 vehículos por día.

Tabla 12 Tráfico promedio diario anual tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario.

	VEHICULOS LIVIANOS			VEHÍCULOS DE CARGA			TOTAL
	Moto	Auto	Jeep	Cam.	Liv. de carga	C2	
TPDS	109	29	8	89	11	5	252
Factor ajuste	1.34	1.29	1.18	1.25	1.15	1.2	
Factor expansión a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.15	1.04	
TPDA	168	43	13	126	14	6	371
Total	350			21			371
%	45.33	11.71	3.37	33.99	3.87	1.73	100.00%
	94.40%			5.60%			100.00%
	%vehículos livianos			%vehículos de carga			

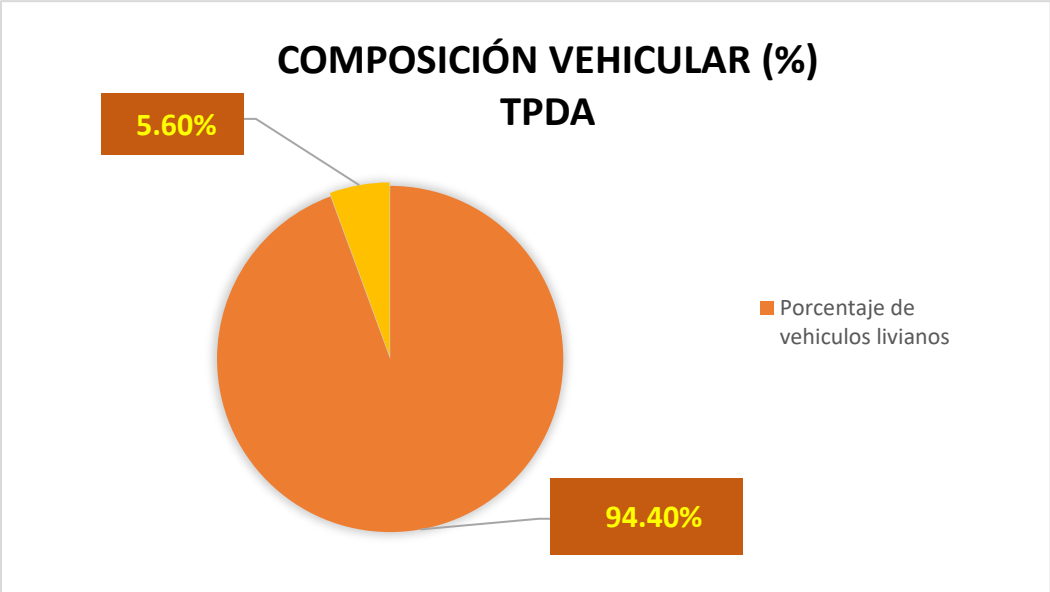
Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Composición vehicular del TPDA

De los datos de la expansión de TPDA a TPDS, se encuentra el porcentaje de la composición vehicular del tramo que está compuesto de, 371 vehículos por día correspondiente al 94.40% de vehículos livianos (motocicletas, automóviles, jeep

y camionetas) y 21 vehículos por día correspondientes al 5.60% de vehículos de carga (Liv. de carga y C2).

Gráfico 3 Composición vehicular (%) TPDA



Fuente: Elaboración propia

El tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario, tiene porcentajes de 94.40% de vehículos livianos y 5.60% vehículos de carga, en comparación a los porcentajes de la Estación de Mayor Cobertura tienen variaciones, ya que los valores que corresponden son de 91.1% de vehículos livianos y 8.8% de vehículos de carga (Ver tabla 13).

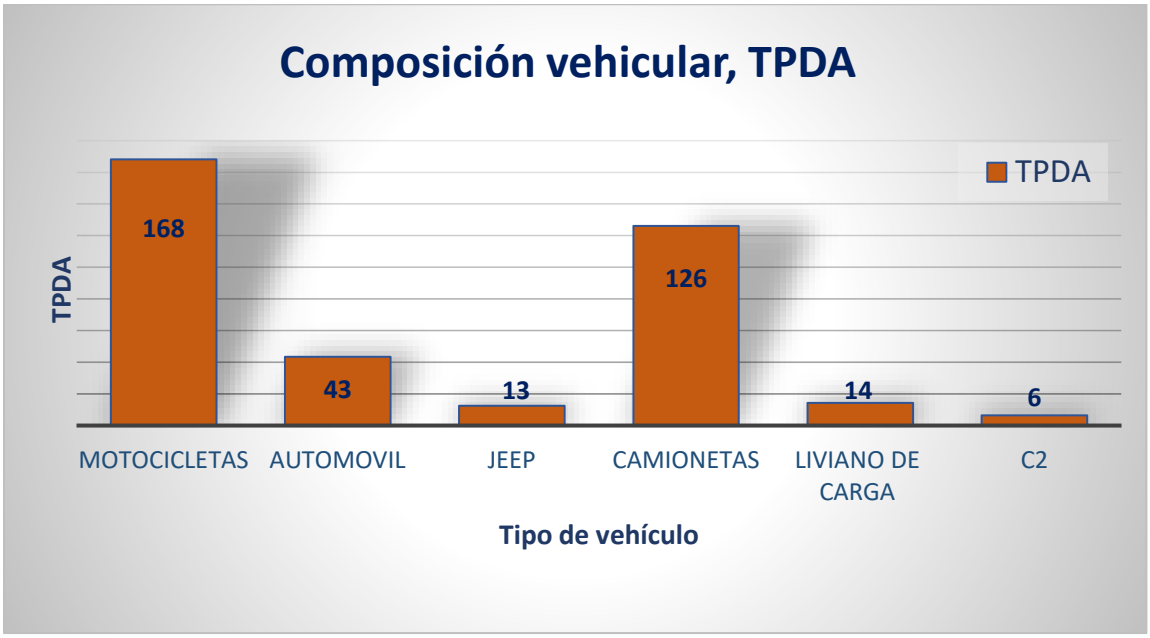
Tabla 13 Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura

N°	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	% de Liviano	% de Pesados
1	101B	Zona Franca - La Garita	24, 523	78.30%	21.60%
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,585	75.00%	24.70%
3	200	Entrada al INCAE - El Crucero	9,403	87.30%	12.60%
4	**1802**	**San Marcos - Masatepe**	**9,392**	**91.10%**	**8.80%**
5	401	Masaya - Granada	8,882	87.80%	12.10%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	77.00%	22.80%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	76.50%	23.30%
8	2803	Nagarote - La Paz Centro	6,058	62.80%	36.80%
9	2404	Chinandega - Corinto	5,471	67.70%	32.10%
10	2400	Chinandega (Rotonda) – Ranchería	4,019	81.10%	17.10%
11	700	Emp. San Francisco – Tecoloste	2,024	68.30%	31.50%

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

El Gráfico 4, pág. 34 muestra la composición vehicular del TPDA, indicando que la mayor cantidad de vehículos que circulan en el tramo, son las motocicletas y de menor frecuencia son los C2.

Gráfico 4 Composición vehicular TPDA (Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario)



Fuente: Elaboración propia

3.7. Tasas de crecimiento

Según el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2020), las tasas de crecimiento tienen en consideración datos de conteos previos correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria. Los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura se aplicarán, Partiendo de la dependencia de las Estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2018, pág. 16)

3.7.1. Determinación de la tasa de crecimiento

En las tasas de crecimiento se toman en consideración diferentes variables, como el Producto Interno Bruto (PIB), es un factor socioeconómico, el crecimiento poblacional, y los registros históricos de conteos vehiculares, mencionando que se utilizan los valores de la estación más cercana y más parecida al tramo del

(Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario), la cual es la Estación Corta Sumaria 313, Sacaclí- San Gabriel, el registro lo muestra la última versión del anuario de aforos de tráfico del MTI (2020). Ver tabla 10, pág. 29.

Se estudia la tasa de crecimiento del histórico del TPDA, la cual se determinó con la siguiente fórmula que se utiliza para los años discontinuos:

$$TC = [\left(\frac{TPDAi}{TPDAo}\right)^{1/n}] \; - \; 1$$

Ecuación 2 tomada de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020)

Donde:

TC: Tasa de Crecimiento

TPDAi: Tráfico Promedio Diario Actual

TPDA0: Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base

n: La diferencia de años

En el siguiente ejemplo se demuestra el cálculo para el periodo 2002-2008

$$TC = [\left(\frac{80}{65}\right)^{1/6}] \; - \; 1 = 3.52\%$$

Seguido de esto se obtiene el promedio de todas las tasas de crecimiento calculadas, en este caso se promedian todas las tasas debido a que son menores al 10% y no existen tasas negativas obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 14 Tasa de crecimiento TPDA histórico ECS 313

Año	TPDA ECS 313	TC TPDA
2002	65	
2008	80	3.52%
2011	94	5.52%
2015	115	5.17%
2020	159	6.69%
	Promedio	**5.23%**

Fuente: Elaboración Propia

También se utilizaron los datos de los anuarios estadísticos publicados por el Banco central de Nicaragua en sus plataformas digitales, los que se detallan información de los principales sectores económicos del país, con esto se puede establecer una idea del comportamiento económico y el crecimiento poblacional que se ha tenido en los últimos años, con ayuda de la siguiente ecuación para años continuos.

$$TCn = [\left(\frac{TPDAn}{TPDAn-1}\right)^{1/n}]$$

Ecuación 3 Tomada de *(Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020)*

Donde:

TCn: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis

TPDAn: Tráfico promedio diario del año en análisis

TPDAn-1: Tráfico promedio diario actual del año base

n: La diferencia de años

Una vez obtenida una serie de tasas de un año con otro se procede a aplicar la medida geométrica con la siguiente ecuación:

$$Tf = [(Tc1 * Tc2 * \ldots * Tcn)^{\frac{1}{n}} - 1]$$

Ecuación 4 Tomada de *(Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020)*

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final

Tcn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

n: Cantidad de tasa de crecimiento

Se realizo el cálculo de las tasas de crecimiento con los datos obtenidos del PIB y PBO de los últimos años, luego se aplica la medida geométrica descartando las

tasas en las que hay un decrecimiento. El valor obtenido para la TC PIB es del 5.42%, mientras que para la TC PBO es del 1.26%. (Ver tabla 15).

Tabla 15 Registro histórico del PIB y POB

AÑO	PIB	PBO	TC PIB	TC PBO
2006	118,837.7	5,522.6		
2007	124,870.3	5,595.5	1.051	1.013
2008	129,160.5	5,668.9	1.034	1.013
2009	124,907.7	5,742.3	0.967	1.013
2010	130,416.3	5,815.5	1.044	1.013
2011	138,654.2	5,996.6	1.063	1.031
2012	147,661.4	6,071.0	1.065	1.012
2013	154,936.8	6,134.3	1.049	1.010
2014	162,351.3	6,198.2	1.048	1.010
2015	170,131.6	6,262.7	1.048	1.010
2016	177,894.9	6,327.9	1.046	1.010
2017	186,133.6	6,393.8	1.046	1.010
2018	179,873.3	6,460.4	0.966	1.010
2019	173,074.5	6,527.7	0.962	1.010
2020	169,977.3	6,595.7	0.982	1.010
2021	187,560.9	6,664.4	1.103	1.010
		Promedio	**5.42%**	**1.26%**

Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Tasa de crecimiento vehicular

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular se calculó el promedio de los resultados obtenidos en cada una de las tablas anteriores, demostrando el desarrollo de los cálculos a continuación:

$$TC = \frac{TCtpda + TC_{PIB} + TC_{POB}}{n}$$

$$TC = \frac{5.23\% + 5.42\% + 1.26\%}{3}$$

$$TC = 3.97\%$$

La tasa de Crecimiento Vehicular a implementar en el tramo en estudio, es de 3.97%.

3.8. Tránsito de diseño

En el método AASTHO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes y los efectos de cálculo. (AASTHO93, 2001, pág. 21)

La fórmula del tránsito de diseño a utilizar es:

$$TD = (TPDA * Fc) * 365$$

Ecuación 5 Tomada de *(AASTHO 93, 2001, pág. 21)*

TD: Tránsito de diseño

TPDA: Cantidad de vehículos diarios

Fc: Factor de crecimiento

365 días del año

3.8.1. Periodo de diseño

Según Coronado Iturbide (2002), el periodo de diseño, es el tiempo para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección de tránsito, y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorne se comiencen a alterar desproporcionadamente.

El periodo de diseño, se recomienda acorde al tipo de carretera, para ello, observe la tabla 15, en la que se aprecia diferentes tipos de carreteras con su periodo de diseño recomendado; para el tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario, por ser una colectora rural (seleccionado por estar en la zona rural del municipio de la Trinidad, y por tener un TPDA de 371 vehículos por día, de acuerdo a, lo que

especifica la SIECA (2002), se propone un periodo de diseño de 15 años. Ver tabla 16

Tabla 16 Periodo de diseño según el tipo de carretera (SIECA 2002)

Tipo de Carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20-40 años
Troncales suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	**10-20 años**
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA 2002. Capítulo 7, pág. 3.

3.8.2. Factor de crecimiento

Es uno de los factores involucrados en la expansión de TPDA al tráfico proyectado es el periodo de diseño, a su vez involucra la tasa de crecimiento vehicular. (SIECA, 2002, pág. 24)

Para obtener el factor de crecimiento se implementa la Ecuación 6.

$$\text{fc} = \frac{(1+\text{r})}{\text{r}}, \text{donde} \quad \text{r} = \frac{\%}{100} \text{no igual a } 0$$

Ecuación 6 tomada de *(SIECA, 2002, pág. 24)*

Donde:

FC: Factor de crecimiento

r: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño

El factor de crecimiento que se emplea, está en función a la tasa de crecimiento vehicular. (Ver tabla 17, pág. 40)

Tabla 17 Factor de crecimiento

Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento
3.97%	20.0

Fuente: Elaboración propia

3.8.3. Factor distribución por dirección

Coronado Iturbide (2002) y SIECA (2011), especifican que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular; en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra dirección, esto para una vía de dos carriles. (Ver tabla 18). Por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio.

Tabla 18 Factor distribución por dirección

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011

3.8.4. Factor distribución por Carril

AASHTO 93 (2001), especifica que el factor distribución por carril, corresponde al carril de diseño, el cual es el que recibe el mayor número de ESAL´S. El tramo en estudio, presenta dos carriles en la vía, por lo que cualquiera puede representar el carril de diseño, ya que ambos canalizan forzosamente el tránsito por dirección.

En la tabla 19, pág. 41 se presenta el factor de distribución por carril, esto considerando las cantidades de carriles en una sola dirección, seleccionado así, el factor de distribución por carril para el tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro – El Rosario con un valor de 1.

Tabla 19 Factor distribución por carril (AASHTO 93)

Números de carriles en una sola dirección	FC'
1	1
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 93. Pág. 58.

Con los diferentes factores definidos, se calcula el Tránsito de Diseño (TD) para el carril correspondiente, aplicando la Ecuación 5. En la Tabla 20, se presentan los resultados obtenidos, brindando un valor de 1,352,819.40 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

Tabla 20 Tránsito de diseño (Barrio Pedro Joaquín Chamorro - El Rosario)

Tipo de vehículo	TPDA (2023)	FC	FD	FC'	TD
Motocicletas	168	20.0	0.5	1	613214.67
Automóvil	43	20.0	0.5	1	158401.01
Jeep	13	20.0	0.5	1	45634.68
Camionetas	126	20.0	0.5	1	459816.99
Liviano de carga	14	20.0	0.5	1	52351.10
C2	6	20.0	0.5	1	23400.96
Total	371				1,352,819.40

Fuente: Elaboración propia

3.9. Ejes equivalentes (ESAL)

Coronado Iturbide (2002) especifica:

> Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips, por lo que se le denominará “Equivalent Simple Axial Load” o ESAL (ejes equivalentes).

3.9.1. Número estructural asumible

El Número Estructural (SN), se considera como un número abstracto, que tiene la finalidad de expresar la resistencia estructural de un pavimento. Para calcular el ESAL (denominado también W18, y significa la cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 Kips), se debe considerar un valor de Número Estructural (SN) en función de la importancia de la vía por lo que se asume un valor de SN igual a 3.

3.9.2. Factor de equivalencia (F ESAL)

Para calcular los ejes de equivalentes (ESAL´S) es necesario el uso de un factor obtenido de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada uno de los ejes de los vehículos, Los que permite este factor es transformar la carga por eje a un numero de ejes equivalentes.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los factores de equivalencia para los ejes cuyos pesos no que se mostraban en los resultados de las pruebas de la AASHTO. Todo esto fue calculado haciendo uso de la interpolación.

$$Y = \frac{(x - x1)Y2 + (x2 - x)Y1}{(x2 - x1)}$$

A continuación, se muestra el cálculo de unos de los valores obtenidos en la tabla por medio del método aplicado.

$$Y = \frac{(2.2 - 2)0.002 + (4 - 2.2)0.0002}{(4 - 2)}$$

$$Y = 0.00038$$

El factor ESAL (FESAL) obtenido por medio de interpolación es de 0.00038 esto solamente para uno de los ejes que posee un automóvil.

Tabla 21 Factor ESAL por interpolación

Xo	Yo	X (peso)	Y (F. DAÑO)
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
4	0.002	4.4	0.0038
6	0.011		
8	0.036	8.8	0.0576
10	0.09		
10	0.09	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia

3.9.3. Ejes equivalentes (ESAL o W18)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y numero de ejes y que para efecto de cálculo se les transforma en un numero de ejes equivalentes de 80 K, por lo que se le denominará “Equivalent simple axial load” o ESAL (ejes equivalentes). (SIECA, 2002, pág. 3)

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

Ecuación 7 Tomada de *(SIECA, 2011)*

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (ejes equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

Desarrollando esta ecuación con los datos presentes en la tabla 22 para el automóvil se obtiene el siguiente resultado.

$$\text{ESAL1} = 0.00038 * 158401 \qquad \text{ESAL2} = 0.00038 * 158401$$

$$\text{ESAL1} = 60.192 \qquad \text{ESAL2} = 60.192$$

$$\text{ESAL(W18)} = 60.192 + 60.192$$

$$ESAL(W18) = 120.385$$

Tabla 22 ESAL de diseño

VEHICULO	TRÁNSITO DE DISEÑO	PESO POR EJE (KIP)	TIPO DE EJE	FESAL	W18 (ESAL DE DISEÑO)	ESAL TOTAL POR VEHICULO
Automovil	158401	2.2	SIMPLE	0.00038	60.192	120.385
		2.2	SIMPLE	0.00038	60.192	
Jeep	45635	2.2	SIMPLE	0.00038	17.341	34.682
		2.2	SIMPLE	0.00038	17.341	
Camionetas	459817	2.2	SIMPLE	0.00038	174.730	1922.035
		4.4	SIMPLE	0.0038	1747.305	
Liv c2	52351	8.8	SIMPLE	0.0576	3015.423	51314.548
		17.6	SIMPLE	0.9226	48299.125	
C2	23401	11	SIMPLE	0.1395	3264.434	58256.683
		22	SIMPLE	2.35	54992.250	
				ESAL TOTAL		111648.333

Fuente: Elaboración propia

Para el tramo del Barrio Pedro Joaquín Chamorro se obtuvo un valor de ESAL o W18 de **111,648.333 Psi**.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELO

4.1. Generalidades

El estudio de suelo se realiza con el propósito de conocer las diferentes características físicas y mecánicas de este; tiene como finalidad determinar la adaptabilidad de tierras nuevas para la colonización, o proyectos de drenaje. Estos levantamientos suministran la información básica necesaria parta los planes reguladores del uso de la tierra, de urbanización, carreteras, etc. La información obtenida en el estudio de suelo es de utilidad en función de las condiciones sociales, económicas, tecnológicas y de otros recursos físicos.

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelos en el tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro - El Rosario, en los cuales se realizaron sondeos a cada 500 m, aplicando la metodología AASHTO y ASTM para cada uno de los ensayos y la Norma NIC 2019 para la evaluación de cada uno de los resultados.

4.2. Metodología

El estudio de suelos fue realizado con sondeos manuales a una profundidad de 1.5 m, esto a cada 500 m por fines académicos y económicos, evaluando los diferentes estratos de suelo encontrados en el laboratorio, acorde con la normativa AASHTO.

Se efectuó el análisis de las muestras provenientes del banco de materiales, ubicado cerca del tramo de estudio, de acuerdo a las normas NIC 2022.

Los ensayos realizados a partir de las normativas AASHTO y ASTM, se presentan en la Tabla 23, pág. 47.

Tabla 23 Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO

Ensayo	Norma
Granulometría	AASHTO T 27-88 ASTM C 33
Límite Líquido	AASHTO T89 ASTM D 4318
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90
Pesos unitarios	AASHTO T 19 ASTM C 29
CBR	AASHTO T 180 ASTM 1883
Humedad Natural	AASHTO D- 2216 ASTM D 2216

Fuente: Elaboración propia

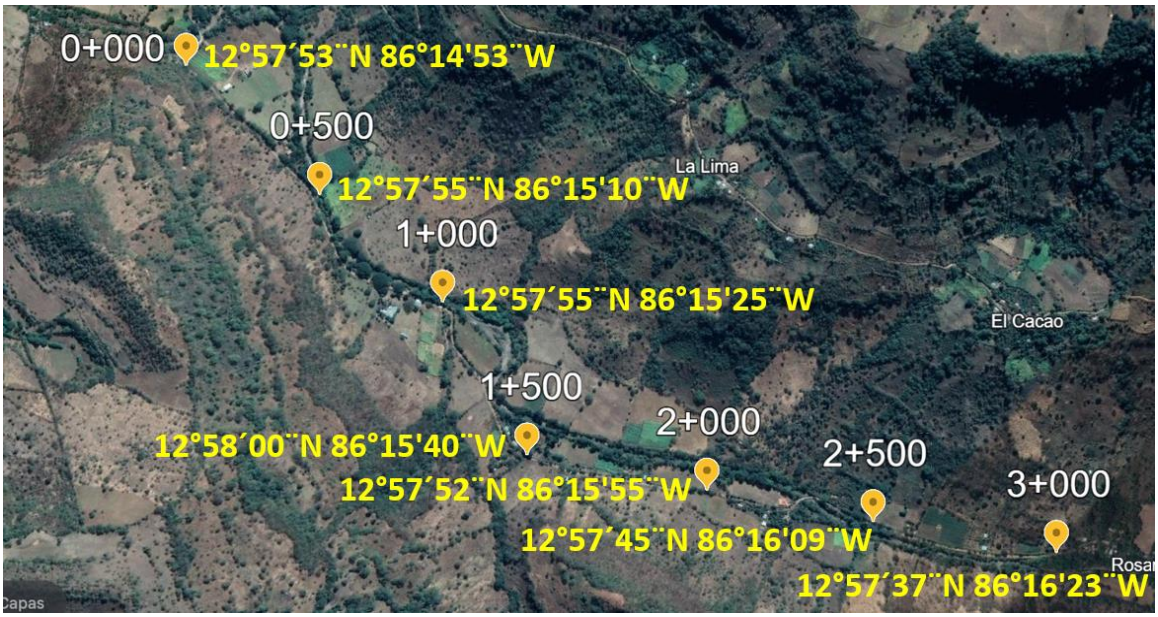
En la tabla 24, pág. 48 se presentan las estaciones de los sondeos manuales que se hicieron a lo largo del tramo por la banda izquierda y derecha.

Tabla 24 Referencia de sondeos manuales

Sondeo (Nº)	Referencia	Banda
Sm-1	0+000	Derecha
Sm-2	0+500	Izquierda
Sm-3	1+000	Derecha
Sm-4	1+500	Izquierda
Sm-5	2+000	Derecha
Sm-6	2+500	Izquierda
Sm-7	3+000	Derecha

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9 Estaciones de sondeos manuales



Fuente;https://earth.google.com/web/@12.95954233,-86.26274762,839.28515871a,3425.83646038d,35y,139.99595807h,0t,0r/data=OgMKATA

En la ilustración anterior se muestra gráficamente el tramo de 3km del Barrio Pedro Joaquín Chamorro hacia la comunidad El Rosario con las estaciones en donde se realizaron los sondeos manuales, cada una de ellas con su georreferenciación.

4.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales

Según Crespo Villalaz (2004), el análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

La clasificación es posible también mediante sistemas como AASTHO o SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o subbase de carreteras, etc.

De acuerdo al tamaño de partículas de suelo, se definen los siguientes términos.

Tabla 25 Clasificación de partículas según tamaño de suelos

Tipo de Material		Tamaño de las Partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Libro de Diseño de Pavimentos AASTHO 93, pág. 61

Se tomó como referencia lo establecido en la norma AASHTO analizando cada muestra de suelo de los sondeos, con los diferentes estratos encontrados, se aplicó el método mecánico para tamizar. En la tabla 26, pág. 50 se muestran los tamices utilizados con sus aberturas presentadas en Das (2015).

Tabla 26 Abertura de tamices

Tamiz	Abertura (mm)
2	76.2
1 1/2 “	38.1
1"	25.4
3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.525
N º 4	4.75
N º 10	2
N º 40	0.425
N º 200	0.075

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Das (2015), pág. 34

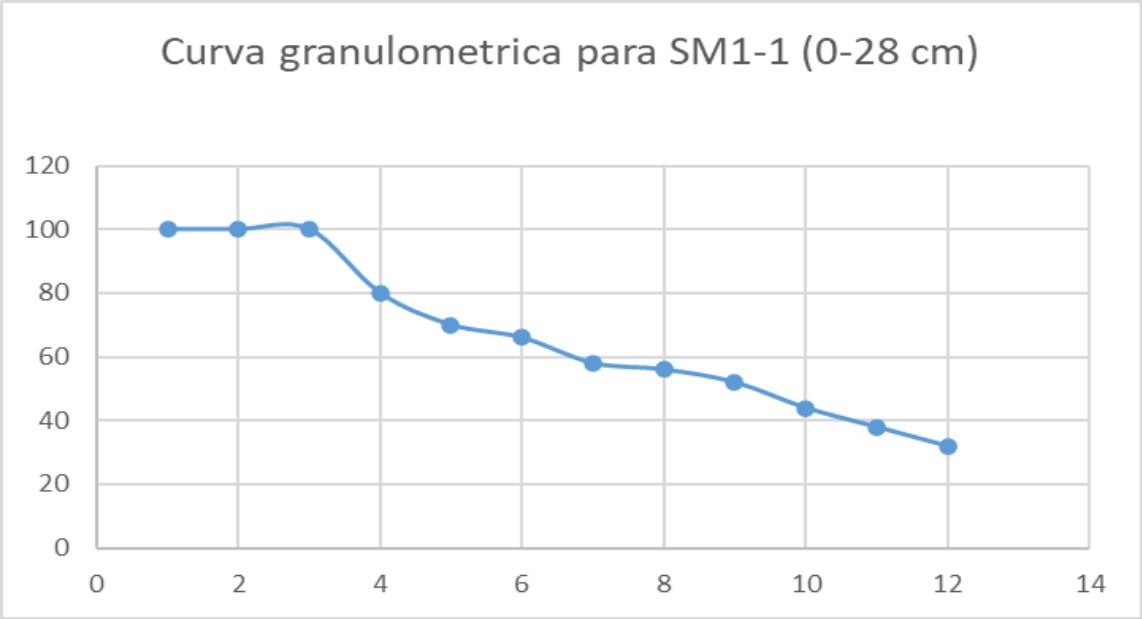
Una vez recolectadas las muestras, se realizó el análisis granulométrico para determinar su clasificación y la calidad del material. En la tabla 27, pág. 51 se muestran los resultados que se obtuvieron de la granulometría en cada sondeo manual realizado.

Tabla 27 Granulometría

			Granulometrías											
SM	No muestra	Prof.	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200
S1	1	0-28	100	100	100	80	70	66	58	56	52	44	38	32
	2	28-45	100	100	100	98	88	82	76	72	65	59	45	39
	3	45-70	100	100	100	100	100	100	98	97	73	53	38	35
	4	70-150	100	100	100	100	100	98	95	93	77	67	55	49
S2	1	0-20	100	100	100	89	78	64	55	50	41	34	23	15
	2	20-34	100	100	100	100	100	98	91	86	67	51	39	31
	3	34-58	100	100	100	100	100	100	98	94	84	71	61	53
	4	58-102	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	67	59
	5	102-110	100	100	100	100	100	100	100	100	96	86	70	62
	6	110-150	100	100	100	100	100	100	84	76	70	63	45	33
S3	1	0-20	100	100	100	79	71	66	59	56	52	49	39	32
	2	20-47	100	100	100	100	98	97	96	96	92	77	49	43
	3	47-75	100	100	100	100	100	96	93	91	86	81	53	47
	4	75-100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	80	73	68
	5	100-150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	71	66
S4	1	0-26	100	100	100	86	77	64	53	48	40	34	22	15
	2	26-58	100	100	100	100	100	96	93	90	82	72	57	53
	3	58-95	100	100	100	100	100	96	92	88	61	37	18	15
	4	95-115	100	100	100	100	100	98	94	89	74	55	45	41
	5	115-150	100	100	100	100	100	100	100	100	98	94	84	80
S5	1	0-20	100	100	100	63	46	40	34	30	25	22	15	10
	2	20-45	100	100	100	100	91	90	86	85	80	72	50	42
	3	45-100	100	100	100	100	91	90	86	85	80	72	50	42
	4	100-150	100	100	100	100	96	93	89	87	84	79	69	64
S6	1	0-45	100	100	100	70	54	47	36	32	26	22	16	11
	2	45-150	100	100	100	100	100	100	99	99	95	87	70	66
S7	1	0-20	100	100	100	67	59	51	45	41	32	23	12	6
	2	20-64	100	100	100	100	100	94	84	79	65	55	42	34
	3	64-150	100	100	100	100	89	76	67	57	49	43	39	35

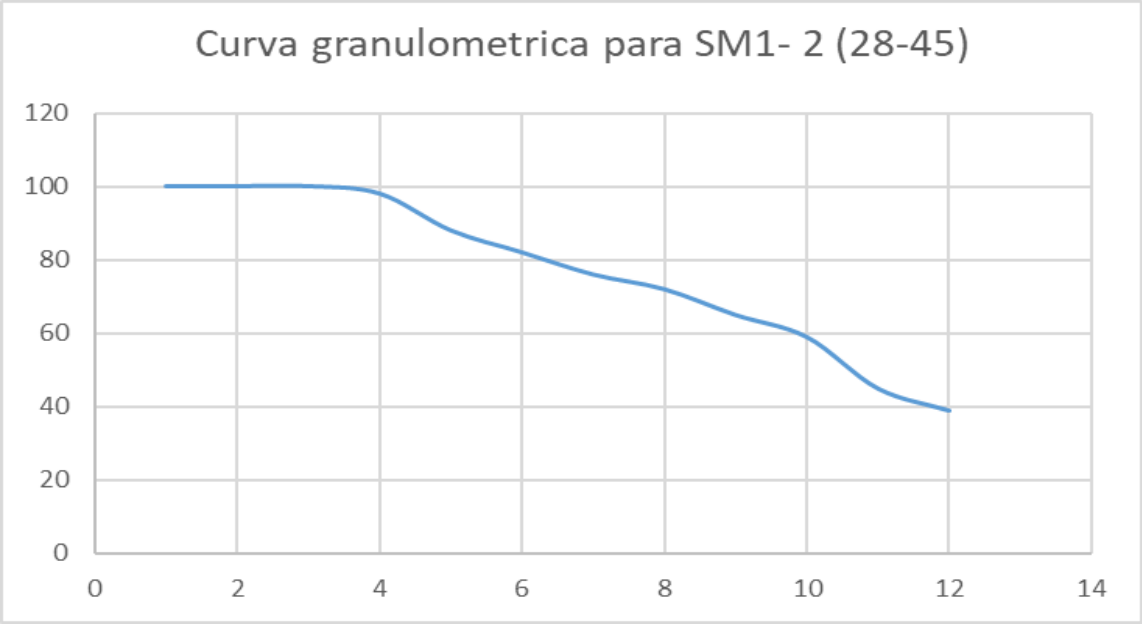
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5 Curva granulométrica del sonde manual 1, primer estrato



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6 Curva granulométrica del sondeo manual 1, segundo estrato



Fuente: Elaboración propia

Las demás curvas granulométricas de los sondeos manuales se muestran en anexos, pág. LIII-LXVI, Grafico 8 al 34.

4.4. Estados de consistencia

- **Limite liquido**

Es cuando se produce la transición en el punto de humedad del estado plástico al estado líquido. Para la prueba de limite liquido dada en ASTM es la Designación ASTM D-4318. Se realizan cuatro pruebas para el mismo suelo con un contenido variable de humedad para determinar el número de golpes N, que varía entre 15 y 35, necesario para lograr el cierre. (Das, 2015, pág. 65)

- **Limite plástico**

Se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado. Para la prueba se da en la norma ASTM, Designación ASTM D-4318. (Das, 2015, pág. 65)

- **Índice de plasticidad**

El Índice de Plasticidad (PL) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. (Das, 2015, pág. 65)

Los resultados del análisis de estados de consistencia de los suelos acorde a los ensayos de Límite líquido, límite plástico y el cálculo del índice de plasticidad, se muestra en la tabla 28, pág. 54.

Tabla 28 Estados de consistencia

			Limites		
Sondeo	**No de muestra**	**Ondeo**	**LL**	**LP**	**IP**
S1	1	0-28	49.82	43.92	5.9
	2	28-45	34.8	16.1	18.7
	3	45-70	32.3	23.8	8.5
	4	70-150	30.24	16.74	13.5
S2	1	0-20	39.77	26.07	13.7
	2	20-34	39.31	23.71	15.6
	3	34-58	34.5	20.8	13.7
	4	58-102	39.9	30.6	9.3
	5	102-110	64.8	47.5	17.3
	6	110-150	NP	NP	NP
S3	1	0-20	42.78	36.28	6.5
	2	20-47	32.56	18.16	14.4
	3	47-75	35.4	21.1	14.3
	4	75-100	44.91	27.41	17.5
	5	100-150	53.1	32.2	20.9
S4	1	0-26	NP	NP	NP
	2	26-58	37.3	21.8	15.5
	3	58-95	NP	NP	NP
	4	95-115	33.79	15.79	18
	5	115-150	57.6	40.3	17.3
S5	1	0-20	NP	NP	NP
	2	20-45	45.2	37.6	7.6
	3	45-100	45.19	37.59	7.6
	4	100-150	50.7	37.3	13.4
S6	1	0-45	NP	NP	NP
	2	45-150	47.3	34.8	12.5
S7	1	0-20	NP	NP	NP
	2	20-64	NP	NP	NP
	3	64-150	66.3	53.6	12.7

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Clasificación de suelos

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudios para el diseño de carreteras son la AASTHO y SUCS.

