Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO DE 3KM DEL EMPALME LA CALAMIDAD – FINCA SAN DIONISIO, MUNICIPIO DE CAMOAPA, DEPARTAMENTO DE BOACO”.

Proyecto de Graduación para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Alberto Carlos Hernández Rostran
Carnet: 2014-0315I

Br. Oliver Emmanuel Sánchez Téllez
Carnet: 2016-0399U

Br. Justin Ramsés Mendoza Fletes
Carnet: 2018-0703I

Tutor:

Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez

10 de abril de 2026
Managua, Nicaragua

Dedicatoria

Con la culminación de esta tesis, se cierra una etapa profundamente significativa en mi formación académica, marcada por el esfuerzo constante, los desafíos superados y un aprendizaje que trasciende lo académico.

En primer lugar, elevo mi más sincero agradecimiento a Dios, fuente de vida y fortaleza, por haberme permitido llegar hasta este momento. Su presencia ha sido mi refugio en los momentos de incertidumbre, mi impulso en los días de cansancio y mi guía en cada decisión tomada. A Él encomiendo este logro y cada paso que continúe dando en el futuro.

A mis padres, Daysi de Jesús Fletes Flores y Byron Enrique Mendoza Toruño, les dedico este logro con todo mi amor y gratitud. Gracias por ser el pilar fundamental de mi vida, por su apoyo incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la disciplina y la perseverancia. Este triunfo también les pertenece, pues sin ustedes nada de esto habría sido posible.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Oliver Rivera, por su dedicación, compromiso y claridad durante todo este proceso. Su orientación fue clave no solo para el desarrollo de este trabajo, sino también para fortalecer mi capacidad crítica, analítica y profesional.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a mi familia en general, por su cariño, respaldo y confianza constante. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada momento compartido han sido esenciales para mantenerme firme en este camino.

Con gratitud y humildad, doy por concluida esta etapa, con la convicción de que este es solo el inicio de nuevos desafíos y oportunidades.

Br. Justin Ramsés Mendoza Fletes.

Con profunda gratitud y satisfacción, dedico este proyecto de graduación a quienes han sido el pilar fundamental en este camino que me ha llevado hasta aquí.

Primeramente, a Dios, por ser la luz en mi sendero y la fuente de fortaleza, salud y sabiduría que me permitió transformar cada desafío en una oportunidad de crecimiento.

A mis padres, María Elena Téllez Téllez y Humberto Jerónimo Sánchez Arroliga, pilares inquebrantables de mi vida. Gracias por su amor incondicional y por los sacrificios que forjaron mi educación. En ustedes aprendí que el éxito se construye con perseverancia y humildad; este logro es, ante todo, un tributo a su entrega.

A mi abuela, hermanos y el resto de mi familia que de alguna manera me dieron palabras de aliento para seguir adelante en momentos difíciles en los cuales existieron dudas en mi camino. Finalmente, a todos los compañeros y docentes que me impartieron sus enseñanzas, principalmente a nuestro tutor el Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez por su disposición, compromiso y entrega, que nos guió en este proceso de culminación de estudios.

Br. Oliver Emmanuel Sánchez Téllez.

Dedico este proyecto de graduación primeramente a Dios nuestro padre y creador, a mi Madre Martha del Carmen Rostran, quien siempre fue la que ha estado a mi lado dándome apoyo y brindándome a cada instante palabras de aliento para llegar a culminar mi profesión, ella ha sido un ejemplo de vida y de carácter para mí y mis hermanas, gracias a ella soy una persona de bien y le doy mil gracias a mi Madre ya que nunca me ha desamparado y sé que siempre contare con su amor y apoyo incondicional, también le doy gracias a cada uno de los docentes que he conocido a lo largo de este proceso universitario en particular a nuestro tutor El Inge. Oliver Rivera quien nos guio en este proceso de culminación de estudios y por último a todos mis compañeros y amigos que logre conocer en este proceso universitario quienes me dieron alegría, apoyo y mucha tranquilidad al saber que también podía contar con ellos.

Br. Alberto Carlos Hernández Rostran.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 3
3. OBJETIVOS 5
   3.1. Objetivo General 5
   3.2. Objetivos Específicos 5
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 6
5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS 9
   5.1. Estudio de tránsito 9
      5.1.1. Aforo Vehicular 9
      5.1.2. Transito Promedio Diario 10
      5.1.3. Transito Promedio Diario Anual (TPDA) 10
      5.1.4. Estaciones de Conteo 11
      5.1.5. Tasa de Crecimiento 12
      5.1.6. Proyección del tránsito futuro 12
      5.1.7. Periodo de Diseño 12
      5.1.8. Tránsito de Diseño 12
      5.1.9. ESAL 13
   5.2. Estudio de Suelo 13
      5.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de los suelos 14
      5.2.2. Clasificación de suelos 16
      5.2.3. Compactación de suelos 17
      5.2.4. CBR 17
   5.3. Diseño de Estructura de Pavimento 17
      5.3.1. Método AASHTO-93 18
      5.3.3. Variable de Diseño 20
6. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN 23
   6.1 Estudio de transito 23
   6.2. Estudio de suelos 24
   6.3. Diseño de estructura de pavimento flexible 25
7. RESULTADOS 26

7.1. Estudio de tránsito 26
7.1.1. Aforo vehicular 26
7.1.2 Tránsito Promedio Diurno (TPDi) 45
7.1.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) 49
7.1.4 Identificación de vectores de correspondencia 49
7.1.5 Estaciones de conteo 50
7.1.6 Cálculo de Transito Promedio Anual (TPDA) 53
7.1.7. Tasa de crecimiento 57
7.1.8. Tasa de Crecimiento vehicular 58
7.1.9. Tasa de crecimiento poblacional 59
7.1.10. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB) 60
7.1.11. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB) 61
7.1.12. Proyección de tránsito 61
7.1.13. Tránsito de diseño 64
7.1.14. ESAL 67
7.2. Estudio de suelo 70
7.2.1. Sondeos manuales sobre la línea 71
7.2.2. Sondeos manuales 72
7.2.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales de línea 76
7.2.4. Límites de Consistencia de los sondeos de línea 84
7.2.5. Resultado de Humedad Natural de Sondeos 89
7.2.6. CBR de los sondeos de línea 93
7.2.7. Clasificación de los suelos 98
7.2.8. Columnas estratigráficas de los sondeos de línea 102
7.2.9. Resultado del estudio de suelos en los sondeos de líneas 103
7.2.10. Resultado del estudio de suelos de bancos de materiales 113
7.2.11. Evaluación del banco de material “Bertoldo Somoza” 118
7.2.12. Estabilización con cemento banco “Bertoldo Somoza” para base 119
7.3. Diseño de estructura de pavimento flexible 120
7.3.1. Variables de diseño 120
7.3.1.1. Confiabilidad 120
7.3.1.2. Desviación estándar 121
7.3.1.3. Serviciabilidad 122

7.3.1.4. CBR de diseño de la subrasante 122
7.3.1.5. Módulo de resiliencia 125
7.3.1.6. Coeficientes estructurales 125
7.3.1.7. Espesores de capa 131
7.3.1.8. Número estructural 132
7.3.1.9. Cálculo de espesores 137
7.3.1.10. Espesor de carpeta asfáltica 137
7.3.1.11. Espesor de base 137
7.3.1.12. Cálculo de espesor de subbase 138
7.3.1.13. Consolidado de espesores 139
7. CONCLUSIONES 141
8. RECOMENDACIONES 142
9. REFERENCIAS 144
10. ANEXOS I

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos del día martes 06/01/2026, Est. 0+000 28
Tabla 2: Datos del día miércoles 07/01/2026, Est. 0+000 30
Tabla 3: Datos del día jueves 08/01/2026, Est. 0+000 32
Tabla 4: Datos del día martes 13/01/2026, Est. 1+500 34
Tabla 5: Datos del día miércoles 14/01/2026, Est. 1+500 36
Tabla 6: Datos del día jueves 15/01/2026, Est. 1+500 38
Tabla 7: Resumen de los resultados del aforo vehicular del tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000 40
Tabla 8: Resumen de los resultados del aforo vehicular del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500 43
Tabla 9: Tránsito promedio diurno (TPDi), Est. 0+000 46
Tabla 10: Tránsito promedio diurno (TPDi), Est. 1+500 48
Tabla 11: Vector Geográfico 50
Tabla 12: Estación de Mayor Cobertura San Marcos – Masatepe 51
Tabla 13: Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación de corta duración 3101 - La Calamidad - Emp. Masigüe 52
Tabla 14: Factores de expansión a TPDA primer cuatrimestre del año (Enero-Abril) de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe. 53
Tabla 15: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio Est. 0+000. 54
Tabla 16: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est. 1+500 56
Tabla 17: Histórico de TPDA, estación 3101 La Calamidad-Emp. Masigue. 59
Tabla 18: Histórico de población 60
Tabla 19: Histórico de producto interno bruto (PIB) 61
Tabla 20: Periodo de diseño según tipo de carretera 62
Tabla 21: Proyección del TPDA al periodo de diseño 63
Tabla 22: Clasificación funcional de las carreteras 64
Tabla 23: Factor de crecimiento 64
Tabla 24: Factor de Distribución por Carril 65
Tabla 25: Tránsito de diseño para el tramo Empalme el Masigue-Finca San Dionisio 66
Tabla 26: Interpolación factor F ESAL 68
Tabla 27: ESAL de diseño 70
Tabla 28: Ensayos de suelos según las normas AASHTO y ASTM: 72
Tabla 29: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo 73
Tabla 30: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo 74
Tabla 31: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo 75
Tabla 32: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales 78
Tabla 33: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales 79
Tabla 34: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales 80
Tabla 35: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales 81
Tabla 36: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico. 84

Tabla 37: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico
Tabla 38: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico 85
Tabla 39: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico
Tabla 40: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico 86
Tabla 41: Resultados de humedad natural de Sondeos.
Tabla 42: Resultados de humedad natural de Sondeos. 90
Tabla 43: Resultados de humedad natural de Sondeos.
Tabla 44: Resultados de humedad natural de Sondeos. 90
Tabla 45: CBR de los sondeos 93
Tabla 46: CBR de los sondeos
Tabla 47: CBR de los sondeos 94
Tabla 48: CBR de los sondeos 95
Tabla 49: Clasificación de los suelos 99
Tabla 50: Clasificación de los suelos 100
Tabla 51: Clasificación de los suelos 101
Tabla 52: Ensayos de laboratorio realizados y normas ASTM y AASHTO aplicadas para la caracterización de suelos 113
Tabla 53: Información general del banco de material. 114
Tabla 54: Resultados del estudio de suelo del banco de material Bertoldo Somoza (Parte 1). 115
Tabla 55: Resultados del estudio de suelo del banco de material Bertoldo Somoza (Parte 2). 115
Tabla 56: Granulometría detallada del Banco de materiales "Bertoldo Somoza" 115
Tabla 57: CBR del banco de material "Bertoldo Somoza". 117
Tabla 58: Especificaciones de los materiales para base y sub base granular 118
Tabla 59: Evaluación del banco de material "Bertoldo Somoza" 118
Tabla 60: Resultados de la estabilización con cemento 119
Tabla 61: Niveles de confiabilidad 120
Tabla 62: Desviación normal estándar, Zr 121
Tabla 63: Desviación estándar 121
Tabla 64: Serviciabilidad Inicial 122
Tabla 65: Serviciabilidad final 122
Tabla 66: Percentil de diseño para subrasante 123
Tabla 67: Selección del CBR de diseño de la subrasante 124
Tabla 68: Coeficiente de drenaje de la capa 126
Tabla 69: Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje 126
Tabla 70: Criterios para mezcla del Método Marshall 128
Tabla 71: Parámetros para la determinación de los números estructurales 132
Tabla 72: Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular 138
Tabla 73: Consolidado de espesores de pavimento 140
Tabla 74: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 6/01/26 VI
Tabla 75: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 7/01/26 VII
Tabla 76: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 8/01/26 VIII
Tabla 77: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 13/01/26 IX

Tabla 78: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 14/01/26 X
Tabla 79: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 15/01/26 XI
Tabla 80: Factor de Equivalencia Eje Simple, Pt = 2 XII
Tabla 81: Factor de Equivalencia Eje Tándem (Doble), Pt = 2 XIII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de estaciones de aforo vehicular del tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. 27
Figura 2 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000 29
Figura 3 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000 29
Figura 4 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000 31
Figura 5 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000 31
Figura 6 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000 33
Figura 7 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000 33
Figura 8 Comportamiento vehicular por hora, Est. 1+500 35
Figura 9 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500 35
Figura 10 Comportamiento vehicular por hora, Est. 1+500 37
Figura 11 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500 37
Figura 12 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500 39
Figura 13 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500 39
Figura 14 Comportamiento vehicular por día tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000 41
Figura 15 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000 42
Figura 16 Comportamiento vehicular por día tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500 44
Figura 17 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500 45
Figura 18 Composición del TPDi Est. 0+000 47
Figura 19 Composición del TPDi, Est. 1+500 49
Figura 20 Composición vehicular TPDA (%) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est.0+000 55
Figura 21 Composición vehicular TPDA (%) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est.1+500 57
Figura 22 Curva granulométrica del SM-1 (Est. 0+010) 83
Figura 23 Curva granulométrica del SM-1 (Est. 0+010) 83
Figura 24 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (0+000 – 1+000) 102
Figura 25 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (1+100 – 2+000) 102
Figura 26 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (2+100 – 3+000) 103
Figura 27 Curva granulométrica de la calicata 1. 116
Figura 28 Curva granulométrica de calicata 2. 116
Figura 29 Curva granulométrica de la calicata 3. 117
Figura 30 CBR de diseño de la subrasante 124

Figura 31 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos 129
Figura 32 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos 130
Figura 33 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes 131
Figura 34 Procedimiento para determinar el espesor 132
Figura 35 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN3(Subbase)..... 133
Figura 36 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN2(Base) 134
Figura 37 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN1(Carpeta de rodamiento) 135
Figura 38 Calculo de SN1 en el software AASHTO 93 136
Figura 39 Macro localización del La Calamidad-Finca San Dionisio..... I
Figura 40 Micro localización del La Calamidad-Finca San Dionisio..... I
Figura 41 Condiciones actuales del Tramo Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio II
Figura 42 Muestreo de banco Bertoldo Somoza, Estación 2+700, Lado Izquierdo. II
Figura 43 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio III
Figura 44 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio III
Figura 45 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio IV
Figura 46 Tipología y descripción vehicular de conteos de tránsito..... V
Figura 47 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100) XIV
Figura 48 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100) XIV
Figura 49 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100) XIV
Figura 50 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100) XIV
Figura 51 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100) XV
Figura 52 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200) XV
Figura 53 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200) XV
Figura 54 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200) XV
Figura 55 Curva granulométrica del SM-4 (Est. 0+300) XVI
Figura 56 Curva granulométrica del SM-4 (Est. 0+300) XVI
Figura 57 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400) XVI
Figura 58 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400) XVI
Figura 59 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400) XVII
Figura 60 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400) XVII
Figura 61 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400) XVII
Figura 62 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500) XVII
Figura 63 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500) XVIII
Figura 64 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500) XVIII
Figura 65 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600) XVIII
Figura 66 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600) XIX
Figura 67 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600) XIX
Figura 68 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600) XIX
Figura 69 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700) XIX
Figura 70 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700) XX
Figura 71 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700) XX

Figura 72 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700) XX
Figura 73 Curva granulométrica del SM-9 (Est. 0+800) XXI
Figura 74 Curva granulométrica del SM-9 (Est. 0+800) XXI
Figura 75 Curva granulométrica del SM-10 (Est. 0+900) XXI
Figura 76 Curva granulométrica del SM-10 (Est. 0+900) XXI
Figura 77 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000) XXII
Figura 78 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000) XXII
Figura 79 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000) XXII
Figura 80 Curva granulométrica del SM-12 (Est. 1+100) XXIII
Figura 81 Curva granulométrica del SM-12 (Est. 1+100) XXIII
Figura 82 Curva granulométrica SM-12 (Est. 1+100) XXIII
Figura 83 Curva granulométrica del SM-13 (Est. 1+200) XXIII
Figura 84 Curva granulométrica del SM-13 (Est. 1+200) XXIV
Figura 85 Curva granulométrica del SM-14 (Est. 1+300) XXIV
Figura 86 Curva granulométrica SM-14 (Est. 1+300) XXIV
Figura 87 Curva granulométrica del SM-14 (Est. 1+300) XXV
Figura 88 Curva granulométrica del SM-15 (Est. 1+400) XXV
Figura 89 Curva granulométrica del SM-15 (Est. 1+400) XXV
Figura 90 Curva granulométrica SM-15 (Est. 1+400) XXV
Figura 91 Curva granulométrica del SM-16 (Est. 1+500) XXVI
Figura 92 Curva granulométrica del SM-16 (Est. 1+500) XXVI
Figura 93 Curva granulométrica del SM-17 (Est. 1+600) XXVI
Figura 94 Curva granulométrica SM-17 (Est. 1+600) XXVII
Figura 95 Curva granulométrica del SM-17 (Est. 1+600) XXVII
Figura 96 Curva granulométrica del SM-18 (Est. 1+700) XXVII
Figura 97 Curva granulométrica del SM-18 (Est. 1+700) XXVII
Figura 98 Curva granulométrica SM-19 (Est. 1+800) XXVIII
Figura 99 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900) XXVIII
Figura 100 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900) XXVIII
Figura 101 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900) XXIX
Figura 102 Curva granulométrica SM-21 (Est. 2+000) XXIX
Figura 103 Curva granulométrica del SM-21 (Est. 2+000) XXIX
Figura 104 Curva granulométrica del SM-22 (Est. 2+100) XXIX
Figura 105 Curva granulométrica del SM-22 (Est. 2+100) XXX
Figura 106 Curva granulométrica SM-23 (Est. 2+200) XXX
Figura 107 Curva granulométrica del SM-23 (Est. 2+200) XXX
Figura 108 Curva granulométrica del SM-23 (Est. 2+200) XXX
Figura 109 Curva granulométrica del SM-24 (Est. 2+300) XXXI
Figura 110 Curva granulométrica SM-24 (Est. 2+300) XXXI
Figura 111 Curva granulométrica del SM-24 (Est. 2+300) XXXI
Figura 112 Curva granulométrica del SM-25 (Est. 2+400) XXXI
Figura 113 Curva granulométrica del SM-25 (Est. 2+400) XXXII
Figura 114 Curva granulométrica SM-25 (Est. 2+400) XXXII
Figura 115 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500) XXXII

Figura 116 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500) XXXII
Figura 117 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500) XXXIII
Figura 118 Curva granulométrica SM-27 (Est. 2+600) XXXIII
Figura 119 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700) XXXIII
Figura 120 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700) XXXIII
Figura 121 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700) XXXIV
Figura 122 Curva granulométrica SM-28 (Est. 2+700) XXXIV
Figura 123 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800) XXXIV
Figura 124 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800) XXXIV
Figura 125 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800) XXXV
Figura 126 Curva granulométrica SM-30 (Est. 2+900) XXXV
Figura 127 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900) XXXV
Figura 128 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900) XXXV
Figura 129 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900) XXXVI
Figura 130 Curva granulométrica SM-31 (Est. 3+000) XXXVI
Figura 131 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000) XXXVI
Figura 132 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000) XXXVI
Figura 133 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000) XXXVII

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se enfoca en el diseño de la estructura de pavimento flexible para el tramo de 3 kilómetros del Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio, Municipio de Camoapa, Departamento de Boaco.

El tramo Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio se sitúa al sureste del casco urbano de Camoapa, Departamento de Boaco. Tiene una longitud de 3 km, inicia en las coordenadas 12°27'39.7"N, 85°20'12.6"W y finaliza en las coordenadas 12°28'50.4"N, 85°21'02.1"W. Esta red vial es de importancia, por lo que es necesario, una vía en optimo estado para el traslado de personas, bienes y servicios. (Ver anexos, Figura 39, Pág. I).