De acuerdo con el sistema de la AASHTO la clasificación de los suelos de los materiales que tienen un 35% o menos que pasan por un tamiz núm. 200. Estos suelos pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7. Si es más de 35% pasa a través de un tamiz núm. 200, los suelos son de material limoso o arcilloso. Estos suelos entran en los grupos A-4, A-6, A-6, A-7-5 y A-7-6. (Das, 2015, pág. 78)

En el sondeo manual inicial ubicado en la estación 0+000 se encontró 4 estratos, de acuerdo a S1 se obtuvo grava limosa con arena, a una profundidad de 0-28 cm según su clasificación por el método de la AASHTO como un suelo A-2-5 y por el sistema SUCS un GM (grava limosa). Su LL (limite liquido) de 49.82% y un IP (índice de plasticidad) del 5,9% este suelo es considerado no cohesivo por su poca plasticidad. En su segunda capa con profundidad de 28-45 se clasifica como grava arcillosa con arena con una clasificación de la AASHTO A-6 y según SUCS de GC (grava arcillosa) con limite liquido de 34.8% y índice de plasticidad de 18.7%. La tercera capa del primer sondeo es arena limosa con grava A-2-4 este contiene un 35% de material que pasa por el tamiz No 200 y con la norma SUCS clasificado como SM (arena limosa), el límite liquido 32.2% y índice de plasticidad 8,5% a una profundidad de 45-70. En su última capa de la estación 0+000 con su profundidad de 70-150 es clasificada con arena arcillosa con grava con su AASHTO de A-6 y su SUCS de SC (arena arcillosa) LL 30,24% IP 13,5%

En la estación SM2 0+500 se localizan 6 estratos, grava limosa con arena con profundidad 0-20 cm con límite liquido de 39,77% y índice de plasticidad de 13,7% según la ASSHTO su clasificación es A-2-6 y GM (grava limosa) en SUCS, arena arcillosa con grava, AASHTO igual que su primer estrato A-2-6 SUCS SC (arena arcillosa) LL 39,31% IP 15,6 % con su profundidad de 20-34 cm, tercer capa es

arcilla media plasticidad arenosa (altamente moldeable) profundidad de 34-58 cm clasificado AASHTO A-6 y SUCS de CL (arcilla inorgánica) LL 34,5 %y IP 13,7 %. Limo de baja plasticidad arenoso, ASSHTO A-4 (modo no plástico) SUCS de ML (baja compresibilidad) con profundidad de 58-102 cm, LL de 39,9% IP 9,3%.

Quinto estrato es lo contrario a nuestro cuarto estrato debido a que es limo de alta plasticidad arenosa eso nos indica un exceso de arcilla, AASHTO A-7-5 y SUCS MH (suelos limosos) LL de 64,4 % y LP 17,3% con su profundidad 102-110, Ultimo estrato es arena limosa con grava (cantera) (suelo no cohesivo) con 110-150 de profundidad su LL y IP son NP esto determina que el límite de plástico y el índice de plasticidad se despliega como NP (no plástico) su ASSHTO es A-2-4 y SUCS SM (arena limosa)

SM-3 1+000 esta estación posee 5 estratos, siendo el primero con una clasificación de AASHTO A-2-5 (suelo granulado) y SUCS de GM (grava limosa) con una profundidad inicial de 0-20 con su LL de 42,78% y IP 6,5% siendo su suelo tipo grava limo arenoso (suelos fáciles del trabajarlos). Arena arcillosa con grava es nuestro segundo tipo de suelo en ese estrato, siendo su AASHTO A-6 (suelo arcilloso plástico) LL 32,56%, IP 14,4 % y su profundidad de 20-47 cm con un SUCS de SC. El tercer estrato tiene la misma clasificación de AASHTO que el segundo A-6 (arena arcillosa con grava) poseen el mismo SUCS (SC) LL de 35,4% LP 14,3 % con su profundidad de 47-75. Cuarto estrato tiene un tipo de suelo limo baja plasticidad arenosa con su profundidad de 75-100 y su LL (limite liquido) 44,91% y IP (índice plasticidad) 17,5% con AASHTO A-7-6 y SUCS ML (limos inorgánicos). Limo alta plasticidad arenoso es el último estrato de la estación 1+000 clasificación del método AASHTO A-7-5 estos poseen un índice de plasticidad moderado en su relación con el límite líquido, SUCS MH (limos inorgánicos), LL de 53,1% y LP 20,9% 100-150 su profundidad.

En la estación Sm-4 1+500 abarca 5 estratos con la profundidad de 0-26 m, siendo el primero de estos es grava limosa con una clasificación de la AASHTO A-1-a (material de grano grueso) y su SUCS de GM (grava limosa) el LL y IP son NP

esto nos indica que no se puede determinar estos índices (no plástico). Arcilla media plasticidad arenosa es la segunda capa, AASHTO de A-6 y SUCS de CL (arcillas inorgánicas) 26-58 cm de profundidad, LL 37,3 % y IP 15,5%

Arena limosa con grava tercer capa de suelo, método ASSHTO A.-1-a y SUCS de SM (arena limosa) LL y IP son NP (índice no plástico) y 58-95 cm de profundidad. Arena arcillosa con grava cuarto estrato con AASHTO de A-6 y SUCS de SC (arena arcillosa) LL de 33,79% y IP 18% con su profundidad de 95-115 cm. Su última capa en esta estación limo alta plasticidad arenoso con AASHTO de A-7-5 y por el método SUCS de MH (limos inorgánicos) con sus límites de LL 57,6% y IP 17,3% con su profundidad final de 115-150 cm.

En nuestra siguiente estación Sm-5 2+000 se encuentran 4 tipos de estratos, con un suelo inicial de grava mal graduada con limo, esto nos indica que hay algún tamaño de partícula predominante, según el método AASHTO A-1-a y por el SUCS dos tipos GP (grava mal gradada), GM (grava arcillosa) y con su límites de LL y IP NP (no se pueden determinar), siendo su profundidad de inicio 0-20 cm. Arena limosa con grava segundo estrato de esta estación con profundidad de 20-45 cm, AASHTO de A-5 y SUCS de SM (arena limosa) LL 45,2 % IP 7,6%, en el tercero se encuentra el mismo tipo de suelo que el anterior siendo este arena limosa con grava contiene los mismos métodos de AASHTO y SUCS, LL de 45,19% IP 7,6% profundidad de 45-100cm. Y como último suelo de esta estación se localiza limo de alta plasticidad arenoso, clasificación de AASHTO A-7-5 y MH (limos inorgánicos) y sus límites LL 50,7 % IP 13,4% y con última profundidad de 100-150 cm.

Sexta estación SM-6 2+500 se localizan 2 estratos el primero con una profundidad de 0-45 grava mal graduado con limo, y un segundo con 45-150 de profundidad limo baja plasticidad arenosa, para el primero una clasificación de AASHTO A-1-a y SUCS dos tipos como lo son GP (grava mal gradada) GM (grava limosa) con LL e IP de NP (no plástico) y para el segundo un AASHTO A-7-5 y SUCS de ML (limos inorgánicos) con sus LL de 47,3% IP 12,5%

Última estación SM-7 3+000 se encuentran un total de tres estratos el primero de ellos con un suelo de grava mal graduada con limo y arena de profundidad inicial 0-20 cm, AASHTO de A-1-a y dos clasificaciones según el método de SUCS GP-GM, no contiene LL e IP. Grava limosa con arena AASHTO A-2-4 y SUCS de GM (grava limosa), con profundidad de 20-64cm con LL, IP NP (no plástico), y como último estrato de nuestro sondeo manual, se obtuvo un suelo de grava limosa AASHTO A-2-7, SUCS igual al tercer tipo de suelo GM, sus limite LL 66,3% y IP 12,7%, y la última profundidad de 64-150 cm.

Se puede considerar que en la actualidad alguno de los métodos más utilizados para la clasificación de los suelos en los diseños de pavimento de carreteras son los de la normativa AASHTO y SUCS. En la tabla 29, pág. 59 se presentan propiedades de los suelos estudiados, de acuerdo a los resultados obtenidos de la granulometría.

Tabla 29 Clasificación de suelos

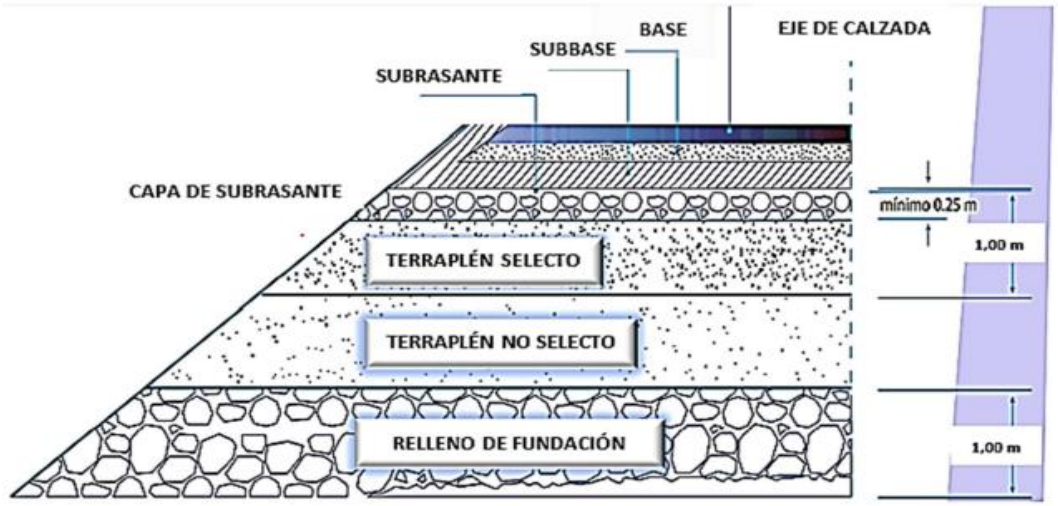
Sondeo	No de muestra	Profundidad	AASHTO	SUCS
S1	1	0-28	A-2-5	GM
	2	28-45	A-6	GC
	3	45-70	A-2-4	SM
	4	70-150	A-6	SC
S2	1	0-20	A-2-6	GM
	2	20-34	A-2-6	SC
	3	34-58	A-6	CL
	4	58-102	A-4	ML
	5	102-110	A-7-5	MH
	6	110-150	A-2-4	SM
S3	1	0-20	A-2-5	GM
	2	20-47	A-6	SC
	3	47-75	A-6	SC
	4	75-100	A-7-6	ML
	5	100-150	A-7-5	MH
S4	1	0-26	A-1-a	GM
	2	26-58	A-6	CL
	3	58-95	A-1-a	SM
	4	95-115	A-6	SC
	5	115-150	A-7-5	MH
S5	1	0-20	A-1-a	GP-GM
	2	20-45	A-5	SM
	3	45-100	A-5	SM
	4	100-150	A-7-5	MH
S6	1	0-45	A-1-a	GP-GM
	2	45-150	A-7-5	ML
S7	1	0-20	A-1-a	GP-GM
	2	20-64	A-2-4	GM
	3	64-150	A-2-7	GM

Fuente: Elaboración propia

4.6. Estratigrafía de los suelos

Con base a la estratigrafía se define la subrasante de la carretera, es necesario considerar también lo establecido por la norma NIC – 2019, la cual establece que el mínimo necesario es de 25 cm, ver ilustración 10, pág. 60.

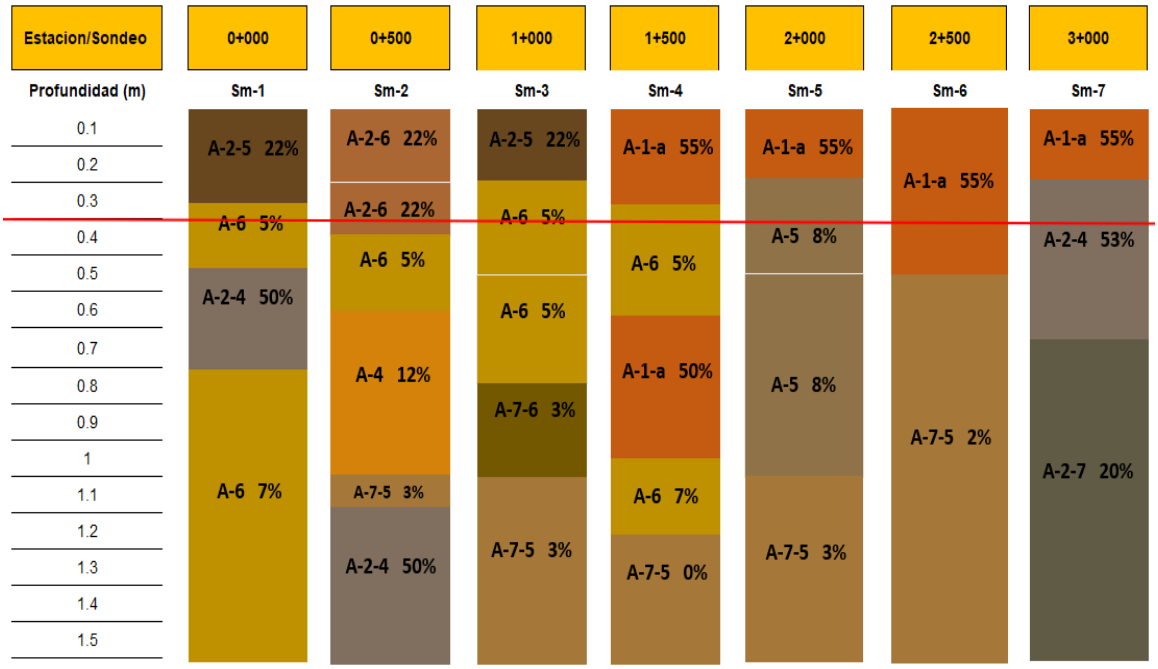
Ilustración 10 Espesores mínimos de la estructura de pavimento



Fuente: NIC-2019, pág. 823

El siguiente grafico estratigráfico muestra los diferentes tipos de suelos encontrados en el tramo en estudio cada uno de ellos con su CBR, donde se definió la línea de la sub rasante o de corte a 0.3m de profundidad, siendo el mínimo permitido de 0.25m de acuerdo a lo establecido en la norma NIC-2019.

Ilustración 11 Columnas estratigráficas del suelo



Fuente: Elaboración propia

4.7. CBR

Es un ensayo pistón que se encarga de medir la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón, de área de una muestra de suelo. La fuerza necesaria para que el penetre dentro de suelo se mide a determinados intervalos de penetración. (SIECA, 2002, pág. 75)

La definición del CBR es:

$$CBR = \frac{Fuerza\ necesaria\ para\ producir\ una\ penetración\ de\ 2.5\ mm\ en\ el\ suelo}{Fuerza\ necesaria\ para\ producir\ penetración\ de\ 2.5\ mm\ en\ la\ muestra\ del\ patrón}$$

Ecuación 8 Tomada de *(SIECA, 2002)*

En la tabla 30, pág. 62 se muestran los resultados obtenidos de CBR de cada muestra analizada.

Tabla 30 CBR

Sondeo	No de muestra	Profundidad	Clasificación	CBR
S1	1	0-28	A-2-5	22.00%
	2	28-45	A-6	5%
	3	45-70	A-2-4	50%
	4	70-150	A-6	7%
S2	1	0-20	A-2-6	22%
	2	20-34	A-2-6	22%
	3	34-58	A-6	5%
	4	58-102	A-4	12%
	5	102-110	A-7-5	3%
	6	110-150	A-2-4	50%
S3	1	0-20	A-2-5	22%
	2	20-47	A-6	5%
	3	47-75	A-6	5%
	4	75-100	A-7-6	3%
	5	100-150	A-7-5	3%
S4	1	0-26	A-1-a	55%
	2	26-58	A-6	5%
	3	58-95	A-1-a	50%
	4	95-115	A-6	7%
	5	115-150	A-7-5	0%
S5	1	0-20	A-1-a	55%
	2	20-45	A-5	8%
	3	45-100	A-5	8%
	4	100-150	A-7-5	3%
S6	1	0-45	A-1-a	55%
	2	45-150	A-7-5	2%
S7	1	0-20	A-1-a	55%
	2	20-64	A-2-4	53%
	3	64-150	A-2-7	20%

Fuente: Elaboración propia

4.8. Resultados del estudio de suelos del banco de material

Para este estudio se localizó un banco de materiales en la comunidad el Guasimal a 4 km del tramo en estudio, este banco tiene un suelo A-1-b, es decir es un suelo arenoso con arcilla y limo, de color café, de acuerdo a la clasificación de AASHTO. Según los resultados obtenidos en la granulometría el banco no cuenta con índice de plasticidad. El valor de CBR compactado de este banco es de 95%, la densidad seca es de 1820 kg/m3 máxima, su humedad óptima es del 18.5%, como se ve reflejado en la tabla 33, pág. 65.

Ilustración 12 Ubicación del banco de materiales "El Guasimal"

Fuente:https://earth.google.com/web/@12.9566487,-86.22246255,614.73818992a,707.58809646d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA

Tabla 31 Resultado de pruebas de CBR del banco de materiales

Muestra No	Sitio de muestreo	Descripcion Visual del Material	Compactacion Modificada	Valor Soporte CBR%	PVSS Kg/m3
1	Barrio Pedro Joaquin Chamorro, comunidad El Rosario, La Trinidad Esteli.	Arena con arcilla y limo color café	90%	22.3	0.0
			95%	31.2	0.0
			100%	53.4	0.0
Especificacion Subbase NIC 2019			95%	20 min	_
Especificacion Subbase NIC 2020			95%	40 min	_

Fuente: Elaboración propia

4.9. Análisis del banco de materiales

Según las especificaciones de la NIC 2019 de calidad de los materiales, el banco de materiales seleccionado presenta los requerimientos de graduación para los materiales de súbase y base. El material analizado cumple con la graduación especificada para Súbase, cumple con la graduación para material de Base solo se excede en los finos por mallas N°200, N°40, N°4 Y 3/8". Los resultados se presentan en la tabla 32.

Tabla 32 Evaluación de banco de materiales

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	25%	Cumple
Índice de Plasticidad		AASTHO T 90	6 máx.	5%	Cumple
CBR	**Base**	AASTHO T 190	80% mín.	95%	Cumple
	Súbase		30% mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Estudios de suelos banco de materiales

PVSS	Densidad Máxima	Humedad óptica	CBR	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA POR MALLA									L.L	I.P	SUCS	AASHTO
Kg/m3	Kg/m3	%	100%	#200 0.075 mm	#40 0.425 mm	#10 2 mm	#4 4.7 mm	3/8" 9.5 mm	1/2" 12.5 mm	1" 25 mm	1 1/2" 37 mm	2" 50 mm	(%)	(%)		
1453	1820	18.5	95	12	27	56	67	79	80	92	98	100		NP	SP - SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia

4.10. CBR de diseño

El valor del CBR es a una profundidad de subrasante de 0.30 metros debido a que el valor mínimo permitido por la norma NIC 2019 es de 0.25m (ver ilustración 10, pág. 60) los valores deberán cumplir con la norma NIC 2019, los cuales se muestran en la tabla 34.

Tabla 34 Especificaciones de terraplén y subrasante

Ensayo	Norma	Terraplén	Subrasante
		Valor requerido	Valor requerido
Límite Líquido	AASHTO T 89	40 máx.	30 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	25 máx.	10 máx.
CBR al 95% Proctor Modificado	AASHTO T 190	5% mín.	15% mín.

Fuente: NIC 2019

Para determinar el CBR de diseño se necesita seguir los siguientes pasos:

1. Examinar los valores que se encuentran por debajo de la línea de la subrasante para así, emplearlos en el diseño del CBR.
2. Ordenar los valores de manera ascendente, determinando la continuidad de cada uno de ellos. Así mismo, el porcentaje de valores que sean iguales o mayores a cada uno de ellos.
3. Por último, se realiza un gráfico que simboliza los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determinara el CBR con el percentil que sea correspondiente, dependiendo del numero de ejes equivalentes en el carril de diseño.

4.10.1. Identificación de la subrasante

La subrasante es a una profundidad de 0.30 m en todos los sondeos. Se encontraron diferentes tipos de suelos en los sondeos manuales realizados en el tramo, tipo A-6, A-5, A-2-6, A-2-4, A-1-a, los cuales están clasificados como Grava

arcillosa con arena, Arena limosa con grava, Grava limosa con arena, Grava mal graduada con limo, estos según la AASTHO no son aptos para utilizar en la subrasante.

Uno de los criterios más conocidos para poder determinar el valor de resistencia de diseño es el propuesto por el instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor de percentil de acuerdo con el tránsito de diseño que se espera que circule sobre el pavimento como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35 Percentil de diseño para subrasante

Nivel de Tránsito	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60
Entre 10000 y 1000000 ESAL	**75**
> de 1000000 ESAL	87.5

Fuente: Asphalt Institute´s Thickness Design Manual (MS-1) 1991

Los valores de CBR acumulados, se utilizaron para encontrar el valor de CBR de diseño de la subrasante del tramo en estudio conforme al tipo de suelo que se encuentra.

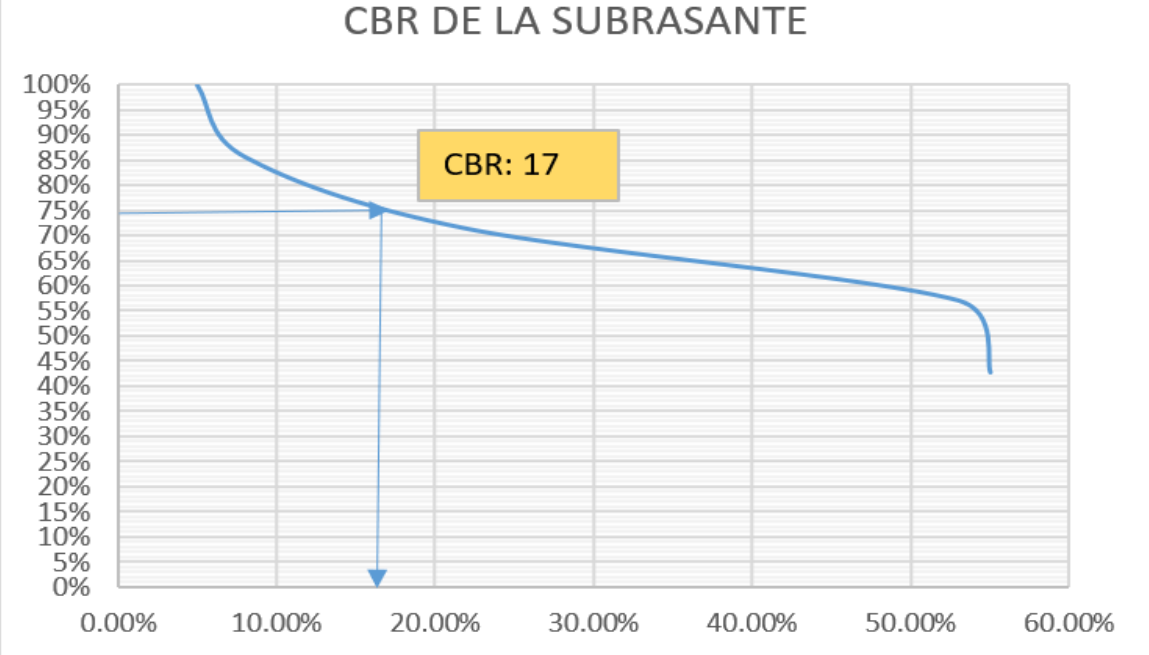
Conociendo el ESAL de diseño, de acuerdo a la tabla 35, tomando en cuenta el percentil de 75% de los valores mayores o iguales, el CBR del tramo y haciendo una intercepción, se encuentra el CBR de diseño de la subrasante del 17%, mostrado en el gráfico 7, pág. 68.

Tabla 36 Selección de CBR de diseño de la subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	Cantidades mayores o iguales	%
A-6	5.00%	3	7	100%
A-5	8.00%	1	6	86%
A-2-6	22.00%	1	5	71%
A-2-4 (0)	53.00%	1	4	57%
A-1-a	55.00%	1	3	43%
Sumatoria		7		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7 CBR de la subrasante



Fuente: Elaboración propia

El CBR obtenido de 17% este cumple con el mínimo establecido en la norma NIC 2019 que de acuerdo a la tabla 34, pág. 66. El valor mínimo es de 15%.

CAPITULO V: DISEÑO GEOMETRICO

5.1. Generalidades

Es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal. (Cárdenas Grisales, 2013, pág. 37)

Se abordará el diseño geométrico del tramo en estudio. Las normas utilizadas fueron las plasmadas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2011). Para poder determinar las características del alineamiento horizontal, vertical y sección transversal es necesario evaluar el tránsito y la topografía de la zona y así establecer los parámetros técnicos que definirán las normas de diseño geométrico final.

5.2. Metodología

Haciendo uso de civil 3D se procesarán los datos del estudio topográficos previamente facilitados por la Alcaldía de la Trinidad, para trazar el alineamiento horizontal y vertical proponiendo las pendientes de acuerdo a lo especificado en las normas.

Luego, se crearán las secciones transversales de la vía y se describirán los elementos que la componen. Así mismo se propondrá un bombeo de acuerdo a las especificaciones establecidas. Se generarán planos de Planta – Perfil y Secciones transversales, haciendo uso de Civil 3D.

5.3. Tipo de terreno

La topografía del terreno atravesado tiene influencia en el alineamiento de las calles y carreteras. Para caracterizar sus variaciones, generalmente se clasifican en tres tipos de acuerdo con la pendiente del terreno. (SIECA, 2011, pág. 116)

De acuerdo a las pendientes extraídas del tramo desde el programa civil 3D se logró observar que las pendientes son inferiores al 5% y por eso se considera un terreno plano.

5.4. Clasificación de la carretera

El TPDA obtenido en el estudio de tránsito del tramo es de 371 Veh/día, con este dato se define que la vía se clasifica como una colectora rural según lo establecido en la norma de la tabla 37. Aunque este volumen es inferior al rango que se encuentra entre 500 y 3000 vehículos por día este es el que se debe utilizar porque es al que más se asemeja.

Tabla 37 Clasificación de las carreteras

Función	Clase de carretera	Nom.	TPD	No 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 Urbano	CMU	10,000-20,000	4-6
Colector Menor	**Colector Menor Rural**	**CR**	**500-3,000**	**2**
	Colector Menor Urbano	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, SIECA (2011), pág. 33

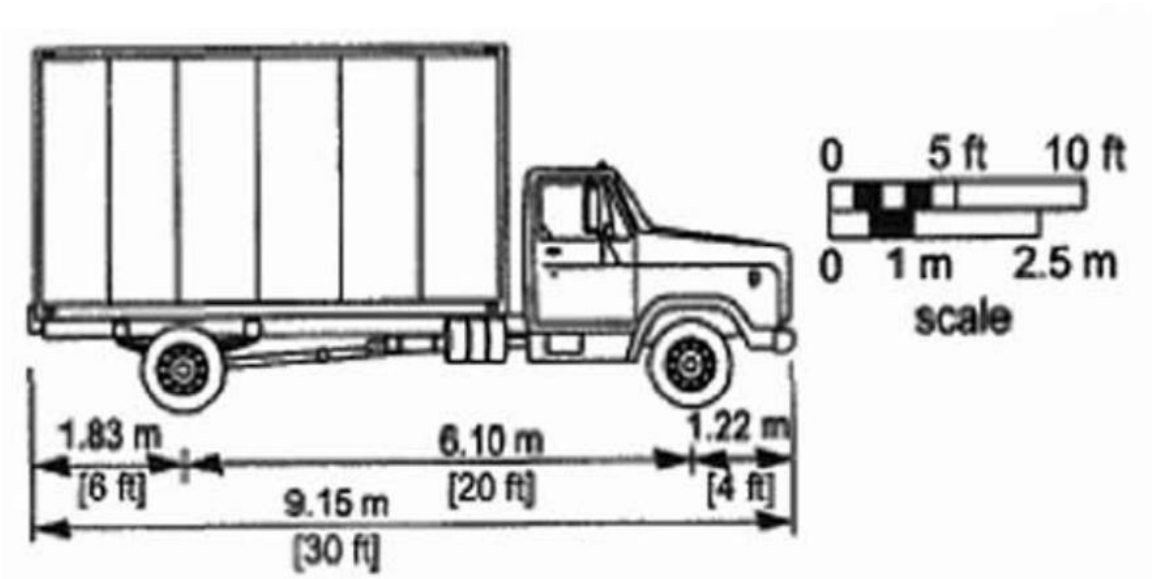
5.5. Vehículo de diseño

Cada vehículo tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría 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 se les debe ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones. (SIECA, 2011, pág. 37)

Se selecciono un C2 o SU (Single Unit Truck), como vehículo de diseño ya que este es el más pesado que transita por el tramo en estudio. En la tabla 38, pág. 73 se muestran las características del vehículo según la AASHTO.

Ilustración 13 Vehículo de diseño (SU)



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011).

Tabla 38 Dimensiones de los vehículos de diseño

Descripción	P	Bus	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3	4.1	**4.1**	4.1	4.1	4.1
Ancho	2.1	2.6	**2.6**	2.6	2.6	2.6
Longitud	5.8	12.1	**9.1 (9.2)**	16.7 (16.8)	21	22.5
Voladizo delantero	0.9	2.1	**1.2**	0.9	1.2	1.2
Voladizo trasero	1.5	2.4	**1.8**	0.6	0.9	0.9
Distancia entre ejes extremos WB1	3.4	7.6	**6.1**	6.1	6.1	6.1
Distancia entre ejes extremos WB2				9.1	12.8	14.3

Fuente: Propia

5.6. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño (también conocida como Velocidad Directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe de ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. (SIECA, 2011)

Según las características de tramo y la tabla 39, pág. 74 tomada como referencia de la sieca 2004 se considera que es una colectora rural con un terreno plano con pendientes menores al 5% y un TPDA de 371 Veh/día. Con estos datos es posible seleccionar cual será la velocidad de diseño requerida, según se indica en la SIECA la velocidad debería de ser de 30 a 80km/h, pero se usará una de 40km/h para que el diseño se adapte a la topografía existente y así tener una carretera más segura. No hay espirales de transición en el diseño debido a que los radios de curvas horizontales son mayores al radio máximo para uso de espirales(95m).

La siguiente tabla muestra las velocidades de diseño según los volúmenes de tránsito diario con respecto al tipo de terreno.

Tabla 39 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

N°	Descripcion	Autopistas regionales	Troncales		Colectoras	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75
3	FPH	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
4	Vehiculo 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 (kph)	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	No de carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de carril (m)	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3-3.6	3.3
9	Ancho de hombros/espaldones(m)	Int 1 - 1-5 Ext. 1.8-2.5	Int 1 - 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	Dist. de visibilidad de parada (m)	110-245	110-170	85-140	55-110	65-110
12	Dist. De visibilidad de adeantamiento (m)	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480
13	Radio min. Curva, peralte 6% (m)	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Maximo 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 max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sbreelevacion, 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	Variable	Variable
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 via, 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 Total	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACION FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004)

5.7. Elementos de la sección transversal

5.7.1. Calzada

“Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales”. (SIECA, 2002, pág. 16)

5.7.2. Ancho de Calzada

Es el ancho de la superficie sobre la cual circula un cierto tránsito vehicular, permitiendo el desplazamiento cómodo y seguro del mismo. Divididas o no, las carreteras pueden estar formadas por dos o más carriles de circulación por sentido. Excepcionalmente pueden ser de un solo carril para la circulación en ambos sentidos, con bahías o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la carretera, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos. (SIECA, 2011, pág. 40)

5.7.3. Carril

El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de calzada la sumatoria del ancho de los carriles

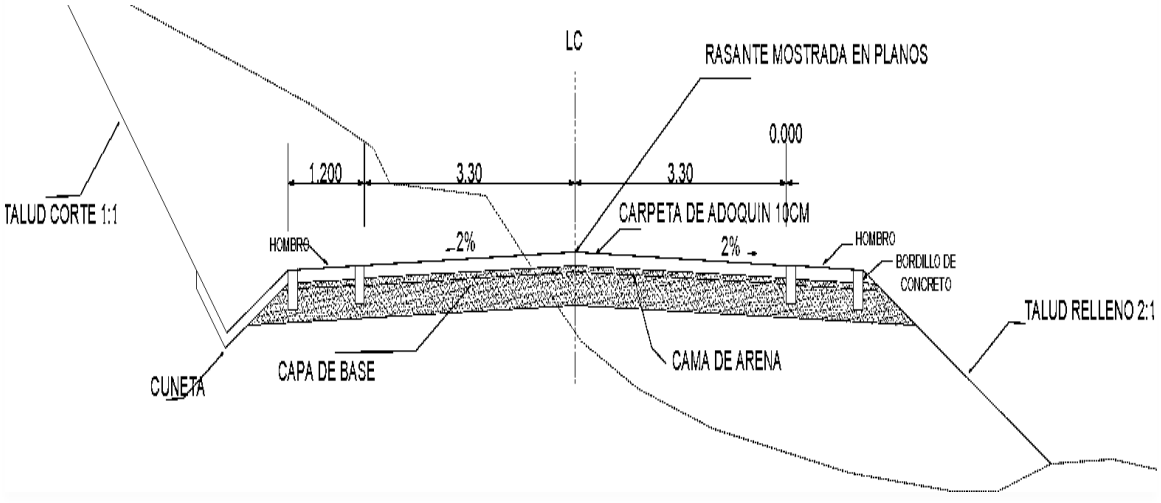
En base a la tabla 39, pág. 74 el ancho de carril recomendado para una vía colectora rural debe de ser de 3.30m, y el número de carriles establecido es de 2.

5.7.4. Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones, son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación. (SIECA, 2011)

En la tabla 39, pág. 74 se indica que una carretera denominada colectora rural debe de contar con hombros que midan de 1.2 a 1.5m de ancho. En este caso se utilizó el de 1.20m.

Ilustración 14 Sección transversal del tramo



Fuente: Elaboración propia

5.8. Alineamiento horizontal

El diseño de carreteras, está orientado a la realización de diseños seguros y económicos, por lo que uno de los casos principales para lograr dicha meta, es adaptar curvas amplias, para que estas se adapten a la topografía del terreno, haciendo menos usual el uso de rectas, reduciendo costos.

5.8.1. Longitudes en rectas

La tendencia actual en el diseño de carreteras se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja en sentido opuesto, y porque la monotonía de la conducción disminuye la concentración del conductor, lo que en oportunidades es motivo de accidentes. (SIECA, 2011)

$$Lr = 20 * V$$ Ecuación 9 Tomada de *(SIECA, 2011)*

En donde:

Lr: Longitud de la recta, m

V: Velocidad de diseño, KPH

Siguiendo la ecuación anterior con la velocidad de diseño del tramo, se recomienda evitar longitudes en rectas superiores a:

$$Lr = 20 * 40\text{km/h}$$

$$Lr = 800\text{m}$$

5.8.2. Peralte

“Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento.” (SIECA, 2011, pág. 139)

Unas de las condiciones para elegir las tasas máximas de peralte son: la condición del terreno y el tipo de zona, debido a estos factores plasmados en la tabla 40 se considera que la tasa de sobreelevación es de 8.

Tabla 40 Tasa de peralte (e)

Tasa de sobreelevación	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 (2004)}

5.8.3. Radio mínimo

“El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño”. (SIECA, 2011)

$$Rmin = \frac{V^2}{127(emax+fmax)}$$ Ecuación 10 Tomada de *(SIECA, 2011)*

Donde:

Rmín. = Radio mínimo de la curva, m

emáx. = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

V= Velocidad de diseño, KPH

fmáx. = Factor de fricción lateral

En anexos, tabla 105, pág. LXXIII se muestra el radio de curvatura recomendado de acuerdo a la velocidad de diseño y al peralte seleccionado, obteniéndose un valor de 41m.

El cálculo se demuestra en el siguiente ejemplo

$$Rmin = \frac{(40)^2}{127(0.08 + 0.23)}$$

$$Rmin = 40.640$$

5.8.4. Grado de curvatura

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. (SIECA, 2011)

A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión

$$D20 = \frac{1145.9156}{R}$$ Ecuación 11 Tomada de *(SIECA, 2011)*

Donde:

D20: Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curvatura, para un arco de 20m.

R: Radio de curvatura, m

El grado de curvatura del tramo se calcula de la siguiente manera

$$D20 = \frac{1145.9156}{41} \qquad D20 = 27°57'$$

5.8.5. Bombeo normal

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

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos

En la tabla 41 se muestran los rangos recomendados según el tipo de rodadura. El valor a utilizar en este caso es el de 2 ya que la superficie se clasifica como tipo alta.

Tabla 41 Valores de bombeo normal

Tipo de superficie	Rango de pendiente trasversal
Alto	**1.5-2.0**
Bajo	2.0-6.0

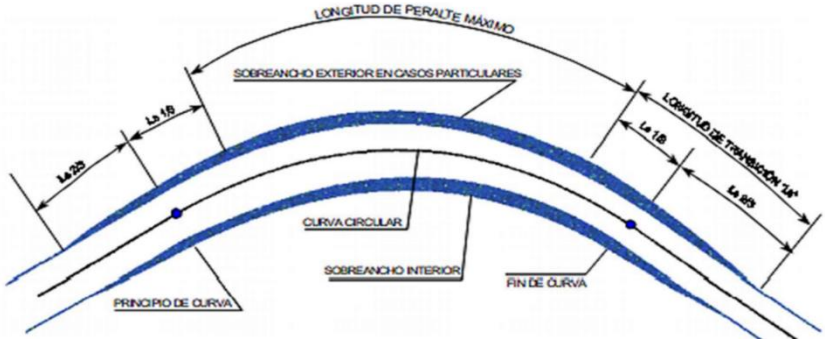
Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), pág. 139

5.8.6. Sobreancho en curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos 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 carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (SIECA, 2011)

Ilustración 15 sobreancho en curvas



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004).

El valor seleccionado en anexos, Tablas 106-107, pág. LXXIV-LXXV corresponde al sobreancho de las curvas de acuerdo al radio de curvatura calculado y la velocidad de diseño en el tramo, corresponde a 2.5 m.

5.8.7. Curvas circulares simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares. (Cárdenas Grisales, 2013)

Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple

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.

R: Radio de la curva circular simple.

T: Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

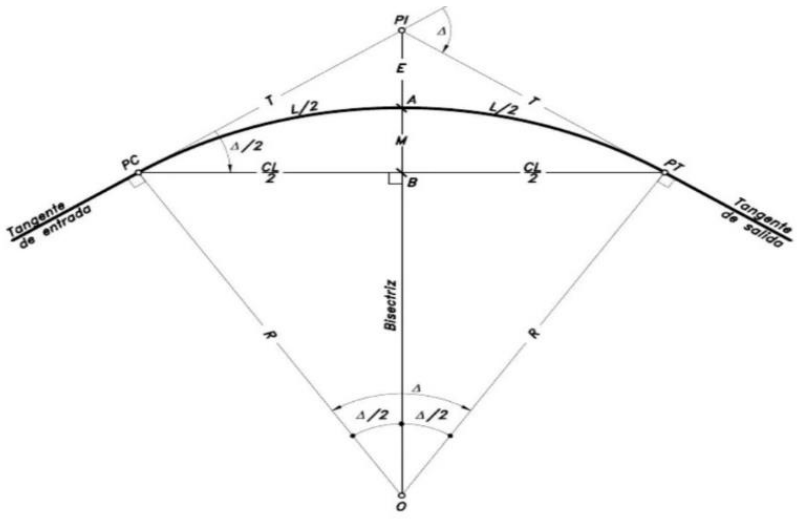
L: Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

CL: Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.

E: Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M: Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

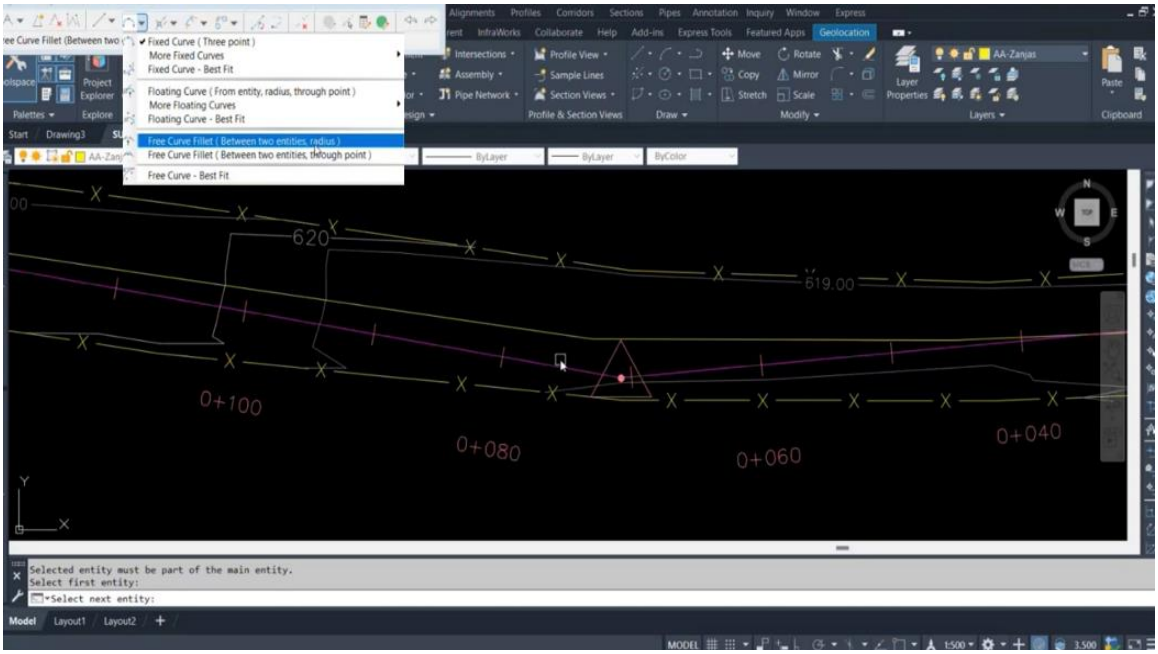
Ilustración 16 Elementos geométricos de la curva circular simple



Fuente: Diseño geométrico de carreteras, cárdenas Grisales,2013

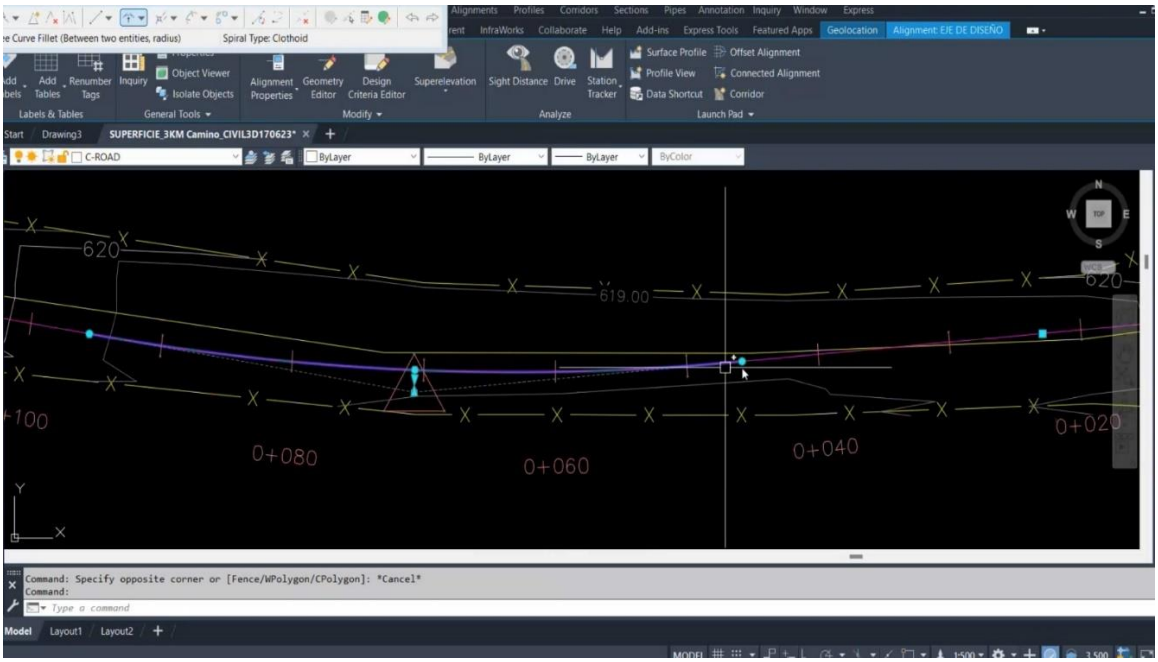
En la ilustración 17 y 18, pág. 82 se muestra el proceso de creación de curvas horizontales haciendo uso del software civil 3D

Ilustración 18 Creación de curvas horizontales en civil 3D



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17 Curva horizontal simple



Fuente: Elaboración propia

Los elementos geométricos de las curvas horizontales de todo el tramo del Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario se encuentran en la tabla 42, pág. 83.

Tabla 42 Elementos geométricos de las curvas horizontales del tramo

N de curvas	Direccion	Deflexion	Radio	Tangente	L	LC	E	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
C1	S86° 16' 35"W	12°25'35"	250.000m	27.217m	54.221m	54.114m	1.477m	0+042.70m	0+069.92m	0+096.92m	1433373.0560m	581452.4843m
C2	N81° 17' 50"W	8°03'35"	400.000m	28.180m	56.266m	56.220m	0.991m	0+174.63m	0+202.81m	0+230.89m	1433393.1958m	581320.9145m
C3	N89° 21' 24"W	8°36'51"	220.000m	16.569m	33.076m	33.045m	0.623m	0+261.09m	0+277.66m	0+294.16m	1433394.0372m	581245.9750m
C4	N80° 44' 33"W	5°05'27"	807.791m	35.910m	71.772m	71.749m	0.798m	0+342.23m	0+378.14m	0+414.00m	1433410.2112m	581146.7436m
C5	N85° 50' 00"W	21°49'55"	220.000m	42.429m	83.829m	83.323m	4.054m	0+439.20m	0+481.63m	0+523.03m	1433417.7342m	581043.4773m
C6	N64° 00' 05"W	46°58'44"	140.000m	60.843m	114.791m	111.602m	12.649m	0+662.959m	0+723.80m	0+777.750m	1433524.3417m	580824.8862m
C7	S69° 01' 12"W	9°44'39"	150.000m	12.127m	24.201m	24.175m	0.489m	0+924.467m	0+936.594m	0+948.668m	1433445.68m	580619.76m
C8	S78° 15' 51"W	61°46'42"	96.000m	57.430m	103.511m	98.569m	15.877m	0+986.020m	1+043.451m	1+089.531m	1433435.62m	580571.32m
C9	N39° 57' 27"W	42°24'30"	100.000m	38.796m	74.017m	72.339m	7.262m	1+090.666m	1+129.462m	1+164.682m	1433498.57m	580452.56m
C10	N82° 21' 58"W	22°10'44"	150.000m	29.400m	58.064m	57.702m	2.854m	1+217.178m	1+246.578m	1+275.242m	1433514.60m	580332.94m
C11	N60° 11' 14"W	52°31'19"	110.000m	54.272m	100.835m	97.341m	12.660m	1+388.664m	1+442.936m	1+489.499m	1433612.59m	580161.93m
C12	S67° 17' 27"W	2°20'24"	500.000m	10.212m	20.421m	20.420m	0.104m	1+547.768m	1+557.980m	1+568.189m	1433569.14m	580058.11m
C13	S69° 37' 51"W	13°16'29"	300.000m	34.910m	69.506m	69.351m	2.024m	1+613.410m	1+648.319m	1+682.916m	1433545.91m	579996.76
C14	S56° 21' 22"W	5°14'30"	380.000m	17.394m	34.763m	34.751m	0.398m	1+743.800m	1+761.193m	1+778.563m	1433471.05m	579869.67m
C15	S61° 35' 52"W	8°11'20"	380.000m	27.202m	54.312m	54.265m	0.972m	1+879.773m	1+906.976m	1+934.085m	1433401.69m	579741.52m
C16	S53° 24' 31"W	11°34'32"	420.000m	42.572m	84.854m	84.710m	2.152m	1+964.262m	2+006.834m	2+049.116m	1433342.11m	579661.27m
C17	S64° 59' 03"W	42°10'34"	100.000m	38.573m	73.611m	71.961m	7.178m	2+163.556m	2+202.118m	2+237.166m	1433259.41m	579484.04m
C18	S22° 48' 29"W	29°30'23"	100.000m	26.334m	51.499m	50.931m	3.409m	2+240.789m	2+267.123m	2+292.297m	1433196.25m	579457.48m
C19	S52° 18' 52"W	24°04'44"	100.000m	21.328m	42.026m	41.717m	2.249m	2+310.566m	2+331.893m	2+352.591	1433155.94m	579405.29m
C20	S76° 23' 37"W	12°34'13"	800.000m	88.112m	175.516m	175.165m	4.838m	2+409.406m	2+497.518m	2+584.922m	1433116.82m	579249.71m
C21	S63° 49' 23"W	8°14'24"	850.000m	61.227m	122.243m	122.137m	2.202m	2+722.584m	2+783.810m	2+844.826m	1432990.22m	578986.14m
C22	S55° 34' 59"W	11°07'00"	400.000m	38.927m	77.609m	77.487m	1.890m	2+854.324m	2+893.250m	2+931.932m	1432928.24m	578895.69m

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los elementos geométricos de las curvas horizontales se muestra el siguiente ejemplo con los datos de la C8 que es la curva critica del tramo ya que es la de menor radio.

PI = 1+043.451m R: 96 m Δ= 61° 46´ 42″

Tangente

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

Ecuación 12 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{T} = 96 * \mathrm{Ta}\frac{61°46'42''}{2}$$

$$\mathrm{T} = 57.430\mathrm{m}$$

Cuerda larga

$$\mathrm{CL} = 2\mathrm{R} * \mathrm{Sen}\frac{\Delta}{2}$$

Ecuación 13 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{CL} = 2(96) * \mathrm{Sen}\frac{61°46'42''}{2}$$

$$\mathrm{CL} = 98.569\mathrm{m}$$

Externa

$$\mathrm{E} = \mathrm{R} * (\frac{1}{\mathrm{Cos}\frac{\Delta}{2}} - 1)$$

Ecuación 14 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{E} = 96 * (\frac{1}{\mathrm{Cos}\frac{61°46'42''}{2}} - 1)$$

$$\mathrm{E} = 15.87m$$

Ordenada media

$$\mathrm{M} = \mathrm{R}(1 - \mathrm{Cos}\frac{\Delta}{2})$$

Ecuación 15 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{M} = 96(1 - \mathrm{Cos}\frac{61°46'42''}{2})$$

$$\mathrm{M} = 13.616\mathrm{m}$$

Grado de curvatura

$$\mathrm{G°c} = 2 * Sen^{-1} * \frac{\mathrm{C}}{2\mathrm{R}}$$

Ecuación 16 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{C} = 5\mathrm{m}, 10\mathrm{m}\ \mathrm{o}\ 20\mathrm{m}$$

$$\mathrm{G°c} = 2 * Sen^{-1} * \frac{20\mathrm{m}}{2 * 96}$$

$$\mathrm{G°c} = 11°56'12'' \geq 6max$$

Longitud de curva

$$\mathrm{Lc} = \frac{\pi * \mathrm{R} * \Delta}{180}$$

Ecuación 17 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{Lc} = \frac{\pi * 96 * 61°46'42''}{180}$$

$$\mathrm{Lc} = 103.511\mathrm{m}$$

Estación PC

$$\mathrm{PC} = \mathrm{PI} - \mathrm{T}$$

Ecuación 18 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{PC} = 1 + 043.451 - 57.430\mathrm{m}$$

$$\mathrm{PC} = 0 + 986.020\mathrm{m}$$

Estación PT

$$\mathrm{PT} = \mathrm{PC} + \mathrm{LC}$$

Ecuación 19 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{PT} = 0 + 986.020 + 98.569$$

$$\mathrm{PT} = 1 + 089.53\mathrm{m}$$

Deflexión por metro

$$\sigma = \frac{G°c}{2 * 5}$$

Ecuación 20 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\sigma = \frac{11°56'12''}{2 * 5}$$

$$\sigma = 0°27'30.50''$$

Deflexión por cuerda

$$\sigma = \frac{\mathrm{G°c}}{2}$$

Ecuación 21 Tomada de *(Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\sigma = \frac{11°56'512'}{2} \qquad \sigma = 5°58'6''$$

5.9. Alineamiento vertical

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como subrasante.

El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje. (SIECA, 2011, pág. 115)

5.9.1. Pendientes de Control para el Diseño

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ellas. En automóviles, las pendientes de subida de hasta 5% no tienen influencia apreciable en la velocidad, cuando se compara con la correspondiente en terreno plano. Cuando sube la pendiente, la velocidad decrece progresivamente y en las pendientes de bajada la velocidad tiene un pequeño aumento. En consecuencia, las restricciones a estas velocidades son impuestas por condiciones de seguridad y comodidad. (SIECA, 2011)

Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales

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. Si hay banquetas adyacentes, se recomienda una pendiente máxima de 5.0% para cumplir con los criterios aplicables como Uniform

Federal Accessibility Standards (UFAS). La pendiente en una calle urbana generalmente se diseña debajo del nivel del terreno colindante para drenar las propiedades adyacentes al área de bordillos y de éstos al sistema de drenaje de lluvia. (SIECA, 2011)

Las pendientes máximas para calles colectoras se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 43 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales

Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) para la velocidad de diseño especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	9	9	9	8	7	7	6
Lomerío	12	12	11	10	9	8	8	7
Montañoso	14	13	12	12	11	10	10	9

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011

En este caso se cuenta con un terreno plano y una velocidad de diseño de 40Km/h, por lo tanto, la máxima pendiente es de 9%

5.9.2. Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada. (SIECA, 2011)

Curva vertical 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. (SIECA, 2011)

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.

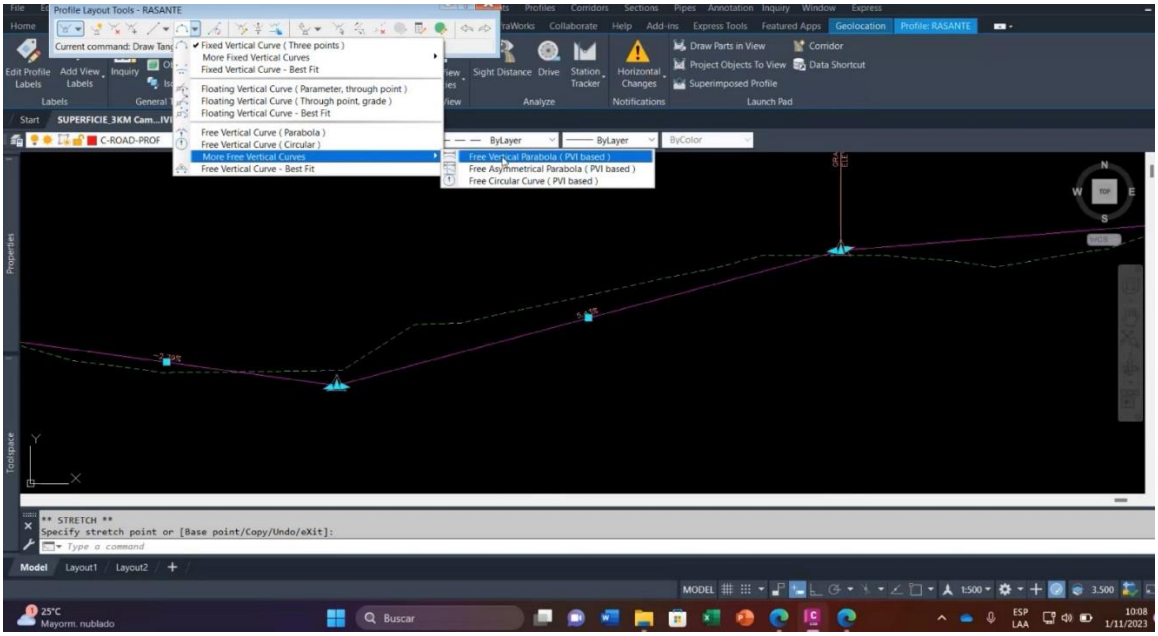
• El tercero considera requerimientos de drenaje.

• El último se basa en consideraciones estéticas. (SIECA, 2011)

5.9.3. Tasa de curvatura K

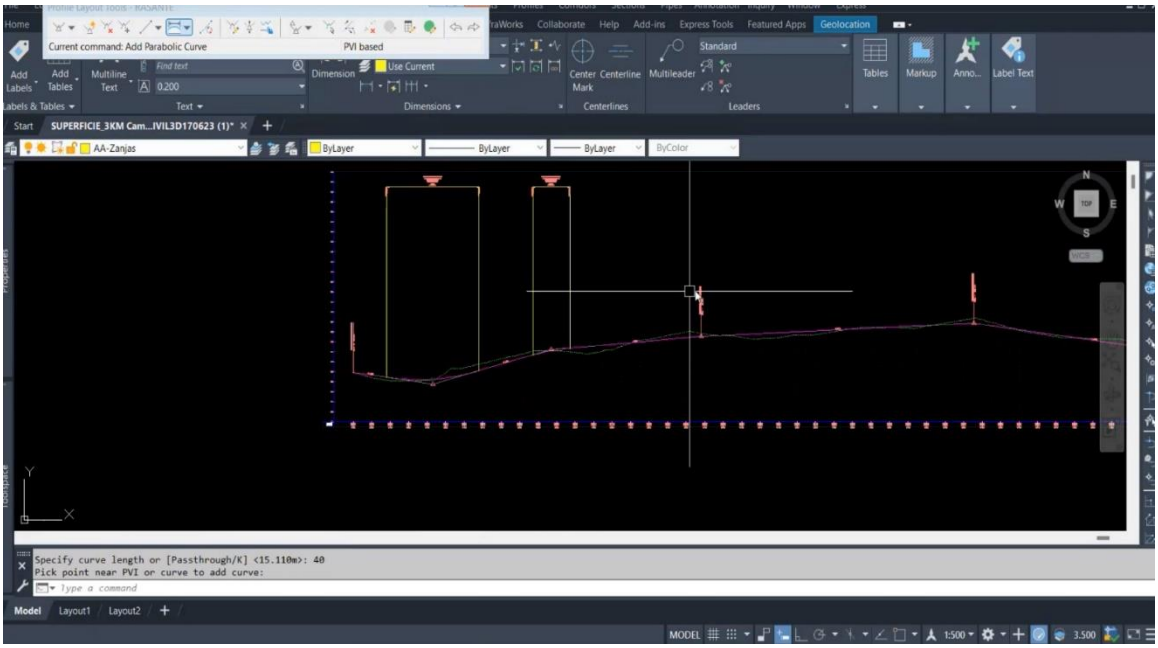
Para poder determinar la tasa de curvatura se hace uso de las tablas 108 y 109 ubicadas en anexos, pág. LXXVI en donde se toma en cuenta la velocidad de diseño que es de 40km/h. Para el caso de las curvas verticales en cresta la tasa de curvatura es de 4 y para las curvas verticales cóncavas es de 9.

Ilustración 19 Creación de curvas verticales



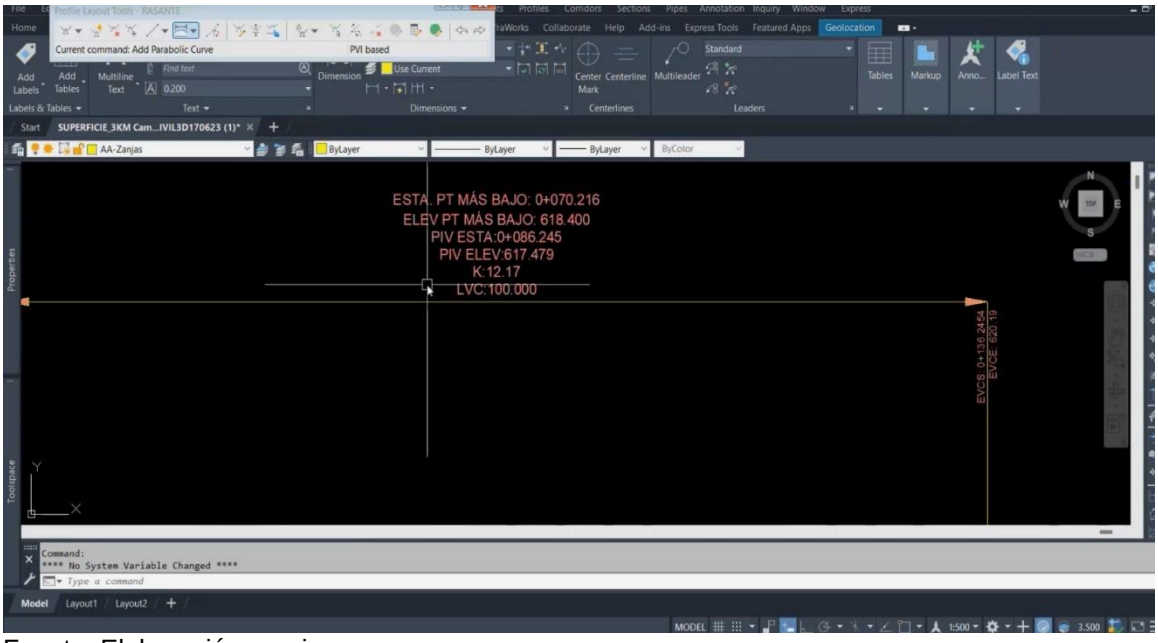
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20 Proceso de creación de curvas verticales



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21 Elementos de curvas verticales



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 44, pág. 91 se presentan los elementos geométricos de las curvas verticales del tramo.

Tabla 44 Curvas verticales del tramo

N° de curva	Est. PCV	Elev. PCV	Est. PIV	Elev. PIV	Est. PTV	Elev. PTV	Valor de K	K min	Long. CV	P1	P2	A	Tipo de curva
			0+000.00m	619.887m							-2.79%		
1	0+036.2454m	618.87m	0+086.25m	617.479m	0+136.2454m	620.19m	12.167	9	100.000m	-2.79%	5.43%	8.22%	Cóncavo
2	0+194.1616m	623.64m	0+214.16m	624.420m	0+234.1616m	624.75m	10.589	4	40.000m	5.43%	1.65%	3.78%	Convexo
3	0+356.4448m	626.77m	0+376.44m	627.097m	0+396.4448m	627.27m	52.975	4	40.000m	1.65%	0.89%	0.76%	Convexo
4	0+649.1417m	629.54m	0+669.14m	629.714m	0+691.3289m	629.18m	11.399	4	40.000m	0.89%	-2.66%	3.51%	Convexo
5	0+892.7835m	623.87m	0+932.78m	622.820m	0+970.1337m	624.08m	14.254	9	80.000m	-2.66%	3.15%	5.61%	Cóncavo
6	1+127.6485m	628.66m	1+147.65m	629.261m	1+154.3221m	629.09m	10.206	4	40.000m	3.15%	-0.84%	3.92%	Convexo
7	1+248.3428m	628.33m	1+298.34m	627.873m	1+350.0115m	631.47m	12.179	9	100.000m	-0.84%	7.20%	8.21%	Cóncavo
8	1+453.5336m	639.19m	1+498.53m	642.466m	1+547.7707m	639.97m	7.007	4	90.000m	7.20%	-5.56%	12.84%	Convexo
9	1+574.4052m	638.25m	1+614.41m	636.028m	1+658.6423m	636.69m	11.081	9	80.000m	-5.56%	1.65%	7.22%	Cóncavo
10	1+952.7388m	641.66m	1+967.739m	641.909m	1+982.7388m	641.75m	11.12	4	30.000m	1.65%	-0.99%	2.70%	Convexo
11	2+231.5445m	639.18m	2+256.54m	638.923m	2+281.5445m	639.26m	21.033	9	50.000m	-0.99%	1.37%	2.38%	Cóncavo
12	2+643.3065m	644.12m	2+673.306m	644.523m	2+703.3065m	645.52m	30.475	9	60.000m	1.37%	3.31%	1.97%	Cóncavo
13	2+784.0087m	649.18m	2+794.01m	648.521m	2+804.0087m	648.44m	4.89	4	20.000m	3.31%	-0.78%	4.09%	Convexo
14	2+878.8426m	647.86m	2+908.843m	647.628m	2+938.8426m	649.18m	10.086	9	60.000m	-0.78%	5.17%	5.95%	Cóncavo
										5.17%			

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se demuestra un ejemplo del cálculo de curva vertical 8 que es la de mayor gradiente.

Est. PIV: 1+498.53m

Cota PIV: 642.466m

Pendiente de entrada: 7.20%

Pendiente de salida: -5.56%

Longitud de curva vertical: 90m

Comprobación de LCV

$$\text{Lmin} = \text{Kmin} * \text{A}$$

$$\text{Lmin} = 4 * (-5.56\% - 7.20\%)$$

$$\text{Lmin} = 51.04\text{m}$$

$$\text{LVC} = \text{K} * \text{A}$$

$$\text{LVC} = 7.007 * (-5.56\% - 7.20\%)$$

$$\text{LCV} = 90\text{m}$$

$$\text{LVC} \geq \text{LVCmin} \qquad 90\text{m} \geq 51.04\text{m}$$

$$\text{CUMPLE}$$

Estación PCV

$$\text{Est. PCV} = \text{Est. PIV} - \frac{\text{LCV}}{2}$$

$$\text{Est. PCV} = 1 + 498.53 - \frac{90}{2}$$

$$\text{Est. PCV} = 1 + 453.53$$

Estación PTV

$$\text{Est. PTV} = \text{Est. PIV} + \frac{\text{LCV}}{2}$$

$$\text{Est. PTV} = 1 + 498.53 + \frac{90}{2}$$

$$\text{Est. PTV} = 1 + 543.53$$

Cota PCV

$$\text{Cota PCV} = \text{Cota PIV} - \text{m}\frac{\text{LCV}}{2}$$

$$\text{Cota PCV} = 642.466 - (-0.0720)\frac{90}{2}$$

$$\text{Cota PCV} = 639.19\text{m}$$

Cota PTV

$$\text{Cota PTV} = \text{Cota PIV} - \text{n}\frac{\text{LCV}}{2}$$

$$\text{Cota PTV} = 642.466 - (0.0556)\frac{90}{2}$$

$$\text{Cota PTV} = 639.964\text{m}$$

En la tabla 45, pág. 94 se muestra el resumen de los criterios de diseño del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro-El Rosario.

Tabla 45 Resumen de criterios de diseño

Descripción/Parámetro	Forma	Unidad	Valores
Clasificación funcional	**Colectora Rural Plana**		
Velocidad de diseño	Vd	KPH	40
Vehículo de diseño	Veh.	Tipo	C2 (SU)
Radio de curvatura mínimo	R	m	41
Grado de curvatura	Gc	G. Min. Seg.	27°57'
Número de carriles de rodamiento	Nc	Unid.	2
Ancho de carril	Ac	m	3.3
Ancho total de rodamiento	AR	m	6.6
Ancho de hombros	Hm	m	1.2
Ancho de corona	Ac	m	9
Bombeo normal	B	%	2
Bombeo de hombros	Hm%	%	2
Peralte o sobreelevación	emax	%	8
Pendiente máxima	Pend%	%	9
Sobreancho	Sa	m	2.5
Curvas verticales en cresta	DVP	M	7
Curvas verticales en columpio	DVA	M	7
Superficie de carpeta de rodamiento	Srod.	Tipo	Adoquín

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: DISEÑO DE ESPESORES

6.1. Introducción

En este capítulo abordaremos el cálculo de espesor para conocer las características de los materiales que compone nuestro tramo en estudio, su sub rasante, sub base, y su carpeta de rodamiento; y así obtener adecuadamente las cargas del terreno. El diseño de pavimento articulado analiza los diferentes materiales disponibles y los espesores de capas ajustadas, en función del aforo para determinar el tipo de tráfico, medio ambiente y costo. El usuario aprecia la calidad del tramo por su estado de tránsito y superficial, estos se resumen en el índice de serviciabilidad o servicio según AASHTO

El pavimento articulado está compuesto por una capa de rodadura elaborada con piezas de concreto prefabricadas, llamadas adoquines, estos deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito y el desgaste, se asientan sobre la capa de su- base o directamente en la subrasante como es nuestro caso.

6.2. Método AASHTO-93

Este método consiste en una ecuación en donde se obtiene un número estructural (SN), valor que indica la resistencia total requerida de la estructura de pavimento; se encuentra en función del tránsito y la confiabilidad de los datos y el CBR que mediante distintas correlaciones se puede definir el Módulo Resiliente de nuestro suelo de apoyo, además de tener en cuenta otros factores que influyen en este diseño.

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

Ecuación 22 Tomada de *(SIECA, 2002)*

Donde:

W**:** Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el periodo de diseño

ZR: Desviación estándar normal

So: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento estructural

ΔPSI: Diferencia entre índice de servicio inicial y final

MR**:** Modulo resiliente (en libras/pulgadas2)

SN: Número estructural

6.3. Variables a considerar en el Método de diseño AASHTO

Para el diseño de la estructura de pavimento se deben considerar los siguientes parámetros:

6.3.1. 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. (SIECA, 2002, pág. 28)

El periodo de diseño va en dependencia de la zona estudiada, en nuestro caso es una zona rural tomando un periodo de 15 años.

6.3.2. ESAL (Ejes equivalentes)

Esto se refiere al diseño en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. (SIECA, 2002, pág. 3).

Concluyendo, en el capítulo de estudio de tránsito se tiene un valor de 111,6489.333 psi siendo este nuestro ESAL.

6.3.3. Índice de confiabilidad (R):

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. (SIECA, 2002, pág. 142). En base a los parámetros establecidos en

la norma de AASHTO 93, el valor que se tomará va en dependencia del alcance de la vía estudiada en la tabla 46 mostrada a continuación.

Tabla 46 Índice de confiabilidad R

Clasificación	Nivel de Confiabilidad Recomendado	
	Urbana	Rural
Rutas Interestatales y Autopistas	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	**80-95**	**75-95**
Locales	50-80	50-80

Fuente: Diseño de pavimentos (AASTHO 93, 2001), Pág. 137

Nuestro valor R (confiabilidad) según nuestro tipo de carretera es 80% esto debido a que el tramo en estudio está conectado con otras comunidades del municipio de La Trinidad.

6.3.4. Desviación estándar

Tiene el mismo significado para parámetros flexibles, es decir que se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. (SIECA, 2002, pág. 196)

Según las características del terreno y las normas del diseño de pavimento en SIECA 2002 es un pavimento flexible y su valor So de 0.4, ver tabla 47, pág. 99.

Tabla 47 Desviación estándar

Condición	So
Pavimento flexible	**0.4-0.5**
Construcción nueva	0.35-0.4
Sobre capas	0.5

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, (SIECA, 2002)

6.3.5. Índice de serviciabilidad

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 de pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 perfecto y un pavimento en francio 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) (AASTHO 93, 2001, pág. 43)

Para el índice de serviciabilidad inicial (Po) para pavimentos flexibles se adopta el valor de 4.2, y para pavimentos rígidos 4.5 y un final de (Pt) 2.5 o más para caminos muy importantes y 2.0 para caminos de tránsito menor.

Para este camino se optará el valor de serviciabilidad inicial de 4.2 de pavimento flexible y una final de 2.0 debido a que la zona en que se encuentra es un camino vecinal, obteniendo así un tránsito menor, mostrado en la tabla 48, pág. 100.

Tabla 48 Índice de serviciabilidad

Serviciabilidad inicial (Po)	Serviciabilidad final (Pt)
Pavimento rígido: 4.5	Camino importante: 2.5
Pavimentos flexibles: 4.2	**Camino tránsito menor: 2.0**

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Pág. 44

Para obtener el valor de la perdida de serviciabilidad se toma en cuenta la ecuación 23.

$$\Delta PSI = Po - Pt$$

Ecuación 23 Tomada de *(SIECA, 2002)*

Considerando el valor de Po (serviciabilidad inicial) como 4.2 y Pt (serviciabilidad final) de 2.0, siendo la perdida de serviciabilidad:

$$\Delta \text{PSI} = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta \text{PSI} = 2.2$$

6.3.6. Módulo de resiliencia de la subrasante

Se determino el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, mostrado en el grafico 7, pág. 68 resultando un valor de 17%.