El análisis incluirá la evaluación de las características actuales del terreno y el tráfico, la aplicación de los principios del método AASHTO – 93, a través de este estudio, se pretende contribuir al desarrollo de carreteras más seguras y eficientes en la región de Boaco, facilitando el tránsito y fomentando el desarrollo económico local.

El tramo analizado se centra en el diseño de la estructura de pavimento flexible, un tipo de pavimento que ha ganado relevancia por sus ventajas que pretenden mejorar la circulación de los pobladores y comunidades adyacentes, y productores que circulan por el tramo.

Para desarrollar un diseño óptimo, es fundamental realizar estudios clave, entre ellos, el estudio de suelos, que permitirá determinar la capacidad de soporte del terreno y sus características geotécnicas, asimismo, se llevará a cabo un estudio de tránsito, enfocado en evaluar las cargas generadas por el flujo vehicular y su impacto en la durabilidad del pavimento.

La red vial es un patrimonio nacional, el cual es necesario: proteger, conservar, aumentar y mejorar; para apoyar el desarrollo socioeconómico de nuestro país. La

actividad de mantenimiento constituye un factor determinante que garantiza la operación satisfactoria del transporte durante la vida útil de los caminos; en sus diferentes modalidades. La ausencia de un mantenimiento preventivo y de un mantenimiento correctivo tardío, conduce a que la inversión realizada sufra una depreciación más acelerada, acortando su vida útil; obteniendo un grado de aprovechamiento menor que se traduce en una disminución de los beneficios estimados, ya que la rentabilidad no podrá ser óptima al descuidar esta función.

2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

En el año de 1940, cuando fue creado el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas actualmente con el nombre de Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), en Nicaragua, con la misión de contribuir al desarrollo económico y social construyendo carretera, caminos, puentes etc., con el objetivo de garantizar conexión con todos los sectores urbanos y rurales del país. En el año 1940 solamente existían 201 km de carreteras, los sectores urbanos y rurales del país. En el año 1940 solamente existían 201 km de carreteras, de los cuales solo 52 eran pavimentadas.

Cabe de destacar que desde el año 2007 empezaron a realizar cambios significativos en la condición de red vial a nivel nacional, pasando por 20,333 km de inventario. En el año 2009 se empezó a emplear el concreto hidráulico en la construcción y rehabilitación de carreteras, dado que, esta propuesta es excelente opción para pistas con acceso a tránsito pesado o pavimentos en lugares con poca capacidad de soporte, como en el caso de la Costa Atlántica. De acuerdo con el ministerio de transporte e infraestructura (MTI), en el año 2001 para el sector de transporte en Nicaragua, el 68% de la carga nacional e internacional, y el 98% del sector de transporte de pasajero se efectúa vía terrestre siendo este la infraestructura más importante en el país, ya que, la red vial en este año se extendía a 23,647 km con uno porcentaje de 13% carreteras pavimentadas, cabe destacar, que el 95% de la lluvia se concentra de junio a diciembre, solo el 68% incluyendo las pavimentadas, son transitables durante esta estación.

La empresa Consultora CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN VÍAS TERRESTRES, SOCIEDAD ANÓNIMA DE CAPITAL VARIABLE – SUCURSAL NICARAGUA, presenta a la Dirección General de Planificación, DGP, a través de la División de Pre-Inversión, DP, del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua, MTI , el presente Informe Final de Ingenierías , donde se hace una descripción de los resultados de los

Estudios de Ingeniería y Diseño Geométrico que se realizaron bajo el Contrato No ES-066- 2016, para realizar el Proyecto: "Estudio de Factibilidad y Diseño para el Mejoramiento del Camino La Calamidad-Empalme Masigüe"
Para este propósito se suscribió el contrato de consultoría No ES-066-2016 para los servicios antes descritos el día jueves 16 del mes de junio de 2016, emitiéndose formalmente la orden de Inicio el 05 de agosto 2016, con un plazo contractual de 180 días calendarios.

El día 09 de agosto del presente año, se realizó la reunión de Preinicio con el objetivo de definir las relaciones de trabajo, coordinación y seguimiento del contrato, y el 12 de agosto de 2016, se realizó en la Sala de Conferencia de la Dirección de Preinversión de la División General de Planificación del MTI, la presentación de los especialistas que estarán trabajando con la consultoría.

Como parte de la red de carreteras nacionales que conectan áreas con importantes desarrollos económicos del país, que contribuyen a la generación, captación y distribución de los diferentes productos de consumo nacional y de exportación, promoviendo de esta manera el desarrollo económico y turístico del país, el Gobierno de la República de Nicaragua ha dispuesto recursos nacionales para la contratación de una firma consultora, que realizará las actividades de ingeniería de carreteras, ingeniería ambiental e ingeniería económica para llevar a cabo los estudios de factibilidad y diseño para mejorar el camino citado. El transporte por camino juega un papel determinante en el desarrollo económico de Nicaragua. La competitividad de su industria, agricultura y comercio está vinculada a la eficacia y eficiencia de la operación de transporte.

Considerando el estado actual del transporte terrestre en Nicaragua, la red vial tiene una gran oportunidad de mejora desde el punto de vista de su infraestructura y operación, situación que se va logrando con una eficiente inversión de los escasos recursos económico-existentes en el país.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar el diseño de estructura de pavimento flexible en el tramo de 3km del Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio, Municipio de Camoapa, Departamento de Boaco.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de tránsito que determine el TPDA futuro y la cantidad de ejes equivalentes en el periodo de diseño, necesarios en el diseño de la estructura de pavimento flexible.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y del banco de materiales, mediante un análisis del estudio de suelos proporcionado por el MTI.
- Calcular los espesores de la estructura de pavimento flexible mediante el Método AASHTO – 93.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se clasifica como un proyecto de infraestructura vial, orientado al diseño de una estructura de pavimento flexible para un tramo carretero de 3 km en el sector Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, en el municipio de Camoapa, Departamento de Boaco. Conforme con los lineamientos del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 9 (Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación), este tipo de obras sus objetivos esenciales son para mejorar la conectividad, la movilidad segura y el desarrollo económico local.

El proyecto incorpora principios de infraestructura sostenible, al considerar aspectos técnicos como el estudio detallado de suelos, la proyección del tránsito futuro (TPDA) y la estimación de cargas equivalentes para garantizar la durabilidad, resiliencia y eficiencia estructural del pavimento. De esta manera, se busca asegurar una solución técnicamente adecuada, económicamente viable y socialmente beneficiosa para la comunidad.

El proyecto empalme La Calamidad-Finca San Dionisio, de la comarca Masiguito está ubicado en el municipio de Camoapa departamento de Boaco se sitúa al sureste del casco urbano de Camoapa y sus coordenadas aproximadas iniciando en el empalme La Calamidad son (12°27'39.7"N, 85°20'12.6"W) y terminando en la Finca San Dionisio con coordenadas (12°28'50.4"N, 85°21'02.1"W). (ver anexo figura 40, página I).

Forman parte de las zonas rurales dedicadas principalmente a la ganadería y actividades agropecuarias. Esta comunidad se caracteriza por tener un relieve mayormente ondulado y semi-montañoso típico de la región central de Nicaragua. El territorio este compuesto por suelos de origen sedimentario y volcánicos aptos para la ganadería extensiva, producción de leche y agricultura. El clima es tropical seco, con una estación lluviosa definida entre mayo y noviembre, lo que influye en presencias de quebradas y corrientes de aguas temporales. Estas condiciones físicas favorecen las actividades agropecuarias que caracterizan a ambas comunidades, pero provocan daños a los caminos lo que los hace casi intransitables.

El presente proyecto está destinado a beneficiar principalmente a la población que habita en las comunidades cercanas al tramo comprendido desde el Empalme La Calamidad hasta la Finca San Dionisio, ubicada en la comarca Masiguito. Los usuarios directos incluyen a los pobladores que utilizan diariamente esta vía para desplazarse hacia centros de trabajo, escuelas, unidades de salud, comercios locales y actividades agrícolas. De igual manera, se consideran usuarios directos los productores agropecuarios y ganadero que dependen del transporte de insumos, herramientas y productos cosechados, así como los prestadores de servicios y transporte público que circulan por la zona.

Los destinatarios indirectos abarcan a las familias residentes en comunidades aledañas que, aunque no transiten diariamente por el tramo, se benefician del mejoramiento de la conectividad vial y del incremento en el acceso a servicios básicos y oportunidades económicas. El proyecto contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes, facilitar el desarrollo productivo y fortalecer la integración territorial, impactando de manera positiva tanto a los usuarios directos como a toda la población vinculada al área de influencia del tramo vial.

Dentro de los alcances de este proyecto se incluye la interpretación y análisis del estudio de suelos proporcionado, con el fin de evaluar las propiedades físicas y mecánicas del terreno y del banco de materiales disponible para la construcción. Asimismo, se desarrolla la determinación de los espesores óptimos de cada una de las capas del pavimento subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica empleando metodologías vigentes y normativas aplicables. El estudio también abarca la evaluación del tránsito actual y su proyección a futuro, con el propósito de establecer el número de ejes equivalentes que influirán en el diseño. Como parte del alcance, se formulan recomendaciones técnicas y lineamientos que orienten la correcta ejecución del pavimento.

El proyecto se limita únicamente al diseño estructural del pavimento flexible y no incluye el presupuesto total de la obra, el diseño geométrico completo ni la verificación en campo durante la construcción. La precisión del diseño depende de la calidad del

estudio de suelos disponible y de la falta de datos históricos detallados de tránsito, lo que obliga a utilizar estimaciones. Además, no se consideran modelaciones sobre condiciones climáticas extremas ni posibles cambios futuros en el tránsito o en el desarrollo de la zona que puedan influir en la vida útil del pavimento.

5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

5.1. Estudio de tránsito

La ingeniería de Transito podemos decir que: es aquella fase de la Ingeniería de Transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transportes motorizados y no motorizados.

La ingeniería de tránsito es un subconjunto de la Ingeniería de transporte, y a su vez el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito.

La ingeniería Transporte podemos decir que: es la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera seguro, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente. (Cal y Mayor, 2001, pág. 11).

5.1.1. Aforo Vehicular

Un aforo Vehicular es el proceso de contar y clasificar Vehículos que circulan por una vía para obtener datos del flujo de tráfico, como el Transito Promedio Diario (TPD), usando estaciones permanentes o temporales para determinar la demanda y diseñar infraestructuras viales, con métodos manuales o automáticos que clasifican por tipo de vehículos y sus características (ejes, peso). (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020).

5.1.2. Transito Promedio Diario

El factor Dia corresponde a expandir el 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. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 11).

Siendo la fórmula para calcular:

$$\text{Factor Día} = 1 + \frac{(Trafico\ Nocturno)}{(Trafico\ Diurno)}$$

El valor de factor día a adoptar por defecto en las estaciones de mayor cobertura 1.0 (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 11)

5.1.3. Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día". (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 14)

Para obtener el tránsito promedio diario anual TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. (Cárdenas Grisales, 2018, pág. 206).

Con la siguiente Ecuación encontramos TPDA

$$\text{TPDA} = \frac{TA}{365}$$

Donde:

TPDA=Trafico Promedio Diario Anual

TA=Trafico Anual

5.1.4. Estaciones de Conteo

EL estudio de conteo de tráfico es uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020)

Las estaciones de conteo, acorde a lo que se especifica en el Anuario de Aforos 2020, se dividen en 3 tipos:

- Estaciones de Mayor Cobertura (EMC)

Son las estaciones de conteo continuos los 365 días del año conteos clasificados 24 horas por día, pero por el costo de la ejecución, el Ministerio divide el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual TPDA que no es más que el promedio de los periodos.

- Estación de Corta Duración (ECD)

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores a 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 y jueves) (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2022)

5.1.5. Tasa de Crecimiento

Siendo que el primer paso para realizar investigaciones sobre volúmenes de tránsito es conocer el TPDA y sus tendencias de crecimiento, no es sino con el volumen horario critico previamente seleccionado critico previamente seleccionado que se pueden fijar las normas de diseño, dándose relaciones porcentuales que son habitualmente consistentes entre dichos volúmenes horarios que reflejan la capacidad de un tramo de carretera. Según el anuario de aforos de tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2022)

5.1.6. Proyección del tránsito futuro

Si se hiciera una lista de los todos los volúmenes de tránsito horario que se presentan en el año, en orden descendente, sería posible determinar los volúmenes horarios de la 10-ava, 20-ava, 30-ava, 50-ava, 70-ava o 100-ava hora de máximo volumen. Una guía para determinar el volumen horario de proyecto VHP, es precisamente una curva que indique la variación de los volúmenes de tránsito horario durante el año. Comúnmente se utiliza el volumen de la 30-ava hora, estimado al futuro, para fines de proyecto. (Grisales, 2018)

5.1.7. Periodo de Diseño

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, en el capítulo tres, refiere que el 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 que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente". (Coronado Iturbide, 2002, pág. 2)

5.1.8. Tránsito de Diseño

El Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro. (Montejo Fonseca, 2002).

Para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación siguiente. (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 21)

TD= TPDA*FC*Fds* fc*365

Donde:

TD: tránsito de diseño

TPDA: transito promedio diario anual

FC: factor de crecimiento

Fds: factor de distribución por sentido

Fc: factor por distribución por carril

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

5.1.9. ESAL

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 Kips2, por lo que se le denominará "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL (ejes equivalentes). (Coronado Iturbide, 2002, pág. 41)

5.2. Estudio de Suelo

Un estudio geotécnico o de suelo, se define como un conjunto de actividades que permiten obtener la información de un determinado terreno. La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de la tierra. (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2015, pág. 22).

5.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de los suelos

Son aquellas que indican de una manera rápida y práctica, el estado y naturaleza del suelo, con fines posteriores, como elaborar perfiles estratigráficos, clasificación de suelos, propiedades y parámetros complementarios de capacidad portante, con fines de cimentación. (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2015).

- Granulometría

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo sirve para diferenciar la influencia que tiene la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcientos de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. (Robles, 2004).

- Límites de consistencia (LL, LP, IP)

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua absorbida que rodea a las partículas de arcilla. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012, pág. 64).

- Limite liquido

La obtención del límite liquido es un dato imprescindible para concretar el cortante del suelo. Nos ayuda a definir el mayor alcance de humedad que posee el suelo trabajado, sin pasar de un estado plástico a un estado líquido.

El contenido de humedad del suelo en porcentaje y el correspondiente número de golpes de representan gráficamente en un papel. La relación entre el contenido de humedad y log N es casi como una línea recta. Esto se conoce como una curva de flujo. El contenido de humedad es correspondiente a N=25, determinando que, a

partir de la curva de flujo, es aquí donde se da el límite liquido del suelo. (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2015, pág. 86)

- Limite plástico

Se define como límite plástico el contenido de humedad, en porcentaje, en el suelo que al enrollarse en hilos de 3.2mm de diámetro se desmorona. La prueba al límite plástico se realiza por medio de rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio. Se determina que el índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2015, pág. 86)

- Índice de plasticidad

El índice de plasticidad según Das (2015):

> Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.
> El índice plástico depende de la cantidad de arcilla que tiene el suelo.
>
> *IP = LL – LP Ecuación Tomada de* (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2015)

- Peso volumétrico

El peso volumétrico representa la relación entre el peso del suelo y su volumen total. Es un parámetro fundamental para evaluar la densidad alcanzada en campo y su relación con la capacidad estructural del suelo compactado. (Jimenez, Justo Alpañes, & Serrano Gonzalez, 2013)

- Contenido de Humedad

El contenido de humedad influye directamente en la resistencia y compresibilidad del suelo. Existe una humedad óptima para la cual el suelo alcanza su máxima densidad seca, condición fundamental para la construcción de capas de pavimento durables. (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2016).

5.2.2. Clasificación de suelos

Juárez Badillo & Rico Rodríguez (2005), expresan que debido a la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa. Obviamente la mecánica de suelos desarrolló sistemas de clasificación desde un principio.

(Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012) presenta el sistema de clasificación de suelos AASHTO:

- Clasificación AASHTO

Este método clasifica los suelos, de acuerdo con su composición granulométrica, límite líquido y su índice de plasticidad, en 8 grupos de A-1 a A-8. Los suelos listados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual.

Se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación:

$IG=(F_{200}-35)[0.2+0.005(LL-\ 40)]+0.01(F_{200}-15)\ (IP-10)$. Ecuación Tomada de (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012)

Donde, F200: porcentaje que pasa la malla núm. 200, expresado como un número entero

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para un suelo que pertenece al grupo A-2-6 o al A-2-7, sólo se utiliza la ecuación parcial del índice de grupo que se relaciona con el índice de plasticidad:

$IG = 0.01(F200 - 15)\ (IP - 10)$. Ecuación Tomada de (Das B. , Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2012)

5.2.3. Compactación de suelos

La compactación es un método para aumentar mecánicamente la densidad del suelo y es especialmente valiosa en aplicaciones de construcción. Si este proceso no se realiza correctamente, el asentamiento del suelo puede producirse, lo que resulta en costos de mantenimiento innecesarios y fallas del pavimento o la estructura. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco. (Badillo & Rodriguez, 2005, pág. 575)

5.2.4. CBR

Ensayo que se encarga de medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y que también evalúa la calidad del terreno ya sea para trazar una subrasante, tirar una sub base y base de pavimentos, todo esto llevado a cabo mediante condiciones debidamente controladas de humedad y densidad (Villalaz, 2004) La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193 (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001)

5.3. Diseño de Estructura de Pavimento

El pavimento es la estructura esencial de una vía constituida por capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas subrasante, subbase, base y carpeta de rodamiento; con el fin de resistir adecuadamente las cargas al terreno (Cordo, 2006).

- Pavimento flexible

Consiste en una o más capas de material granular seleccionado o procesado y colocado directamente sobre la subrasante del suelo natural transmitiendo directamente sobre dicha subrasante las cargas que reciben solo en las zonas próximas a la aplicación de la carga. En la mayoría de los casos la superficie de esta capa seleccionada es protegida y conservada por una capa asfáltica de rodamiento. (Lynch Blackman, 2005, pág. 13).

El diseño de pavimento se realizará mediante el método AASHTO 93, el cual se detalla en los siguientes acápites.

5.3.1. Método AASHTO-93

La guía AASHTO ofrece una metodología completa y detallada para el diseño de pavimentos: Flexibles y Rígidos. En el caso de pavimentos articulados, los cuales se refieren a pavimento con rodadura de adoquín; la AASHTO – 93 recomienda usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible.

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural "SN" que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40,000 psi (280MPa) (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 169) La ecuación de este método de diseño es:

$$\log_{10}Wt_{18}=Z_RS_O+9.36\log_{10}(SN+1)-0.20+\log_{10}(\Delta PSI)/4.2-1.50.4+$$
$$1094(SN+1)5.19+2.32\log10MR-8.07$$

Ecuación Tomada de (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001).

Dónde:

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

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

So: Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad.

MR: Módulo resiliente de la subrasante.

5.3.2. Estructura de Pavimento Flexible

- Subrasante

según el capítulo cinco del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA "se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento y se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto" (Coronado Iturbide, 2002, pág. 2)

- Subbase

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA en el capítulo cinco, refiere que "es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento" (Coronado Iturbide, 2002, pág. 3)

- Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante y

es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 111)

- Carpeta de rodamiento

La carpeta asfáltica proporciona una superficie de rodadura segura, confortable y resistente al desgaste. Además, protege las capas inferiores de la infiltración de agua. (Instituto del Asfalto, 2015).

5.3.3. Variable de Diseño

Las principales variables de diseño consideradas en el método son las siguientes:

- Desviación Estándar

Es una medida de la variación entre la predicción del tránsito y la del comportamiento estructural. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio. El rango de valores que toma este parámetro está entre 0.40 y 0.45 " (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 122)

- Niveles de Serviciabilidad

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, entre otras, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural). El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto) (Corredor M., 2008). Según (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001), el diseño estructural basado en la serviciabilidad considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P0) y el índice de serviciabilidad final (Pt), para la vida útil o de diseño del pavimento.

El índice de serviciabilidad inicial (Po) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. El índice de

serviciabilidad final (Pt), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario.

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$\Delta PSI = Po - Pt$ Ecuación Tomada de (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001).

- Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 131)

- Módulo de Resiliencia

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la subrasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos, la guía de diseño establece las ecuaciones de correlación para determinar el MR usando el CBR (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001)

- Numero Estructural

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

$SN = a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3$ Ecuación Tomada de (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001) a1, 2,3: Coefficients' estructurales de capa.

D1, 2,3: Espesores de capa.

m2,3: Coeficientes de drenaje de capas.

- Coeficiente de Capa

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (an), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos permiten convertir los espesores reales a números estructurales (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001).

- Coeficiente de Drenaje

Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño de este (American Association of State Highway and Transportation Officials-93, 2001, pág. 159). El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto fundamental que se debe considerar en el diseño de carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

6. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

6.1 Estudio de transito

Los estudios de tránsito juegan un papel fundamental en la elaboración de diseño de estructuras de rodamiento, ya que al realizar un estudio de tránsito se puede expresar de forma cuantitativa y cualitativamente la condición actual del tramo que se pretende diseñar o rehabilitar.

El tránsito es una de las variables más importantes en el diseño de la estructura de pavimento y una de las que presenta mayores problemas para su estimación y ajuste a las exigencias futuras de una vía.

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito realizado en el tramo empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, mediante la aplicación de la metodología establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Es importante mencionar, que este proyecto de graduación se ha realizado tomando en consideración los datos históricos del Anuario de aforos de tráfico 2020, debido a que el Anuario de aforos de tráfico 2022, publicado en junio de 2023, no presenta suficientes datos históricos para realizar la determinación de tránsito promedio diario anual y la tasa de crecimiento. (Ver anexos, tabla 74, pág. VI).

Para este estudio se tomó en consideración la metodología recomendada por el

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual se detalla a continuación:

1. Selección de un punto de aforo sobre el tramo en estudio, para registrar la cantidad de vehículos que circulan, durante tres días (martes, miércoles, jueves), por doce horas de conteo. En este caso fueron dos puntos.
2. Procesar datos del aforo en Microsoft Excel para la determinación del tránsito promedio diario semanal (TPDS).

3. Seleccionar la estación más cercana geográficamente al tramo y que posea similitud con los porcentajes de composición vehicular, auxiliándose de los vectores de correspondencia contenidos en el Anuario de Tráfico del MTI 2020.
4. Identificar la estación de mayor cobertura a la cual pertenece la estación seleccionada.
5. Calcular el tránsito promedio diario anual (TPDA), considerando los factores de expansión de la estación de mayor cobertura y comparar con los datos de la estación seleccionada.
6. Determinación de la tasa de crecimiento con la cual se diseñará la estructura de pavimento flexible, tomando en consideración los históricos del TPDA de la estación seleccionada. Además, de los datos históricos del producto interno bruto (PIB) y población (POB).
7. Calcular el ESAL de diseño de la estructura de pavimento, considerando los pesos por ejes de carga.

6.2. Estudio de suelos

Para poder desarrollar el estudio se realizaron las siguientes actividades:

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

6.3. Diseño de estructura de pavimento flexible

Para el cálculo de los espesores para la estructura de pavimento articulado, se aplicó la metodología recomendada por la AASHTO 93, tomando los siguientes pasos:

- En función del periodo de diseño y del valor de ESAL obtenido en el estudio de tránsito, se seleccionaron los parámetros de diseño definidos en el método AASHTO 93, tales como la confiabilidad, desviación estándar, índice de Serviciabilidad y módulos de resiliencia.
- Se determinaron los coeficientes estructurales de capa utilizando los nomogramas correspondientes del método AASHTO 93.
- Posteriormente, se calcularon los números estructurales (SN) con base en dichos nomogramas, y se aplicaron las fórmulas necesarias para obtener los espesores de cada capa de la estructura del pavimento.

7. RESULTADOS

7.1. Estudio de tránsito

En este punto del Proyecto de Graduación, se muestran los resultados correspondientes al Estudio de Tránsito realizado en el Tramo de Carretera: Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio, en el municipio de Camoapa, departamento de Boaco.

7.1.1. Aforo vehicular

Con el objetivo de cuantificar el flujo vehicular y caracterizar la composición del tránsito, se realizaron aforos en las estaciones 0+000 y 1+500, la estación 0+000 se ubicó en un empalme entre dos carreteras, con el fin de registrar el flujo de ingreso y salida del tramo en estudio. En la estación 1+500 se estableció un punto adicional debido a la presencia de una intersección con otra vía, lo que permite captar las variaciones en el volumen y la composición del tránsito generadas por los movimientos de incorporación y salida de vehículos.

El cronograma de captación de datos se distribuyó en dos periodos de tres días consecutivos cada uno: del 6 al 8 de enero de 2026 y del 13 al 15 de enero de 2026. La jornada de medición se estableció en un intervalo de 12 horas diarias (06:00 a 18:00 horas). Esta metodología de muestreo se fundamentó en la ausencia de registros históricos de un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) superior a los 300 vehículos; por consiguiente, se adoptaron los lineamientos técnicos del Anuario de Aforos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), el cual prescribe un periodo mínimo de tres días para estaciones con este volumen de demanda.

El conteo se realizó de manera bidireccional, empleando para el registro físico los formatos de campo estandarizados proporcionados por el MTI (2020), asegurando así la compatibilidad y consistencia técnica de la información recolectada para su posterior procesamiento estadístico.

Para realizar el aforo vehicular primeramente se ubicó los puntos en los cuales se realizaría el conteo, en el empalme La Calamidad hasta La Finca San Dionisio,

municipio de Camoapa del departamento de Boaco con coordenadas: (12°27'39.7"N, 85°20'12.6"W, - 12°28'50.4"N, 85°21'02.1"W).

Figura 1 Ubicación de estaciones de aforo vehicular del tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio.



Fuente: Google Earth.

Los resultados del aforo vehicular realizado en el tramo en estudio se han muestran en las tablas 1-6, pág. 27-37 por día y estación aforada respectivamente; así mismo, sus gráficos del comportamiento vehicular por hora (Ver figura 2-13, pág. 28-38).

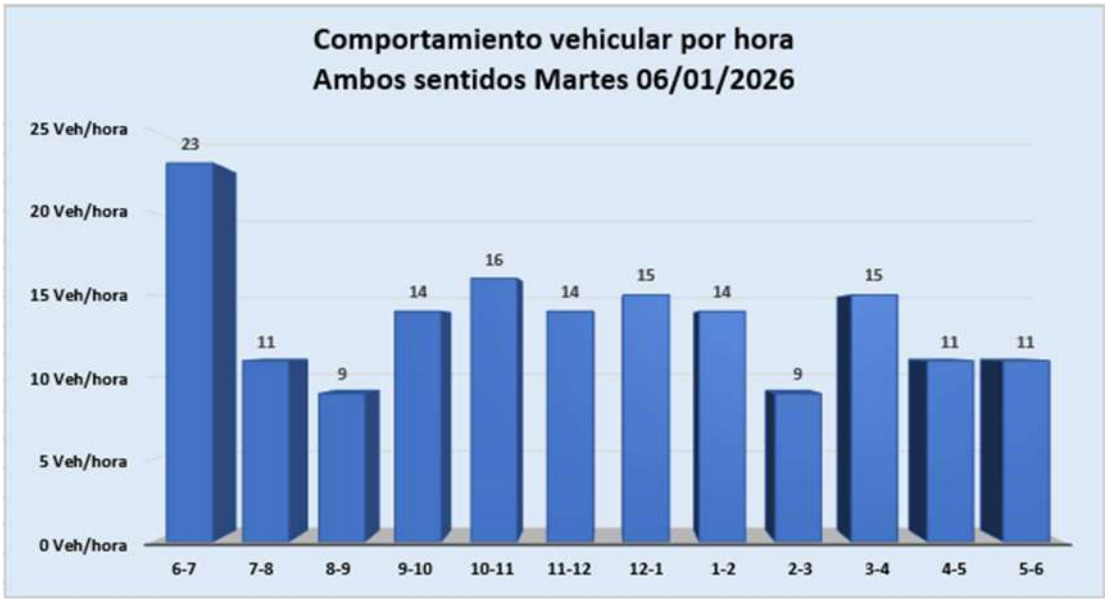
En anexos se pueden observar los aforos realizados con lapsos de 15 minutos. (Ver tabla 74-79, pág VI-XI).

Tabla 1: Datos del día martes 06/01/2026, Est. 0+000

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio																		
Sentido:		Ambos											Est:	Est. 0+000						
													Fecha:	6/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		3	1	4	5				5	4	1								23
07:00	08:00		1	0	1	4				3	2									11
08:00	09:00		1	0	3	2				2	1									9
09:00	10:00		2	0	1	4				3	3	1								14
10:00	11:00		3	0	2	6				2	2	1								16
11:00	12:00		4	1		5			1	2	1									14
12:00	01:00		5	0	1	7				1	1									15
01:00	02:00		3	0	1	5				1	3	1								14
02:00	03:00		0	0	1	2				3	2	1								9
03:00	04:00		2			7				4	1	1								15
04:00	05:00		1	0	1	3				2	4									11
05:00	06:00		0	0		10				1										11
Volumen 12h diurnas		**0**	**25**	**2**	**15**	**60**	**0**	**0**	**1**	**29**	**24**	**6**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**162**

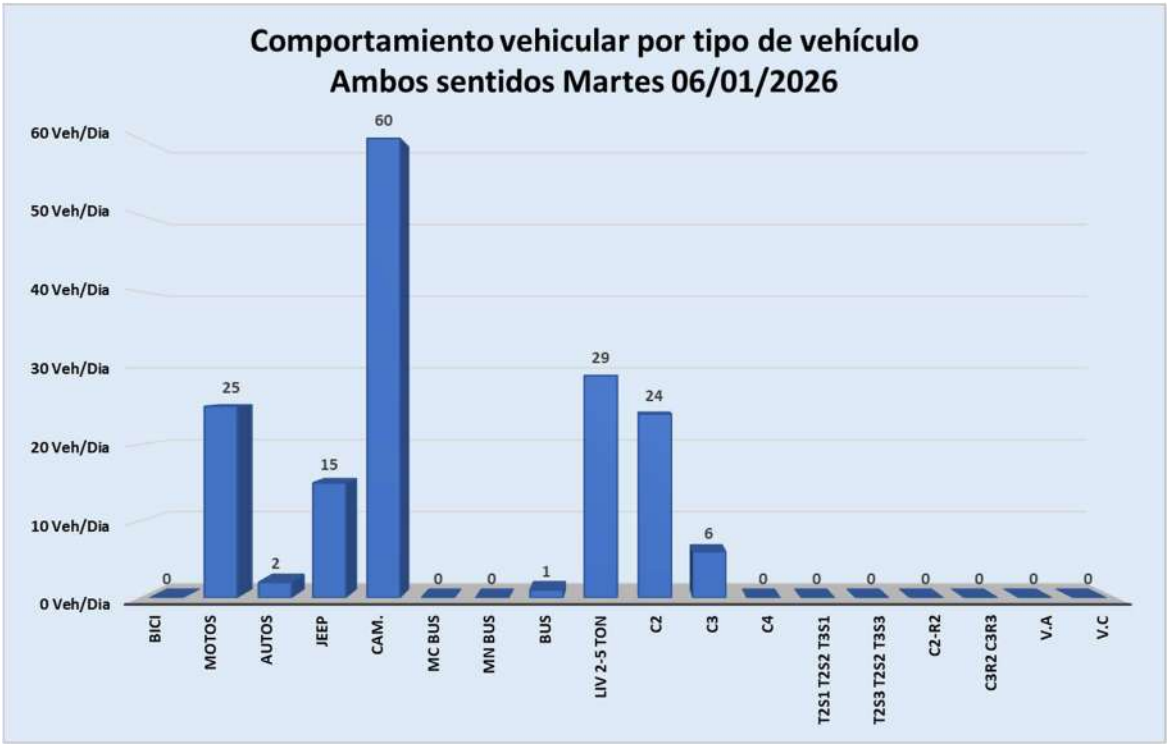
Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000



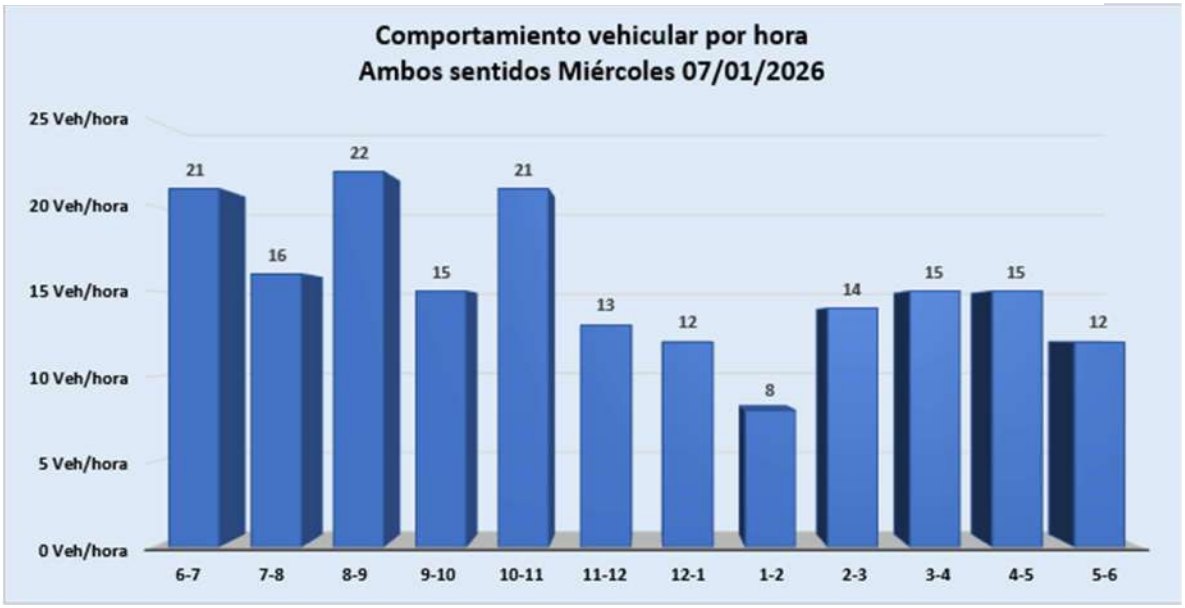
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Datos del día miércoles 07/01/2026, Est. 0+000

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio																		
Sentido:		Ambos											Est:	Est. 0+000						
													Fecha:	7/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		5	1	2	4			1	3	4	1								21
07:00	08:00		3	0	3	2				3	4	1								16
08:00	09:00		4	0	1	9				5	3									22
09:00	10:00		4	1	1	7				1	1									15
10:00	11:00		5	1	3	7				3	1	1								21
11:00	12:00		3	0		2				4	3	1								13
12:00	01:00		4	0	1	4			1	2										12
01:00	02:00		2	0	1	2				2	1									8
02:00	03:00		4		1	3				2	3	1								14
03:00	04:00		3	1	1	7				1	2									15
04:00	05:00		4	1	1	7					2									15
05:00	06:00		3	0	1	5			1	1	1									12
Volumen 12h diurnas		0	44	5	16	59	0	0	3	27	25	5	0	0	0	0	0	0	0	184

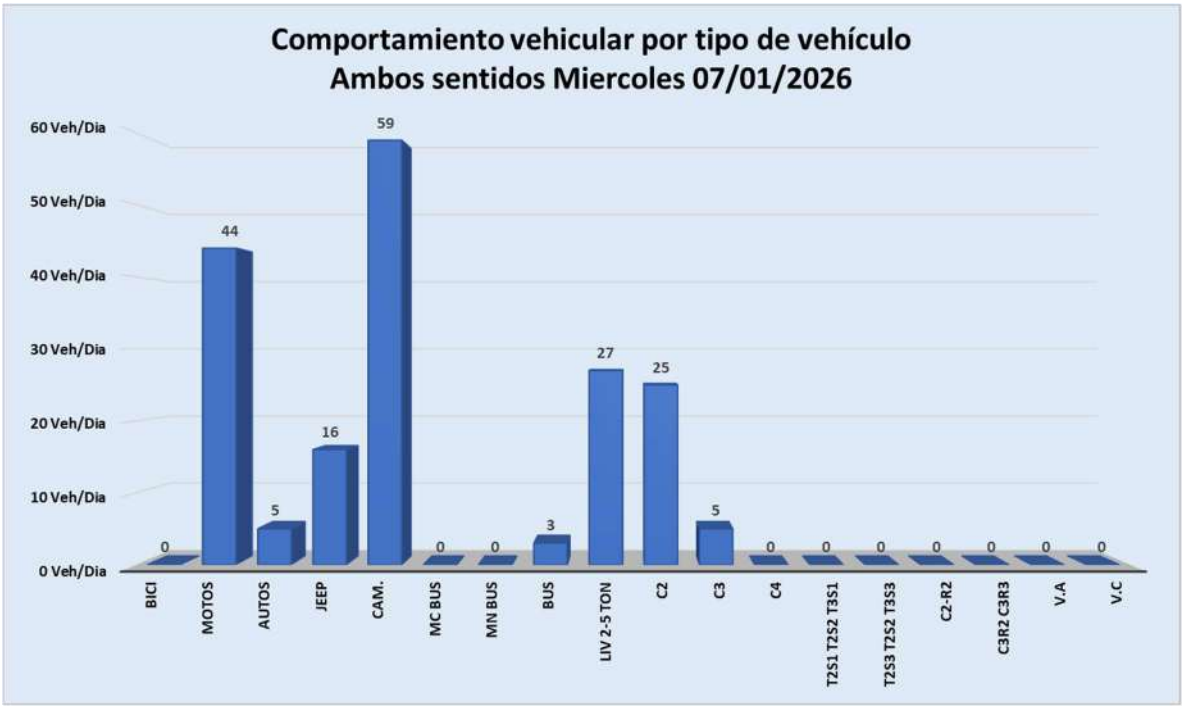
Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000



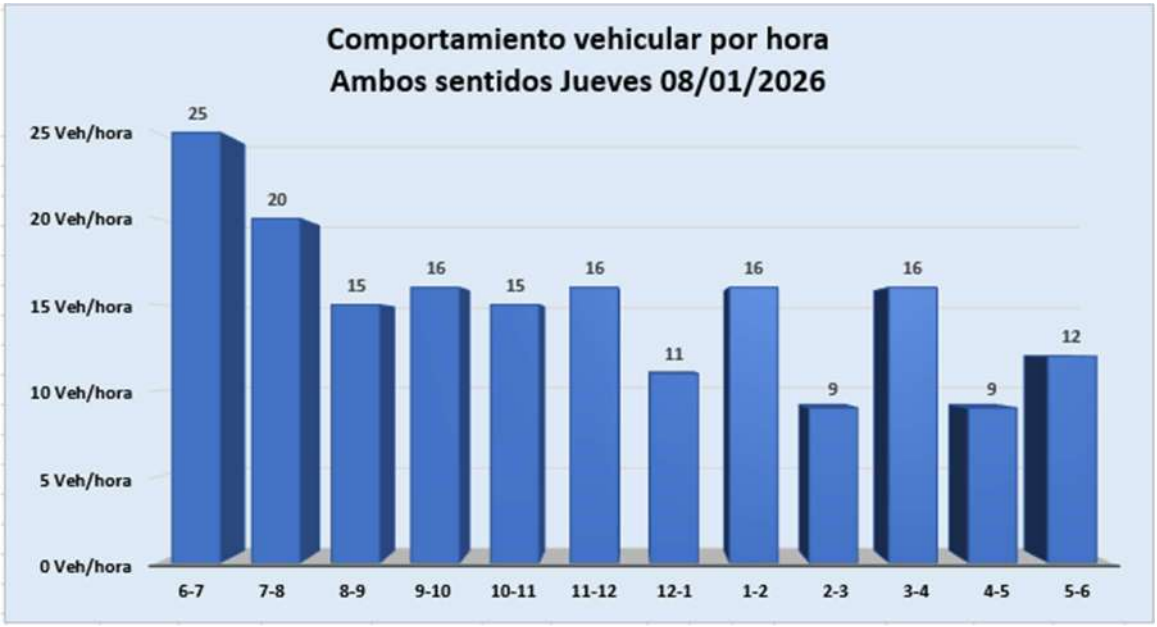
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Datos del día jueves 08/01/2026, Est. 0+000