El módulo de resiliencia para la subrasante se determina utilizando la Ecuación 24, que es la que más se aproxima, resultando lo siguiente:

$$MR = 4{,}326 * ln(CBR) + 241$$

Ecuación 24 Tomada de *(SIECA, 2002)*

$$\text{MR} = 4{,}326 * \ln 17 + 241$$

$$\text{MR} = 12497.48 \text{ Psi}$$

6.3.7. Coeficiente de drenaje

Los coeficientes son mayores, iguales o menores que 1, dependiendo de la bondad las capas de drenaje estructurales de menor espesor. Si el drenaje no es

bueno, el coeficiente será menor que 1 y obligará a hacer un paquete de mayor espesor para resistir iguales condiciones de tránsito. Es necesario aclarar que es paquete de mayor espesor no es un sustituto de un buen drenaje. (AASTHO 93, 2001, pág. 153)

Con la fórmula utilizada para calcular el número estructural se puede conocer la calidad del drenaje, ya que se entiende una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar en este diseño es mi = 1.00 (Ver tabla 49)

El coeficiente de drenaje, es un factor importante para determinar el comportamiento de la estructura del pavimento dentro de su vida útil, igual manera en su diseño.

Tabla 49 Coeficiente de drenaje

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	<1%	<1% - 5%	5% - 25%	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	**1.35 - 1.25**	**1.25 - 1.15**	**1.15 - 1.00**	**1**
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 1.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 7. Pág. 148

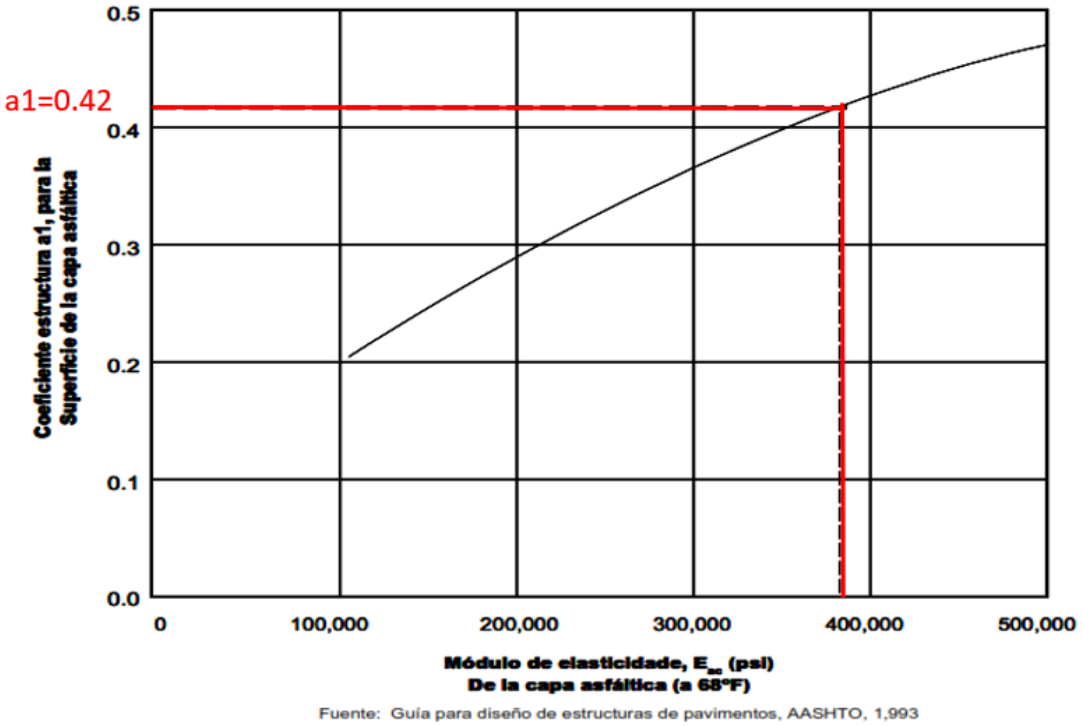
6.3.8. Coeficientes estructurales de capa

Los espesores de la estructura de pavimento, se determinan mediante el cálculo de los coeficientes estructurales de capa, utilizando los gráficos de la norma SIECA para diseño de pavimentos.

El valor de a_1 corresponde al coeficiente de la estructura de pavimento, a_2 corresponde el valor de la base y a_3 el valor de la subbase.

De acuerdo al uso del nomograma en la ilustración 22, utilizando el módulo de elasticidad para pavimentos articulados y haciendo una interpolación se obtiene un resultado del coeficiente de la estructura de pavimento (a1) = 0.42.

Ilustración 22 Coeficiente de capa de la rasante (a1)



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

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

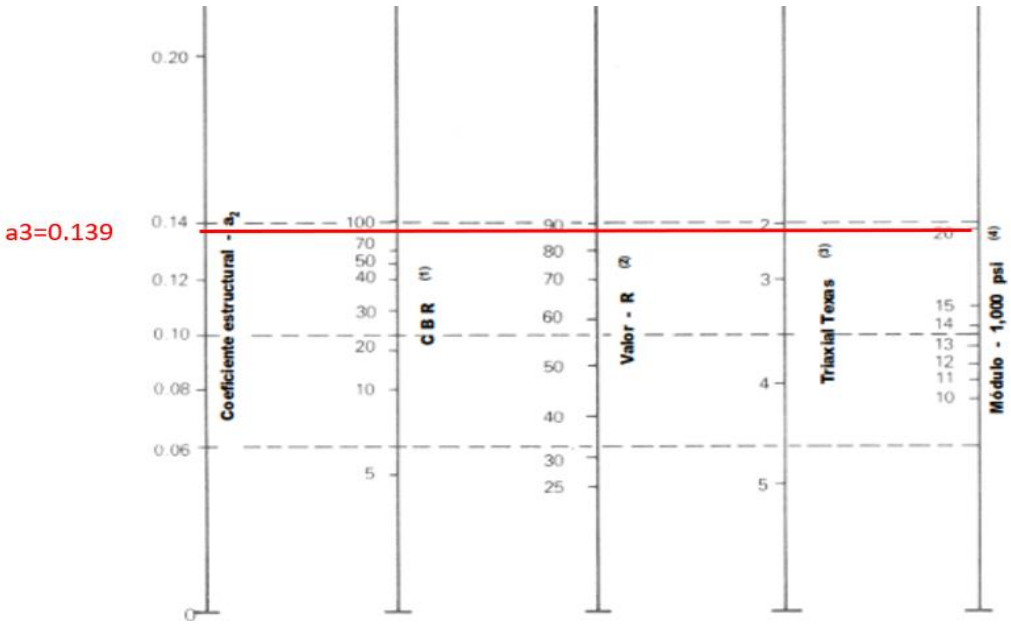
Para determinar el valor del coeficiente de capa de la base a2, se interpola el CBR del banco de materiales, que es del 95%, dando como resultado un valor de a2 = 0.138 y un módulo de resiliencia de la base granular de 29.99 Ksi como se puede observar ilustración 23, pág. 103.

Ilustración 23 Coeficiente de capa de base granular (a2)

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

El resultado de a3, es el coeficiente de capa de la subbase, se determina utilizando el valor del CBR del banco de materiales, que es del 95%, dando como resultado un valor de 0.139, y un módulo de resiliencia de 20Ksi.

Ilustración 24 Coeficiente de capa de Sub-base granular (a3)



Fuente: Elaboración propia

6.3.9. Módulo de resiliencia de la base y subbase

El módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. Es importante utilizar valores a la densidad y contenido de humedad que los suelos desarrollaran cuando se encuentren en servicio. (AASTHO 93, 2001, pág. 76)

El módulo de resiliencia a utilizar en la base y en la subbase de la estructura de pavimento, se determina a través del uso de los nomogramas mostrados en las ilustraciones anteriores.

El resultado del módulo de resiliencia de la base es de 30 Ksi y para la subbase es de 20 Ksi.

6.3.10. Número estructural

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

$$\mathrm{SN} = \mathrm{a1D1} + \mathrm{a2D2m2} + \mathrm{a3D3m3}$$

Ecuación 25 Tomada de *(AASTHO 93, 2001)*

Donde:

a1,2,3: Coeficientes estructurales de capa

D1,2,3: Espesores de capa

m1,2,3: Coeficientes de drenaje de capas

Para la determinación del número estructural de la subrasante SN, se toman los datos mostrados en la tabla 50, pág. 105 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la ilustración 25, pág. 106.

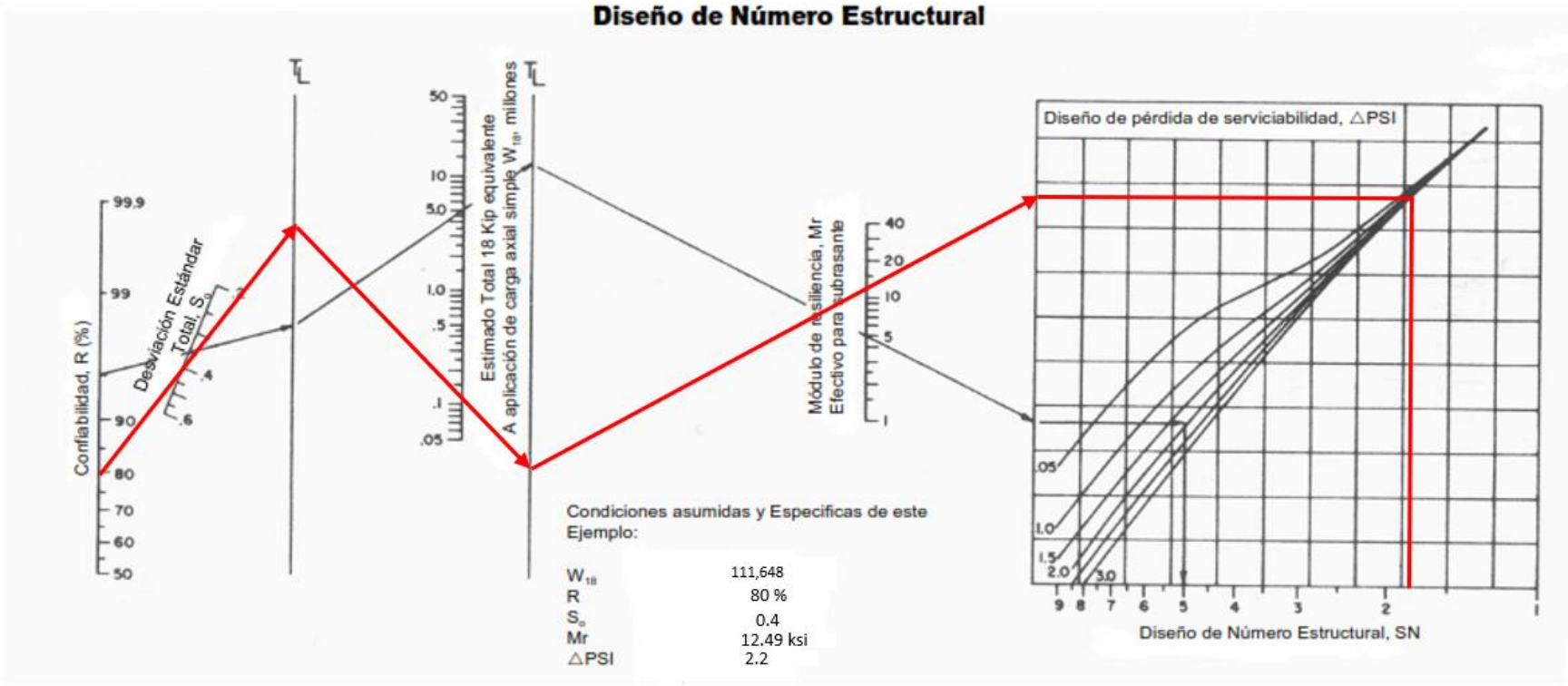
Tabla 50 Datos para determinación de SN3

Variables de diseño	
Período de diseño	15
ESAL	111,648
Confiabilidad R	80
Desviación estándar	0.4
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Serviciabilidad	2.2
CBR Subrasante	17
Módulo de Resiliencia Subrasante	12497.48093
Módulo de Resiliencia de la Subbase	20

Fuente. Elaboración propia

Para la determinación del SN3 de la subbase se deben de interpolar los resultados de la confiabilidad que es del 80%, deviación estándar de 0.4, ESAL de diseño 111,648Psi, módulo de resiliencia de la subrasante de 12497.48 y por último la proyección de la diferencia de serviciabilidad, obteniendo así un valor de numero estructural SN3=1.79. Ver ilustración 25, pág. 106. Esto coincide con el resultado obtenido del programa AASHTO 93 mostrado en anexos, ilustración 41, pág. LXXI.

Ilustración 25 Determinación de SN3 (Subbase)



Fuente: Elaboración propia

El número estructural de la subrasante SN2, se determina mediante la interpolación de los datos de la tabla 51, dando como resultado lo demostrado en la ilustración 26, pág. 108.

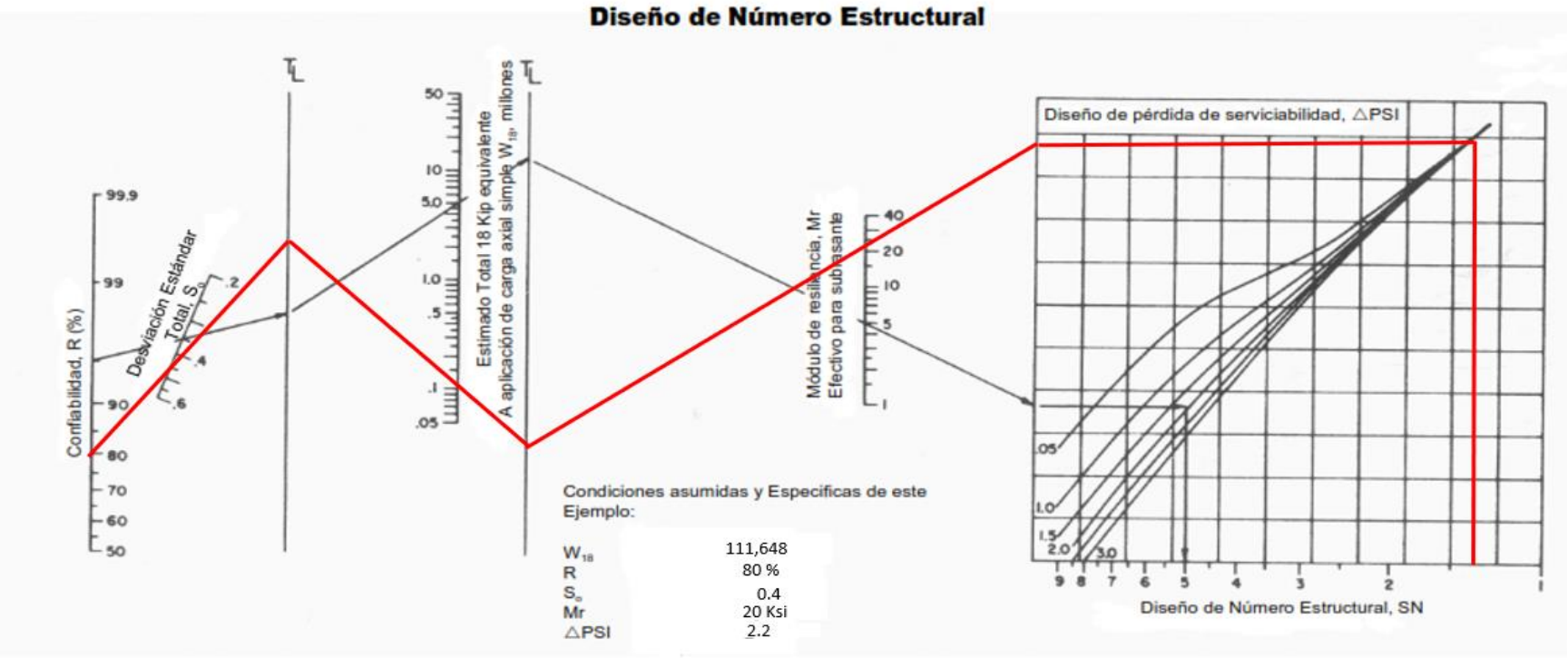
Tabla 51 Datos para determinación de SN2

Variables de diseño	
Período de diseño	15
ESAL	111,648
Confiabilidad R	80
Desviación estándar	0.4
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Serviciabilidad	2.2
CBR Subrasante	17
Módulo de Resiliencia Subrasante	12497.48093
Módulo de Resiliencia de la Base	29.99

Fuente. Elaboración propia

Para el cálculo del SN2 de la base se deben de interpolar los resultados de la confiabilidad que es del 80%, deviación estándar de 0.4, Esal de diseño 111,648Psi, módulo de resiliencia de la subbase de 20,000 y por último la proyección de la diferencia de serviciabilidad, obteniendo así un valor de numero estructural SN2=1.48. Ver ilustración 26, pág. 108. Esto coincide con el resultado obtenido del programa AASHTO 93 mostrado en anexos, ilustración 43, pág. LXXII.

Ilustración 26 Determinación de SN2 (Base)



Fuente: Elaboración propia

6.4. Cálculo de espesores

Contando con las variables de diseño ya determinadas en las secciones anteriores, se procede al cálculo de los espesores de la estructura de pavimento, tomando en consideración cada una de las fórmulas propuestas en la guía de pavimentos SIECA 2002.

6.4.1. Espesor de la capa de rodamiento

Tomando el valor de SN1* = 1.68, el coeficiente de capa es a1 = 0.42 y utilizando la ecuación siguiente, se obtiene un valor de D1 = 4 pulg, a continuación, se muestra el proceso:

$$SN_1 *= a_1 * D_1$$

Ecuación 26 Tomada de *(SIECA, 2002)*

$$\mathrm{SN}_1 = (0.42) * (4)$$

$$\mathrm{SN}_1 = 1.68$$

6.4.2. Espesor de base

El valor del número estructural SN2 = 1.48, determinado con el uso del ábaco y comprobado con el uso del software. El valor de a2 = 0.138 y m = 1, se aplica la Ecuación siguiente para justificar el resultado:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a2 * m2}$$

Ecuación 27 Tomada de *(SIECA, 2002)*

$$\mathrm{D}_2 = \frac{1.48 - 1.68}{(0.138) * (1)}$$

$$\mathrm{D}_2 = -1.4$$

“No cumple con el espesor mínimo, es muy pequeño por tanto se debe usar el mínimo establecido, el espesor recomendado son 4 pulg.” (Ver la tabla 52, pág. 110)

Tabla 52 Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular

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

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001. Capítulo 8. Pág. 175

6.4.3. Espesor de subbase

El espesor de la subbase se calcula utilizando los valores del SN1* y SN2* calculados anteriormente, de igual manera el coeficiente de capa a3 = 0.138 y el coeficiente de drenaje de m3 = 1, aplicando la siguiente ecuación se determina D3:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3}$$

Ecuación 28 Tomada de *(SIECA, 2002)*

$$\mathrm{D}_3 = \frac{1.79 - (0.552 + 1.68)}{(0.139) * (1)}$$

$D_3 = -3.17\ pulg$ "No necesita subbase"

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

Para comprobar de que el proceso este correcto, se debe realizar una sumatoria de los SN corregidos, comparado con el SN requerido, mostrado a continuación:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_{req}$$

$$1.68 + 0.552 \geq 1.78$$

$$2.232 \geq 1.78\ Cumple$$

Una vez los cálculos del diseño de espesores se realizaron, de la estructura de pavimento del tramo Barrio Pedro Joaquín Chamorro - Comunidad El Rosario, en la tabla 53 se detallan los resultados:

Tabla 53 Consolidado de espesores de pavimento

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Adoquín	4	10.16
Colchón de arena	1	2.54
Base Granular	4	10.16
Espesor Total	9	22.86

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27 Espesores de la estructura de pavimento

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se finalizo el presente trabajo monográfico del diseño geométrico y estructura de pavimento articulado en el barrio Pedro Joaquín Chamarro hacia la comunidad “EL ROSARIO” con las siguientes conclusiones:

1. Al analizar los datos propuestos por la alcaldía municipal de La Trinidad para el levantamiento topográfico, se pudo finiquitar que por las pendientes del 5% previamente analizadas se tiene una especie de terreno de modo llano o plano. Este cumple con las debidas normativas del “MANUAL DE REVISIÓN DEL MTI” el estudio dispone del levantamiento de los detalles del tramo en estudio, establecimientos de BM, el cual permite identificar los aspectos Altimétricos y Planimétricos del terreno.
2. Para el estudio de tránsito se efectuó un aforo vehicular de una semana iniciando a las 6:00 am y finalizando a las 6:00 pm en la estación 0+000 del tramo, se obtuvo un TPDS (tráfico promedio diario semanal) de 252 vehículos por día, para poder lograr esto se tomaron los resultados del aforo vehicular, en ambos sentidos, se hizo la elección de la estación corta sumaria 313 (Sacaclí- San Gabriel) la que pertenece a la Estación de mayor cobertura 1802 (San Marcos- Masatepe)

   Con la previa selección de las estacione se pudo obtener un TPDA de 371 vehículos por día, es importante conocer los registros históricos de producto interno bruto, transito promedio diario anual, y el censo poblacional. Se adquirió una tasa de crecimiento vehicular del 3.97% por consiguiente se proyectó un tránsito de diseño, y con esto se pudo conocer el valor del ESAL (111648.333 psi) con un periodo de diseño de 15 años debido a la composición del tramo.
3. Para el estudio de suelo se efectuaron un total de 7 sondeos manuales con una profundidad de 1.50 metros esto por fines económicos, con los sondeos se pudo analizar que los tipos de suelo son A-2-5, A-6, A-2-4, A-2-6, A-4, A-7-5, A-1-a, A-5, A-7-5, A-7-6, A-2-7 sin embargo el suelo que predomina más en

la zona es A-6 (arena arcillosa) y en el método SUCS (SC) y un CBR de la subrasante del 17%.

Para el banco de materiales se analizó uno de la comunidad “El Guasimal” aproximadamente a 4km del tramo en estudio, este posee una clasificación de suelo de A-1-b, es decir es un suelo arenoso con arcilla y limo, de color café, de acuerdo a la clasificación de AASHTO. Según los resultados obtenidos en la granulometría el banco no cuenta con índice de plasticidad, obtiene un CBR compactado de 95%, la densidad seca es de 1820 kg/m3 máxima. La humedad óptima es del 18.5%.

4. Teniendo en cuenta los puntos necesarios en el levantamiento, se toma en consideración el Software Civil 3D, alineamiento horizontal, perfil longitudinal, y las debidas secciones transversales, siguiendo las normas plasmadas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2011) y AASHTO 93. Se determinaron los siguientes resultados:

   La velocidad de diseño debería de ser de 30 a 80km/h para carreteras colectoras según la SIECA 2011, pero se usará una de 40km/h para que el diseño se adapte a la topografía existente y tener una carretera más segura, radio mínimo: 40.640m, peralte de diseño de 8% debido al tipo de área, grado de curvatura mínimo: 27°57' y como resultado se obtiene un total de 14 curvas verticales y 22 curvas horizontales. No hay espirales de transición en el diseño debido a que los radios de curvas horizontales son mayores al radio máximo para usos de espirales (95m).

5. En el diseño de estructura de pavimento se utilizó la normativa AASHTO 93. Los coeficientes de capa son los siguientes: a1= 0.42 debido a que es un pavimento flexible, y un a2= 0.138. Estos datos se obtuvieron mediante el nomograma expuesto en la normativa, con los resultados obtenidos se da por concluido que los espesores serán: Adoquín= 4 pulgadas, colchón de arena = 1 pulgada, base granular = 4 pulgadas, y un espesor total= 9 pulgadas.

RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo monográfico se prosigue a presentar algunas recomendaciones que como grupo se observó, para conseguir un diseño óptimo en el tramo en estudio.

1. Ejecutar un aforo vehicular de manera más constante en el tramo del barrio Pedro Joaquín Chamorro hacia la comunidad El Rosario, esto con la finalidad de llevar un registro de cuanto flujo vehicular posee el tramo y su comportamiento en el periodo de diseño expuesto en el estudio de tránsito.
2. En el momento de realizarse el proyecto evitar cualquier tipo de daño a la flora y fauna cerca o alrededor de la zona en ejecución.
3. Para garantizar un excelente rendimiento en la estructura del pavimento articulado, se le deberá de dar un mantenimiento constante de manera preventiva, y de esa manera se reducirán los altos costos por mantenimiento.
4. Verificar que el banco de materiales sea libre de cualquier componente que sea deplorable a la hora de poner en marcha la obra.
5. Cumplir con los parámetros que establecimos para el diseño y sus debidos espesores y de esta forma obtener un estudio de manera favorable para los beneficiados.
6. Garantizar que los materiales a utilizarse sean de la mejor calidad en el mercado y que cumplan con la condición requerida, de igual forma que el proyecto cuente con la supervisión adecuada desde su inicio hasta el final.

BIBLIOGRAFÍA

AASTHO 93. (2001). Diseño de Pavimentos Método AASTHO 93. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de los Estados Unidos.

Alcantara Garcia, D. (2014). Topografia y sus aplicaciones "Primera Edicion". Mexico: Compañia Editorial Continental.

Cárdenas Grisales, J. (2013). Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe Ediciones.

CASANOVA MATERA, L. (2002). TOPOGRAFIA PLANA. Merida.

Cleves, G. J. (2007). Topografia para ingenieros civiles . Armenia : Programa de Ingenieria Civil.

Coronado Iturbide, J. (2002). Manual centroamericano para diseño de pavimentos. Guatemala: SIECA.

Crespo Villalaz, C. (2004). Mécanica de Suelo y Cimentaciones . México, DF.: Limosa S.A.

Das, B. M. (2015). Fundamentos de Ingenería Geotécnica Cuarta Edición . México, DF.: Cengage Learning .

Garcia Marquez , F. (2003). CURSO BASICO DE TOPOGRAFIA . Mexico: Editorial Pax Mexico.

Ministerio de transporte e infraestructura . (2019). Especificaciones generales para la construcción dre caminos, calles y puentes (NIC 2019). Managua: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2017). Anuario de Aforos de Tráfico 2017. Managua: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2018). Anuarios de Aforos de Tráfico 2018. Managua: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2019). Anuario de Aforos de Tráfico 2019. Managua: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). Anuario de Aforos de Tráfico 2020. Managua: MTI.

SIECA. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos . SIECA .

SIECA. (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. Guatemala: SIECA .

ANEXOS

Ilustración 28 Estado del tramo en temporada lluviosa Est.2+300

Fuente: Propia

Ilustración 29 Estado del tramo en temporada lluviosa Est.1+000

Fuente: Propia

Ilustración 31 Estado actual del tramo Est.0+500 Fuente:

Propia

Ilustración 30 Estado actual del tramo Est.1+457

Fuente: Propia

Tabla 54 Puntos camino P1 – P35

Punto	X	Y	Z	Descripción
1	578824.9	1432862	651.776	Cerco
2	578831.5	1432855	651.776	Cerco
3	578846.1	1432884	648.776	Cerco
4	578852.6	1432877	648.776	Cerco
5	578864	1432901	648.064	Cerco
6	578870.3	1432893	648.077	Cerco
7	578883.8	1432921	647.276	Cerco
8	578890.6	1432912	647.276	Cerco
9	578905.2	1432938	647.96	Cerco
10	578912.8	1432930	647.988	Cerco
11	578930.8	1432959	648.776	Cerco
12	578937.3	1432949	648.776	Cerco
13	578952.4	1432972	648.495	Cerco
14	578959.5	1432964	648.482	Cerco
15	578976.9	1432988	648.176	Cerco
16	578982.6	1432979	648.176	Cerco
17	579001.2	1433001	647.203	Cerco
18	579007.2	1432993	647.186	Cerco
19	579029.3	1433018	646.076	Cerco
20	579034.8	1433008	646.076	Cerco
21	579066.7	1433040	643.976	Cerco
22	579073	1433029	643.976	Cerco
23	579096.5	1433053	644.117	Cerco
24	579099.2	1433041	644.104	Cerco
25	579129.9	1433067	644.276	Cerco
26	579134.2	1433057	644.276	Cerco
27	579159.4	1433081	643.844	Cerco
28	579164.4	1433071	643.839	Cerco
29	579191.3	1433096	643.376	Cerco
30	579196.3	1433085	643.376	Cerco
31	579215	1433106	642.917	Cerco
32	579219.6	1433094	642.942	Cerco
33	579237.8	1433116	642.476	Cerco
34	579244.5	1433105	642.476	Cerco
35	579267.3	1433126	642.328	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Puntos camino P36 – P70

Punto	X	Y	Z	Descripción
36	579271.1	1433114	642.337	Cerco
37	579297.7	1433136	642.176	Cerco
38	579302	1433126	642.176	Cerco
39	579331.6	1433145	641.557	Cerco
40	579334.5	1433135	641.565	Cerco
41	579363.5	1433154	640.976	Cerco
42	579365.9	1433144	640.976	Cerco
43	579383.2	1433158	640.68	Cerco
44	579385.3	1433147	640.574	Cerco
45	579399.2	1433160	640.076	Cerco
46	579409.4	1433151	640.076	Cerco
47	579449.1	1433209	639.063	Cerco
48	579452.1	1433231	639.176	Cerco
49	579463.9	1433208	639.114	Cerco
50	579469.8	1433228	639.276	Cerco
51	579473.1	1433253	639.496	Cerco
52	579485.1	1433243	639.541	Cerco
53	579498.3	1433270	639.806	Cerco
54	579505.2	1433259	639.776	Cerco
55	579533.1	1433287	639.638	Cerco
56	579538	1433275	639.628	Cerco
57	579566.6	1433302	639.476	Cerco
58	579571.6	1433292	639.476	Cerco
59	579607	1433320	638.876	Cerco
60	579612.9	1433311	638.876	Cerco
61	579638.2	1433336	639.476	Cerco
62	579643.1	1433328	639.476	Cerco
63	579669.1	1433354	641.576	Cerco
64	579673.7	1433346	641.576	Cerco
65	579686.4	1433366	641.576	Cerco
66	579692.4	1433358	641.576	Cerco
67	579703.1	1433379	641.576	Cerco
68	579710.8	1433370	641.576	Cerco
69	579721.7	1433393	640.84	Cerco
70	579727.4	1433383	640.85	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56 Puntos camino P71-P105

Punto	X	Y	Z	Descripción
71	579741	1433407	640.076	Cerco
72	579745.2	1433396	640.076	Cerco
73	579760.7	1433417	639.411	Cerco
74	579765.6	1433407	639.502	Cerco
75	579776.6	1433425	638.876	Cerco
76	579781.9	1433415	638.876	Cerco
77	579794	1433435	639.021	Cerco
78	579799.9	1433425	639.022	Cerco
79	579812.6	1433445	639.176	Cerco
80	579819	1433436	639.176	Cerco
81	579835.5	1433458	638.938	Cerco
82	579841.1	1433449	638.892	Cerco
83	579860.7	1433471	638.676	Cerco
84	579865.7	1433463	638.576	Cerco
85	579880.6	1433484	638.188	Cerco
86	579884.8	1433475	638.437	Cerco
87	579901.5	1433497	637.676	Cerco
88	579906.9	1433488	638.276	Cerco
89	579920.4	1433509	637.301	Cerco
90	579926.2	1433501	637.556	Cerco
91	579941.8	1433523	636.876	Cerco
92	579947.6	1433514	636.756	Cerco
93	579958.7	1433533	636.828	Cerco
94	579963.2	1433525	636.811	Cerco
95	579978.9	1433543	636.776	Cerco
96	579982.7	1433537	636.876	Cerco
97	579989.3	1433549	636.606	Cerco
98	579992.6	1433542	636.717	Cerco
99	579994.7	1433573	642.476	Cerco
100	579997.1	1433576	641.476	Cerco
101	580001.9	1433553	636.426	Cerco
102	580005.3	1433546	636.536	Cerco
103	580006.3	1433566	639.876	Cerco
104	580008.3	1433571	640.176	Cerco
105	580018.4	1433560	637.476	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57 Puntos camino P106 – P140

Punto	X	Y	Z	Descripción
106	580021.6	1433565	637.876	Cerco
107	580022.1	1433551	637.426	Cerco
108	580031.3	1433564	637.976	Cerco
109	580035.2	1433555	637.976	Cerco
110	580045.5	1433569	639.132	Cerco
111	580048.8	1433560	639.078	Cerco
112	580060.7	1433575	640.376	Cerco
113	580064.8	1433566	640.376	Cerco
114	580076.9	1433582	641.244	Cerco
115	580080.8	1433573	641.27	Cerco
116	580094.3	1433591	642.176	Cerco
117	580098.9	1433581	642.276	Cerco
118	580117.1	1433602	640.876	Cerco
119	580124.5	1433591	640.786	Cerco
120	580144.5	1433593	638.676	Cerco
121	580146.1	1433633	641.476	Cerco
122	580146.3	1433611	639.076	Cerco
123	580154.8	1433639	641.776	Cerco
124	580155.6	1433593	638.176	Cerco
125	580156.7	1433609	638.276	Cerco
126	580169.5	1433604	637.676	Cerco
127	580170.3	1433593	637.276	Cerco
128	580184.2	1433590	634.096	Cerco
129	580192.6	1433599	634.016	Cerco
130	580202.2	1433580	633.311	Cerco
131	580209.9	1433589	632.947	Cerco
132	580221.4	1433570	632.476	Cerco
133	580227.2	1433580	631.876	Cerco
134	580242.8	1433560	631.913	Cerco
135	580250.1	1433568	631.372	Cerco
136	580266.6	1433547	631.276	Cerco
137	580272.9	1433556	630.876	Cerco
138	580295.1	1433531	627.376	Cerco
139	580301	1433541	627.476	Cerco
140	580314.9	1433515	627.213	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58 Puntos camino P141 – P175

Punto	X	Y	Z	Descripción
141	580324.5	1433529	627.32	Cerco
142	580338.3	1433505	627.076	Cerco
143	580346.2	1433520	627.176	Cerco
144	580359.1	1433501	627.176	Cerco
145	580359.2	1433516	627.176	Cerco
146	580377.2	1433501	627.426	Cerco
147	580377.9	1433513	627.576	Cerco
148	580403	1433497	627.895	Cerco
149	580406.7	1433510	627.991	Cerco
150	580429.7	1433492	628.376	Cerco
151	580432.6	1433504	628.376	Cerco
152	580456.5	1433482	629.276	Cerco
153	580464	1433498	628.876	Cerco
154	580476.7	1433471	628.276	Cerco
155	580484.2	1433484	628.176	Cerco
156	580498.4	1433452	627.176	Cerco
157	580508.8	1433461	627.276	Cerco
158	580522.8	1433424	625.026	Cerco
159	580526.2	1433438	624.866	Cerco
160	580532.7	1433434	624.576	Cerco
161	580584	1433444	625.476	Cerco
162	580587	1433438	624.876	Cerco
163	580601.6	1433450	624.784	Cerco
164	580604	1433444	624.125	Cerco
165	580619.6	1433457	624.076	Cerco
166	580622.2	1433450	623.326	Cerco
167	580646	1433466	624.571	Cerco
168	580648.7	1433459	623.639	Cerco
169	580674.4	1433477	625.076	Cerco
170	580677.1	1433469	623.976	Cerco
171	580695	1433484	625.927	Cerco
172	580699.2	1433476	625.047	Cerco
173	580717.9	1433492	626.866	Cerco
174	580722.4	1433482	626.176	Cerco
175	580743.4	1433504	627.381	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59 Puntos camino P176 – P210