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio																		
Sentido:		Ambos											Est:	Est. 0+000						
													Fecha:	8/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		2	0	3	7	0		1	7	5									25
07:00	08:00		4	2	1	5				5	2	1								20
08:00	09:00		2	0	1	9				2	1									15
09:00	10:00		3	1	1	6				3	2									16
10:00	11:00		5	0		5				2	3									15
11:00	12:00		3	1	1	6	0			4	1									16
12:00	01:00		0	0		6			1	1	2	1								11
01:00	02:00		3	1	1	7				1	2	1								16
02:00	03:00		1	0	1	4					3									9
03:00	04:00		2	0	4	5				3	2									16
04:00	05:00		4		0	5														9
05:00	06:00		3	0	2	6	0		1											12
Volumen 12h diurnas		0	32	5	15	71	0	0	3	28	23	3	0	0	0	0	0	0	0	180

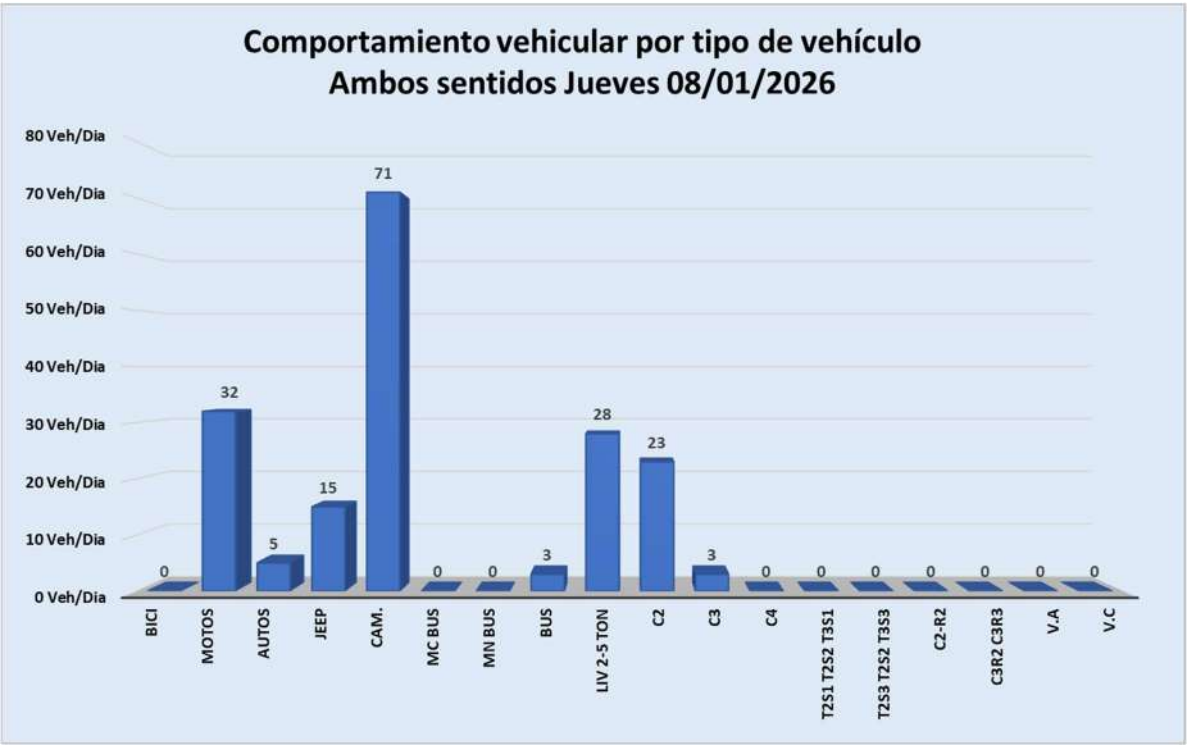
Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Comportamiento vehicular por hora, Est. 0+000



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 0+000



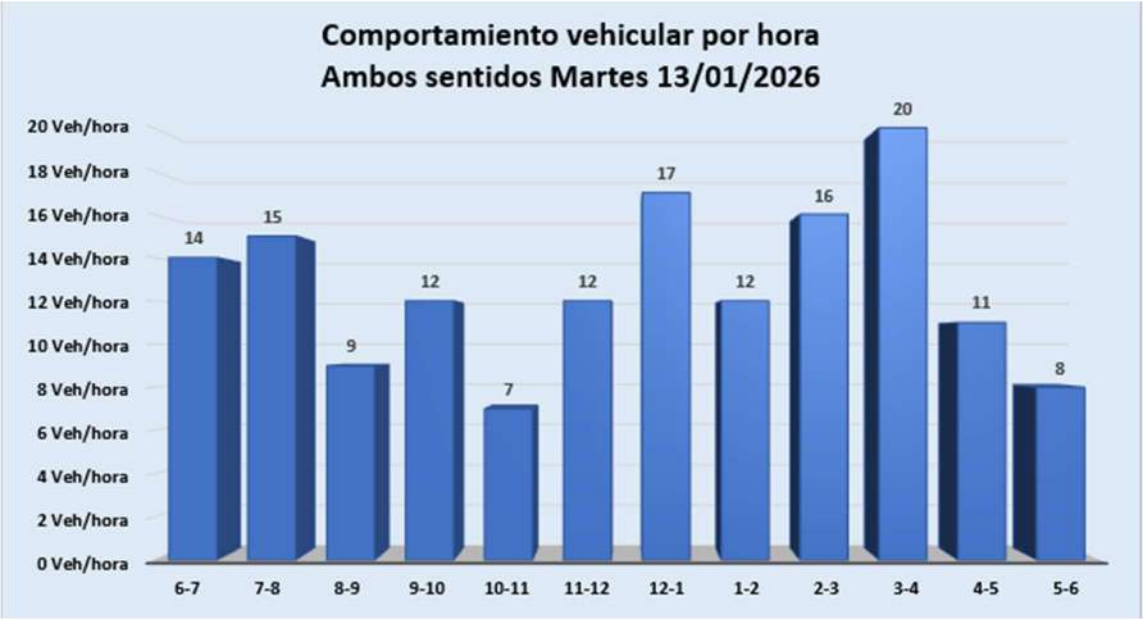
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Datos del día martes 13/01/2026, Est. 1+500

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio																		
Sentido:		Ambos											Est:	Est. 1+500						
													Fecha:	13/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		3	1	0	3	0			5	2									14
07:00	08:00		3	0	1	5				3	3									15
08:00	09:00		2	1		1				1	3	1								9
09:00	10:00		2	0	1	6				1	1	1								12
10:00	11:00		1	0		2				2	2									7
11:00	12:00		2	0	1	5	0		1	2	1									12
12:00	01:00		1	0	4	6				5		1								17
01:00	02:00		1	1	1	4				2	2	1								12
02:00	03:00		3	0	3	6				3	1									16
03:00	04:00		3		2	7				2	5	1								20
04:00	05:00		2	0	2	4				1	2									11
05:00	06:00		0	0	2	5	0					1								8
Volumen 12h diurnas		0	23	3	17	54	0	0	1	27	22	6	0	0	0	0	0	0	0	153

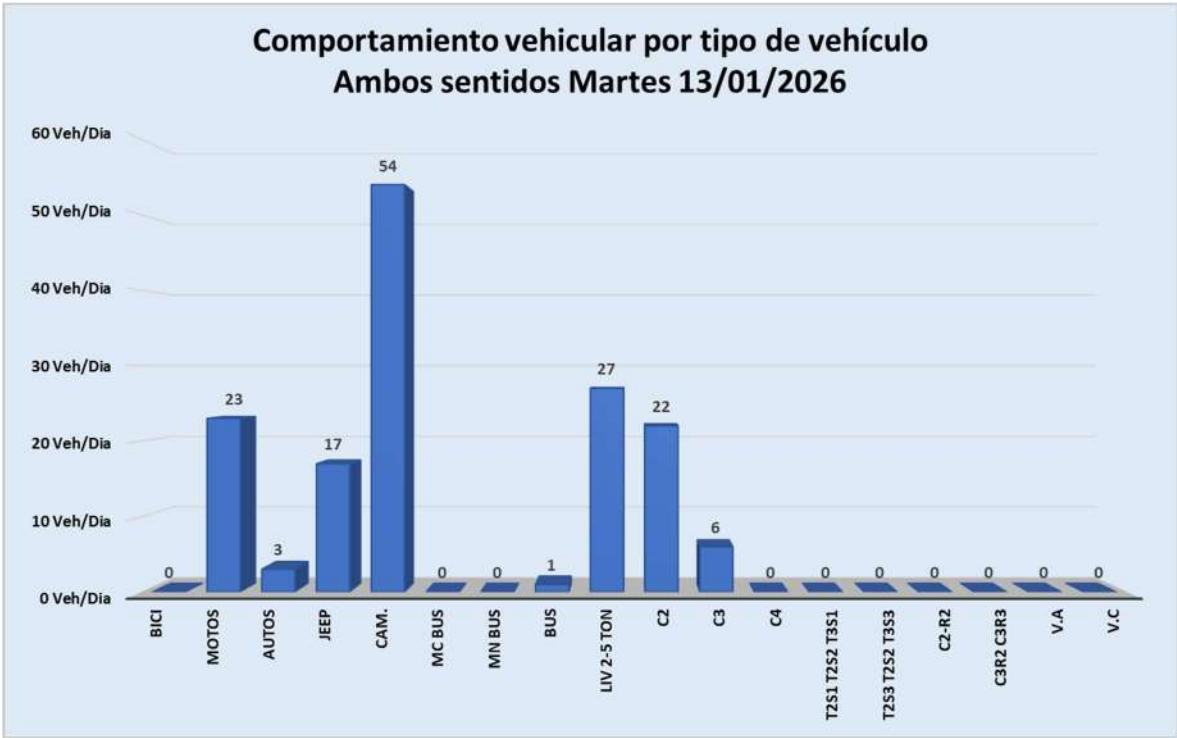
Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Comportamiento vehicular por hora, Est. 1+500



Fuente: Elaboración propia

Figura 9 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Datos del día miércoles 14/01/2026, Est. 1+500

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										Est:		Est. 1+500						
Sentido:		Ambos										Fecha:		14/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		2	1	2	6	0			3	1									16
07:00	08:00		3	1	2	5				2		1								28
08:00	09:00		1	1		1				2	1									6
09:00	10:00		4	0		2				3	1									10
10:00	11:00		0	0	1	4				1	4									10
11:00	12:00		2	0	1	4	0			1										8
12:00	01:00		0	0		4			1	4	1									10
01:00	02:00		4	1		5					1	1								12
02:00	03:00		5		2	6				3	3	1								20
03:00	04:00		2	1	1	6					6	1								17
04:00	05:00		8	1	2	4				4	4								0	23
05:00	06:00		11	0	2	8	0		1		gg									22
Volumen 12h diurnas		0	42	6	13	55	0	0	3	23	22	4	0	0	0	0	0	0	0	182

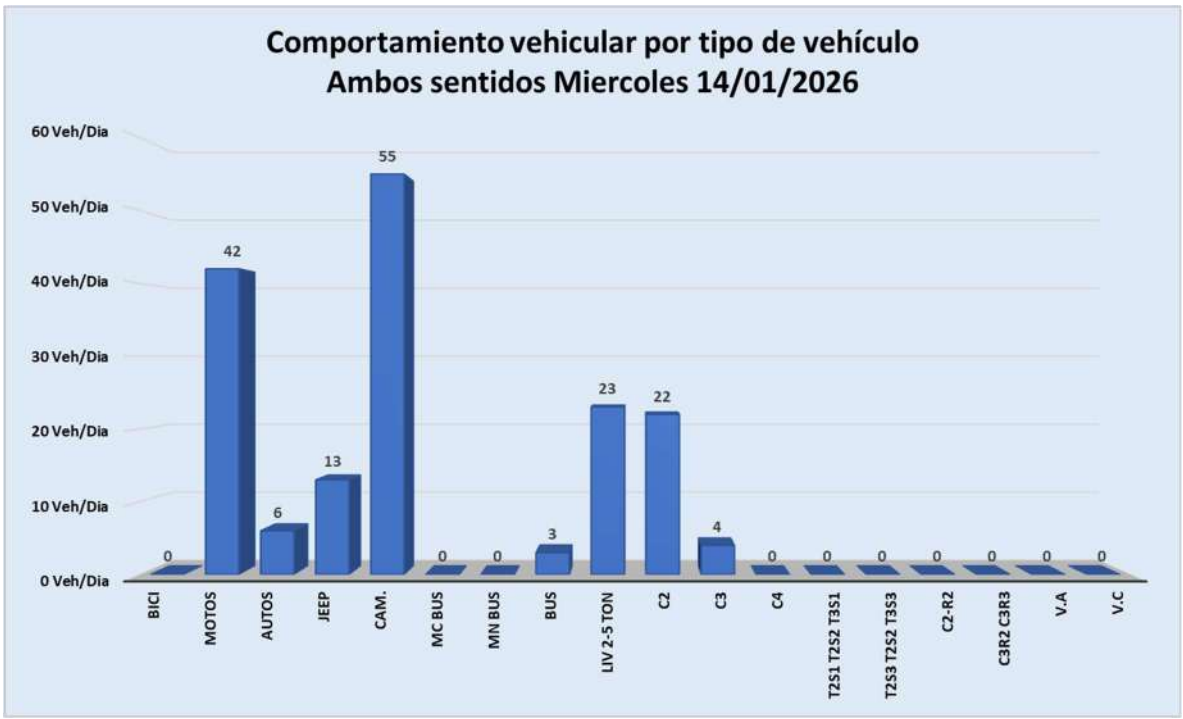
Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Comportamiento vehicular por hora, Est. 1+500



Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500



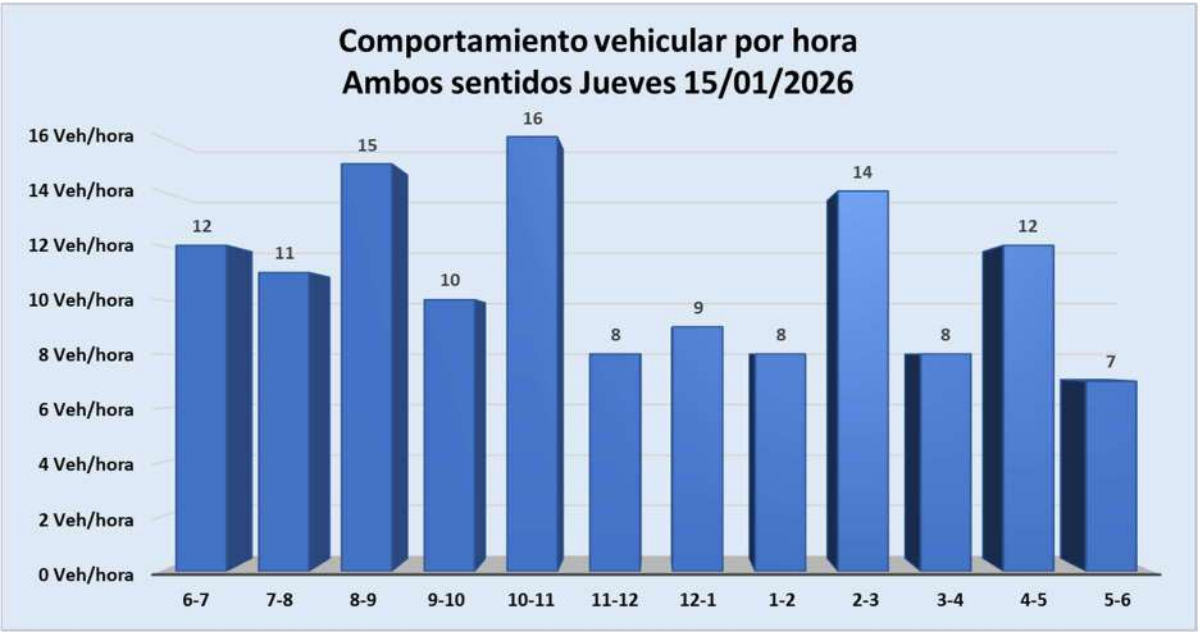
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Datos del día jueves 15/01/2026, Est. 1+500

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio																		
Sentido:		Ambos											Est:	Est. 1+500						
													Fecha:	15/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
06:00	07:00		2	1		9	0													12
07:00	08:00		2	0	1	7					1								0	11
08:00	09:00		3	1		7				3		1								15
09:00	10:00		3	0	1	5						1								10
10:00	11:00		6	1		6				3										16
11:00	12:00		2	0	2	3	0				1									8
12:00	01:00		1	0		4				2	1	1								9
01:00	02:00		3		1	3					1									8
02:00	03:00		3	1	1	8					1									14
03:00	04:00		2	1	2					2		1								8
04:00	05:00		2	2	5	3														12
05:00	06:00		5	0		2	0												0	7
Volumen 12h diurnas		**0**	**34**	**7**	**13**	**57**	**0**	**0**	**0**	**10**	**5**	**4**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**130**

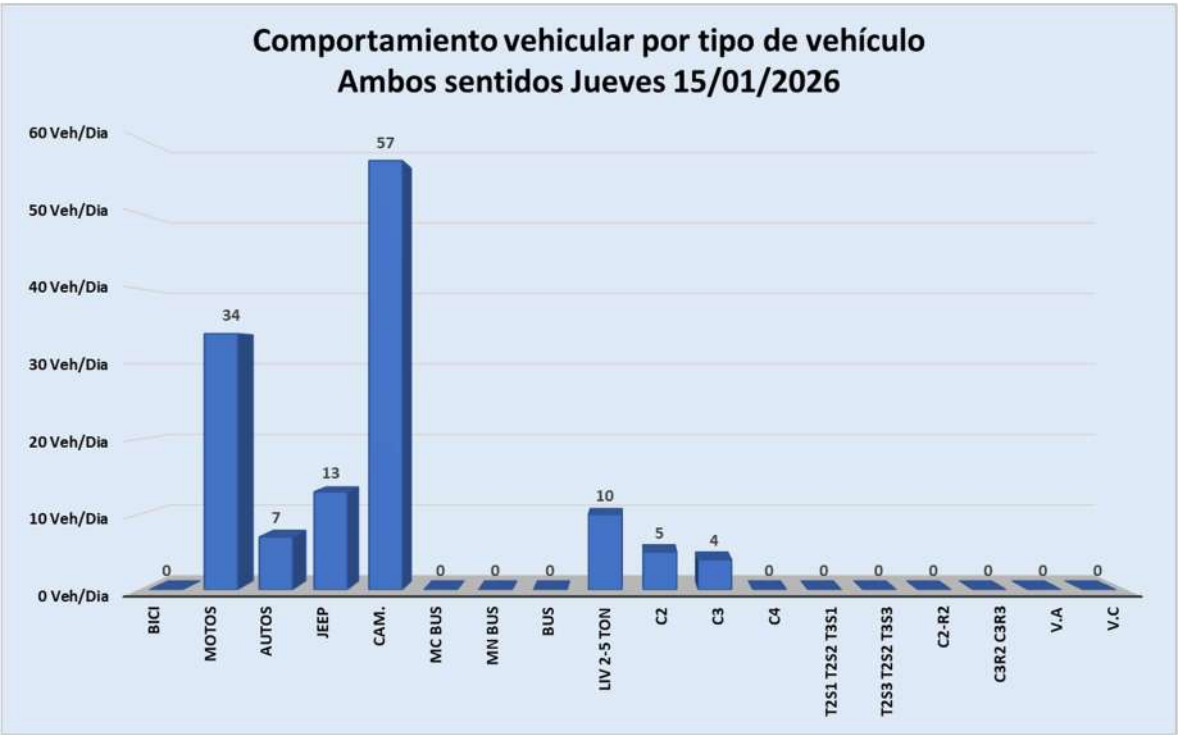
Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo, Est. 1+500



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se observa el resumen de los resultados del aforo realizado en la Estación 0+000, en el cual se observa un total de 526 vehículos que transitaron en los tres días que se realizó el aforo.

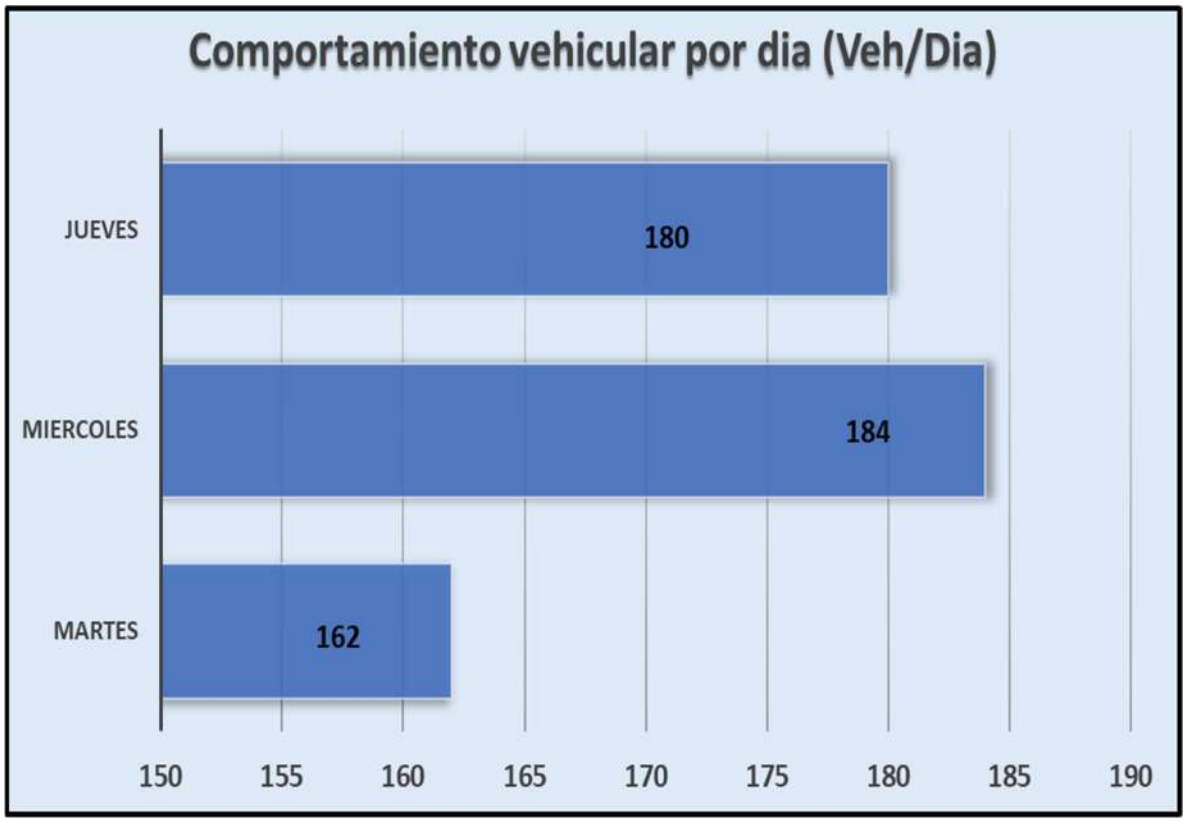
Tabla 7: Resumen de los resultados del aforo vehicular del tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000

Tramo:	Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										EST		0+000						
Sentido:	Ambos Sentidos										Fecha:		Del Martes 06/01/2026 al Jueves 08/01/2026						
Fecha	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Total vehiculos 12h
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
Martes	0	25	2	15	60	0	0	1	29	24	6	0	0	0	0	0	0	0	162
Miercoles	0	44	5	16	59	0	0	3	27	25	5	0	0	0	0	0	0	0	184
Jueves	0	32	5	15	71	0	0	3	28	23	3	0	0	0	0	0	0	0	180
Total Vehículos	0	101	12	46	190	0	0	7	84	72	14	0	0	0	0	0	0	0	526
Total	356								170										526
Vehículos 12h%	0%	19%	2%	9%	36%	0%	0%	1%	16%	14%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
% de vehículos	68%								32%										100%
Trafico Promedio diurno Semanal (TPDS)	0	34	4	15	63	0	0	2	28	24	5	0	0	0	0	0	0	0	175

Fuente: Elaboración propia

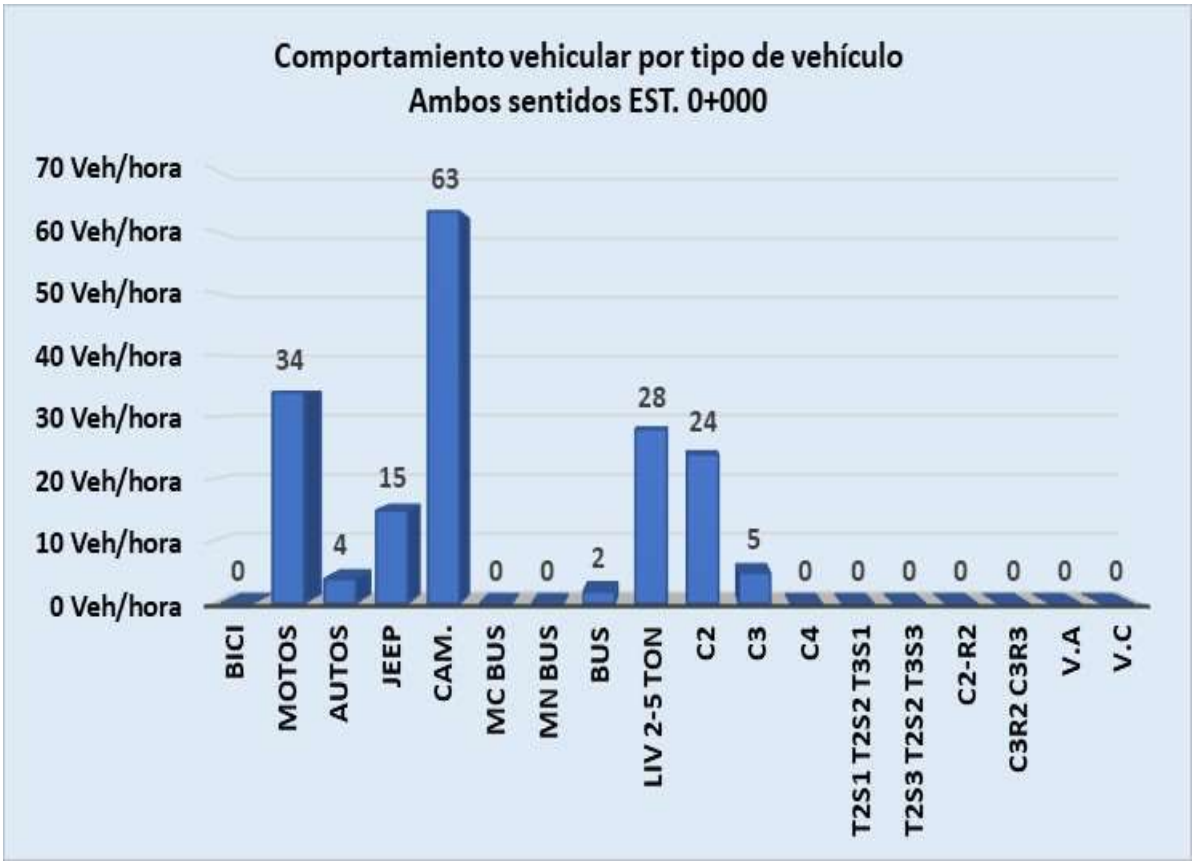
A continuación, se muestra el comportamiento vehicular por día de aforo, en la figura 14, en donde se observa que los días miércoles y jueves son los que presentan mayor volumen de tránsito en la estación 0+000, y en la Figura 15 (ver pág. 41) se observa que la mayor cantidad de vehículos que circularon por el punto de aforo fueron camionetas.

Figura 14 Comportamiento vehicular por día tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 0+000



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla 8, se observa el resumen de los resultados del aforo realizado en la Estación 1+500, en el cual se observa un total de 451 vehículos que transitaron en los tres días que se realizó el aforo.

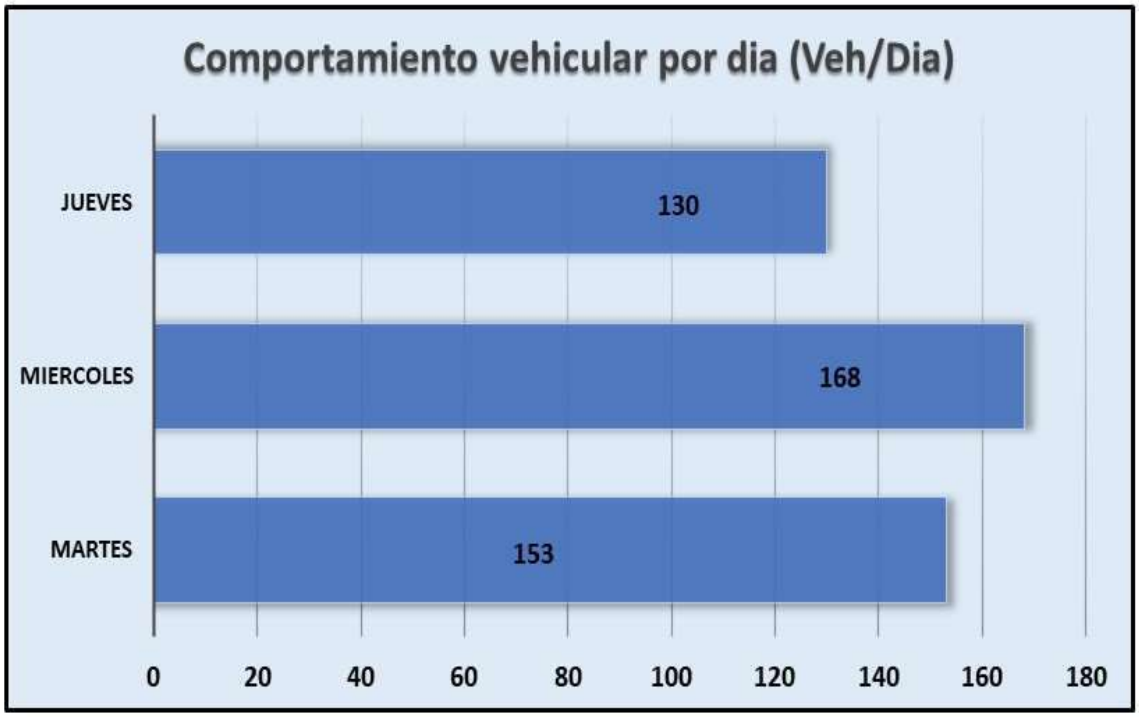
Tabla 8: Resumen de los resultados del aforo vehicular del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500

Tramo:	Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										EST		1+500						
Sentido:	Ambos Sentidos										Fecha:		Del Martes 13/01/2026 al Jueves 15/01/2026						
Dia	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Total vehiculos 12h
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
Martes	0	23	3	17	54	0	0	1	27	22	6	0	0	0	0	0	0	0	153
Miercoles	0	42	6	13	55	0	0	3	23	22	4	0	0	0	0	0	0	0	168
Jueves	0	34	7	13	57	0	0	0	10	5	4	0	0	0	0	0	0	0	130
Total Vehículos	0	99	16	43	166	0	0	4	60	49	14	0	0	0	0	0	0	0	451
Total	328								123										451
Vehículos 12h%	0%	22%	4%	10%	37%	0%	0%	1%	13%	11%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
% de vehículos	73%								27%										100%
Trafico Promedio diurno Semanal (TPDS)	0	33	5	14	55	0	0	1	20	16	5	0	0	0	0	0	0	0	149

Fuente: Elaboración Propia

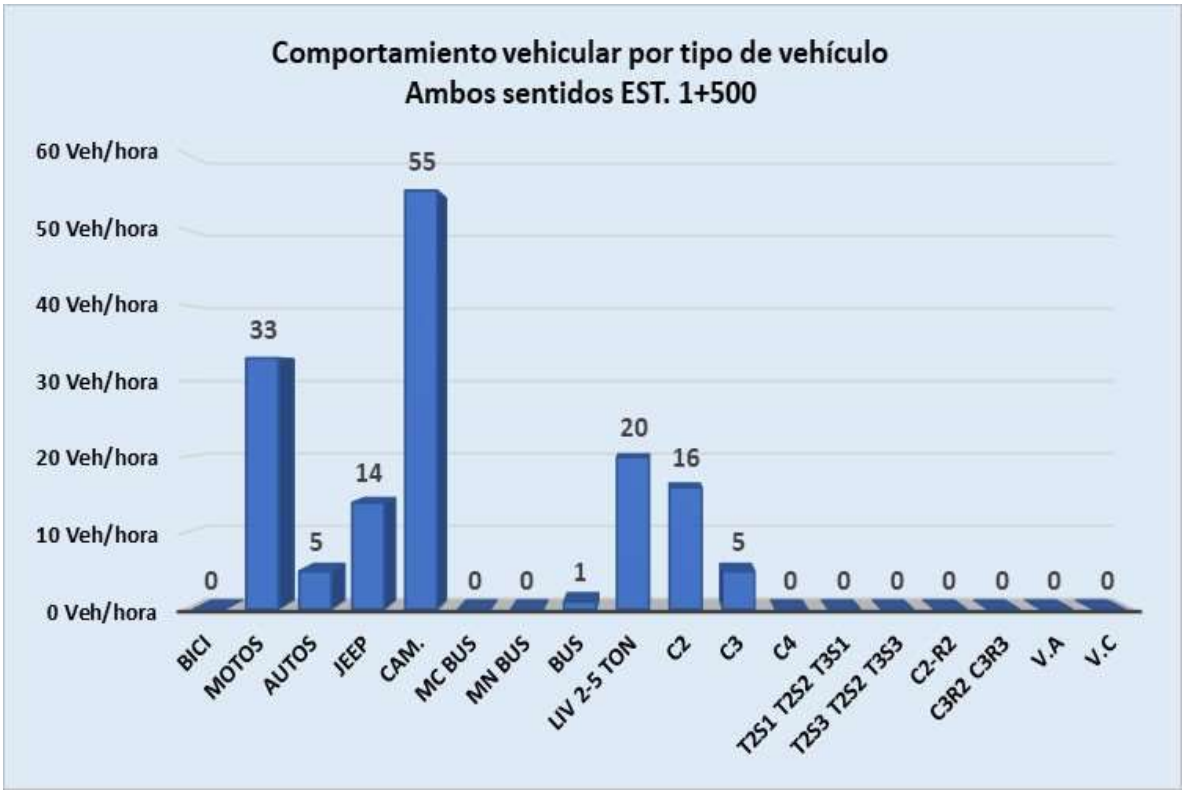
A continuación, se muestra el comportamiento vehicular por día de aforo, en la figura 16, en donde se observa que los días martes y miércoles son los que presentan mayor volumen de tránsito en la estación 1+500, y en la Figura 17 (ver pág. 44) se observa que la mayor cantidad de vehículos que circularon por el punto de aforo fueron camionetas.

Figura 16 Comportamiento vehicular por día tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17 Comportamiento vehicular por tipo de vehículo del tramo El empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio. Est. 1+500



Fuente: Elaboración Propia

7.1.2 Tránsito Promedio Diurno (TPDi)

Es el número total de vehículos que pasan durante los días que se realizó el aforo vehicular. En la tabla 9, se muestra el cálculo del tránsito promedio diurno (TPDi) para la Est. 0+000, a manera de ejemplo, se muestra el cálculo del TPDi para las camionetas:

$$TPDi = \frac{60 + 59 + 71}{3} = 63 \frac{veh}{Día}$$

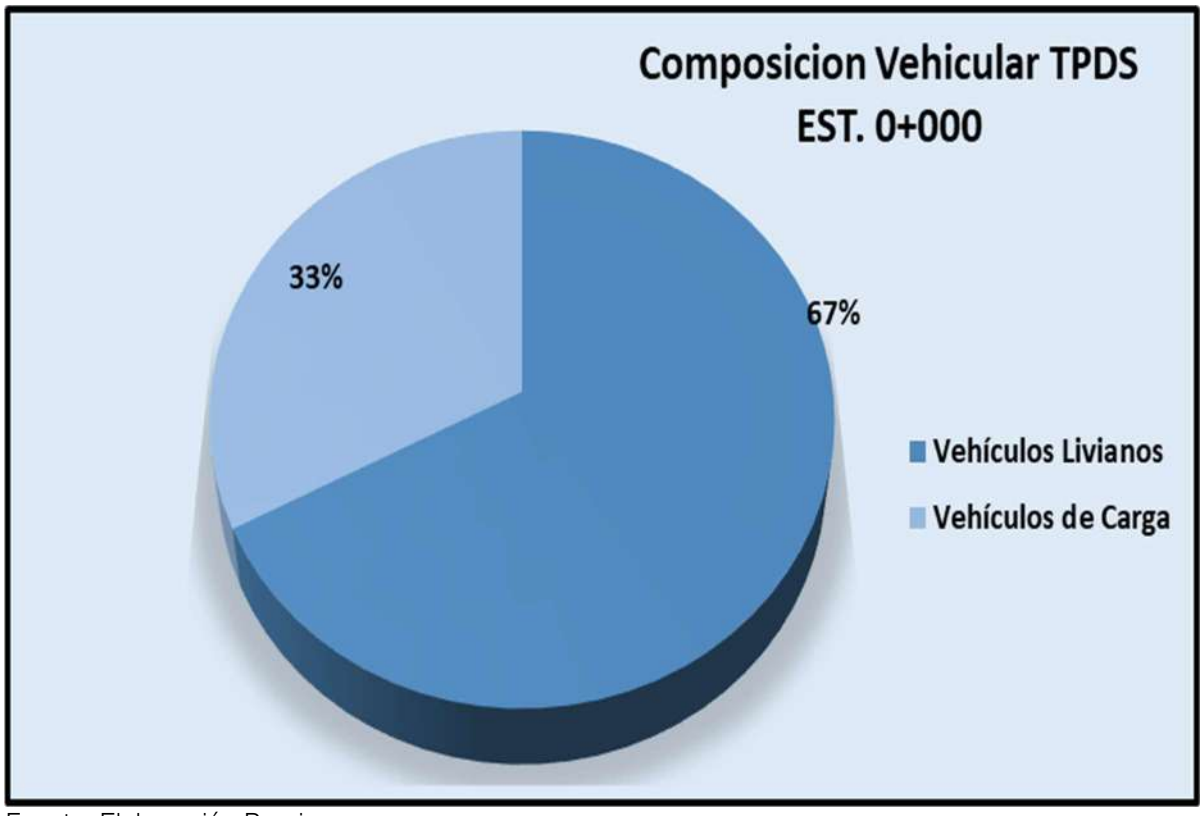
Tabla 9: Tránsito promedio diurno (TPDi), Est. 0+000

Tramo:	Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										EST		0+000						
Sentido:	Ambos Sentidos										Fecha:		Del Martes 06/01/2026 al Jueves 08/01/2026						
Dia	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Diurno (12 horas)
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
Trafico Promedio diario (TPDi)	0	34	4	15	63	0	0	2	28	24	5	0	0	0	0	0	0	0	175
Total Vehiculos 12h %	0%	19.43%	2.29%	8.57%	36.00%	0.00%	0.00%	1.14%	16.00%	13.71%	2.86%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	67.43%								32.57%										100%
	Vehículos Livianos								Vehículos de Carga										

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 18, se muestra el comportamiento del tránsito promedio diurno (TPDi), por clasificación vehicular para la Estación 0+000.