Punto	X	Y	Z	Descripción
176	580750.2	1433493	627.302	Cerco
177	580774.5	1433516	627.976	Cerco
178	580779.1	1433503	626.576	Cerco
179	580794.4	1433521	628.338	Cerco
180	580800.5	1433505	627.255	Cerco
181	580818.1	1433523	628.676	Cerco
182	580820.1	1433507	627.876	Cerco
183	580840.1	1433500	628.958	Cerco
184	580846.8	1433517	630.183	Cerco
185	580861.3	1433496	630.076	Cerco
186	580880.7	1433506	631.666	Cerco
187	580899.5	1433476	629.176	Cerco
188	580906.7	1433490	630.376	Cerco
189	580925.6	1433463	628.176	Cerco
190	580933.2	1433475	629.276	Cerco
191	580949.4	1433452	628.676	Cerco
192	580955.7	1433464	629.676	Cerco
193	580976	1433440	628.576	Cerco
194	580982.6	1433453	629.476	Cerco
195	581004.9	1433427	627.676	Cerco
196	581012.3	1433440	628.876	Cerco
197	581026.2	1433418	627.048	Cerco
198	581031.3	1433432	628.085	Cerco
199	581045.7	1433411	626.49	Cerco
200	581048.2	1433425	627.465	Cerco
201	581071	1433406	626.312	Cerco
202	581071.5	1433422	627.58	Cerco
203	581092	1433402	626.188	Cerco
204	581093.9	1433420	627.787	Cerco
205	581109.9	1433403	626.456	Cerco
206	581110.5	1433419	627.621	Cerco
207	581127	1433402	627.006	Cerco
208	581127.5	1433417	628.097	Cerco
209	581143.9	1433402	627.311	Cerco
210	581144.9	1433415	628.589	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60 Puntos camino P211 – P245

Punto	X	Y	Z	Descripción
211	581160	1433401	627.726	Cerco
212	581161.4	1433413	629.117	Cerco
213	581172.9	1433399	627.328	Cerco
214	581174.3	1433412	628.356	Cerco
215	581184.3	1433397	626.997	Cerco
216	581186.5	1433410	627.717	Cerco
217	581200.5	1433395	625.984	Cerco
218	581202.3	1433408	627.124	Cerco
219	581214.5	1433393	626.007	Cerco
220	581216.2	1433406	626.888	Cerco
221	581229.6	1433391	624.982	Cerco
222	581231	1433404	626.246	Cerco
223	581240.8	1433390	623.921	Cerco
224	581242.8	1433402	625.187	Cerco
225	581254.1	1433388	623.517	Cerco
226	581255.9	1433399	625.016	Cerco
227	581270.5	1433387	622.976	Cerco
228	581271.1	1433397	624.276	Cerco
229	581285.3	1433397	624.93	Cerco
230	581285.4	1433387	623.339	Cerco
231	581299.2	1433387	623.699	Cerco
232	581299.5	1433398	625.602	Cerco
233	581312.3	1433398	625.603	Cerco
234	581312.6	1433386	623.588	Cerco
235	581329.1	1433385	623.493	Cerco
236	581329.9	1433395	625.63	Cerco
237	581340.2	1433384	623.11	Cerco
238	581340.8	1433394	624.799	Cerco
239	581353.5	1433383	622.542	Cerco
240	581354.7	1433392	624.593	Cerco
241	581373.9	1433380	621.661	Cerco
242	581374.8	1433389	623.213	Cerco
243	581392.3	1433377	620.616	Cerco
244	581393.7	1433387	622.488	Cerco
245	581404.7	1433375	620.056	Cerco

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61 Puntos camino P246 – P280

Punto	X	Y	Z	Descripción
246	581405.5	1433385	622.028	Cerco
247	581416.3	1433373	619.584	Cerco
248	581417.5	1433384	621.597	Cerco
249	581434.2	1433372	618.618	Cerco
250	581434.8	1433382	620.387	Cerco
251	581451.8	1433370	617.688	Cerco
252	581452.5	1433379	619.198	Cerco
253	581479.9	1433378	619.364	Cerco
254	581480.4	1433370	617.408	Cerco
255	581502.5	1433380	620.092	Cerco
256	581503.2	1433371	619.427	Cerco
257	581523.3	1433386	621.756	Cerco
258	581523.5	1433370	620.222	Cerco
259	579364.7	1433149	641.266	L. Centro
260	579403.9	1433156	640.316	L. Centro
261	579415.7	1433164	639.716	L. Centro
262	579448.8	1433190	639.116	L. Centro
263	579456.5	1433209	639.247	L. Centro
264	579461.3	1433230	639.416	L. Centro
265	580020.5	1433556	637.616	L. Centro
266	580033.5	1433560	638.216	L. Centro
267	580047.4	1433565	639.351	L. Centro
268	580062.9	1433571	640.616	L. Centro
269	580078.9	1433578	641.183	L. Centro
270	580096.8	1433586	641.816	L. Centro
271	580121.2	1433596	641.216	L. Centro
272	580144.3	1433601	638.766	L. Centro
273	580155.4	1433601	637.916	L. Centro
274	580169.9	1433598	637.416	L. Centro
275	580188.3	1433594	634.316	L. Centro
276	580206.2	1433585	633.272	L. Centro
277	580224.4	1433575	632.216	L. Centro
278	580246.9	1433564	631.625	L. Centro
279	580270	1433552	631.016	L. Centro
280	580298.1	1433536	627.716	L. Centro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62 Puntos camino P281 – P315

Punto	X	Y	Z	Descripción
281	580320.5	1433522	627.564	L. Centro
282	580342.2	1433513	627.416	L. Centro
283	580358.8	1433509	627.116	L. Centro
284	580377.5	1433507	627.716	L. Centro
285	580404.7	1433503	628.121	L. Centro
286	580431.2	1433498	628.516	L. Centro
287	580460.5	1433490	629.116	L. Centro
288	580480.1	1433478	628.716	L. Centro
289	580504.3	1433456	627.516	L. Centro
290	580528	1433430	625.316	L. Centro
291	580585.4	1433441	625.016	L. Centro
292	580602.9	1433447	624.278	L. Centro
293	580620.9	1433453	623.516	L. Centro
294	580647.4	1433462	623.949	L. Centro
295	580675.9	1433472	624.416	L. Centro
296	580697	1433479	625.41	L. Centro
297	580720.4	1433486	626.516	L. Centro
298	580746.6	1433498	626.659	L. Centro
299	580777.2	1433508	626.816	L. Centro
300	580798.2	1433511	627.409	L. Centro
301	580819.7	1433513	628.016	L. Centro
302	580843.1	1433508	629.352	L. Centro
303	580870.5	1433501	630.716	L. Centro
304	580903	1433483	629.516	L. Centro
305	580929.7	1433469	628.616	L. Centro
306	580952.5	1433458	628.916	L. Centro
307	580979.1	1433446	628.916	L. Centro
308	581008.6	1433434	628.016	L. Centro
309	581028.7	1433426	627.387	L. Centro
310	581046.9	1433418	627.389	L. Centro
311	581071.2	1433415	626.693	L. Centro
312	581093.3	1433413	626.52	L. Centro
313	581110.3	1433411	627.166	L. Centro
314	581127.4	1433410	627.187	L. Centro
315	581144.5	1433408	627.58	L. Centro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63 Puntos camino P316 – P350

Punto	X	Y	Z	Descripción
316	581160.6	1433407	628.087	L. Centro
317	581173.9	1433405	627.586	L. Centro
318	581185.4	1433404	627.161	L. Centro
319	581201.5	1433401	626.595	L. Centro
320	581215.6	1433400	626.293	L. Centro
321	581230.4	1433397	625.323	L. Centro
322	581241.8	1433395	624.494	L. Centro
323	581254.9	1433393	624.136	L. Centro
324	581270.5	1433392	623.583	L. Centro
325	581285.4	1433392	624.027	L. Centro
326	581299.3	1433392	624.182	L. Centro
327	581312.8	1433392	624.17	L. Centro
328	581329.3	1433390	624.173	L. Centro
329	581340.6	1433389	623.528	L. Centro
330	581354.1	1433388	622.976	L. Centro
331	581374.4	1433385	622.05	L. Centro
332	581393	1433382	621.246	L. Centro
333	581405.1	1433380	620.683	L. Centro
334	581416.8	1433379	620.604	L. Centro
335	581434.8	1433376	618.268	L. Centro
336	581452.1	1433374	618.194	L. Centro
337	581480	1433374	618.146	L. Centro
338	581502.9	1433375	618.723	L. Centro
339	581522.8	1433378	619.916	L. Centro
340	578866.1	1432899	648.331	L_ Der.
341	578885.9	1432919	647.541	L_ Der.
342	578907.3	1432937	648.197	L_ Der.
343	578932.4	1432957	648.981	
344	578954.1	1432970	648.725	
345	578978.8	1432985	648.441	
346	579003	1432999	647.458	
347	579030.6	1433015	646.341	
348	579068.2	1433037	644.341	
349	579097.3	1433050	644.431	
350	579131	1433065	644.541	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64 Puntos camino P351 – P385

Punto	X	Y	Z	Descripción
351	579160.8	1433078	644.095	L_ Der.
352	579193	1433093	643.641	L_ Der.
353	579239.8	1433113	642.721	L_ Der.
354	579268.4	1433123	642.59	L_ Der.
355	579298.7	1433133	642.441	L_ Der.
356	579332.5	1433143	641.838	L_ Der.
357	579475.3	1433251	639.466	L_ Der.
358	579499.8	1433268	640.141	L_ Der.
359	579534.2	1433284	639.971	L_ Der.
360	579567.9	1433300	639.801	L_ Der.
361	579608.6	1433318	639.291	L_ Der.
362	579639.6	1433335	639.791	L_ Der.
363	579670.1	1433352	641.831	L_ Der.
364	579687.8	1433365	641.831	L_ Der.
365	579705	1433377	641.831	L_ Der.
366	579723.5	1433390	641.103	L_ Der.
367	579741.8	1433404	640.341	L_ Der.
368	579762.3	1433415	639.714	L_ Der.
369	579777.7	1433423	639.141	L_ Der.
370	579795.4	1433433	639.283	L_ Der.
371	579814.3	1433443	639.441	L_ Der.
372	579836.7	1433455	639.15	L_ Der.
373	579862	1433469	638.841	L_ Der.
374	579881.7	1433482	638.418	L_ Der.
375	579902.8	1433495	637.941	L_ Der.
376	579921.9	1433507	637.529	L_ Der.
377	579943	1433521	637.041	L_ Der.
378	579959.9	1433532	637.041	L_ Der.
379	579979.7	1433541	637.041	L_ Der.
380	579990.4	1433547	636.899	L_ Der.
381	581502.7	1433378	618.774	L_ Der.
382	581523.3	1433383	620.171	L_ Der.
383	581480	1433377	618.063	L_ Der.
384	581434.8	1433380	618.273	L_ Der.
385	581417.4	1433382	620.592	L_ Der.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65 Puntos camino P386 – P420

Punto	X	Y	Z	Descripción
386	581405.3	1433383	620.684	L_ Der.
387	581393.4	1433385	621.208	L_ Der.
388	581374.8	1433388	622.053	L_ Der.
389	581354.6	1433390	622.975	L_ Der.
390	581340.9	1433392	623.563	L_ Der.
391	581329.6	1433393	624.153	L_ Der.
392	581312.6	1433396	624.167	L_ Der.
393	581299.4	1433396	624.162	L_ Der.
394	581285.4	1433395	623.882	L_ Der.
395	581271	1433396	623.586	L_ Der.
396	581255.8	1433397	623.947	L_ Der.
397	581242.7	1433400	624.475	L_ Der.
398	581231	1433402	625.372	L_ Der.
399	581215.9	1433404	626.285	L_ Der.
400	581202.2	1433406	626.583	L_ Der.
401	581186.2	1433408	627.152	L_ Der.
402	581174.1	1433410	627.555	L_ Der.
403	581161.2	1433411	628.064	L_ Der.
404	581145	1433413	627.563	L_ Der.
405	581127.6	1433415	627.152	L_ Der.
406	581110.6	1433416	626.907	L_ Der.
407	581094	1433418	626.616	L_ Der.
408	581071.6	1433420	626.694	L_ Der.
409	581048	1433423	627.371	L_ Der.
410	581030.6	1433430	627.357	L_ Der.
411	581011.4	1433439	628.041	L_ Der.
412	580981.6	1433451	628.941	L_ Der.
413	580954.9	1433462	628.941	L_ Der.
414	580932.3	1433474	628.641	L_ Der.
415	580905.8	1433488	629.541	L_ Der.
416	580877.5	1433505	630.741	L_ Der.
417	580845.8	1433514	629.377	L_ Der.
418	580818.6	1433521	628.041	L_ Der.
419	580795.4	1433519	627.434	L_ Der.
420	580775.1	1433514	626.841	L_ Der.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66 Puntos camino P421 – P455

Punto	X	Y	Z	Descripción
421	580744.3	1433502	626.684	L_ Der.
422	580718.7	1433490	626.541	L_ Der.
423	580695.5	1433482	625.435	L_ Der.
424	580675.1	1433475	624.441	L_ Der.
425	580646.7	1433465	623.974	L_ Der.
426	580620.2	1433455	623.541	L_ Der.
427	580602.1	1433449	624.303	L_ Der.
428	580584.7	1433443	625.041	L_ Der.
429	580531.1	1433433	625.341	L_ Der.
430	580507.3	1433459	627.541	L_ Der.
431	580482.9	1433482	628.741	L_ Der.
432	580462.6	1433495	629.141	L_ Der.
433	580432.2	1433502	628.541	L_ Der.
434	580406.2	1433508	628.146	L_ Der.
435	580377.7	1433511	627.741	L_ Der.
436	580359.3	1433513	627.141	L_ Der.
437	580345.3	1433518	627.441	L_ Der.
438	580323.6	1433527	627.589	L_ Der.
439	580300.3	1433540	627.741	L_ Der.
440	580272.2	1433555	631.041	L_ Der.
441	580249.1	1433566	631.65	L_ Der.
442	580226.3	1433578	632.241	L_ Der.
443	580208.8	1433588	633.297	L_ Der.
444	580191.2	1433597	634.341	L_ Der.
445	580169.8	1433602	637.441	L_ Der.
446	580156.2	1433606	637.941	L_ Der.
447	580145.9	1433608	638.791	L_ Der.
448	580118.8	1433600	641.241	L_ Der.
449	580095.1	1433589	641.841	L_ Der.
450	580077.6	1433581	641.208	L_ Der.
451	580061.3	1433573	640.641	L_ Der.
452	580046.3	1433568	639.376	L_ Der.
453	580032.2	1433562	638.241	L_ Der.
454	580019.2	1433559	637.641	L_ Der.
455	580002.8	1433551	636.741	L_ Der.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Puntos camino P456 – P491

Punto	X	Y	Z	Descripción
456	579455.9	1433231	639.441	L_ Der.
457	579452.2	1433209	639.272	L_ Der.
458	579400.7	1433159	640.341	L_ Der.
459	579384.2	1433155	640.645	L_ Der.
460	579363.9	1433152	641.291	L_ Der.
461	579216.7	1433103	643.189	L_ Der.
462	578847.8	1432882	649.041	L_ Der.
463	578826.6	1432860	651.961	L_ Der.
464	581452.4	1433377	618.153	L_ Der.
465	578829.9	1432857	651.897	L_ Izq.
466	578850.9	1432879	648.977	L_ Izq.
467	579218.7	1433097	643.125	L_ Izq.
468	580004.3	1433548	636.677	L_ Izq.
469	581312.8	1433388	624.098	L_ Izq.
470	581329.2	1433387	624.11	L_ Izq.
471	581340.5	1433386	623.508	L_ Izq.
472	581353.8	1433384	622.899	L_ Izq.
473	581374.1	1433381	621.968	L_ Izq.
474	581392.6	1433378	621.097	L_ Izq.
475	581405	1433377	620.604	L_ Izq.
476	581416.5	1433375	620.51	L_ Izq.
477	581434.4	1433373	618.179	L_ Izq.
478	581451.9	1433371	618.064	L_ Izq.
479	581480.2	1433371	617.899	L_ Izq.
480	581503.2	1433372	618.644	L_ Izq.
481	581523.1	1433372	619.9	L_ Izq.
482	581299.2	1433389	624.099	L_ Izq.
483	581285.7	1433389	624.088	L_ Izq.
484	581270.6	1433389	623.51	L_ Izq.
485	581254.6	1433390	623.917	L_ Izq.
486	581241.2	1433391	624.418	L_ Izq.
487	581229.8	1433393	625.25	L_ Izq.
488	581215	1433394	626.2	L_ Izq.
489	581200.8	1433397	626.51	L_ Izq.
490	581184.5	1433399	627.109	L_ Izq.
491	581173.1	1433401	627.497	L_ Izq.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 Puntos camino P492 – P527

Punto	X	Y	Z	Descripción
492	581160.2	1433403	627.973	L_ Izq.
493	581144.2	1433404	627.521	L_ Izq.
494	581127.1	1433404	627.093	L_ Izq.
495	581110.2	1433405	626.617	L_ Izq.
496	581092.6	1433404	626.466	L_ Izq.
497	581071.3	1433408	626.62	L_ Izq.
498	581046.3	1433413	627.091	L_ Izq.
499	581027.1	1433420	627.124	L_ Izq.
500	581005.9	1433428	627.977	L_ Izq.
501	580977.1	1433442	628.877	L_ Izq.
502	580950.5	1433453	628.877	L_ Izq.
503	580927.1	1433464	628.577	L_ Izq.
504	580901.2	1433478	629.477	L_ Izq.
505	580864.8	1433498	630.677	L_ Izq.
506	580841.8	1433503	629.313	L_ Izq.
507	580820.6	1433509	627.977	L_ Izq.
508	580799.9	1433507	627.37	L_ Izq.
509	580778.5	1433505	626.777	L_ Izq.
510	580749.3	1433494	626.62	L_ Izq.
511	580721.7	1433484	626.477	L_ Izq.
512	580698.4	1433477	625.371	L_ Izq.
513	580676.6	1433470	624.377	L_ Izq.
514	580648	1433461	623.91	L_ Izq.
515	580621.6	1433452	623.477	L_ Izq.
516	580603.5	1433445	624.239	L_ Izq.
517	580586.4	1433439	624.977	L_ Izq.
518	580524.8	1433426	625.277	L_ Izq.
519	580500.6	1433453	627.477	L_ Izq.
520	580478.4	1433473	628.677	L_ Izq.
521	580458.2	1433485	629.077	L_ Izq.
522	580430.6	1433494	628.477	L_ Izq.
523	580403.8	1433499	628.082	L_ Izq.
524	580377.5	1433504	627.677	L_ Izq.
525	580359.2	1433504	627.077	L_ Izq.
526	580339.7	1433507	627.377	L_ Izq.
527	580316.8	1433517	627.525	L_ Izq.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69 Puntos camino P528 – P563

Punto	X	Y	Z	Descripción
528	580296.3	1433532	627.677	L_ Izq.
529	580267.8	1433548	630.977	L_ Izq.
530	580244.3	1433561	631.586	L_ Izq.
531	580222.7	1433571	632.177	L_ Izq.
532	580203.8	1433582	633.233	L_ Izq.
533	580185.7	1433591	634.277	L_ Izq.
534	580170.4	1433595	637.377	L_ Izq.
535	580155.9	1433596	637.877	L_ Izq.
536	580144.8	1433595	638.727	L_ Izq.
537	580123.7	1433592	641.177	L_ Izq.
538	580098.4	1433583	641.777	L_ Izq.
539	580080.3	1433575	641.144	L_ Izq.
540	580064.4	1433568	640.577	L_ Izq.
541	580048.3	1433562	639.312	L_ Izq.
542	580034.7	1433557	638.177	L_ Izq.
543	580021.7	1433552	637.577	L_ Izq.
544	579991.5	1433544	636.835	L_ Izq.
545	579981.9	1433538	636.977	L_ Izq.
546	579962.4	1433527	636.977	L_ Izq.
547	579946.5	1433516	636.977	L_ Izq.
548	579925.2	1433503	637.465	L_ Izq.
549	579905.9	1433490	637.877	L_ Izq.
550	579884	1433477	638.354	L_ Izq.
551	579864.7	1433465	638.777	L_ Izq.
552	579839.9	1433451	639.086	L_ Izq.
553	579817.9	1433438	639.377	L_ Izq.
554	579798.7	1433427	639.219	L_ Izq.
555	579780.9	1433418	639.077	L_ Izq.
556	579764.6	1433409	639.65	L_ Izq.
557	579744.2	1433399	640.277	L_ Izq.
558	579726.5	1433385	641.039	L_ Izq.
559	579709.2	1433372	641.767	L_ Izq.
560	579691.2	1433360	641.767	L_ Izq.
561	579672.8	1433348	641.767	L_ Izq.
562	579642.2	1433330	639.727	L_ Izq.
563	579611.7	1433313	639.227	L_ Izq.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70 Puntos camino P564 – P599

Punto	X	Y	Z	Descripción
564	579570.6	1433294	639.737	L_ Izq.
565	579537.2	1433278	639.907	L_ Izq.
566	579504	1433261	640.077	L_ Izq.
567	579481.9	1433246	639.402	L_ Izq.
568	579466.9	1433229	639.377	L_ Izq.
569	579461.1	1433209	639.208	L_ Izq.
570	579407	1433153	640.277	L_ Izq.
571	579385.3	1433150	640.581	L_ Izq.
572	579365.3	1433146	641.227	L_ Izq.
573	579334	1433138	641.774	L_ Izq.
574	579301.1	1433128	642.377	L_ Izq.
575	579270.4	1433117	642.526	L_ Izq.
576	579242.9	1433108	642.657	L_ Izq.
577	579195.4	1433088	643.577	L_ Izq.
578	579163.3	1433073	644.031	L_ Izq.
579	579133.4	1433060	644.477	L_ Izq.
580	579098.8	1433044	644.367	L_ Izq.
581	579071.5	1433032	644.277	L_ Izq.
582	579033.4	1433011	646.277	L_ Izq.
583	579005.7	1432995	647.394	L_ Izq.
584	578981.5	1432981	648.377	L_ Izq.
585	578957.7	1432966	648.661	L_ Izq.
586	578935.7	1432952	648.917	L_ Izq.
587	578911	1432932	648.133	L_ Izq.
588	578888.8	1432915	647.477	L_ Izq.
589	578868.8	1432896	648.267	L_ Izq.
590	579376.8	1433166	638.324	Quebrada
591	579377.3	1433168	636.324	Quebrada
592	579379.2	1433182	636.324	Quebrada
593	579379.2	1433185	638.324	Quebrada
594	579391.5	1433167	639.341	Quebrada
595	579403	1433169	639.324	Quebrada
596	579410.4	1433174	637.524	Quebrada
597	579412.3	1433167	639.524	Puente
598	579419.8	1433160	639.524	Puente
599	579427	1433184	637.524	Quebrada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71 Puntos camino P600 – P635

Punto	X	Y	Z	Descripción
600	579422.6	1433191	639.324	Quebrada
601	579438.4	1433160	639.324	Quebrada
602	579440.9	1433169	637.524	Quebrada
603	579443.2	1433191	638.924	Puente
604	579455	1433188	638.924	Puente
605	579456.4	1433182	637.124	Quebrada
606	579485.5	1433193	638.324	Quebrada
607	579486	1433170	638.324	Quebrada
608	579486	1433189	636.324	Quebrada
609	579486.3	1433175	636.324	Quebrada
610	579540.9	1433210	637.624	Quebrada
611	579541.6	1433206	635.594	Quebrada
612	579544.8	1433194	635.594	Quebrada
613	579545.4	1433190	637.624	Quebrada
614	580537.6	1433444	623.224	Quebrada
615	580539.3	1433446	622.624	Quebrada
616	580542.8	1433450	622.624	Quebrada
617	580544.5	1433451	623.224	Quebrada
618	580546.8	1433437	623.824	Quebrada
619	580551.4	1433437	623.224	Quebrada
620	580556	1433439	623.224	Quebrada
621	580554.9	1433434	624.424	Puente
622	580557	1433442	623.824	Quebrada
623	580557.9	1433428	624.424	Puente
624	580560.2	1433422	623.824	Quebrada
625	580562	1433436	624.424	Puente
626	580565.1	1433431	624.424	Puente
627	580563.1	1433423	623.024	Quebrada
628	580570.5	1433426	623.824	Quebrada
629	580568	1433425	623.074	Quebrada
630	580579.2	1433410	623.224	Quebrada
631	580582	1433411	622.624	Quebrada
632	580589.1	1433415	622.624	Quebrada
633	580591.2	1433417	623.224	Quebrada
634	579427.1	1433179	639.524	Puente
635	579437.6	1433174	639.524	Puente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72 Levantamiento de detalles

X(m)	Y (m)	Z (m)	Descripción
1432861.762	578824.885	651.776	Cerco
1433407.027	579740.991	640.076	Cerco
1433149.212	579364.673	641.266	L. Centro
1433155.53	579403.877	640.316	L. Centro
1432918.713	578885.868	647.541	L_ Der.
1432936.505	578907.307	648.197	L_ Der.
1433372.289	581523.122	619.900	BM-01
1433392.782	581229.768	625.25	L_ Izq.
1433394.466	581215.005	626.200	L_ Izq.
1433165.52	579376.847	638.324	Quebrada
1433166.993	579412.338	639.524	Puente
1433149.722	579385.26	640.581	BM-21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73 Pendientes del terreno N°1 – N°35

Nº	Estación	Elevación	Pendiente
1	0+000.00m	619.887m	
2	0+019.52m	618.724m	-5.96%
3	0+019.92m	618.713m	-2.66%
4	0+041.00m	618.185m	-2.51%
5	0+042.39m	618.141m	-3.15%
6	0+043.47m	618.146m	0.52%
7	0+045.22m	618.150m	0.23%
8	0+058.15m	618.173m	0.18%
9	0+070.34m	618.192m	0.16%
10	0+070.90m	618.194m	0.23%
11	0+072.92m	618.196m	0.10%
12	0+087.79m	618.263m	0.45%
13	0+088.64m	618.374m	13.08%
14	0+105.95m	620.603m	12.87%
15	0+106.14m	620.604m	0.76%
16	0+107.43m	620.613m	0.67%
17	0+117.75m	620.683m	0.68%
18	0+117.79m	620.684m	3.91%
19	0+120.30m	620.801m	4.63%
20	0+129.82m	621.239m	4.61%
21	0+129.97m	621.246m	4.38%
22	0+136.07m	621.507m	4.29%
23	0+148.75m	622.048m	4.26%
24	0+149.33m	622.074m	4.48%
25	0+151.21m	622.158m	4.50%
26	0+169.23m	622.974m	4.53%
27	0+169.49m	622.986m	4.70%
28	0+170.19m	623.015m	4.06%
29	0+182.80m	623.527m	4.06%
30	0+183.56m	623.567m	5.30%
31	0+194.24m	624.173m	5.68%
32	0+194.27m	624.173m	-0.07%
33	0+194.53m	624.173m	0.04%
34	0+194.93m	624.173m	-0.03%
35	0+202.03m	624.172m	-0.02%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74 Pendientes del terreno N°36 – N°70

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
36	0+210.74m	624.170m	-0.02%
37	0+210.78m	624.170m	0.16%
38	0+211.08m	624.170m	0.17%
39	0+211.47m	624.171m	0.09%
40	0+212.04m	624.171m	0.09%
41	0+224.27m	624.175m	0.03%
42	0+225.43m	624.174m	-0.08%
43	0+237.71m	624.032m	-1.16%
44	0+238.14m	624.027m	-1.22%
45	0+238.19m	624.026m	-2.12%
46	0+241.12m	623.938m	-2.99%
47	0+248.26m	623.726m	-2.98%
48	0+253.04m	623.582m	-3.00%
49	0+253.40m	623.591m	2.39%
50	0+254.87m	623.635m	3.04%
51	0+259.94m	623.826m	3.77%
52	0+268.67m	624.121m	3.38%
53	0+269.52m	624.157m	4.27%
54	0+281.16m	624.474m	2.72%
55	0+281.84m	624.491m	2.55%
56	0+281.91m	624.494m	3.67%
57	0+281.98m	624.498m	7.17%
58	0+284.34m	624.664m	6.99%
59	0+293.54m	625.319m	7.12%
60	0+294.16m	625.360m	6.51%
61	0+305.89m	626.120m	6.48%
62	0+308.43m	626.284m	6.47%
63	0+308.58m	626.293m	5.99%
64	0+311.42m	626.353m	2.11%
65	0+321.78m	626.573m	2.13%
66	0+322.75m	626.594m	2.15%
67	0+323.82m	626.632m	3.52%
68	0+338.98m	627.161m	3.49%
69	0+350.51m	627.580m	3.64%
70	0+350.68m	627.586m	3.29%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75 Pendientes del terreno N°71 – N°105

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
71	0+353.95m	627.708m	3.74%
72	0+355.50m	627.767m	3.79%
73	0+364.04m	628.076m	3.63%
74	0+379.23m	627.602m	-3.12%
75	0+380.13m	627.577m	-2.80%
76	0+397.06m	627.191m	-2.28%
77	0+397.28m	627.186m	-2.34%
78	0+397.42m	627.182m	-2.74%
79	0+398.61m	627.180m	-0.22%
80	0+414.47m	627.150m	-0.19%
81	0+431.16m	626.522m	-3.76%
82	0+431.57m	626.519m	-0.80%
83	0+432.08m	626.522m	0.67%
84	0+437.82m	626.566m	0.75%
85	0+453.84m	626.691m	0.78%
86	0+454.67m	626.706m	1.81%
87	0+478.36m	627.389m	2.88%
88	0+478.58m	627.386m	-1.24%
89	0+481.54m	627.349m	-1.25%
90	0+498.04m	627.366m	0.10%
91	0+516.99m	627.937m	3.01%
92	0+519.70m	628.016m	2.93%
93	0+520.11m	628.028m	2.81%
94	0+521.11m	628.056m	2.83%
95	0+551.51m	628.919m	2.84%
96	0+551.55m	628.920m	2.85%
97	0+556.37m	628.920m	0.00%
98	0+580.87m	628.919m	-0.01%
99	0+583.40m	628.888m	-1.20%
100	0+602.35m	628.663m	-1.19%
101	0+606.29m	628.615m	-1.20%
102	0+607.10m	628.640m	3.03%
103	0+607.57m	628.654m	2.99%
104	0+612.03m	628.789m	3.03%
105	0+636.17m	629.520m	3.03%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76 Pendientes del terreno N°106 – N°140

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
106	0+673.19m	630.700m	3.19%
107	0+673.64m	630.716m	3.56%
108	0+674.05m	630.696m	-4.89%
109	0+674.39m	630.683m	-3.95%
110	0+701.24m	629.374m	-4.87%
111	0+701.62m	629.356m	-4.88%
112	0+721.10m	628.276m	-5.54%
113	0+725.80m	628.054m	-4.71%
114	0+726.45m	628.020m	-5.26%
115	0+744.53m	627.513m	-2.81%
116	0+748.30m	627.413m	-2.66%
117	0+766.60m	626.898m	-2.81%
118	0+769.33m	626.823m	-2.74%
119	0+769.43m	626.820m	-2.91%
120	0+798.76m	626.676m	-0.49%
121	0+801.09m	626.665m	-0.46%
122	0+801.79m	626.661m	-0.51%
123	0+826.87m	626.538m	-0.49%
124	0+830.52m	626.520m	-0.49%
125	0+833.88m	626.365m	-4.60%
126	0+844.52m	625.883m	-4.53%
127	0+854.93m	625.406m	-4.57%
128	0+858.31m	625.255m	-4.49%
129	0+877.04m	624.402m	-4.55%
130	0+900.09m	624.050m	-1.53%
131	0+907.23m	623.941m	-1.53%
132	0+933.26m	623.544m	-1.52%
133	0+935.25m	623.514m	-1.52%
134	0+943.81m	623.857m	4.01%
135	0+953.31m	624.237m	4.00%
136	0+954.37m	624.280m	4.00%
137	0+954.78m	624.296m	4.00%
138	0+970.69m	624.932m	4.00%
139	0+972.89m	625.020m	3.99%
140	0+973.22m	625.011m	-2.69%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77 Pendientes del terreno N°141 – N°175

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
141	0+975.09m	624.961m	-2.68%
142	0+996.05m	624.424m	-2.56%
143	0+999.31m	624.424m	0.00%
144	1+003.57m	624.424m	0.00%
145	1+007.92m	624.573m	3.42%
146	1+016.57m	624.853m	3.24%
147	1+023.28m	625.012m	2.37%
148	1+032.62m	625.301m	3.10%
149	1+032.80m	625.309m	4.51%
150	1+063.63m	627.208m	6.16%
151	1+068.63m	627.511m	6.05%
152	1+068.80m	627.517m	3.80%
153	1+084.65m	628.107m	3.72%
154	1+097.33m	628.577m	3.71%
155	1+101.29m	628.719m	3.58%
156	1+102.66m	628.744m	1.83%
157	1+115.50m	628.961m	1.69%
158	1+124.32m	629.112m	1.70%
159	1+127.05m	629.061m	-1.85%
160	1+128.37m	629.037m	-1.79%
161	1+154.44m	628.516m	-2.00%
162	1+154.82m	628.511m	-1.48%
163	1+181.43m	628.125m	-1.45%
164	1+181.82m	628.119m	-1.37%
165	1+185.49m	628.067m	-1.41%
166	1+196.76m	627.897m	-1.51%
167	1+209.01m	627.710m	-1.53%
168	1+210.95m	627.648m	-3.17%
169	1+226.53m	627.156m	-3.16%
170	1+227.89m	627.115m	-3.02%
171	1+228.46m	627.123m	1.53%
172	1+244.95m	627.413m	1.75%
173	1+248.21m	627.428m	0.46%
174	1+262.93m	627.526m	0.67%
175	1+268.90m	627.566m	0.67%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78 Pendientes del terreno N°176 – N°210

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
176	1+271.44m	627.581m	0.56%
177	1+279.86m	627.627m	0.55%
178	1+295.20m	627.709m	0.54%
179	1+300.86m	628.280m	10.08%
180	1+327.42m	631.011m	10.28%
181	1+332.41m	631.130m	2.38%
182	1+352.65m	631.606m	2.35%
183	1+353.43m	631.624m	2.30%
184	1+363.64m	631.864m	2.36%
185	1+378.66m	632.217m	2.35%
186	1+379.48m	632.260m	5.23%
187	1+399.20m	633.273m	5.13%
188	1+399.90m	633.310m	5.26%
189	1+419.51m	634.317m	5.14%
190	1+420.10m	634.412m	16.09%
191	1+420.86m	634.516m	13.65%
192	1+436.63m	637.120m	16.52%
193	1+438.30m	637.393m	16.32%
194	1+438.41m	637.416m	19.98%
195	1+438.49m	637.418m	3.50%
196	1+441.25m	637.512m	3.40%
197	1+450.96m	637.842m	3.40%
198	1+451.49m	637.860m	3.35%
199	1+453.08m	637.914m	3.38%
200	1+453.68m	637.960m	7.71%
201	1+464.13m	638.761m	7.67%
202	1+465.92m	638.967m	11.53%
203	1+467.47m	639.113m	9.37%
204	1+471.72m	639.508m	9.30%
205	1+488.22m	641.220m	10.38%
206	1+488.57m	641.228m	2.26%
207	1+511.71m	641.749m	2.25%
208	1+514.71m	641.819m	2.31%
209	1+517.18m	641.739m	-3.26%
210	1+526.26m	641.444m	-3.25%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79 Pendientes del terreno N°211 – N°245

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
211	1+534.22m	641.185m	-3.25%
212	1+551.02m	640.639m	-3.25%
213	1+551.72m	640.617m	-3.13%
214	1+553.36m	640.489m	-7.83%
215	1+563.98m	639.670m	-7.71%
216	1+568.29m	639.342m	-7.63%
217	1+581.62m	638.326m	-7.62%
218	1+583.09m	638.213m	-7.70%
219	1+584.06m	638.171m	-4.32%
220	1+596.76m	637.614m	-4.39%
221	1+598.47m	637.526m	-5.16%
222	1+599.24m	637.486m	-5.16%
223	1+608.96m	636.982m	-5.18%
224	1+614.69m	636.706m	-4.82%
225	1+622.30m	636.794m	1.15%
226	1+624.68m	636.823m	1.22%
227	1+628.09m	636.860m	1.08%
228	1+634.29m	636.942m	1.33%
229	1+639.68m	637.020m	1.44%
230	1+639.94m	637.021m	0.21%
231	1+646.85m	637.021m	0.00%
232	1+661.98m	637.007m	-0.09%
233	1+670.54m	637.012m	0.06%
234	1+681.26m	637.013m	0.01%
235	1+687.95m	637.145m	1.97%
236	1+691.33m	637.210m	1.93%
237	1+706.58m	637.506m	1.94%
238	1+715.19m	637.660m	1.79%
239	1+729.38m	637.916m	1.81%
240	1+744.30m	638.199m	1.90%
241	1+746.17m	638.233m	1.82%
242	1+754.69m	638.393m	1.87%
243	1+762.86m	638.547m	1.89%
244	1+777.79m	638.822m	1.85%
245	1+787.69m	638.926m	1.05%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80 Pendientes del terreno N°246 – N°280

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
246	1+806.43m	639.119m	1.03%
247	1+819.25m	639.264m	1.13%
248	1+819.96m	639.272m	1.10%
249	1+831.99m	639.411m	1.15%
250	1+841.86m	639.341m	-0.70%
251	1+853.73m	639.256m	-0.72%
252	1+862.10m	639.198m	-0.69%
253	1+873.95m	639.115m	-0.70%
254	1+881.62m	639.355m	3.12%
255	1+891.80m	639.689m	3.28%
256	1+904.52m	640.034m	2.71%
257	1+914.50m	640.304m	2.71%
258	1+914.78m	640.311m	2.48%
259	1+924.62m	640.651m	3.45%
260	1+937.52m	641.078m	3.31%
261	1+945.96m	641.361m	3.36%
262	1+948.88m	641.455m	3.19%
263	1+959.86m	641.806m	3.20%
264	1+968.91m	641.804m	-0.02%
265	1+981.10m	641.803m	-0.01%
266	1+992.19m	641.799m	-0.04%
267	2+003.06m	641.800m	0.01%
268	2+005.09m	641.680m	-5.90%
269	2+018.73m	640.899m	-5.73%
270	2+038.28m	639.768m	-5.78%
271	2+050.08m	639.600m	-1.43%
272	2+073.32m	639.269m	-1.42%
273	2+083.39m	639.377m	1.07%
274	2+093.18m	639.487m	1.13%
275	2+118.05m	639.768m	1.13%
276	2+134.49m	639.848m	0.49%
277	2+155.35m	639.945m	0.46%
278	2+157.04m	639.953m	0.49%
279	2+169.72m	640.012m	0.47%
280	2+193.02m	640.115m	0.44%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81 Pendientes del terreno N°281 – N°315

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
281	2+195.15m	640.064m	-2.39%
282	2+203.67m	639.848m	-2.53%
283	2+221.53m	639.438m	-2.29%
284	2+223.39m	639.440m	0.08%
285	2+230.20m	639.432m	-0.11%
286	2+233.80m	639.433m	0.00%
287	2+246.36m	639.418m	-0.12%
288	2+246.65m	639.417m	-0.16%
289	2+246.95m	639.416m	-0.43%
290	2+264.98m	639.283m	-0.74%
291	2+269.15m	639.254m	-0.69%
292	2+269.31m	639.253m	-0.74%
293	2+278.27m	639.186m	-0.75%
294	2+287.30m	639.091m	-1.05%
295	2+289.30m	639.111m	1.02%
296	2+289.83m	639.126m	2.74%
297	2+310.97m	639.524m	1.88%
298	2+330.95m	639.711m	0.94%
299	2+331.44m	639.711m	-0.04%
300	2+335.95m	639.902m	4.24%
301	2+336.12m	639.909m	4.35%
302	2+344.27m	640.244m	4.11%
303	2+345.06m	640.273m	3.68%
304	2+345.51m	640.279m	1.19%
305	2+346.29m	640.319m	5.17%
306	2+357.29m	640.466m	1.34%
307	2+359.35m	640.387m	-3.88%
308	2+363.87m	640.559m	3.81%
309	2+365.43m	640.618m	3.74%
310	2+381.14m	641.112m	3.15%
311	2+385.68m	641.254m	3.14%
312	2+388.05m	641.296m	1.75%
313	2+393.83m	641.393m	1.69%
314	2+418.34m	641.802m	1.67%
315	2+435.10m	642.101m	1.78%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82 Pendientes del terreno N°316 – N°350

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
316	2+453.09m	642.411m	1.72%
317	2+455.91m	642.426m	0.52%
318	2+466.99m	642.477m	0.46%
319	2+485.31m	642.562m	0.46%
320	2+498.22m	642.620m	0.45%
321	2+513.37m	642.685m	0.43%
322	2+514.95m	642.691m	0.36%
323	2+527.25m	642.910m	1.78%
324	2+540.75m	643.162m	1.86%
325	2+555.43m	643.419m	1.75%
326	2+566.30m	643.612m	1.77%
327	2+581.71m	643.812m	1.30%
328	2+600.56m	644.058m	1.30%
329	2+601.57m	644.070m	1.28%
330	2+614.99m	644.252m	1.35%
331	2+634.16m	644.510m	1.35%
332	2+652.11m	644.455m	-0.31%
333	2+671.67m	644.397m	-0.29%
334	2+685.90m	644.355m	-0.29%
335	2+702.49m	644.303m	-0.32%
336	2+704.94m	644.417m	4.64%
337	2+730.76m	645.599m	4.58%
338	2+746.02m	646.300m	4.60%
339	2+767.83m	647.064m	3.50%
340	2+777.88m	647.415m	3.49%
341	2+796.43m	648.065m	3.51%
342	2+805.86m	648.397m	3.52%
343	2+822.06m	648.568m	1.05%
344	2+834.31m	648.691m	1.00%
345	2+836.29m	648.711m	1.03%
346	2+846.33m	648.812m	1.01%
347	2+859.18m	648.942m	1.01%
348	2+860.24m	648.952m	0.87%
349	2+874.21m	648.608m	-2.46%
350	2+892.30m	648.170m	-2.42%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83 Pendientes del terreno N°351 – N°359

N.º	Estación	Elevación	Pendiente
351	2+904.53m	647.884m	-2.34%
352	2+920.25m	647.517m	-2.33%
353	2+920.66m	647.530m	3.00%
354	2+938.07m	648.022m	2.83%
355	2+948.10m	648.304m	2.81%
356	2+960.04m	648.637m	2.78%
357	2+972.81m	649.001m	2.85%
358	2+985.98m	650.265m	9.59%
359	3+002.40m	651.843m	9.62%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84 Formato de aforo vehicular

Tramo				Est:													
Sentido				Fecha													
HORA		Bici	Moto	Vehiculos de pasajeros						Vehiculos de carga				Equipos pesados		Otros	Vol.
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	T2S1/ T2S2/ T3S1	T2S3/ T2S2/ T3S3	C2R2	C3R2/ C3R3	V.A	V.C		
06:00	07:00																
07:00	08:00																
08:00	09:00																
09:00	10:00																
10:00	11:00																
11:00	12:00																
12:00	01:00																
01:00	02:00																
02:00	03:00																
03:00	04:00																
04:00	05:00																
05:00	06:00																
Volumen (12 horas diurnas)																	

Fuente: Anuario de aforo de tráfico, MTI

Tabla 85 Aforo vehicular cada 15 min. Dia lunes

LUNES

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		TOTAL
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	0	0	0	1	1	0	2
06:15	06:30	5	0	0	1	0	0	6
06:30	06:45	1	0	1	1	0	1	4
06:45	07:00	2	0	0	2	0	0	4
07:00	07:15	1	1	0	5	0	0	7
07:15	07:30	2	0	1	4	0	0	7
07:30	07:45	3	2	0	5	1	0	11
07:45	08:00	2	0	0	6	0	0	8
08:00	08:15	1	2	0	1	0	0	4
08:15	08:30	0	0	0	1	0	0	1
08:30	08:45	0	1	0	3	1	0	5
08:45	09:00	0	0	0	2	0	1	3
09:00	09:15	1	0	0	2	0	0	3
09:15	09:30	0	0	0	1	1	0	2
09:30	09:45	0	0	0	3	1	0	4
09:45	10:00	2	0	0	1	0	0	3
10:00	10:15	0	0	0	0	0	1	1
10:15	10:30	0	1	0	2	0	0	3
10:30	10:45	0	0	0	3	0	0	3
10:45	11:00	1	0	0	1	0	0	2
11:00	11:15	0	0	0	1	1	0	2
11:15	11:30	3	0	0	1	0	0	4
11:30	11:45	2	2	0	2	0	0	6
11:45	12:00	0	0	0	1	0	0	1
12:00	12:15	5	0	0	1	0	0	6
12:15	12:30	1	0	0	5	0	0	6
12:30	12:45	0	1	0	2	0	0	3
12:45	01:00	1	1	0	1	0	0	3
01:00	01:15	5	0	0	3	0	0	8
01:15	01:30	0	0	0	0	0	1	1
01:30	01:45	1	0	0	2	0	0	3
01:45	02:00	1	0	0	4	1	0	6
02:00	02:15	1	0	0	1	1	0	3
02:15	02:30	3	0	0	3	0	0	6
02:30	02:45	0	0	0	4	1	0	5
02:45	03:00	4	0	0	1	1	0	6
03:00	03:15	1	1	0	1	1	0	4
03:15	03:30	1	0	0	1	0	0	2
03:30	03:45	2	0	0	4	0	0	6
03:45	04:00	1	0	0	1	0	0	2
04:00	04:15	0	1	0	3	0	1	5
04:15	04:30	2	0	0	4	0	0	6
04:30	04:45	4	0	0	4	0	0	8
04:45	05:00	3	1	0	1	0	0	5
05:00	05:15	4	0	0	2	0	1	7
05:15	05:30	3	0	0	5	1	0	9
05:30	05:45	1	2	0	3	1	1	8
05:45	06:00	6	0	0	4	0	0	10
Total		76	16	2	110	13	7	224

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86 Aforo vehicular cada 15 min. Dia martes

MARTES

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	2	3	0	1	0	0	6
06:15	06:30	3	2	0	2	0	0	7
06:30	06:45	3	1	1	1	0	0	6
06:45	07:00	0	0	0	1	0	0	1
07:00	07:15	2	1	0	3	0	0	6
07:15	07:30	2	0	0	2	0	1	5
07:30	07:45	2	1	0	3	1	0	7
07:45	08:00	2	0	0	2	0	0	4
08:00	08:15	1	0	0	1	1	0	3
08:15	08:30	3	0	0	1	0	0	4
08:30	08:45	0	0	0	1	1	0	2
08:45	09:00	5	1	1	1	0	0	8
09:00	09:15	3	0	0	1	0	0	4
09:15	09:30	3	0	0	2	0	0	5
09:30	09:45	3	0	0	1	0	0	4
09:45	10:00	2	0	0	1	0	0	3
10:00	10:15	1	0	0	2	1	0	4
10:15	10:30	2	2	0	0	0	0	4
10:30	10:45	4	0	1	3	0	0	8
10:45	11:00	2	1	0	1	0	0	4
11:00	11:15	1	0	0	1	0	0	2
11:15	11:30	3	0	0	4	0	0	7
11:30	11:45	3	0	1	2	0	0	6
11:45	12:00	3	0	1	2	0	0	6
12:00	12:15	3	0	1	0	0	0	4
12:15	12:30	2	0	0	3	0	0	5
12:30	12:45	5	0	1	1	1	0	8
12:45	01:00	1	0	0	0	0	0	1
01:00	01:15	2	0	0	2	0	1	5
01:15	01:30	2	0	0	0	1	0	3
01:30	01:45	5	0	0	3	1	0	9
01:45	02:00	4	0	0	2	0	0	6
02:00	02:15	1	0	0	2	0	0	3
02:15	02:30	4	0	0	3	0	0	7
02:30	02:45	3	2	0	2	0	0	7
02:45	03:00	1	0	1	2	0	0	4
03:00	03:15	1	1	0	2	0	0	4
03:15	03:30	2	0	0	1	0	0	3
03:30	03:45	3	0	0	5	0	0	8
03:45	04:00	3	0	0	2	0	1	6
04:00	04:15	2	1	0	1	0	0	4
04:15	04:30	2	1	1	1	0	0	5
04:30	04:45	1	1	0	1	1	0	4
04:45	05:00	1	0	0	3	0	0	4
05:00	05:15	5	2	0	1	0	0	8
05:15	05:30	7	0	0	6	0	0	13
05:30	05:45	9	0	0	3	1	1	14
05:45	06:00	6	0	0	3	0	0	9
Total		130	20	9	88	9	4	260

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87 Aforo vehicular cada 15 min. Dia miércoles

MIERCOLES

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	2	0	0	1	0	1	4
06:15	06:30	1	0	1	5	0	0	7
06:30	06:45	2	1	0	1	0	0	4
06:45	07:00	6	1	1	6	1	0	15
07:00	07:15	10	3	0	8	0	0	21
07:15	07:30	3	0	1	6	0	0	10
07:30	07:45	7	0	2	6	0	0	15
07:45	08:00	2	0	0	6	0	0	8
08:00	08:15	6	1	0	5	0	0	12
08:15	08:30	0	1	0	0	0	0	1
08:30	08:45	2	0	0	1	0	1	4
08:45	09:00	2	0	0	2	0	0	4
09:00	09:15	2	1	0	2	0	0	5
09:15	09:30	2	0	0	4	0	0	6
09:30	09:45	3	1	0	6	1	0	11
09:45	10:00	3	0	0	4	1	1	9
10:00	10:15	4	0	0	1	0	0	5
10:15	10:30	0	0	0	1	1	0	2
10:30	10:45	3	0	0	1	0	0	4
10:45	11:00	2	1	0	3	1	0	7
11:00	11:15	2	0	0	2	1	0	5
11:15	11:30	0	0	0	1	0	0	1
11:30	11:45	3	0	0	4	0	0	7
11:45	12:00	2	0	0	3	0	0	5
12:00	12:15	1	1	0	1	0	0	3
12:15	12:30	4	1	0	4	0	0	9
12:30	12:45	9	1	0	7	0	0	17
12:45	01:00	2	0	0	1	0	0	3
01:00	01:15	2	0	0	4	0	0	6
01:15	01:30	2	0	0	2	1	1	6
01:30	01:45	2	0	0	2	0	0	4
01:45	02:00	5	0	0	3	0	0	8
02:00	02:15	1	1	0	0	1	0	3
02:15	02:30	0	0	0	3	0	0	3
02:30	02:45	4	0	0	1	0	0	5
02:45	03:00	2	0	0	2	0	0	4
03:00	03:15	3	0	0	2	0	0	5
03:15	03:30	6	0	0	0	0	0	6
03:30	03:45	2	0	0	1	0	0	3
03:45	04:00	4	0	0	4	0	0	8
04:00	04:15	2	0	0	0	0	0	2
04:15	04:30	4	1	0	0	0	0	5
04:30	04:45	2	1	0	0	0	0	3
04:45	05:00	1	0	0	0	0	0	1
05:00	05:15	6	0	0	0	0	0	6
05:15	05:30	3	1	0	0	0	1	5
05:30	05:45	7	1	1	0	0	0	9
05:45	06:00	4	0	0	0	0	0	4
Total		147	18	6	116	8	5	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88 Aforo vehicular cada 15 min. Dia jueves

JUEVES

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	2	1	0	0	0	0	3
06:15	06:30	0	0	0	1	0	0	1
06:30	06:45	1	1	0	0	0	1	3
06:45	07:00	1	1	0	1	1	0	4
07:00	07:15	2	0	0	1	0	0	3
07:15	07:30	3	2	0	4	0	0	9
07:30	07:45	5	1	1	3	0	0	10
07:45	08:00	3	0	0	3	0	0	6
08:00	08:15	2	1	0	3	0	1	7
08:15	08:30	2	2	0	3	1	0	8
08:30	08:45	1	0	0	2	0	1	4
08:45	09:00	3	0	0	1	1	0	5
09:00	09:15	4	0	0	1	0	0	5
09:15	09:30	2	2	0	1	0	0	5
09:30	09:45	1	0	1	1	0	0	3
09:45	10:00	1	0	0	0	0	0	1
10:00	10:15	1	0	0	1	0	0	2
10:15	10:30	1	2	0	1	0	0	4
10:30	10:45	1	0	0	0	0	1	2
10:45	11:00	2	0	0	1	0	0	3
11:00	11:15	3	1	1	1	0	0	6
11:15	11:30	1	1	0	1	0	0	3
11:30	11:45	1	1	0	3	0	0	5
11:45	12:00	2	0	0	1	0	0	3
12:00	12:15	4	1	0	1	0	0	6
12:15	12:30	1	1	0	3	0	0	5
12:30	12:45	2	2	0	3	0	1	8
12:45	01:00	6	1	0	2	0	0	9
01:00	01:15	1	1	0	2	0	0	4
01:15	01:30	2	0	0	0	0	0	2
01:30	01:45	1	0	0	1	0	0	2
01:45	02:00	3	1	0	2	0	0	6
02:00	02:15	3	0	0	1	0	0	4
02:15	02:30	0	0	0	3	0	0	3
02:30	02:45	1	0	1	1	0	0	3
02:45	03:00	0	1	0	1	0	0	2
03:00	03:15	3	0	0	2	0	0	5
03:15	03:30	0	0	0	0	0	0	0
03:30	03:45	1	1	0	1	0	0	3
03:45	04:00	0	0	0	0	0	0	0
04:00	04:15	3	0	0	0	0	0	3
04:15	04:30	4	0	0	2	0	1	7
04:30	04:45	3	0	0	1	0	0	4
04:45	05:00	6	0	0	5	0	0	11
05:00	05:15	4	0	0	3	1	0	8
05:15	05:30	2	1	1	3	0	0	7
05:30	05:45	1	1	0	2	0	0	4
05:45	06:00	3	1	1	2	1	0	8
Total		99	28	6	75	5	6	219

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89 Aforo vehicular cada 15 min. Dia viernes

VIERNES

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	4	1	1	2	0	1	9
06:15	06:30	5	2	1	4	1	0	13
06:30	06:45	12	6	2	5	0	0	25
06:45	07:00	10	4	3	3	0	0	20
07:00	07:15	6	3	1	3	1	0	14
07:15	07:30	8	6	3	4	0	0	21
07:30	07:45	6	5	2	7	0	0	20
07:45	08:00	5	2	3	3	0	0	13
08:00	08:15	16	4	0	6	0	0	26
08:15	08:30	10	2	0	7	0	0	19
08:30	08:45	5	1	0	1	0	0	7
08:45	09:00	4	1	0	3	0	0	8
09:00	09:15	7	0	0	1	0	0	8
09:15	09:30	4	4	0	0	0	0	8
09:30	09:45	2	2	0	0	0	0	4
09:45	10:00	0	0	0	2	0	1	3
10:00	10:15	0	0	1	0	0	0	1
10:15	10:30	3	2	0	3	0	0	8
10:30	10:45	1	2	0	1	0	0	4
10:45	11:00	0	0	0	1	0	0	1
11:00	11:15	2	2	0	1	0	0	5
11:15	11:30	1	0	0	0	0	0	1
11:30	11:45	3	1	0	0	0	0	4
11:45	12:00	1	0	0	2	0	0	3
12:00	12:15	3	2	0	1	0	0	6
12:15	12:30	4	0	0	0	0	0	4
12:30	12:45	3	0	0	2	0	1	6
12:45	01:00	4	0	0	1	0	0	5
01:00	01:15	1	0	0	0	1	0	2
01:15	01:30	4	0	0	2	0	0	6
01:30	01:45	3	0	0	0	0	0	3
01:45	02:00	1	0	0	1	0	0	2
02:00	02:15	1	1	0	2	0	0	4
02:15	02:30	3	1	0	1	0	0	5
02:30	02:45	2	2	0	2	0	0	6
02:45	03:00	4	0	0	0	1	0	5
03:00	03:15	2	0	0	3	0	0	5
03:15	03:30	2	0	0	1	0	0	3
03:30	03:45	2	0	0	1	0	0	3
03:45	04:00	3	1	0	2	1	0	7
04:00	04:15	3	0	0	1	0	1	5
04:15	04:30	2	1	2	1	0	0	6
04:30	04:45	4	2	0	0	1	0	7
04:45	05:00	4	1	0	8	1	0	14
05:00	05:15	3	0	0	3	1	0	7
05:15	05:30	9	0	0	3	0	0	12
05:30	05:45	3	1	0	5	1	0	10
05:45	06:00	5	2	0	2	0	0	9
Total		190	64	19	101	9	4	387

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90 Aforo vehicular cada 15 min. Dia sábado

SABADO

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	4	0	0	2	0	0	6
06:15	06:30	1	1	0	2	1	0	5
06:30	06:45	4	0	0	3	0	0	7
06:45	07:00	2	0	1	1	0	0	4
07:00	07:15	2	1	0	2	0	0	5
07:15	07:30	6	2	1	2	2	1	14
07:30	07:45	1	2	1	3	0	1	8
07:45	08:00	2	2	0	2	1	1	8
08:00	08:15	1	1	0	1	0	0	3
08:15	08:30	2	2	0	1	0	0	5
08:30	08:45	2	2	0	4	0	0	8
08:45	09:00	2	1	0	1	1	0	5
09:00	09:15	2	0	0	4	0	0	6
09:15	09:30	1	0	0	6	0	0	7
09:30	09:45	1	1	0	2	0	0	4
09:45	10:00	1	0	1	0	0	0	2
10:00	10:15	1	0	0	1	0	0	2
10:15	10:30	0	0	0	2	0	0	2
10:30	10:45	1	0	0	2	0	1	4
10:45	11:00	0	1	0	2	0	0	3
11:00	11:15	0	0	0	2	0	0	2
11:15	11:30	1	0	0	2	2	0	5
11:30	11:45	0	1	0	0	0	0	1
11:45	12:00	2	1	0	1	0	0	4
12:00	12:15	3	0	1	1	0	1	6
12:15	12:30	0	2	0	2	0	0	4
12:30	12:45	1	0	1	3	0	0	5
12:45	01:00	1	0	0	3	0	0	4
01:00	01:15	0	0	0	1	0	0	1
01:15	01:30	1	2	0	0	0	0	3
01:30	01:45	1	0	0	0	0	0	1
01:45	02:00	1	0	0	2	1	0	4
02:00	02:15	2	2	0	1	0	0	5
02:15	02:30	0	0	0	2	0	0	2
02:30	02:45	0	1	1	1	0	0	3
02:45	03:00	0	1	0	0	0	0	1
03:00	03:15	1	1	0	5	0	0	7
03:15	03:30	1	0	0	4	0	0	5
03:30	03:45	1	1	0	2	1	1	6
03:45	04:00	0	1	0	1	1	0	3
04:00	04:15	2	1	0	2	1	0	6
04:15	04:30	4	3	0	3	1	0	11
04:30	04:45	3	1	0	4	1	0	9
04:45	05:00	1	0	0	4	0	0	5
05:00	05:15	2	2	0	4	1	0	9
05:15	05:30	4	1	1	2	0	0	8
05:30	05:45	2	1	0	3	0	0	6
05:45	06:00	3	1	1	4	1	0	10
Total		73	39	9	102	15	6	244

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91 Aforo vehicular. Dia domingo

DOMINGO

HORA (C/5 Min)		VEHICULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Liviano de carga	C2	
06:00	06:15	1	0	0	0	0	0	1
06:15	06:30	1	0	0	1	0	1	3
06:30	06:45	0	1	0	0	0	0	1
06:45	07:00	1	0	0	1	1	0	3
07:00	07:15	2	1	1	1	0	0	5
07:15	07:30	2	0	1	1	1	0	5
07:30	07:45	1	1	0	1	1	0	4
07:45	08:00	0	0	0	2	0	0	2
08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0
08:15	08:30	0	2	0	2	1	0	5
08:30	08:45	0	1	0	0	0	0	1
08:45	09:00	3	0	0	0	0	0	3
09:00	09:15	1	1	0	1	0	0	3
09:15	09:30	1	0	0	1	0	0	2
09:30	09:45	1	0	0	1	0	0	2
09:45	10:00	1	1	0	0	1	0	3
10:00	10:15	1	0	0	0	0	0	1
10:15	10:30	1	0	0	1	1	0	3
10:30	10:45	1	0	0	0	0	0	1
10:45	11:00	2	0	0	0	1	1	4
11:00	11:15	1	0	0	0	0	0	1
11:15	11:30	0	1	0	1	0	0	2
11:30	11:45	3	0	0	0	0	0	3
11:45	12:00	0	2	0	0	0	0	2
12:00	12:15	0	1	1	0	0	0	2
12:15	12:30	1	1	0	1	1	0	4
12:30	12:45	0	0	0	2	1	0	3
12:45	01:00	0	0	0	0	0	0	0
01:00	01:15	1	1	0	1	0	0	3
01:15	01:30	0	0	0	1	0	0	1
01:30	01:45	2	1	0	1	0	0	4
01:45	02:00	2	0	0	0	1	0	3
02:00	02:15	1	0	0	0	0	0	1
02:15	02:30	0	1	0	2	1	0	4
02:30	02:45	2	0	0	0	0	0	2
02:45	03:00	0	0	0	1	1	0	2
03:00	03:15	1	1	0	1	1	1	5
03:15	03:30	3	0	0	0	0	0	3
03:30	03:45	3	0	1	1	0	0	5
03:45	04:00	1	0	0	1	0	0	2
04:00	04:15	1	1	0	1	0	0	3
04:15	04:30	1	0	0	0	1	0	2
04:30	04:45	2	0	0	1	1	0	4
04:45	05:00	0	1	0	1	1	0	3
05:00	05:15	1	0	0	0	0	0	1
05:15	05:30	1	0	0	1	0	0	2
05:30	05:45	0	1	0	2	0	1	4
05:45	06:00	2	0	0	1	1	0	4
Total		49	20	4	33	17	4	127

Fuente: Elaboración propia

XL

Tabla 92 Aforo vehicular del día lunes

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		*TOTAL*
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	8	0	1	5	1	1	16
07:00	08:00	8	3	1	20	1	0	33
08:00	09:00	1	3	0	7	1	1	13
09:00	10:00	3	0	0	7	2	0	12
10:00	11:00	1	1	0	6	0	1	9
11:00	12:00	5	2	0	5	1	0	13
12:00	01:00	7	2	0	9	0	0	18
01:00	02:00	7	0	0	9	1	1	18
02:00	03:00	8	0	0	9	3	0	20
03:00	04:00	5	1	0	7	1	0	14
04:00	05:00	9	2	0	12	0	1	24
05:00	06:00	14	2	0	14	2	2	34
TOTAL		76	16	2	110	13	7	224

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93 Aforo vehicular del día martes

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	8	6	1	5	0	0	20
07:00	08:00	8	2	0	10	1	1	22
08:00	09:00	9	1	1	4	2	0	17
09:00	10:00	11	0	0	5	0	0	16
10:00	11:00	9	3	1	6	1	0	20
11:00	12:00	10	0	2	9	0	0	21
12:00	01:00	11	0	2	4	1	0	18
01:00	02:00	13	0	0	7	2	1	23
02:00	03:00	9	2	1	9	0	0	21
03:00	04:00	9	1	0	10	0	1	21
04:00	05:00	6	3	1	6	1	0	17
05:00	06:00	27	2	0	13	1	1	44
TOTAL		130	20	9	88	9	4	260

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94 Aforo vehicular del día miércoles

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	11	2	2	13	1	1	30
07:00	08:00	22	3	3	26	0	0	54
08:00	09:00	10	2	0	8	0	1	21
09:00	10:00	10	2	0	16	2	1	31
10:00	11:00	9	1	0	6	2	0	18
11:00	12:00	7	0	0	10	1	0	18
12:00	01:00	16	3	0	13	0	0	32
01:00	02:00	11	0	0	11	1	1	24
02:00	03:00	7	1	0	6	1	0	15
03:00	04:00	15	0	0	7	0	0	22
04:00	05:00	9	2	0	0	0	0	11
05:00	06:00	20	2	1	0	0	1	24
TOTAL		147	18	6	116	8	5	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95 Aforo vehicular del día jueves

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	4	3	0	2	1	1	11
07:00	08:00	13	3	1	11	0	0	28
08:00	09:00	8	3	0	9	2	2	24
09:00	10:00	8	2	1	3	0	0	14
10:00	11:00	5	2	0	3	0	1	11
11:00	12:00	7	3	1	6	0	0	17
12:00	01:00	13	5	0	9	0	1	28
01:00	02:00	7	2	0	5	0	0	14
02:00	03:00	4	1	1	6	0	0	12
03:00	04:00	4	1	0	3	0	0	8
04:00	05:00	16	0	0	8	0	1	25
05:00	06:00	10	3	2	10	2	0	27
TOTAL		99	28	6	75	5	6	219

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96 Aforo vehicular del día viernes

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	31	13	7	14	1	1	67
07:00	08:00	25	16	9	17	1	0	68
08:00	09:00	35	8	0	17	0	0	60
09:00	10:00	13	6	0	3	0	1	23
10:00	11:00	4	4	1	5	0	0	14
11:00	12:00	7	3	0	3	0	0	13
12:00	01:00	14	2	0	4	0	1	21
01:00	02:00	9	0	0	3	1	0	13
02:00	03:00	10	4	0	5	1	0	20
03:00	04:00	9	1	0	7	1	0	18
04:00	05:00	13	4	2	10	2	1	32
05:00	06:00	20	3	0	13	2	0	38
TOTAL		190	64	19	101	9	4	387

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97 Aforo vehicular del día sábado

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	11	1	1	8	1	0	22
07:00	08:00	11	7	2	9	3	3	35
08:00	09:00	7	6	0	7	1	0	21
09:00	10:00	5	1	1	12	0	0	19
10:00	11:00	2	1	0	7	0	1	11
11:00	12:00	3	2	0	5	2	0	12
12:00	01:00	5	2	2	9	0	1	19
01:00	02:00	3	2	0	3	1	0	9
02:00	03:00	2	4	1	4	0	0	11
03:00	04:00	3	3	0	12	2	1	21
04:00	05:00	10	5	0	13	3	0	31
05:00	06:00	11	5	2	13	2	0	33
TOTAL		73	39	9	102	15	6	244

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98 Aforo vehicular del día domingo

HORA		VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHICULOS DE CARGA		***TOTAL***
INICIO	FIN	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Liv. 2-5 t.	C2	
06:00	07:00	3	1	0	2	1	1	8
07:00	08:00	5	2	2	5	2	0	16
08:00	09:00	3	3	0	2	1	0	9
09:00	10:00	4	2	0	3	1	0	10
10:00	11:00	5	0	0	1	2	1	9
11:00	12:00	4	3	0	1	0	0	8
12:00	01:00	1	2	1	3	2	0	9
01:00	02:00	5	2	0	3	1	0	11
02:00	03:00	3	1	0	3	2	0	9
03:00	04:00	8	1	1	3	1	1	15
04:00	05:00	4	2	0	3	3	0	12
05:00	06:00	4	1	0	4	1	1	11
TOTAL		49	20	4	33	17	4	127

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99 Estación de mayor cobertura

Estación de mayor cobertura	NIC	No ESTACION	ECS	NOMBRE DEL TRAMO
1802 san Marcos Masatepe	NN-38	3207	ECS	El regadío - Los encuentros (Sn Juan Limay)
	NN-39	121	ECS	Estelí-Rodeo grande
	NN-40	4902 B	ECS	La Aceituna-Achuapa
	NN-41	4903	ECS	Petaquia-Salsale
	NN-43	3506	ECS	Emp. Chilamatillo-La concordia
	NN-44	309	ECD	San Rafael del Norte-Los chagüitones
	NN-45	3501	ECS	Emp. Santa cruz-San Nicolas
	NN-46	119	ECS	La Trinidad Sacaclí
	NN-46	**313**	**ECS**	**Sacaclí- San Gabriel**
	NN-48	310	ECS	Sisle- Santa fe
	NN-49	4107	ECS	La porrita- Sacramento
	NN-51	5704	ECS	Emp. Peñas Blancas - Abisinia

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2020

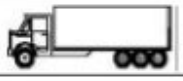
Tabla 100 Vector geográfico- R

No	Vector	Código	Nombre de región	Departamentos
1	**R1**	**PS**	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	**R2**	**PN**	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
3	**R3**	**CN**	**Central Norte**	**Nueva segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales**
4	**R4**	**AS**	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe sur (RACS), Rio San Juan
5	**R5**	**AN**	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2020

Tabla 101 Diafragma de cargas permisibles por tipo de vehículos

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2		4.50	9.00					13.50
11								
C3		5.00	**16.00**					21.00
12			8.00	8.00				
C4		5.00	**20.00**					25.00
Tx-Sx<4			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
Tx-Sx<4								
T2-S2		5.00	9.00	**16.00**				30.00
Tx-Sx<4				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	**20.00**				34.00
Tx-Sx>5				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	**16.00**		9.00			30.00
Tx-Sx<4			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	**16.00**		**16.00**			37.00
Cx-Rx<4			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	**16.00**		**20.00**			41.00
Cx-Rx>5			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
Cx-Rx<4		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
Cx-Rx>5		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
Cx-Rx>5		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a : *Eje sencillo llanta sencilla.*
b : *Eje sencillo llanta doble.*

Fuente: Ministerio de transporte e infraestructura (MTI

Tabla 102 Factores equivalentes de cargas, ejes simples

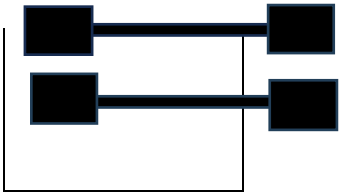
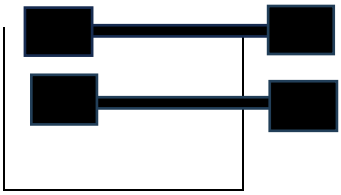
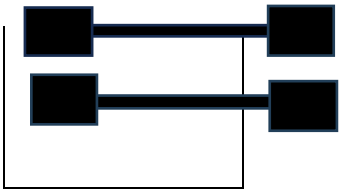
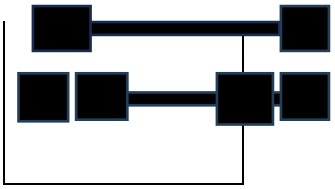
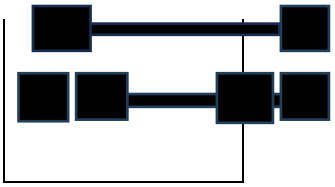
Tabla VIII.3. Factores equivalentes de carga para pavimento rígido, eje simple, $p_t = 2,0$