Figura 18 Composición del TPDi Est. 0+000



Fuente: Elaboración Propia

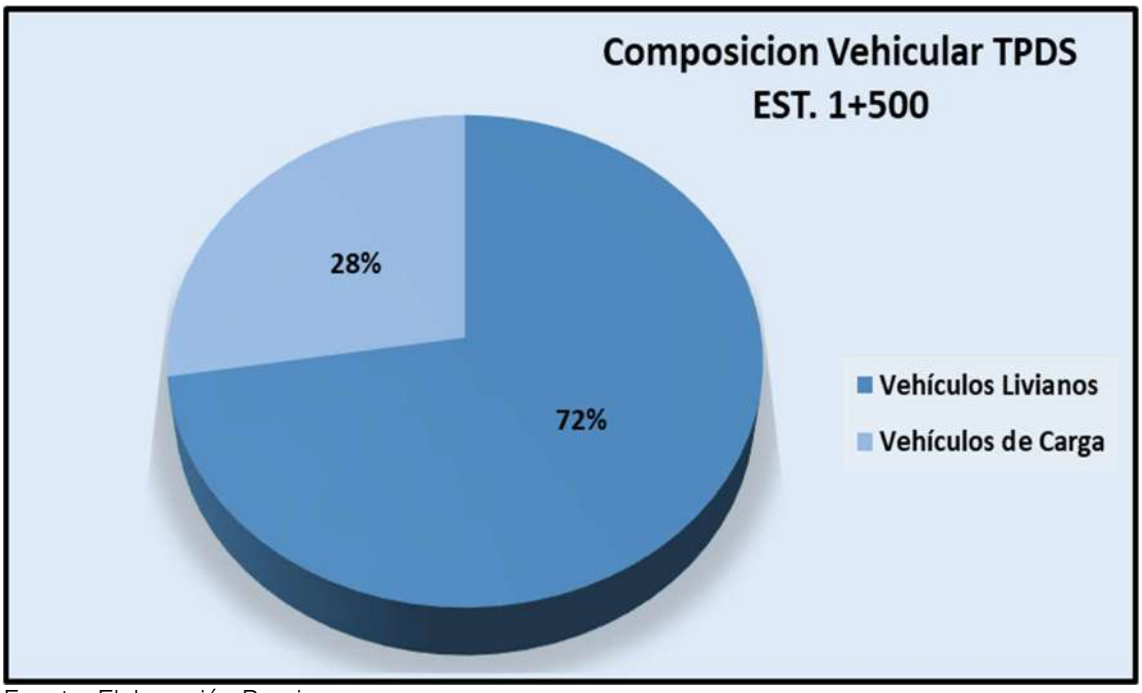
Utilizando la misma metodología anterior, se realizó el cálculo del TPDi para la estación 1+500. En la tabla 10 se pueden observar los resultados de dichos cálculos y en la figura 19 (ver pág. 48) se observa la composición vehicular para la estación 1+500.

Tabla 10: Tránsito promedio diurno (TPDi), Est. 1+500

Tramo:	Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										EST		1+500						
Sentido:	Ambos Sentidos										Fecha:		Del Martes 06/01/2026 al Jueves 08/01/2026						
Dia	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Volumen Diurno (12 horas)
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
Trafico Promedio diario (TPDi)	0	33	5	14	55	0	0	1	20	16	5	0	0	0	0	0	0	0	149
Total	0%	22%	3%	9%	37%	0%	0%	1%	13%	11%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Vehiculos	72.48%								27.52%										100%
	Vehículos Livianos								Vehículos de Carga										

Fuente: Elaboración Propia

Figura 19 Composición del TPDi, Est. 1+500



Fuente: Elaboración Propia

7.1.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

La metodología planteada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), para el cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA), consiste en identificar los vectores de correspondencia, la clasificación y dependencia de estaciones por las categorías de vectores, así como la determinación los factores de ajustes. Es necesario que, al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que las circundan, con el objeto de tomar en cuenta el incremento del flujo vehicular de la calle proyectada.

7.1.4 Identificación de vectores de correspondencia

Para todas las estaciones, se identifican vectores con incidencia y rangos de variaciones en las características del tráfico:

- Vector Geográfico – R

- Volumen Total del Tráfico – V

En la tabla 11, se muestra la clasificación del vector geográfico para el tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Boaco.

Tabla 11: Vector Geográfico

REGIONES POR CODIGO Y DEPARTAMENTO				
N°1	VECTOR		NOMBRE DE REGION	DE DEPARTAMENTOS
1	R1	PS	Pacifico Sur	Masaya, Granada, Carazo Rivas
2	R2	PN	Pacifico Norte	
3	R3	CN	Centro Norte	Nueva Segovia, Madriz, Esteli,Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
4	R4	AS	Atlantico Sur	Region Autonoma del Caribe Sur (RACS), Rio San Juan
5	R5	AN	Atlantico Norte	Region Autonoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020. Pág.7)

De igual manera, según lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020, pág. 7), cuando el vector volumen está comprendido en el rango mayor de 5,000 vehículos por día, este se clasificará como un V1; cuando se encuentre entre 300 a 5,000 vehículos por día, será un V2 y cuando sea menores de 300 vehículos por día, se tomará como V3. En este caso, el vector volumen identificado para el tramo en estudio es el V3, ya que en el conteo vehicular se muestra que la cantidad de vehículos se encuentra son menores de 300 vehículos por día.

7.1.5 Estaciones de conteo

Para la selección de la estación con la cual se trabajó en la determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA), geográficamente la más cercana es la estación 1802

San Marcos-Masatepe; esta fue la estación seleccionada por tener la composición vehicular más similar a la del tramo en estudio y por estar dentro del mismo el tramo el empalme La Calamidad- La Finca San Dionisio; además la estación 3101 se clasifica como estación de corta duración y pertenecen a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe Así mismo, en la tabla 13 (ver pág. 51) se muestra el Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación de corta duración 3101- La Calamidad - Emp.Masigüe .

Tabla 12: Estación de Mayor Cobertura San Marcos – Masatepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NC	N° ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos-Masatepe	NIC-17	1706	ECS	Rancho Rojo - La Calamidad
	NIC-17	**3101**	**ECS**	**La Calamidad - Emp.Masigüe**
	NIC-17	1703	ECS	Emp. Masigüe - La Embajada - Villa Siquia
	NIC-18B	1805	ECD	Diriamba - Emp.La Boquita - Casares
	NIC-19A	1902	ECS	San Dionisio - Esquipulas
	NIC-19B	720	ECS	Emp.Santa Rosa (Inter NIC-7) - Comalapa
	NIC-19B	1904	ECS	Comalapa - Camoapa
	NIC-19B	1091	ECD	Camoapa - Emp. La Subasta
	NIC-20B	2002	ECD	La Concepcion - San Marcos
	NIC-20C	218	ECD	Emp. Santa Teresa - Santa Teresa
	NIC-20C	219	ECD	Santa Teresa - La Conquista
	NIC21A	2101	ECS	Puertas Viejas - Esquipulas
	NIC-21A	2102	ECS	Esquipulas - Emp. Muy Muy
	NIC-21B	2103	ECD	Emp. Muy Muy - Matiguás

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 67).

Tabla 13: Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación de corta duración 3101 - La Calamidad - Emp. Masigüe.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	MOTOS	AUTOS	JEEP	CMTA.	MCBUS< 15 PAS.	MNBUS 15-30 S.	BUS	LIV. 2-5 TON	C2 5+ TON	C3	TX-SX <=4E	TX-SX>= 5E	CX-RX <=4E	CX-RX <=5E	V.A	V.C	OTROS	TPDA
124	NIC-17	3101	ECS	La Calamidad-Emp.Masigue	2019	75		6	68			3	18	15	1							2	**188**
					2015	37		5	61			2	20	26	2							1	**154**
					2014	46		6	47			2	22	19	1		1					1	**145**
					2009	13	1	4	26			1	12	18								1	**76**
					2008	13		5	34			1	10	13			0						**77**
					2002	8		6	18			9	8	26									**75**
					2000	2		6	11			8	4	12									**45**
					1997	2		5	14			7	2	15	2								**47**
				EMC:1802																			
				Tasa Crecimiento:6.74%	2020	80		6	73			3	19	16	1							2	201
						Liv. 159				**Pasaj.** 3			**Pesado** 38										
						79%				2%			19%										

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 228

7.1.6 Cálculo de Transito Promedio Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), fue calculado utilizando la ecuación del TPDA, la cual toma en consideración el factor de expansión y el factor día, que se encuentran en el anuario de aforos de tráfico del MTI (2020). A continuación, en la tabla 14, se muestran los factores utilizados para realizar la expansión de TPDi a TPDA. Debido a que el aforo vehicular se realizó en la primera y segunda semana el mes de enero, los valores correspondientes pertenecen al tercer cuatrimestre del año.

Tabla 14: Factores de expansión a TPDA primer cuatrimestre del año (Enero-Abril) de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe.

SAN MARCOS-MASATEPE FACTORES-2020 Factores del primer cuatrimestre del año Enero-Abril.																	
Descripcion	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv 2-5t.	c2	c3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx>=5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	v.a	v.c	Otros
Factor dia	1,34	1,29	1,18	1,25	1,23	1,14	1,38	1,15	1,20	1,21	1,00	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factor semana	0,95	1,96	1,00	0,97	0,92	0,93	0,89	0,91	0,83	0,86	1,00	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Factor Fin de Semana	1,15	1,11	0,99	1,08	1,30	1,22	1,44	1,33	2,07	1,68	1,00	1,69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,48
Factor Expansion a TPDA	1,15	1,15	1,35	1,13	1,20	1,23	1,16	1,15	1,04	1,27	1,00	1,54	1,00	1,00	1,00	1,00	1,88

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 385)

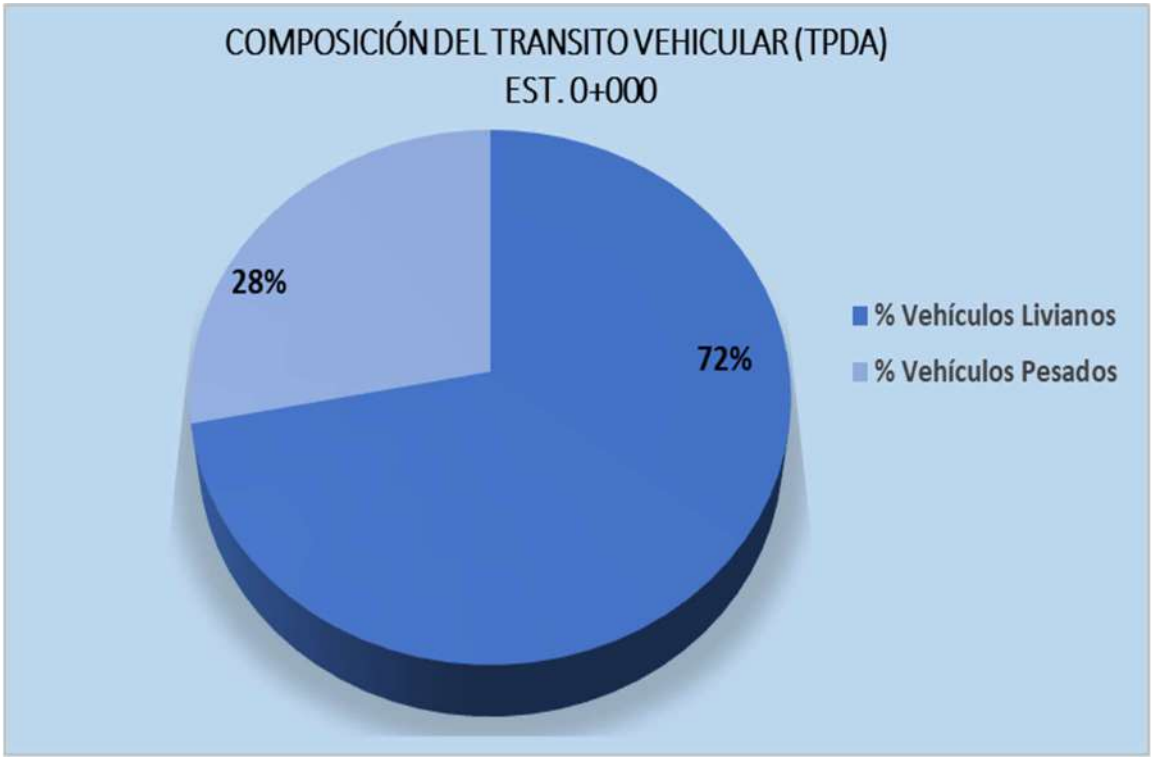
Los resultados obtenidos de expansión del TPDi A TPDA por cada vehículo para la estación 0+000 se muestran en la tabla 15, expresando un valor general de TPDA de 235 (vehículos por día). Con los resultados obtenidos en la tabla 15, se determinó de forma porcentual la composición vehicular, la cual se compone de la siguiente manera: de los 235 vpd, el 71.91% corresponde a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, micro bus) y el 28.09%, representa los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3, vehículo de construcción) (Ver figura 20, pág. 54).

Tabla 15: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio Est. 0+000.

	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	Volumen Diurno (12 horas)
TPDi	34	4	15	63	0	0	2	28	24	5	0	0	0	0	0	0	
Factor Día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.2	1.21	1	1.32	1	1	1	1	
Factor Semana	0.95	0.96	1	0.97	0.92	93	0.89	0.91	0.83	0.86	1	0.86	1	1	1	1	
Factor Expansión a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.2	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	1	1.54	1	1	1	1	
TPDA	50	6	24	86	0	0	3	34	25	7	0	0	0	0	0	0	235
% de composición	21.28%	2.55%	10.21%	36.60%	0.00%	0.00%	1.28%	14.47%	10.64%	2.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100%
% Vehiculo Liviano	71.91%							% Vehiculo Pesado			28.09%						

Fuente: Elaboración Propia

Figura 20 Composición vehicular TPDA (%) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est.0+000



Fuente: Elaboración Propia

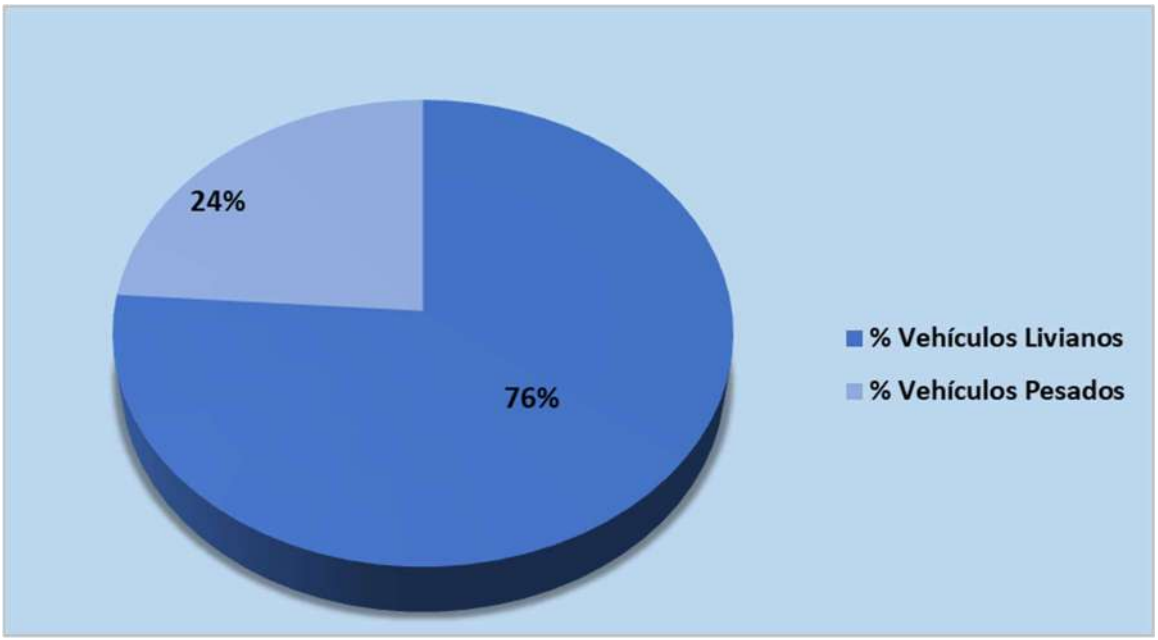
Así mismo, los resultados obtenidos de expansión del TPDi a TPDA por cada vehículo para la estación 1+500 se muestran en la tabla 16, pág. 55, expresando un valor general de TPDA de 201 (vehículos por día). Con los resultados obtenidos en la tabla 15, se determinó de forma porcentual la composición vehicular, la cual se compone de la siguiente manera: de los 201 vpd, el 76.12% corresponde a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, micro bus) y el 23.88%, representa los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3, vehículo de construcción) (Ver figura 21, pág. 56).

Tabla 16: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est. 1+500

	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	Volumen Diurno (12 horas)
TPDi	33	5	14	55	0	0	1	20	16	5	0	0	0	0	0	0	
Factor Día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.2	1.21	1	1.32	1	1	1	1	
Factor Semana	0.95	0.96	1	0.97	0.92	93	0.89	0.91	0.83	0.86	1	0.86	1	1	1	1	
Factor Expansión a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.2	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	1	1.54	1	1	1	1	
TPDA	48	7	22	75	0	0	1	24	17	7	0	0	0	0	0	0	201
% de composición	23.88%	3.48%	10.95%	37.31%	0.00%	0.00%	0.50%	11.94%	8.46%	3.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100%
% Vehiculo Liviano	76.12%							% Vehiculo Pesado			23.88%						

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21 Composición vehicular TPDA (%) del tramo El Empalme La Calamidad – Finca San Dionisio, Est.1+500



Fuente: Elaboración Propia

La composición vehicular de TPDA del tramo en estudio presenta similitud con los porcentajes de vehículos livianos y pesados de la estación de corta duración 3101 La Calamidad-Emp.Masigue. ya que presenta un 79% de vehículos livianos y 19% de vehículos pesados (ver tabla 13, pág. 51).

7.1.7. Tasa de crecimiento

Se entiende que la tasa de crecimiento vehicular está determinada tanto por los conteos vehiculares, como también por factores como el crecimiento poblacional de la zona estudiada (POB) y a su vez las condiciones socioeconómicas, entre ellas el producto interno bruto (PIB).

Las proyecciones para el crecimiento del tránsito se analizaron distintas tasas de crecimiento, donde se utilizaron ecuaciones para: TPDA, POB y PIB.

7.1.8. Tasa de Crecimiento vehicular

Se seleccionaron registros históricos de los conteos vehiculares de la estación más óptima en porcentaje de la composición vehicular, como sus semejanzas en características socioeconómicas al tramo de estudio (El Empalme la Calamidad – Finca San Dionisio), resultando ser la Estación de Corta Duración 3101 - La Calamidad - Emp. Masigüe, dicha información procede del anuario estadístico del MTI. (2020). (Tabla 13, Pág. 51).

Como ejemplo se expondrá el cálculo de tasa de crecimiento del periodo del 2009-2020

$$TC = \left[\left[\frac{TPDA_i}{TPDA_0}\right]^{1/n}\right] - 1$$

$$\text{TC} = 6.08\%$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17, obteniendo la tasa de crecimiento final del TPDA histórico de 6.08%, correspondientes al promedio de las tasas en estudios. En el promedio no se tomará en cuenta los valores negativos y valores mayores al 10%. Además, del registro histórico de la ECD se descartaron los datos de los años 1996 hasta el 2003 debido a que las otras variables analizadas (PIB y POB), sus registros inician a partir del año 2015 y para que no existan discrepancias se tomó este criterio.