Carga/eje		Espesor de Losa *D* en pulgadas (mm)								
(kpis)	(kN)	6,0 (152,4)	7,0 (177,8)	8,0 (203,2)	9,0 (228,6)	10,0 (254,0)	11,0 (279,4)	12,0 (304,8)	13,0 (330,2)	14,0 (355,6)
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	35.6	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	44.5	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	53.4	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	62.3	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	71.2	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	97.9	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	106.8	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	115.7	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	124.6	6.58	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	133.5	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	142.4	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	151.3	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	160.0	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	169.1	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	178.0	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	186.9	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	195.8	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.4
46	204.7	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	213.6	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	222.5	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Fuente: AASHTO-93

L

Tabla 103 Pesos de ejes por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Gráfico de eje	Peso X eje (kips)
Auto		2.2 Eje delantero (Simple) 2.2 Eje trasero (Simple)
Jeep		2.2 Eje delantero (Simple) 2.2 Eje trasero (Simple)
Camioneta		2.2 Eje delantero (Simple) 4.4 Eje trasero (Simple)
Liv c2		8.8 Eje delantero (Simple) 17.6 Eje trasero (Simple)
C2		11 Eje delantero (Simple) 22 Eje trasero (Simple)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104 Clasificación de los suelos

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO

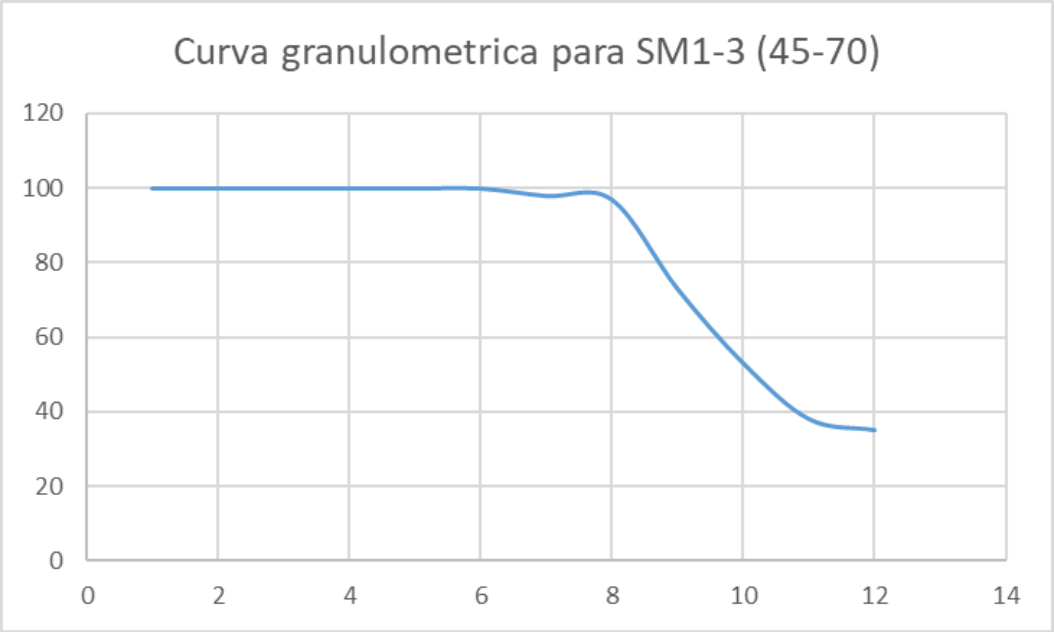
Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz Nº 200)							Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: Nº 10 (2.00mm) Nº40 (0.425mm) Nº 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 min 10 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	
Características del material que pasa el tamiz Nº 40 (0.425mm): Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.		- NP	40 máx. 10 máx.	41 min 10 máx.	40 máx 11 min	41 min 11 min	40 máx. 10 máx.	41 min 10 máx.	40 máx. 11 min	41 min 11 min*
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

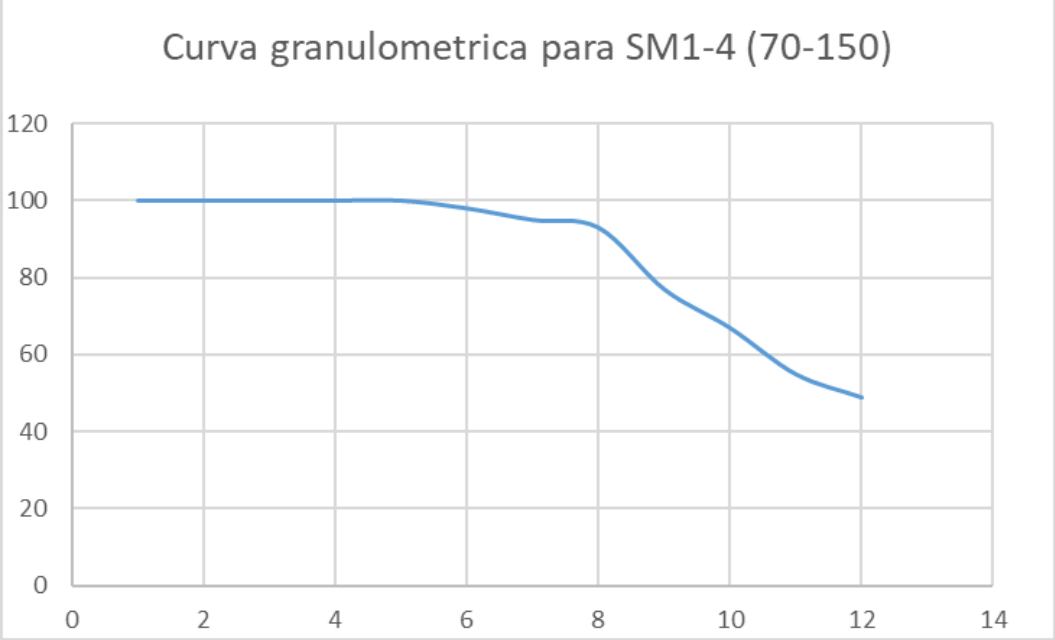
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Cuarta Edición

Gráfico 8 Curva granulométrica del sondeo manual 1, tercer estrato



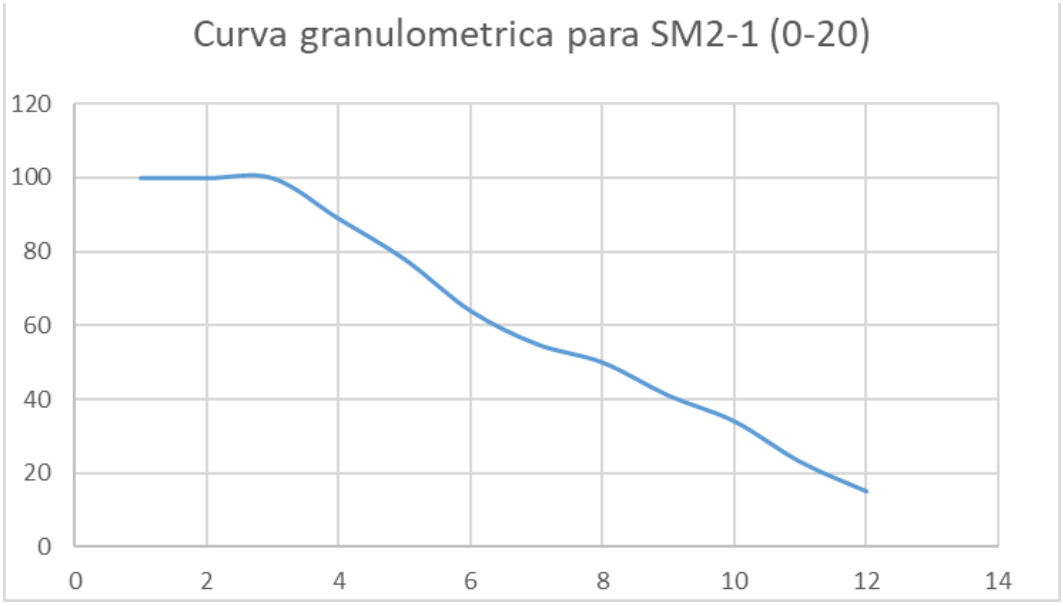
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9 Curva granulométrica del sondeo manual 1, cuarto estrato



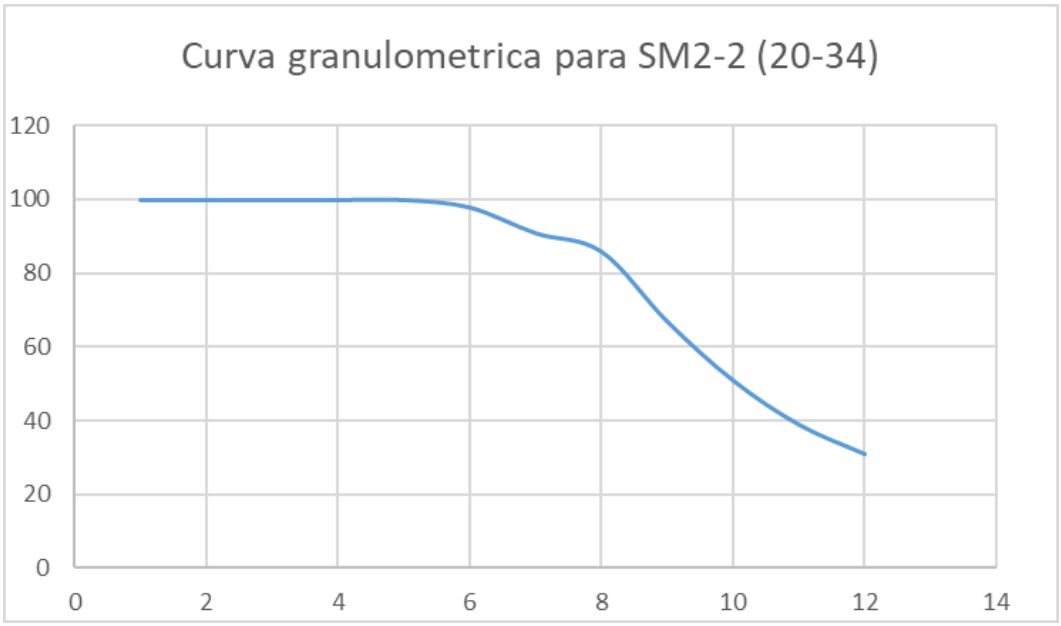
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10 Curva granulométrica del sondeo manual 2, primer estrato



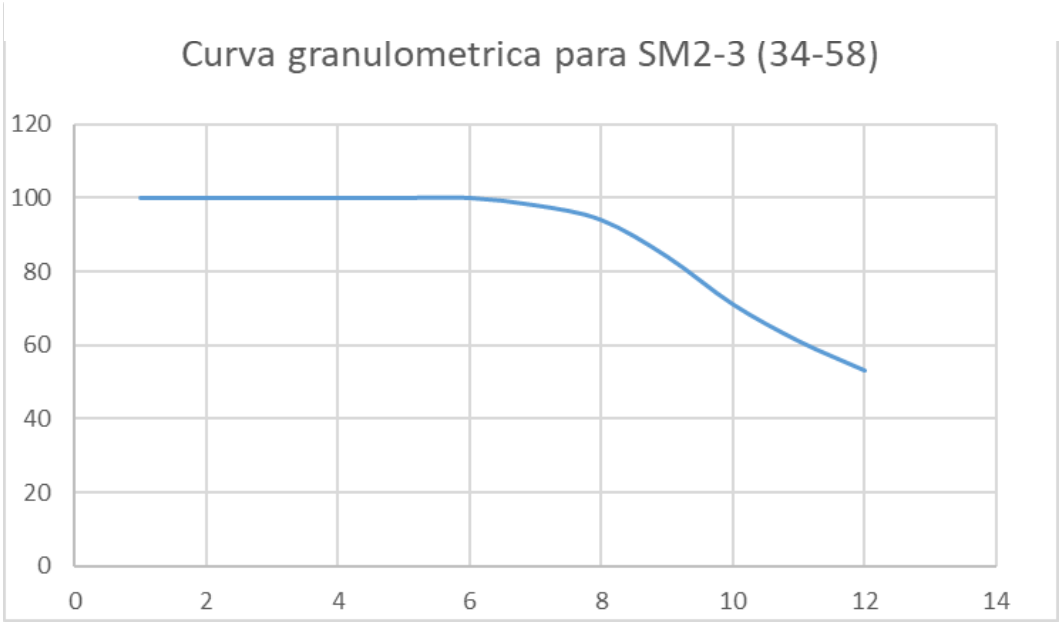
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11 Curva granulométrica del sondeo manual 2, segundo estrato



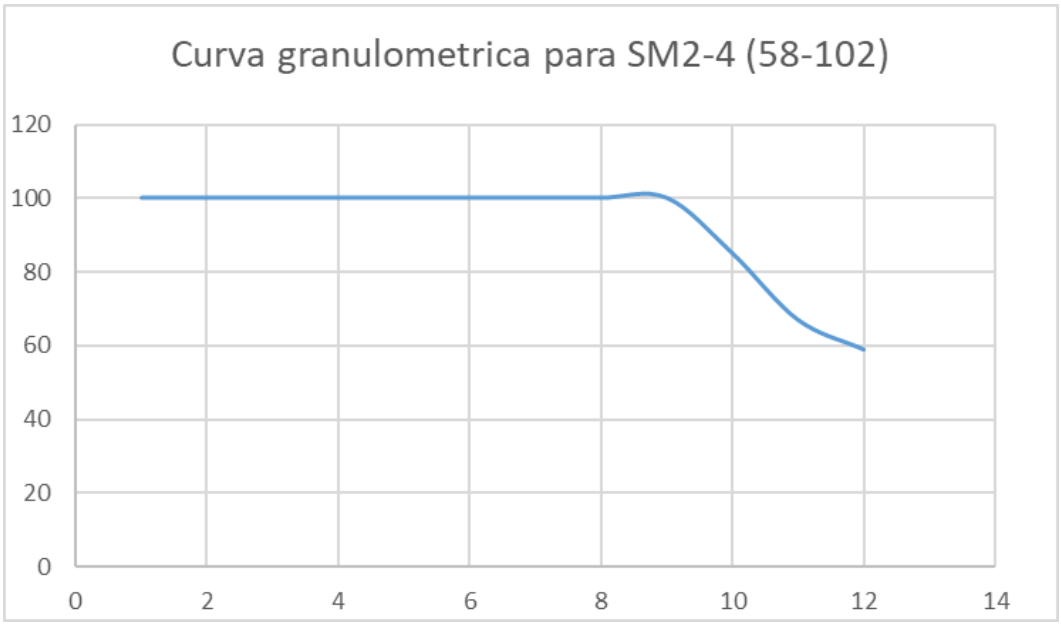
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12 Curva granulométrica del sondeo manual 2, tercer estrato



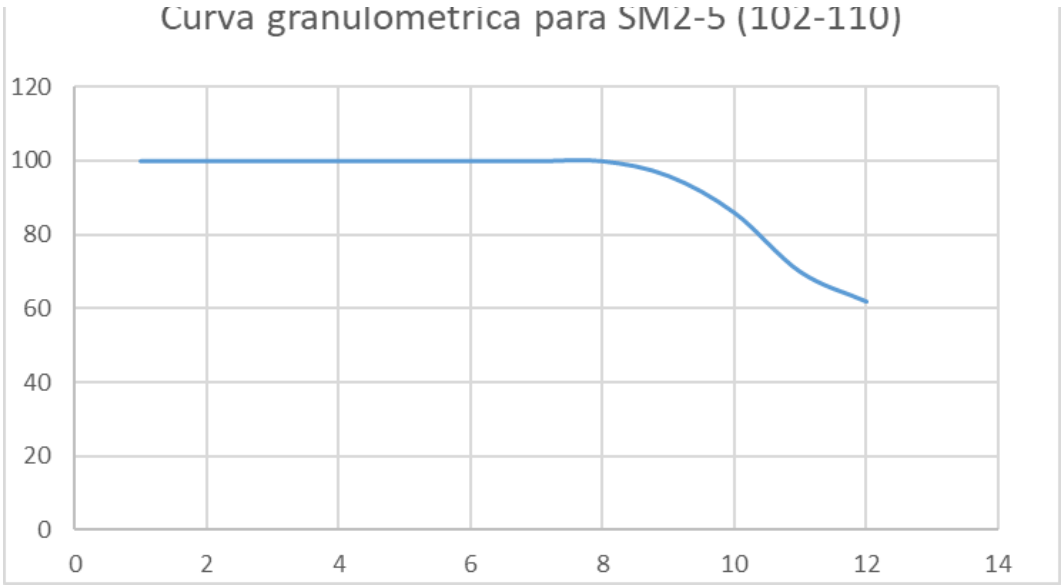
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13 Curva granulométrica del sondeo manual 2, cuarto estrato



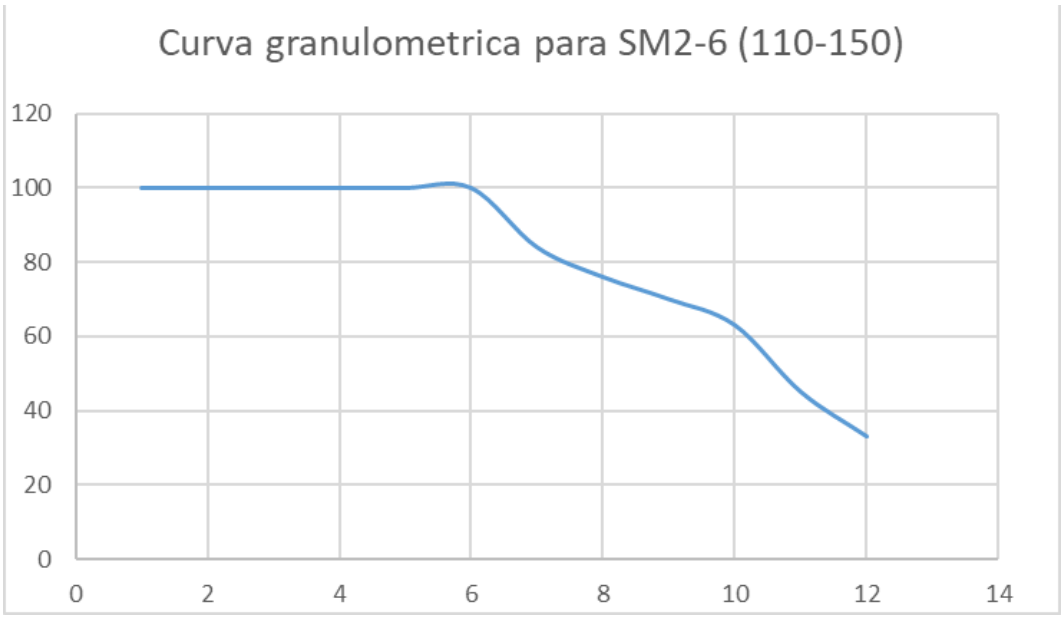
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14 Curva granulométrica del sondeo manual 2, quinto estrato



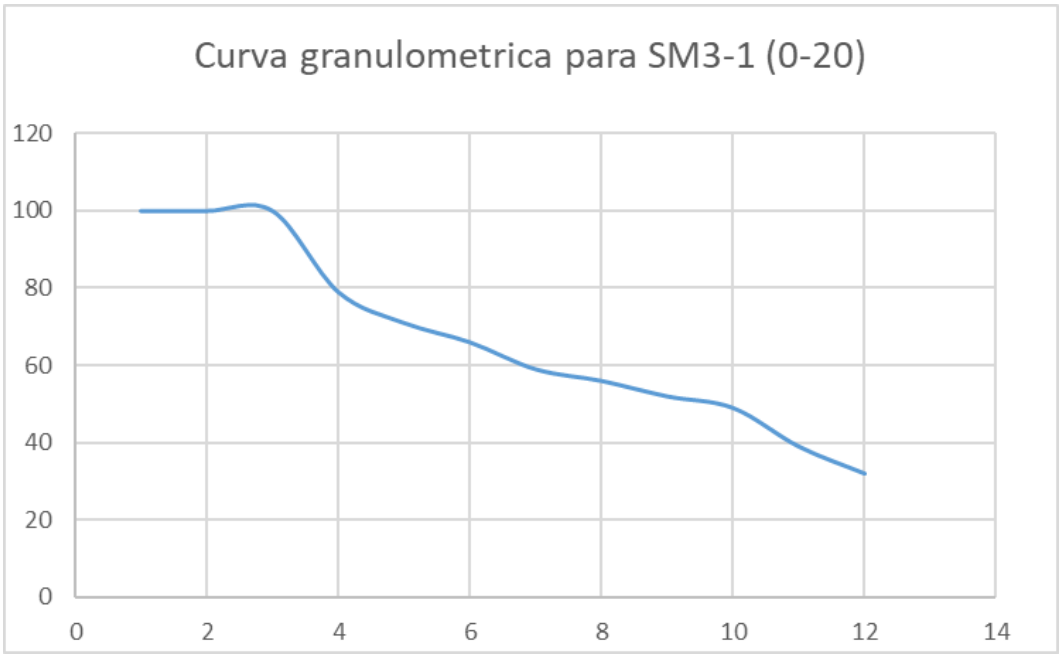
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15 Curva granulométrica del sondeo manual 2, sexto estrato



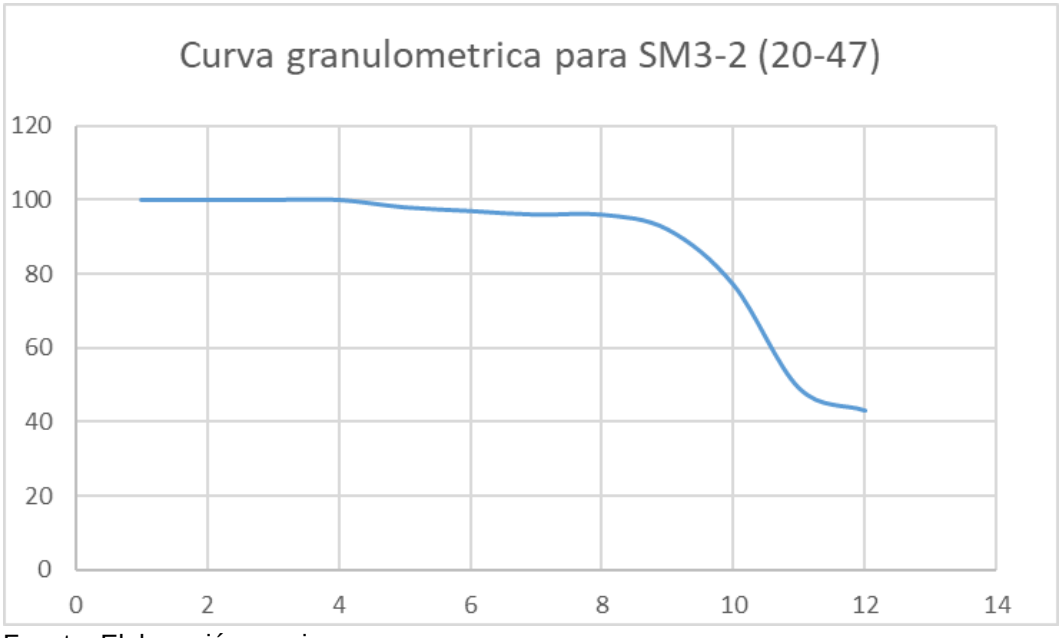
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16 Curva granulométrica del sondeo manual 3, primer estrato



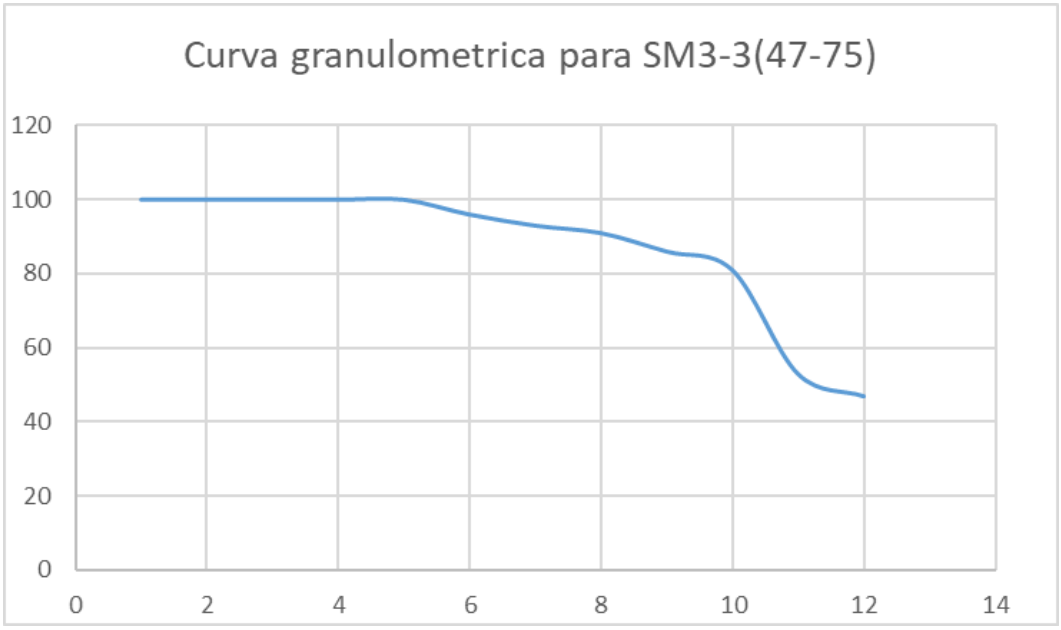
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 17 Curva granulométrica del sondeo manual 3, segundo estrato



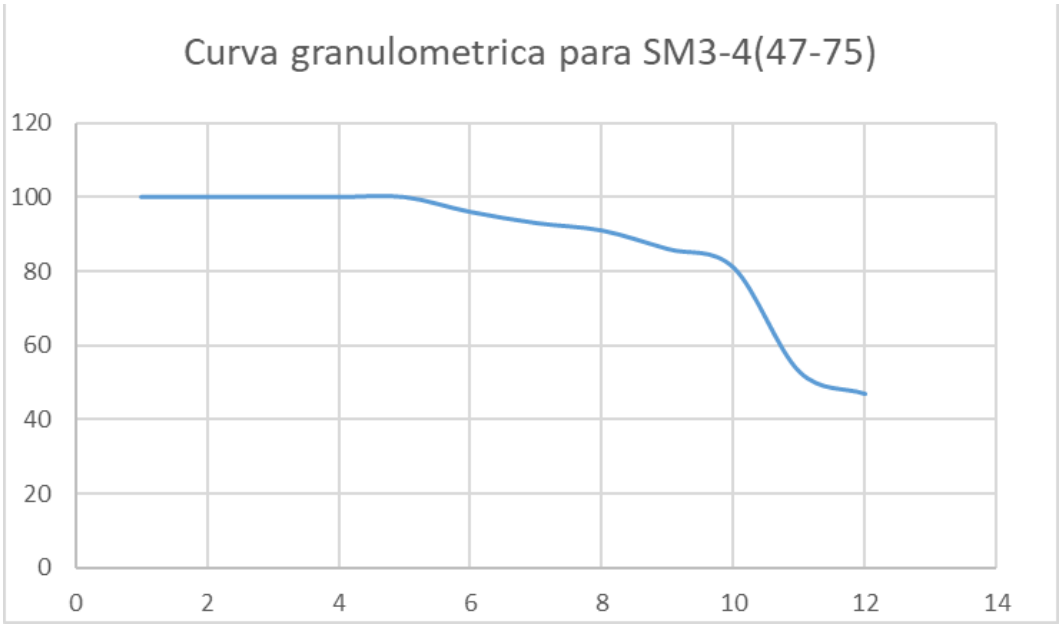
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18 Curva granulométrica del sondeo manual 3, tercer estrato



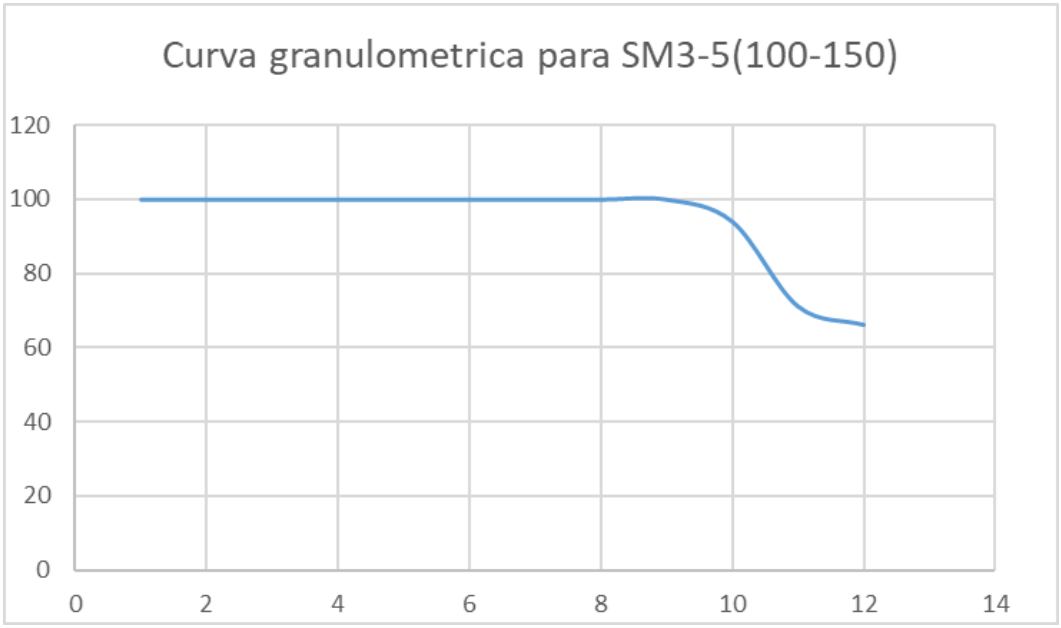
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19 Curva granulométrica del sondeo manual 3, cuarto estrato



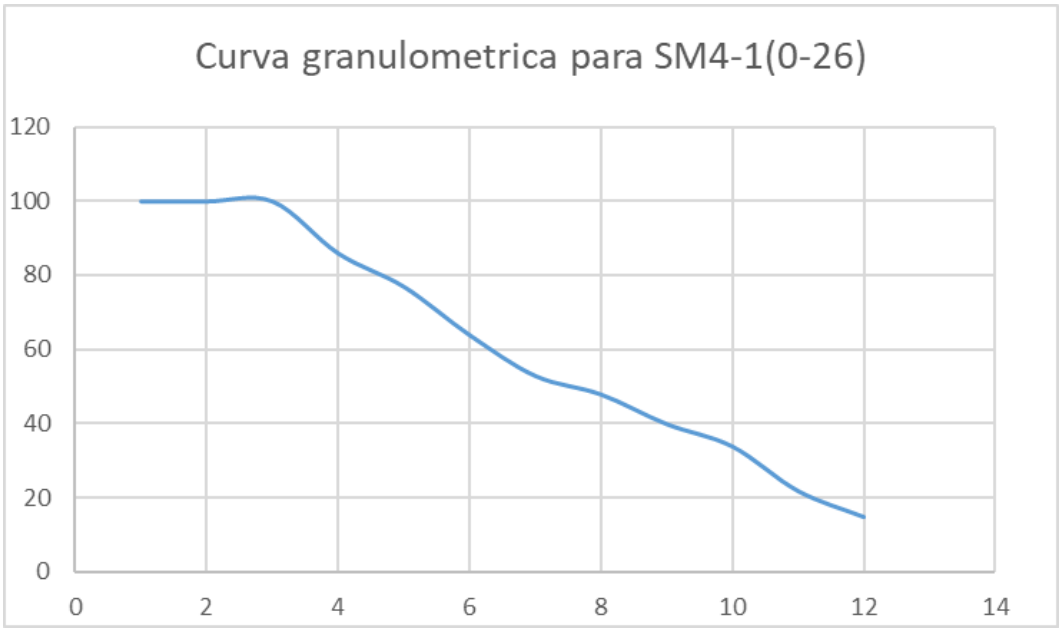
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20 Curva granulométrica del sondeo manual 3, quinto estrato



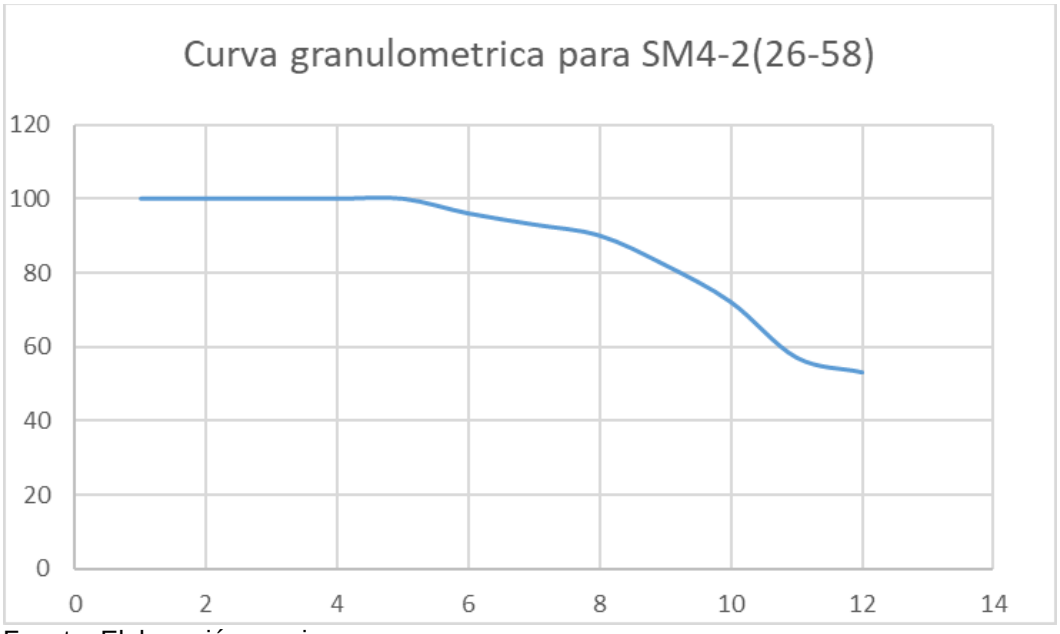
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21 Curva granulométrica del sondeo manual 4, primer estrato



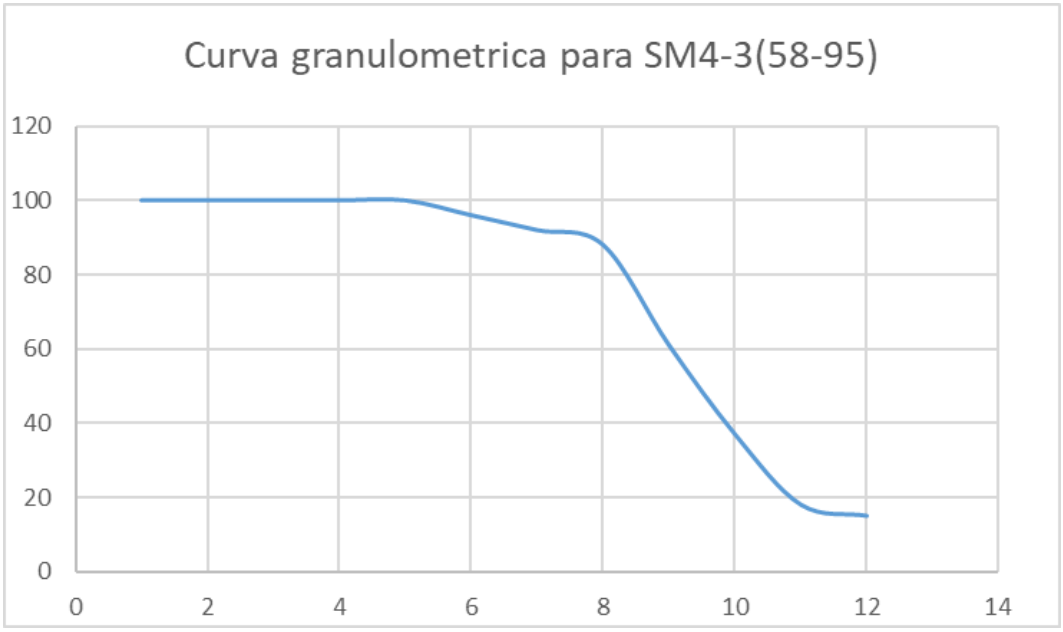
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22 Curva granulométrica del sondeo manual 4, segundo estrato