Tabla 17: Histórico de TPDA, estación 3101 La Calamidad-Emp. Masigue.

Año	TPDA	Tasa de crecimiento
2008	77	
2009	76	-1.30%
2014	145	13.79%
2015	154	6.21%
2019	188	5.11%
2020	201	6.91%
TC		**6.08%**

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico

7.1.9. Tasa de crecimiento poblacional

El Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) publica anuarios estadísticos en los cuales presentan datos sobre los principales sectores del país. En este caso se seleccionaron los registros históricos de la población del año 2006 al 2024. os resultados

Como ejemplo se expondrá el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional:

$$TC = \left[\left(\frac{6{,}874.7}{6{,}803.9}\right)^{1/(2024-2023)}\right]$$

$$\text{TC} = 1.01\ \%$$

Al obtener la serie de tasas de los años, se pasa al cálculo de tasas de crecimiento final.

$$TC = \left[((1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.01 * 1.03 \ldots * 1.01)\frac{1}{18} - 1\right] * 100$$

$$\text{TC} = 1.22\ \%$$

Se expondrán los datos en la tabla 18, donde se obtuvo una tasa de crecimiento poblacional final del 1.22%.

Tabla 18: Histórico de población

Año	POB	Tasa de crecimiento
2006	5,522.6	-
2007	5,595.5	1.01
2008	5,668.9	1.01
2009	5,742.3	1.01
2010	5,815.5	1.01
2011	5,996.6	1.03
2012	6,071.0	1.01
2013	6,134.3	1.01
2014	6,198.2	1.01
2015	6,262.7	1.01
2016	6,327.9	1.01
2017	6,393.8	1.01
2018	6,460.4	1.01
2019	6,527.7	1.01
2020	6,595.7	1.01
2021	6,664.4	1.01
2022	6,733.8	1.01
2023	6,803.9	1.01
2024	6,874.7	1.01
	TF =	**1.22%**

Fuente: Anuario Estadístico INIDE (2021, pág. 50)

7.1.10. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)

A través del anuario de estadísticas macroeconómicas 2022, proporcionados por el banco central de Nicaragua, nos presenta ciertos valores históricos del producto interno bruto enfocados en la producción. Se seleccionaron los datos históricos del producto interno bruto (PIB) desde el año 2006 al 2024.

Como ejemplo se expondrá el cálculo para las tasas de crecimiento del (PIB).

$$TC = \left[\left(\frac{211{,}268.8}{203{,}951.4}\right)^{1/(2024-2023)}\right]$$

$$\text{TC} = 1.04\ \%$$

Ya obtenida la serie de tasas de los distintos años, se calcula la tasa de crecimiento final.

$$TC = \left[((1.05 * 1.03 * 0.97 * 1.04 * 1.06 \ldots * 1.04)\frac{1}{18} - 1\right] * 100$$

TC= 3.25%

Se expondrán los datos en la tabla 19, pág. 59, donde se obtuvo una tasa de crecimiento final del PIB del 3.25%.

Tabla 19: Histórico de producto interno bruto (PIB)

Año	PIB	Tasa de crecimiento
2006	118,837.7	-
2007	124,870.3	1.05
2008	129,160.5	1.03
2009	124,907.7	0.97
2010	130,416.3	1.04
2011	138,654.2	1.06
2012	147,661.4	1.06
2013	154,936.8	1.05
2014	162,351.3	1.05
2015	170,131.6	1.05
2016	177,894.9	1.05
2017	186,133.6	1.05
2018	179,873.3	0.97
2019	174,662.6	0.97
2020	170,756.2	0.98
2021	188,607.7	1.10
2022	195,303.8	1.04
2023	203,951.4	1.04
2024	211,268.8	1.04
TC =		**3.25%**

Fuente: Estadísticas Macroeconómicas Banco Central de Nicaragua, 2024

7.1.11. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)

Para la obtención de la tasa de crecimiento vehicular, se realiza un promedio de las tasas obtenidas: TPDA, PIB y POB.

$$TC = \frac{TPDA + PIB + POB}{n}$$

$$TC = \frac{6.75\% + 3.25\% + 1.22\%}{3}$$

TC = 3.74%

7.1.12. Proyección de tránsito

- ✓ Periodo de diseño

Acorde a las características del tramo en estudio, la clasificación funcional de la carretera corresponde a una Local Urbana (Ver Tabla 22, pág. 62). Esto se debe a que el TPD al año final de diseño fue de 202 vehículos (Ver tabla 20, pág. 60), por lo tanto, cabe en el rango de 100 – 500 vehículos por año.

Es importante mencionar que para realizar esta clasificación se tomó el TPDA de la Est. 0+000 por obtener la mayor cantidad de vehículos aforados.

Permitiendo posteriormente, seleccionar un valor de 15 años en el periodo de diseño, según lo que se observa en la tabla 21 mostrada a continuación:

Tabla 20: Periodo de diseño según tipo de carretera

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 (8Cap.7, pág.3)

Tabla 21: Proyección del TPDA al periodo de diseño

PROYECCIONES DE TPDA (Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio)													$TPDA_{futuro} = (TPDA_0)(1+TC)^n$
		Vehículos pasajeros						*Vehículos de Carga*			*Equipo Pesado*	TOTAL	
		Motos	*Auto*	*Jeep*	*Cam*	*Mc Bus*	*Bus*	*Liv 2-5 t*	*C2*	*C3*	*Veh. Const*		
1	TPDA 2027	52	7	25	90	0	0	4	36	26	8	248	
2	TPDA 2028	54	7	26	93	0	0	4	37	27	8	256	
3	TPDA 2029	56	7	27	96	0	0	4	38	28	8	264	
4	TPDA 2030	58	7	28	99	0	0	4	40	29	9	274	
5	TPDA 2031	60	8	29	103	0	0	4	41	30	9	284	
6	TPDA 2032	62	8	30	106	0	0	4	42	31	9	292	
7	TPDA 2033	64	8	31	110	0	0	4	44	32	9	302	
8	TPDA 2034	66	8	32	114	0	0	4	45	33	10	312	
9	TPDA 2035	69	9	33	118	0	0	5	47	35	10	326	
10	TPDA 2036	71	9	34	122	0	0	5	49	36	10	336	
11	TPDA 2037	74	9	36	126	0	0	5	50	37	11	348	
12	TPDA 2038	76	10	37	131	0	0	5	52	38	11	360	
13	TPDA 2039	79	10	38	135	0	0	5	54	40	11	372	
14	TPDA 2040	82	10	39	140	0	0	5	56	41	12	385	
15	TPDA 2041	85	11	41	145	0	0	6	58	43	12	401	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: Clasificación funcional de las carreteras

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (1)	NOMENCLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6.00
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20	4.00
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20	4.00
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	4.00
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20	4.00
COLECTOR MENOR	**COLECTOR MENOR RURAL**	**CR**	**500-3,000**	**2**
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	**LOCAL RURAL**	**LR**	**100-500**	**2**
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1

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

7.1.13. Tránsito de diseño

- ✓ Factor de Crecimiento

Determinamos el factor de crecimiento acorde a la tasa de crecimiento vehicular, que como resultado se muestra en la tabla 17.

$$FC = \left[\frac{(1+TC)^n - 1}{TC}\right]$$

$$FC = \left[\frac{(1+0.0374)^{15} - 1}{0.0374}\right]$$

$$\text{FC} = 19.32$$

Tabla 23: Factor de crecimiento

TC	Factor de Crecimiento
0.0352	19.32

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Factor de distribución por dirección

Se selecciona el factor de distribución por dirección acorde al número de carriles que tendrá el tramo, en este caso serán dos, se presenta una característica que el transito se tiene que dividir 50% para un sentido y 50% para el otro, tomado de la siguiente tabla.

Tabla 24: Factor de Distribución por Carril

Número de carriles en una sola dirección	LD[11]
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

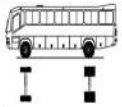
Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos,2002)

- ✓ Factor de distribución por carril

Se presenta un factor de distribución por carril seleccionado de la tabla 24 (ver pág. 63) para el tramo Empalme el Masigue-Finca San Dionisio, acorde al número de carriles en una sola dirección (un carril en una dirección).

En la tabla 25, pág. 64, se muestra el tránsito de diseño según el tipo de vehículo a circular, siempre teniendo en cuenta los factores antes definidos, en donde se determinó como total 828,769 vehículos para los 15 años que fue realizado el diseño.

Tabla 25: Tránsito de diseño para el tramo Empalme el Masigue-Finca San Dionisio

	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado	Total
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh. Const	
											
TPDA 2026	50	6	24	86	0	0	3	34	25	7	235
Factor de crecimiento	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	19.32	
Factor distribucion	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
Factor carril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tránsito de Diseño	176,334	21,160	84,640	303,294	0	0	10,580	119,907	88,167	24,687	828,769

Fuente: Elaboración Propia

7.1.14. ESAL

- ✓ Factor Equivalencia (FESAL)

El factor de equivalencia se determinó a partir de estudios de prueba realizados por la AASHTO, los cuales se sometieron distintas muestras de pavimento a diversas configuraciones tanto de ejes como de carga para analizas el daño estructural que se le ocasiona. Estos estudios presentas pesos de ejes que van desde 2kip hasta los 50kip definidos en valores pares dentro del este rango.

Para calcular dicho factor, es fundamental considerar el peso por eje de cada tipo de vehículo, expresado en toneladas y convertirlos a kip.

De acuerdo con el capítulo tres del Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos de la SIECA, para calcular los ESAL´s aplicados a una estructura de pavimento, es necesario asumir en primera instancia un número (SN) acorde a las cargas. En la mayoría de los casos, como una aproximación se adopta un valor de SN=3,0. Asimismo, se debe de considerar un índice de serviciabilidad final que sea adecuado, este definido según los programas de mantenimiento que requiere cada tipo de carretera, por lo que cada factor de equivalencia varía según el tipo de eje. (sencillo, doble).

Ya teniendo estimadas las cargas, que parten del SN asumido y el diseño real, se compara el SN obtenido con el SN asumido, teniendo que dar como resultado una diferencia menor a 0.5.

Dado que el tramo estudiado es una carretera local urbano por lo que posee un tránsito menor, se asumirá un valor de serviciabilidad de 2 y un SN igual a 3.

Si los pesos de los ejes no están incluidos en las tablas proporcionadas por la AASHTO, es necesario interpolar dichos valores aplicando la siguiente ecuación.

$$y = \frac{(x - x_1)y_2 + (x_2 - x)y_1}{(x_2 + x_1)}$$

Como ejemplo se presenta un cálculo de FESAL para automóviles que presentan un peso de 2.2 kip en cada uno de sus ejes.

$$y = \frac{(2.2\ kip\ -\ 2\ kip)\ +\ ((4\ kip\ -\ 2.2\ kip)0.0002)}{(4\ kip\ -\ 2\ kip)}$$

$$y = \frac{0.0004\ kip\ +\ 0.00036\ kip}{2}$$

y=0.00038

El resultado del FESAL calculado es de: 0.00038, este corresponde a uno de los dos ejes que posee el vehículo. En la tabla 26 se muestran los resultados de las interpolaciones efectuadas, las cuales fueron tomadas de la tabla 80 - 81 , ver anexos, pág. XII -XIII.

Tabla 26: Interpolación factor F ESAL

Interpolación F ESAL			
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	0.090		
10	0.090	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1.00		
20	1.56	22	2.35
22	2.35		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ ESAL de diseño

Ya teniendo obtenidos los factores de equivalencia (FESAL), se debe de realizar el cálculo de ESAL mediante de la siguiente ecuación:

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

Como ejemplo, se presentará un cálculo de ESAL de diseño utilizando los datos de un C2, el cual cuenta con dos ejes de diferentes pesos, el delantero con 11 kip y el trasero con 22 kip. Dando como resultado una variación en el Factor de Equivalencia de Carga (FESAL), siendo este de 0.1395 para el primer eje y 2.35 para el segundo. Se tomará en cuenta un tránsito de diseño de 119,907. Dando como resultado:

$$ESAL_1 = 119{,}907 * 0.1395 = 16{,}727.0265psi$$

$$ESAL_2 = 119{,}907 * 2.35 = 281{,}781.45\ psi$$

$$ESAL\ (W18) = 16{,}727.0265\ psi + 281{,}781.45\ psi = 298{,}508.4765\ psi$$

Dando como resultado un ESAL para el diseño de un C2 de: 298,508.4765 psi.

En la siguiente tabla 27, pág. 67 se presenta el ESAL obtenido del Empalme Masigue-Finca San Dionisio, con un total de 448,824 psi, los valores expresan las repeticiones equivalentes a 448,824 PSI = 448.70 Kips, dado en un periodo de diseño de 15 años. Debido a que las motocicletas no ejercen una carga considerable en el pavimento estas no se tomaran en cuenta.

Tabla 27: ESAL de diseño

Tipo	Vehículo	Tránsito de Diseño	Peso por eje (KIP)	Tipo de eje	F ESAL	W18 (ESAL de diseño)	ESAL total por vehículo
Vehículos de pasajeros	Autos	21,160	2.2	Simple	0.00038	8	16
			2.2	Simple	0.00038	8	
	Jeep	84,640	2.2	Simple	0.00038	32	64
			2.2	Simple	0.00038	32	
	Camionetas	303,294	2.2	Simple	0.00038	115	1,268
			4.4	Simple	0.0038	1153	
	Mc Bus	0	4.4	Simple	0.0038	0	0
			8.8	Simple	0.0576	0	
	Bus	0	11	Simple	0.1395	0	0
			22	Simple	2.35	0	
Vehículos de carga	Liv 2-5 t	10,580	8.8	Simple	0.0576	609	10,370
			17.6	Simple	0.9226	9761	
	C2	119,907	11	Simple	0.1395	16727	298,508
			22	Simple	2.35	281781	
	C3	88,167	11	Simple	0.1395	12299	138,598
			36.3	Doble	1.4325	126299	
						ESAL DE DISEÑO =	448,824

Fuente: Elaboración propia

7.2. Estudio de suelo

Los estudios de suelo en carreteras son fundamentales pues permiten conocer las características químicas, físicas y mecánicas con las que cuenta el terreno vial. Asimismo, se puede identificar la composición estratigráfica y el material que lo conforma en su profundidad, incluso, entender a qué profundidad se encuentra la capacidad portante o nivel de fundación. Para finalmente identificar cuál debe ser el diseño estructural del pavimento y la dosificación de la cimentación de la carretera.

El objetivo de este capítulo consistió en analizar los resultados de laboratorio del estudio geotécnico que fue realizado por INCIVSA en agosto del año 2025. En base a este poder conocer la secuencia estratigráfica y característica geotécnicas principales de los materiales que conforman la estructura actual del tramo de camino de 3.00 Kilómetros de longitud estimada. Así como estudiar la disponibilidad de fuentes de materiales para el diseño y construcción de una nueva estructura de pavimento o

carretera que permita promover e incrementar el desarrollo económico, agrícola, agropecuario y turístico de la zona de influencia de dicha carretera.

7.2.1. Sondeos manuales sobre la línea

Actividad de los sondeos de línea

- Selección del punto donde se realizó el sondeo. (Est 0.000 – 3+000)
- Limpieza del sitio.
- Excavación.
- Toma de muestras alteradas.
- Anotación de los datos de identificación de las muestras (clasificación visual, numero de sondeo, numero de muestra, espesor, ubicación).
- Repetir el proceso anterior hasta alcanzar los 1.50 metros de profundidad.
- Anotación de espesores de los estratos.
- Se tapa la excavación.

A cada muestra tomada de los sondeos manuales, se les practicaron los siguientes ensayes: Granulometría, Clasificación, Límites de Atterberg, Humedad Natural, C.B.R

Para los ensayos de C.B.R. se realizaron la clasificación de los suelos típicos y se realizarán 2 CBR por km, de conformidad a la norma AASHTO T-193.

Tabla 28: Ensayos de suelos según las normas AASHTO y ASTM:

N°	Prueba	Ensayo o Norma ASTM o AASHTO
1	Analisis Granulométrico	ASTM D-422 o AASHTO T-88
2	Límite Líquido	ASTM D-423 o AASHTO T-89
3	Límite Plástico e Indice de Plasticidad	ASTM D-424 o AASHTO T-90
4	Clasificación HRB	ASTM D-3282 o AASHTO T-145
5	Proctor Estándar	ASTM D-698 o AASHTO T-99
6	CBR	ASTM D-1883 o AASHTO T-193
7	DCP	ASTM D-6951-03

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

7.2.2. Sondeos manuales

Para realizar el estudio, se efectuó un total de treinta y uno (31) sondeos manuales, con profundidades máximas de 1.5 metros. La ubicación de los sondeos fue a cada cien metros, alternadamente al centro, izquierda y derecha de la carretera.

El muestreo de los sondeos se hizo con posteadora y barra, clasificándose el material en el sitio visualmente y al tacto, seleccionándose de esta manera un total de noventa (90) muestras las cuales luego fueron trasladadas al laboratorio para su clasificación definitiva.

En las tablas 29,30,31 se muestran los sondeos realizados a lo largo del tramo.

Tabla 29: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo

Sondeo No.	Estación.	Lado	Muestra No.	Muestra No.	Profundidad (m)	
					Desde	Hasta
1	0+010	Der.	1	1	0.00	0.55
	0+010	Der.	2	2	0.55	1.50
2	0+100	L.C.	1	3	0.00	0.30
	0+100	L.C.	2	4	0.30	0.70
	0+100	L.C.	3	5	0.70	1.30
	0+100	L.C.	4	6	1.30	1.60
	0+100	L.C.	5	7	1.60	1.80
3	0+200	Izq.	1	8	0.00	0.40
	0+200	Izq.	2	9	0.40	1.10
	0+200	Izq.	3	10	1.10	1.50
4	0+300	Der.	1	11	0.00	0.50
	0+300	Der.	2	12	0.50	1.50
5	0+400	L.C.	1	13	0.00	0.30
	0+400	L.C.	2	14	0.30	0.55
	0+400	L.C.	3	15	0.55	0.80
	0+400	L.C.	4	16	0.80	1.15
	0+400	L.C.	5	17	1.15	1.50
6	0+500	Izq.	1	18	0.00	0.25
	0+500	Izq.	2	19	0.25	0.85
	0+500	Izq.	3	20	0.85	1.50
7	0+600	Der.	1	21	0.00	0.35
	0+600	Der.	2	22	0.00	0.35
	0+600	Der.	3	23	35.00	1.40
	0+600	Der.	4	24	1.40	1.70

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 30: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo

Sondeo No.	Estación.	Lado	Muestra No.	Muestra No.	Profundidad (m)	
					Desde	Hasta
8	0+700	L.C.	1	25	0.00	0.30
	0+700	L.C.	2	26	0.30	0.45
	0+700	L.C.	3	27	0.45	1.10
	0+700	L.C.	4	28	1.10	1.50
9	0+800	Izq.	1	29	0.00	0.40
	0+800	Izq.	2	30	0.40	1.50
10	0+900	Der	1	31	0.00	0.25
	0+900	Der	2	32	0.25	1.50
11	1+000	L.C.	1	33	0.00	0.30
	1+000	L.C.	2	34	0.30	0.90
	1+000	L.C.	3	35	0.90	1.50
12	1+100	Izq.	1	36	0.00	0.40
	1+100	Izq.	2	37	0.40	1.10
	1+100	Izq.	3	38	1.10	1.50
13	1+200	Der	1	39	0.00	0.40
	1+200	Der	2	40	0.40	1.50
14	1+300	L.C.	1	41	0.00	0.40
	1+300	L.C.	2	42	0.40	0.95
	1+300	L.C.	3	43	0.95	1.50

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 31: Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo

Sondeo No.	Estación.	Lado	Muestra No.	Muestra No.	Profundidad (m)	
					Desde	Hasta
24	2+300	Izq	1	65	0.00	0.20
	2+300	Izq	2	66	0.20	0.35
	2+300	Izq	3	67	0.35	0.60
25	2+400	Der	1	69	0.00	0.20
	2+400	Der	2	70	0.20	0.43
	2+400	Der	3	71	0.43	0.80
26	2+500	L.C	1	72	0.00	0.20
	2+500	L.C	2	73	0.20	0.55
	2+500	L.C	3	74	0.55	1.20
27	2+600	Izq	1	75	0.00	0.80
28	2+700	Der	1	76	0.00	0.20
	2+700	Der	2	77	0.20	0.40
	2+700	Der	3	78	0.40	0.80
	2+700	Der	4	79	0.80	1.50
29	2+800	L.C	1	80	0.00	0.40
	2+800	L.C	2	81	0.40	0.90
	2+800	L.C	3	82	0.90	1.50
30	2+900	Izq	1	83	0.00	0.55
	2+900	Izq	2	84	0.55	0.80
	2+900	Izq	3	85	0.80	1.30
	2+900	Izq	4	86	1.30	1.80
31	3+000	Der	1	87	0.00	0.07
	3+000	Der	2	88	0.07	0.18
	3+000	Der	3	89	0.18	1.00
	3+000	Der	4	90	1.00	1.50

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

7.2.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales de línea

En las Tablas 32-35 (ver pág. 74-77) se muestra el resultado de la granulometría de los sondeos manuales del tramo. El estudio abarca 31 sondeos realizados entre las estaciones 0+010 y 3+000. El perfil general muestra un suelo predominantemente granular (arenoso-gravoso) en los horizontes superiores, con una tendencia marcada al incremento de finos (limos y arcillas) y la reducción del tamaño máximo de partícula a medida que aumenta la profundidad o se avanza hacia las estaciones finales.