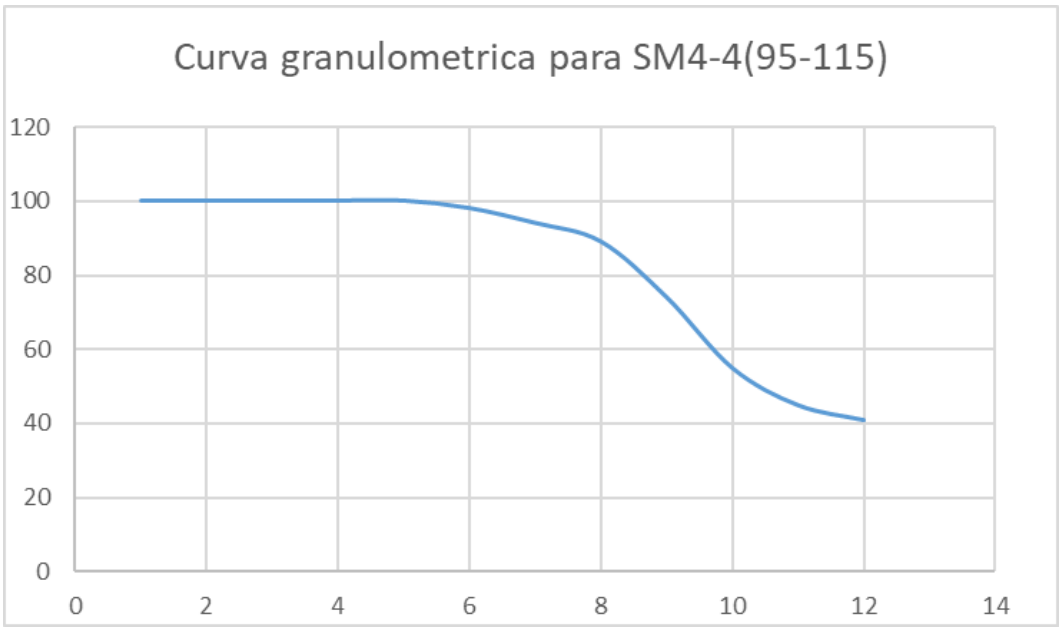
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 23 Curva granulométrica del sondeo manual 4, tercer estrato



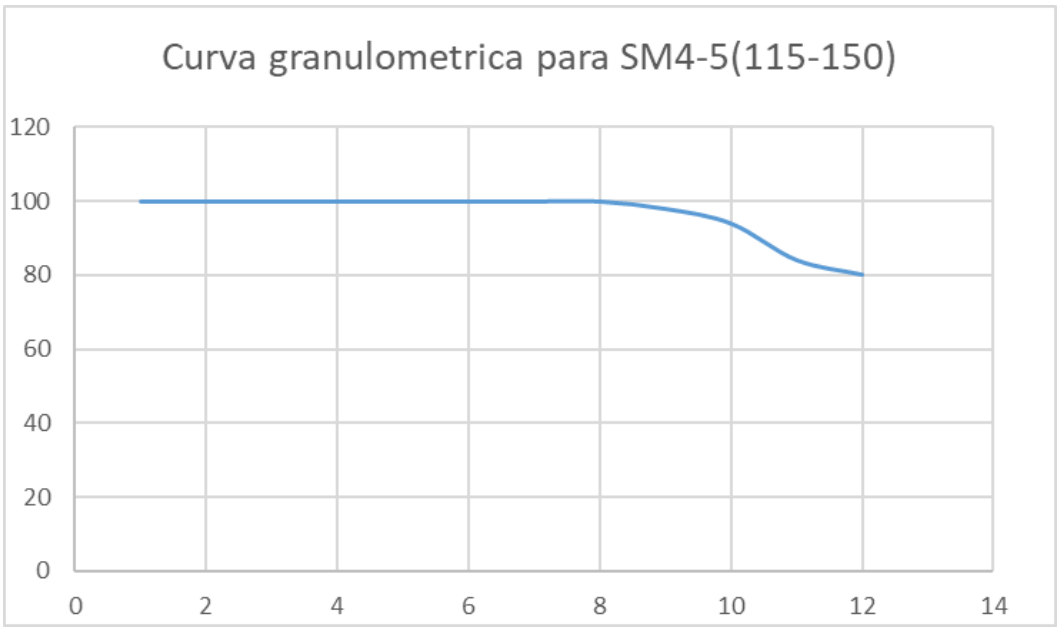
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 24 Curva granulométrica del sondeo manual 4, cuarto estrato



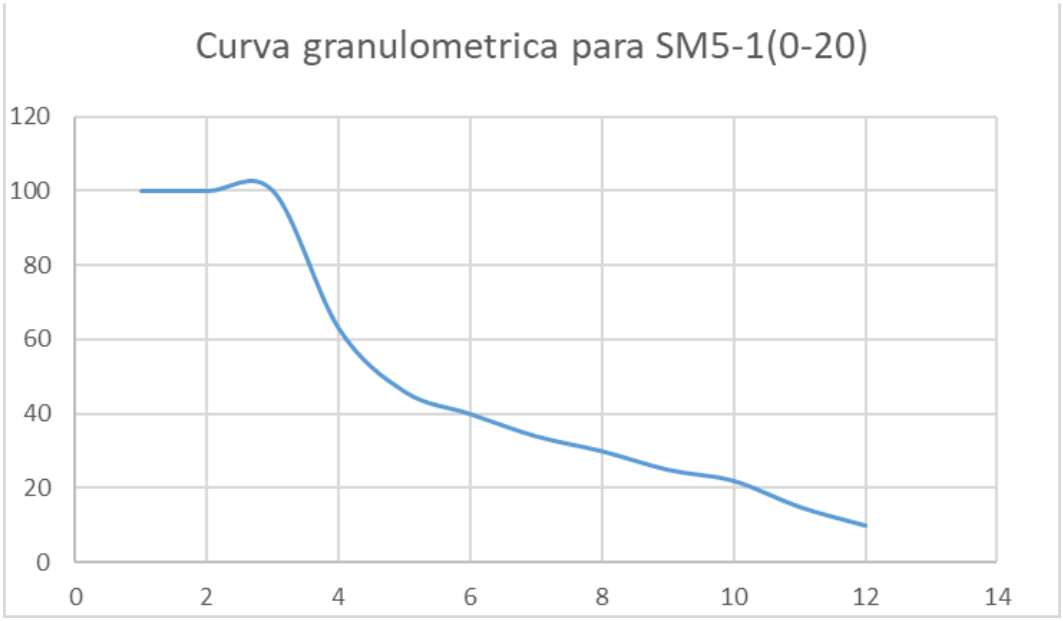
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 25 Curva granulométrica del sondeo manual 4, quinto estrato



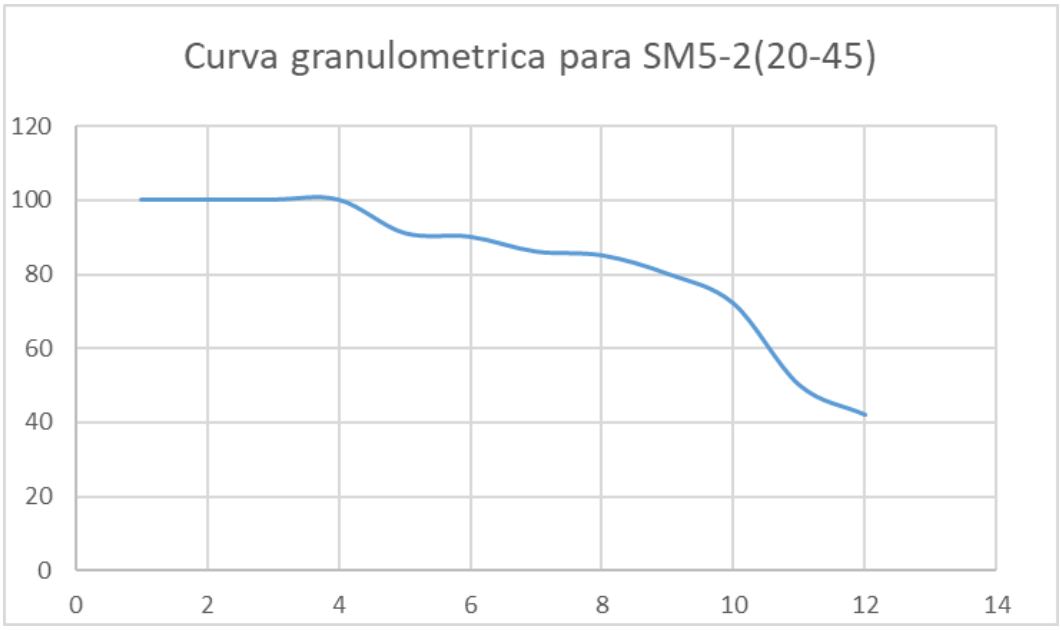
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 27 Curva granulométrica del sondeo manual 5, primer estrato



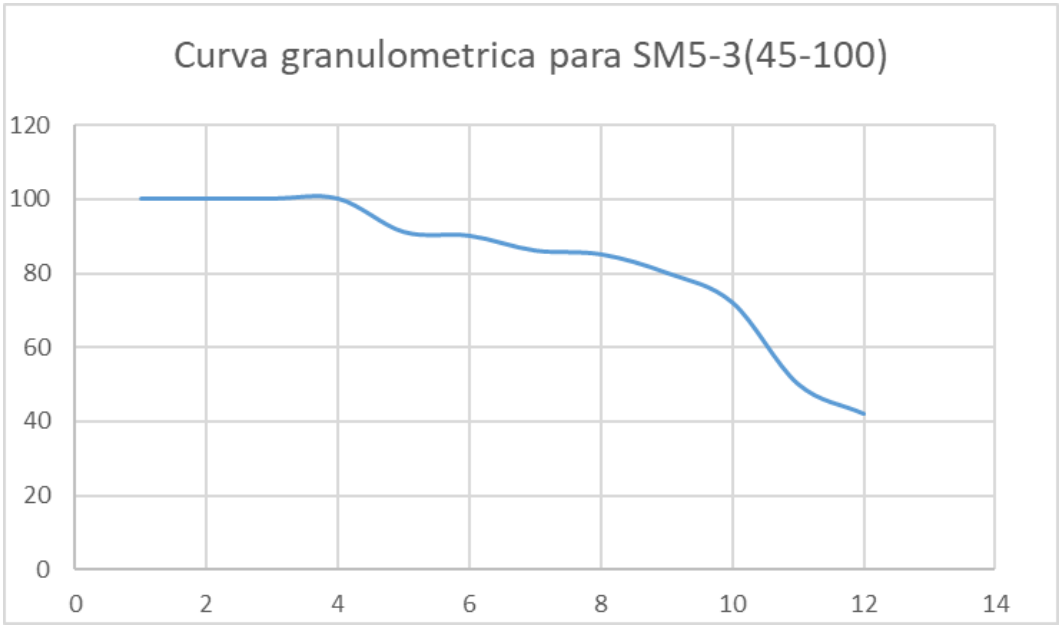
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 26 Curva granulométrica del sondeo manual 5, segundo estrato



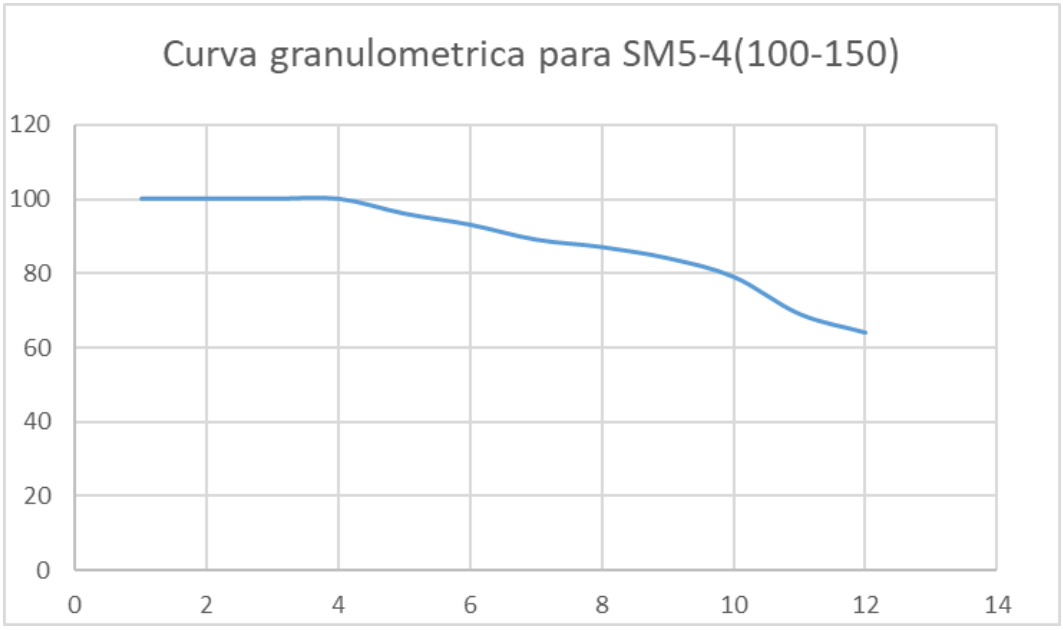
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 28 Curva granulométrica del sondeo manual 5, tercer estrato



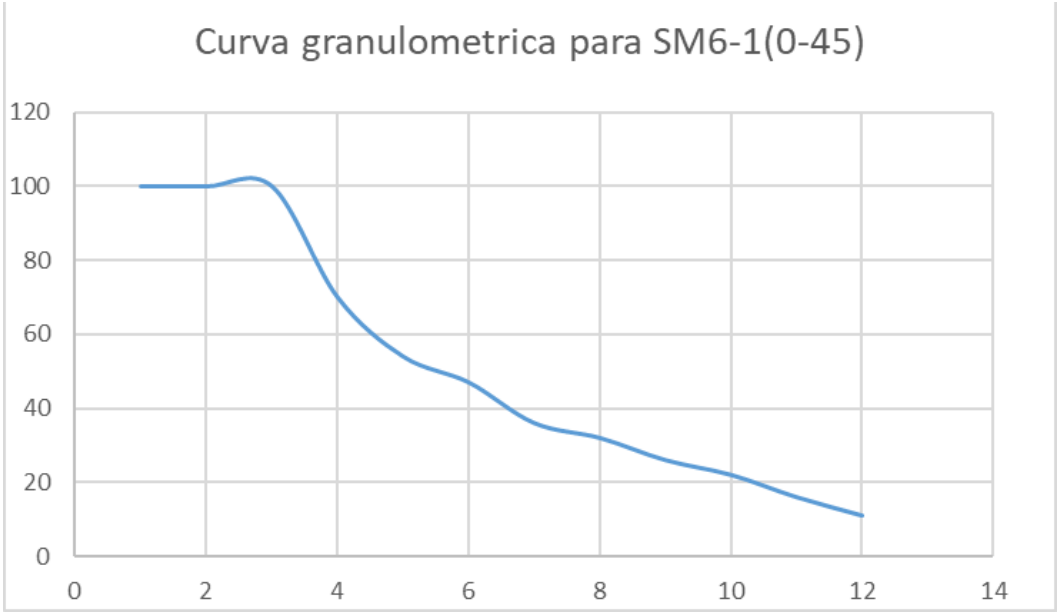
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 29 Curva granulométrica del sondeo manual 5, cuarto estrato



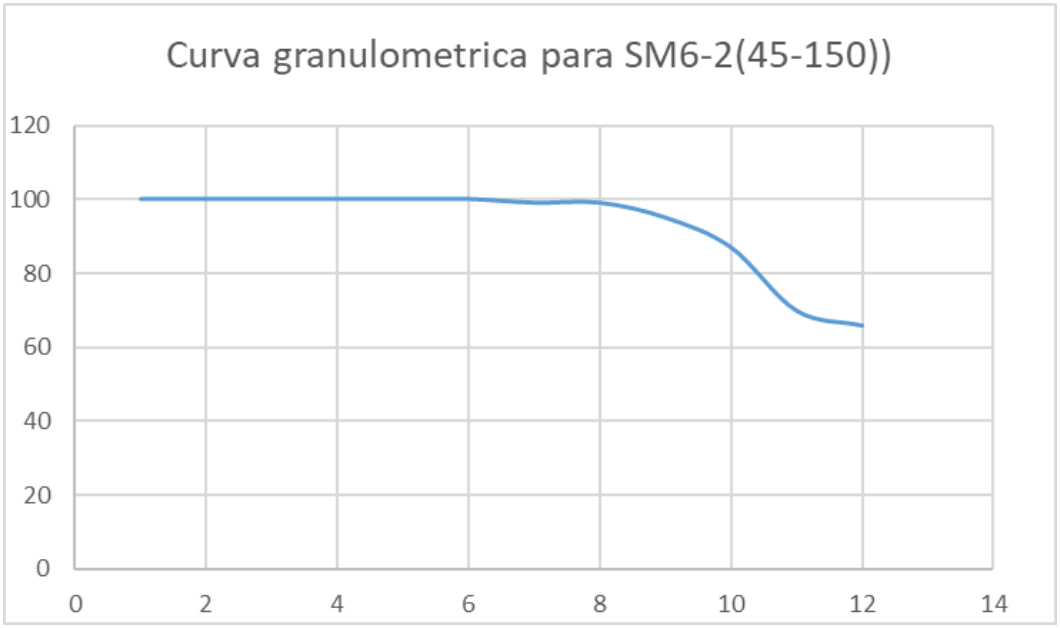
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 30 Curva granulométrica del sondeo manual 6, primer estrato



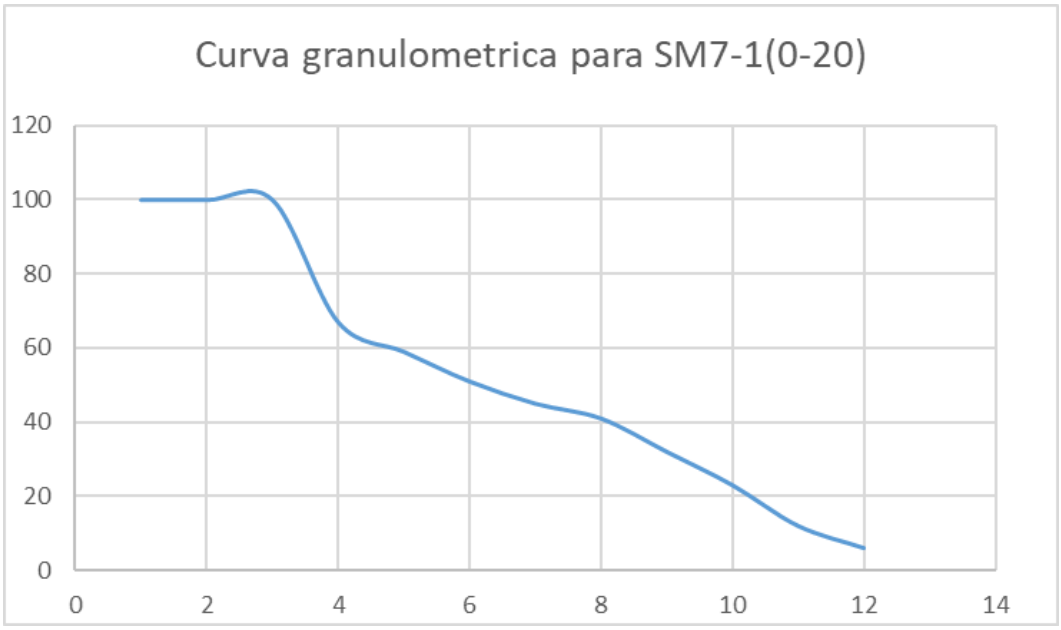
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 31 Curva granulométrica del sondeo manual 6, segundo estrato



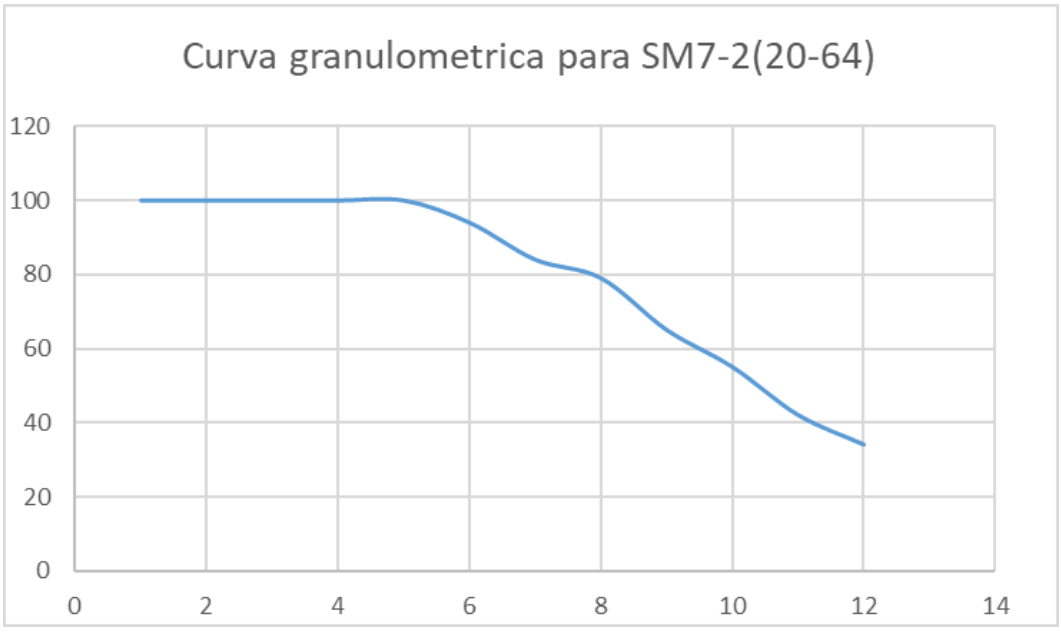
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 32 Curva granulométrica del sondeo manual 7, primer estrato



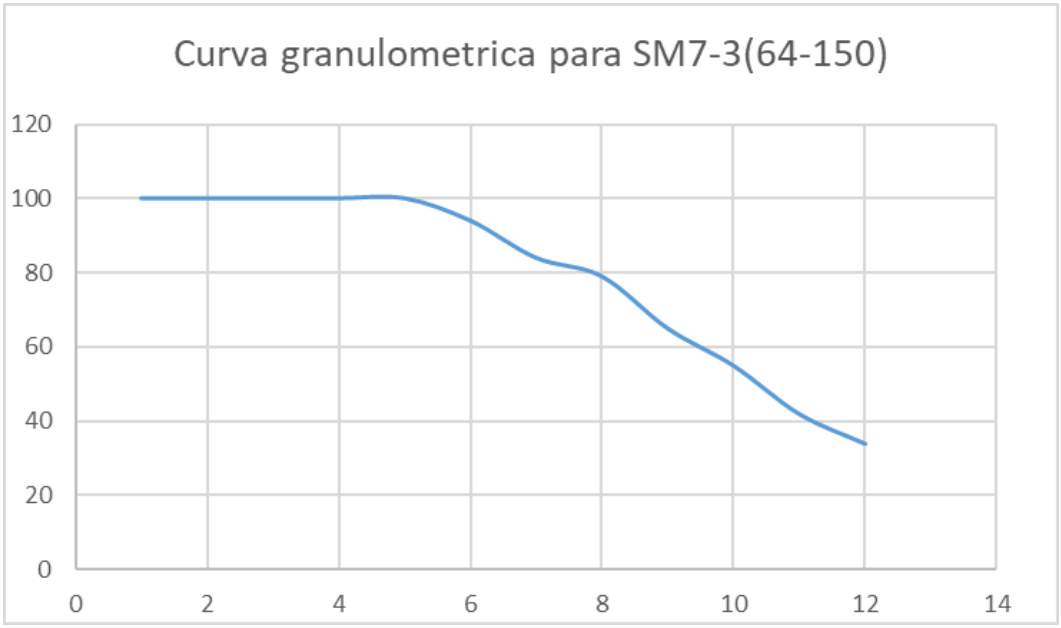
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 33 Curva granulométrica del sondeo manual 7, segundo estrato



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 34 Curva granulométrica del sondeo manual 7, tercer estrato



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32 Ejecución de sondeo manual

Fuente: Propia

Ilustración 34 Sondeo manual

Fuente: Propia

Ilustración 33 Recolección de muestras

Fuente: Propia

Ilustración 35 Secado de muestras

Fuente: Propia

Ilustración 36 Retiro de muestras del horno

Fuente: Propia

Ilustración 37 Colocación de muestra en tamices

Fuente: Propia

Ilustración 38 Análisis granulométrico de las muestras

Fuente: Propia

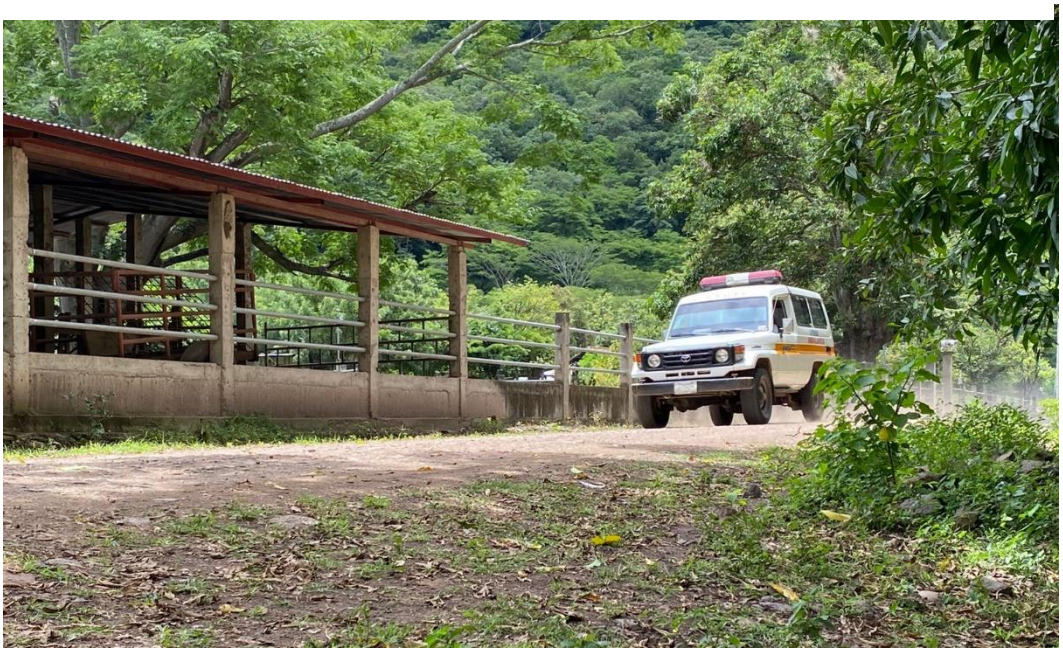
Ilustración 39 Análisis de los límites de resistencia

Fuente: Propia

Ilustración 40 Realización de aforo vehicular

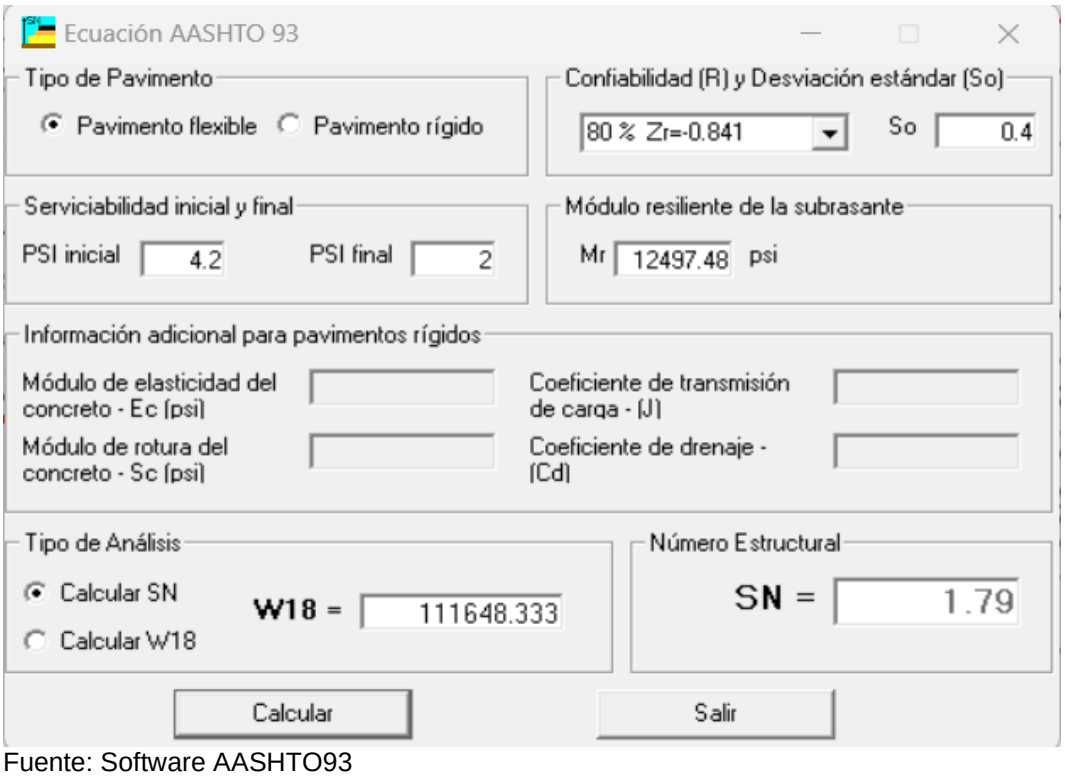
Fuente: Propia

Ilustración 42 Vehículos que transitan por el tramo



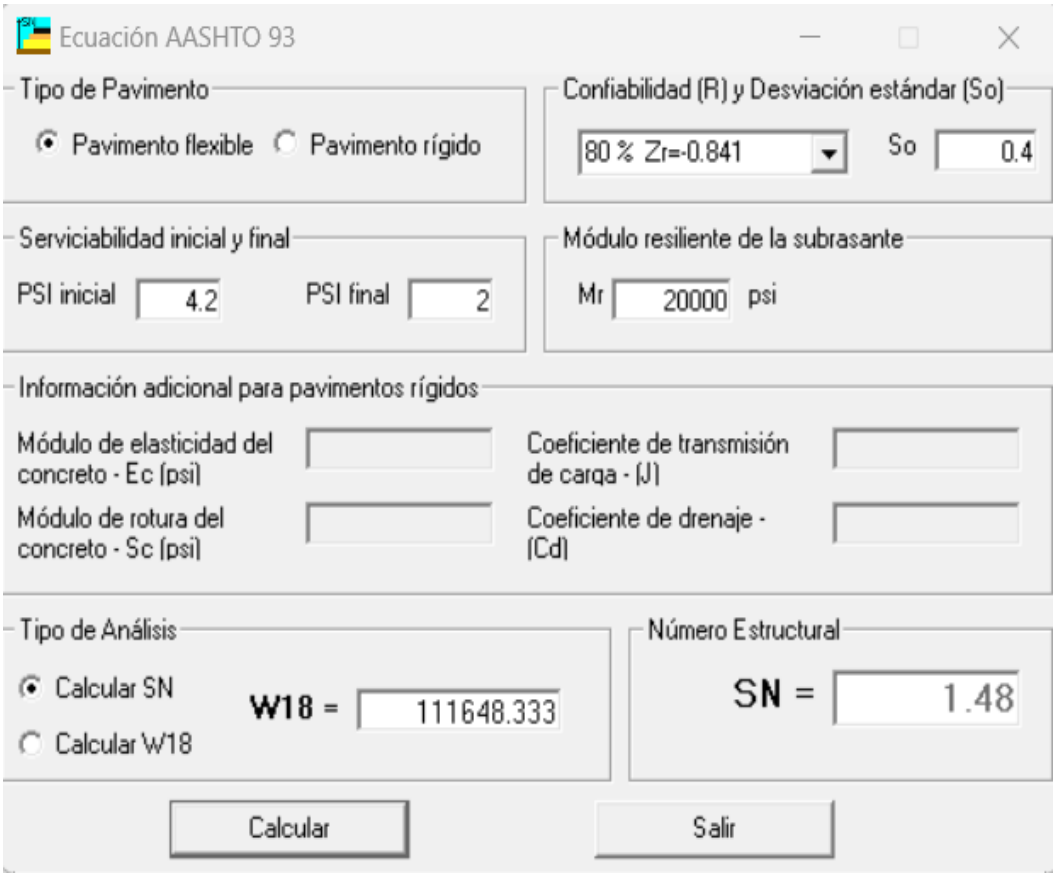
Fuente: Propia

Ilustración 41 Comprobación de SN3 con software



Fuente: Software AASHTO93

Ilustración 43 Comprobación de SN2 con software



Fuente: Software AASHTO 93

Tabla 105 Radio y grado de curvatura recomendados

Velocidad de diseño (KPH)	Factor de friccion maxima	Peralte maximo=4% Radio (m)		Grado de curvatura	Peralte maximo=6% Radio (m)		Grado de curvatura
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	8.1	8	143°14´	7.7	8	143°14´
30	0.28	22.1	22	52°05´	20.8	21	54°39´
40	0.23	46.7	47	24°23´	43.4	43	26°39´
50	0.19	85.6	86	13°19´	78.7	79	14°30´
60	0.17	135	135	08°29´	123.2	123	09°19´
70	0.15	203.1	203	05°39´	183.7	184	06°14´
80	0.14	280	280	04°06´	252	252	04°33´
90	0.13	375.2	375	03°03´	335.7	336	03°25´
100	0.12	492.1	492	02°20´	437.4	437	02°37´
110	0.11				560.4	560	02°03´
120	0.09				755.9	756	01°31´
Velocidad de diseño (KPH)	**Factor de friccion maxima**	**Peralte maximo=8% Radio (m)**		**Grado de curvatura**	**Peralte maximo=10% Radio (m)**		**Grado de curvatura**
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163°42´	7	7	163°42´
30	0.28	19.7	20	57°18´	18.6	19	60°19´
40	**0.23**	**40.6**	**41**	27°57´	38.2	38	30°09´
50	0.19	72.9	73	15°42´	67.9	68	16°51´
60	0.17	113.4	113	10°08´	105	105	10°55´
70	0.15	167.8	168	06°49´	154.3	154	07°26´

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011

Tabla 106 Valores de sobreancho (400-3000)

Radio de curva	Ancho de calzada 7.20m						Ancho de calzada 6.6m						Ancho de calzada 6.0m					
	Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1	1
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011

Tabla 107 Valores de sobreancho (70-300)

Radio de curva	Ancho de calzada 7.20m						Ancho de calzada 6.6m						Ancho de calzada 6.0m					
	Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1	1			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.3				
100	1.6	1.7					1.9	2					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011

Tabla 108 Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada

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

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011

Tabla 109 Control de diseño para curva vertical cóncava para distancia de visibilidad de parada

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

Fuente: Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011