Basado en el porcentaje que pasa los tamices de control (No. 4 y No. 200):

- Fracción Gruesa (Gravas): Predomina en los primeros 0.50 m de los sondeos iniciales (S-1 a S-10). Por ejemplo, el S-1 (0.00-0.55) tiene un 84% de retenido en el tamiz No. 4, indicando una base granular robusta.
- Fracción Media (Arenas): Es la matriz principal en la mayoría de los sondeos. En sectores como el S-23 (0.20-0.80), el material pasa casi totalmente el tamiz de 3/8", concentrándose en arenas con un 70% pasando el tamiz No. 4.
- Fracción Fina (Limos/Arcillas): El material que pasa el tamiz No. 200 varía drásticamente. Mientras que en S-10 es muy bajo (5.7%-7.0%), en zonas como S-5 (1.15-1.50) alcanza un 68.3%, y en S-22 (0.50-1.50) llega hasta el 87.4%, clasificando estos estratos como suelos finos de baja competencia mecánica.

Se identifican tres patrones claros en el perfil del suelo:

- Suelos Granulares de Superficie (0.00 - 0.40 m): La mayoría de los sondeos presentan porcentajes bajos en el tamiz No. 200 (menores al 15%), lo que sugiere suelos tipo GW-GM o SW-SM (gravas/arenas limosas) con buena capacidad de soporte.
- Lentes de Suelos Finos Profundos: A partir de los 0.80 m, se observa una transición hacia materiales con más del 50% de finos. Los casos más críticos son S-15 (0.10-1.10) con 54.6% y S-30 (1.30-1.80) con 61.7%. Estos estratos requieren atención por potencial de asentamiento.

- Zonas de Alta Plasticidad Probable: En las estaciones 1+100 (S-12) y 2+100 (S-22), se registran los picos más altos de material fino (47.7% y 87.4% respectivamente), indicando zonas de debilidad estructural en el trazado.

Tabla 32: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Analisis Granulometrico, porcentaje que pasa.									
		Desde	Hasta	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
1	0+010	0.00	0.55	61	52	46	39	33	23	16	13	10	7.6
	0+010	0.55	1.50	100	94	91	74	63	45	31	26	21	17.0
2	0+100	0.00	0.30	80	73	63	55	46	32	24	20	16	13.4
	0+100	0.30	0.70	78	75	60	44	34	22	14	10	12	5.2
	0+100	0.70	1.30	78	62	54	45	41	31	20	17	14	12.3
	0+100	1.30	1.60	100	97	94	91	82	64	59	56	50	43.9
	0+100	1.60	1.80	100	100	100	94	77	62	55	50	42	34.2
3	0+200	0.00	0.40	81	66	57	50	43	28	20	17	13	8.9
	0+200	0.40	1.10	84	73	67	50	43	30	18	16	13	10.0
	0+200	1.10	1.50	100	100	90	83	74	61	48	44	39	27.1
4	0+300	0.00	0.50	82	60	48	37	28	19	13	10	8	7.0
	0+300	0.50	1.50	88	70	68	61	48	32	23	18	15	12.0
5	0+400	0.00	0.30	82	71	64	55	47	35	24	20	16	12.7
	0+400	0.30	0.55	86	74	63	53	49	38	29	23	18	14.1
	0+400	0.55	0.80	100	81	75	61	52	38	22	17	12	9.9
	0+400	0.80	1.15	100	100	100	95	82	56	37	26	20	15.2
	0+400	1.15	1.50	100	100	100	97	96	94	92	86	76	68.3
6	0+500	0.00	0.25	100	88	74	60	56	45	35	28	21	16.6
	0+500	0.25	0.85	70	57	39	32	27	23	16	13	10	7.5
	0+500	0.85	1.50	100	76	62	54	47	34	21	17	12	8.5
7	0+600	0.00	0.35	81	73	64	57	45	31	22	20	14	10.4
	0+600	0.00	0.35	68	57	53	45	41	31	19	16	13	10.6
	0+600	35.00	1.40	82	78	74	67	58	49	38	32	25	19.5
	0+600	1.40	1.70	100	100	100	98	91	85	81	76	64	58.0
8	0+700	0.00	0.30	78	65	51	41	35	22	14	11	9	7.9
	0+700	0.30	0.45	100	100	100	94	80	58	32	29	26	24.0
	0+700	0.45	1.10	100	100	100	100	100	99	97	89	73	68.5
	0+700	1.10	1.50	100	100	100	100	100	100	98	95	72	64.3

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 33: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Analisis Granulometrico, porcentaje que pasa.									
		Desde	Hasta	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
9	0+800	0.00	0.40	85	75	59	45	35	24	19	17	15	13.0
	0+800	0.40	1.50	100	86	69	64	57	44	35	31	25	22.8
10	0+900	0.00	0.25	83	68	54	46	37	24	18	15	10	7.0
	0+900	0.25	1.50	100	94	87	73	62	38	27	15	9	5.7
11	1+000	0.00	0.30	100	86	75	49	39	26	16	13	9	7.5
	1+000	0.30	0.90	100	100	80	66	60	52	41	39	36	32.3
	1+000	0.90	1.50	100	100	100	100	95	92	82	79	76	53.3
12	1+100	0.00	0.40	100	100	100	100	98	90	84	74	59	47.7
	1+100	0.40	1.10	70	60	48	38	35	31	24	19	14	9.4
	1+100	1.10	1.50	100	85	81	73	65	45	30	29	19	15.3
13	1+200	0.00	0.40	100	100	84	70	61	45	31	25	18	13.4
	1+200	0.40	1.50	100	94	78	64	51	31	21	18	15	12.7
14	1+300	0.00	0.40	100	100	100	100	96	20	14	12	10	7.6
	1+300	0.40	0.95	73	62	59	54	50	40	21	19	15	13.2
	1+300	0.95	1.50	100	100	100	100	100	87	83	79	61	50.8
15	1+400	0.00	0.10	83	75	64	52	44	30	21	18	13	9.9
	1+400	0.10	1.10	100	100	100	100	98	97	96	90	77	54.6
	1+400	1.10	1.50	100	100	100	100	67	64	58	56	51	47.2
16	1+500	0.00	0.35	100	90	75	56	46	31	22	19	15	11.9
	1+500	0.35	1.50	100	85	85	81	75	61	45	41	34	30.7

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 34: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Analisis Granulometrico, porcentaje que pasa.									
		Desde	Hasta	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
17	1+600	0.00	0.30	91	88	82	74	68	57	47	41	31	22.4
	1+600	0.30	0.60	78	64	60	55	49	38	29	25	20	18.2
	1+600	0.60	1.50	100	100	87	83	78	66	54	47	38	27.1
18	1+700	0.00	0.50	88	70	58	47	41	33	22	18	12	7.2
	1+700	0.50	1.50	100	100	100	100	100	81	51	48	45	39.8
19	1+800	0.00	1.50	100	100	83	79	79	71	49	44	36	30.7
20	1+900	0.00	0.40	98	89	80	65	58	43	32	27	21	16.6
	1+900	0.40	0.80	100	100	100	85	75	64	43	35	27	19.9
	1+900	0.80	1.50	100	100	100	100	100	100	98	92	71	56.7
21	2+000	0.00	0.30	88	77	63	50	41	28	20	17	13	9.9
	2+000	0.30	1.80	100	100	100	94	92	89	83	77	69	59.8
22	2+100	0.00	0.50	100	92	90	81	75	62	45	44	41	37.5
	2+100	0.50	1.50	100	100	100	100	100	100	100	99	94	87.4
23	2+200	0.00	0.20	81	66	54	48	40	30	22	20	17	15.6
	2+200	0.20	0.80	100	100	100	100	89	84	70	66	58	50.8
	2+200	0.80	1.50	100	100	100	100	98	96	95	87	63	41.9
24	2+300	0.00	0.20	92	80	61	51	44	31	22	19	16	13.4
	2+300	0.20	0.35	93	88	79	70	65	53	42	38	31	27.5
	2+300	0.35	0.60	75	69	65	57	50	41	27	24	20	14.5

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 35: Resultado de la granulometría de los sondeos manuales

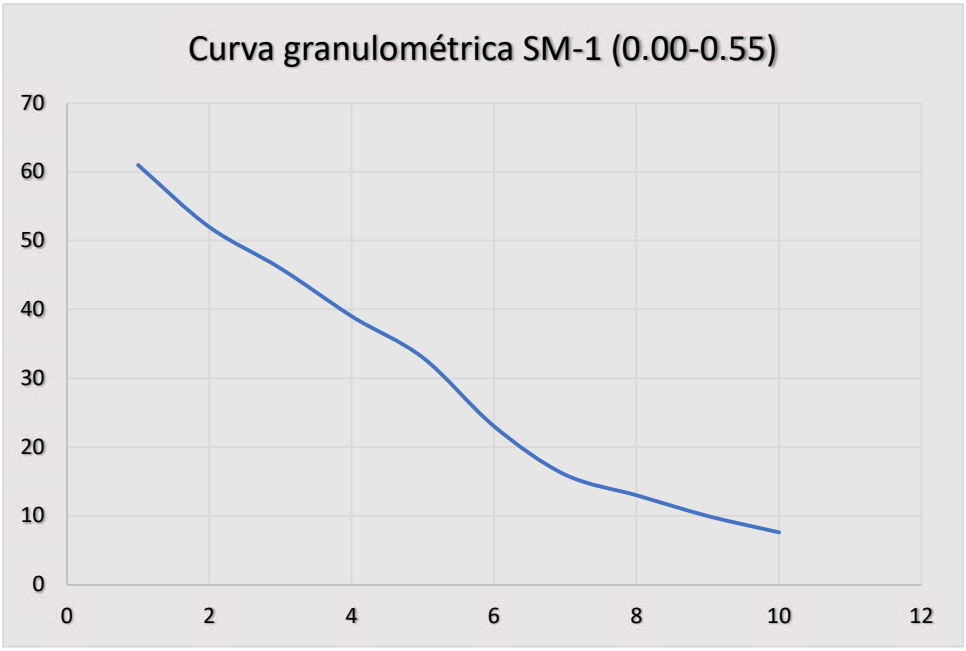
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Analisis Granulometrico, porcentaje que pasa.									
		Desde	Hasta	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
25	2+400	0.00	0.20	100	93	81	65	53	37	25	21	18	14.6
	2+400	0.20	0.43	100	95	90	75	61	42	26	24	21	18.2
	2+400	0.43	0.80	100	78	60	49	41	25	14	12	9	8.0
26	2+500	0.00	0.20	81	77	68	59	51	39	29	25	20	17.1
	2+500	0.20	0.55	100	80	72	65	61	45	33	26	20	14.3
	2+500	0.55	1.20	100	100	100	99	92	61	39	28	15	7.7
27	2+600	0.00	0.80	100	86	80	62	48	29	19	13	8	6.3
28	2+700	0.00	0.20	100	80	62	51	39	29	20	16	13	10.7
	2+700	0.20	0.40	100	100	92	81	74	56	50	45	36	29.8
	2+700	0.40	0.80	100	100	83	74	71	61	43	35	28	22.0
	2+700	0.80	1.50	100	100	100	100	100	62	26	24	21	19.4
29	2+800	0.00	0.40	100	80	67	56	51	41	30	27	21	17.1
	2+800	0.40	0.90	100	100	97	95	94	81	65	60	53	44.6
	2+800	0.90	1.50	100	100	100	96	94	91	87	80	64	52.6
30	2+900	0.00	0.55	100	100	100	94	86	72	44	33	26	20.9
	2+900	0.55	0.80	100	100	100	100	100	100	97	80	64	45.3
	2+900	0.80	1.30	100	100	100	100	85	60	37	32	25	19.2
	2+900	1.30	1.80	100	100	100	100	100	100	79	75	69	61.7
31	3+000	0.00	0.07	100	70	57	49	40	28	20	17	14	11.1
	3+000	0.07	0.18	100	87	83	76	62	44	29	25	21	15.4
	3+000	0.18	1.00	100	100	100	100	100	72	54	51	42	34.3
	3+000	1.00	1.50	100	100	96	83	72	52	31	24	15	11.9

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

En la figura 22 y figura 23 (pág. 78-79) se muestran curvas granulométricas del sondeo manual 1. En la figura 22, la curva inicia cerca del 60% "pasa" en el punto 1 y termina por debajo del 10% en el punto 10. Si el punto 1 representa un tamiz de apertura mayor y el 10 uno menor, esto sugiere que el material tiene una cantidad significativa de gruesos, pero con una fracción fina (limos/arcillas) que ronda el 8-10%. Por la nomenclatura "SM" (según el sistema USCS), se trata probablemente de una Arena Limosa. La curva muestra que el material es capaz de compactarse bien debido a la variedad de tamaños, ofreciendo una estabilidad razonable para capas superficiales.

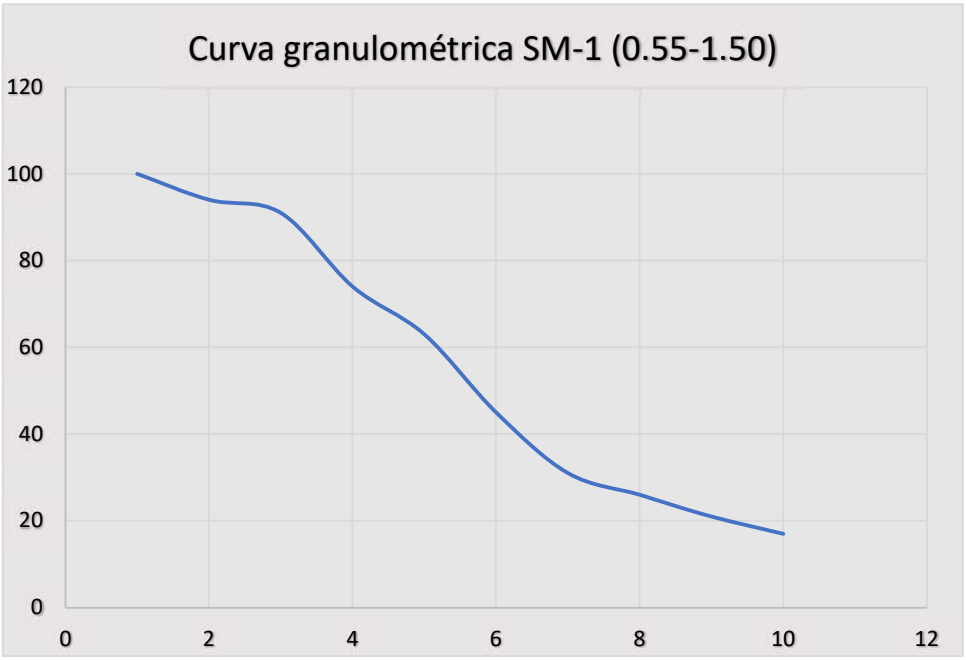
En la figura 23, a diferencia de la primera, esta curva inicia en el 100% de material que pasa. Esto indica que el tamaño máximo de partícula en este estrato es menor que en el estrato superior; es un suelo más fino en su totalidad. Se observan "hombros" o ligeros cambios de pendiente (entre los puntos 2-3 y 7-8). Esto sugiere una gradación discontinua, donde ciertos tamaños de partículas están menos presentes que otros. Este estrato es notablemente más fino y menos uniforme. El aumento de finos (del 10% al 20%) sugiere que a mayor profundidad el suelo tiene una mayor capacidad de retención de humedad y, potencialmente, una menor permeabilidad y capacidad portante que el estrato superficial.

Figura 22 Curva granulométrica del SM-1 (Est. 0+010)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23 Curva granulométrica del SM-1 (Est. 0+010)



Fuente: Elaboración Propia

Las demás figuras de curvas granulométricas se encuentran en los anexos página XIV

7.2.4. Límites de Consistencia de los sondeos de línea

Los límites de consistencia de los sondeos manuales se determinaron a partir de los ensayos de laboratorios para limite líquido y limite plástico, posteriormente se calcularon los índices de plasticidad de cada uno de los estratos de suelos analizados.

Tabla 36: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico.

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
1	0+010	0.00	0.55	34	16	18
	0+010	0.55	1.50	32	11	21
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
2	0+100	0.00	0.30	34	17	17
	0+100	0.30	0.70	34	14	20
	0+100	0.70	1.30	47	14	33
	0+100	1.30	1.60	72	50	22
	0+100	1.60	1.80	53	18	35
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
3	0+200	0.00	0.40	57	17	40
	0+200	0.40	1.10	38	14	24
	0+200	1.10	1.50	46	15	31
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
4	0+300	0.00	0.50	36	19	17
	0+300	0.50	1.50	40	14	26
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
5	0+400	0.00	0.30	55	35	20
	0+400	0.30	0.55	43	17	26
	0+400	0.55	0.80	43	19	24
	0+400	0.80	1.15	35	16	19
	0+400	1.15	1.50	35	16	19
Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
6	0+500	0.00	0.25	44	15	29
	0+500	0.25	0.85	45	19	26
	0+500	0.85	1.50	42	15	27

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 37: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
7	0+600	0.00	0.35	21	5	16
	0+600	0.00	0.35	44	17	27
	0+600	0.35	1.40	46	17	29
	0+600	1.40	1.70	54	20	34
8	0+700	0.00	0.30	45	22	23
	0+700	0.30	0.45	48	18	30
	0+700	0.45	1.10	60	23	37
	0+700	1.10	1.50	62	27	35
9	0+800	0.00	0.40	26	10	16
	0+800	0.40	1.50	39	13	26
10	0+900	0.00	0.25	28	11	17
	0+900	0.25	1.50	34	10	24
11	1+000	0.00	0.30	43	3	40
	1+000	0.30	0.90	89	47	42
	1+000	0.90	1.50	58	23	35
12	1+100	0.00	0.40	47	10	37
	1+100	0.40	1.10	57	16	41
	1+100	1.10	1.50	50	9	41

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 38: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
13	1+200	0.00	0.40	33	11	22
	1+200	0.40	1.50	28	8	20
14	1+300	0.00	0.40	29	8	21
	1+300	0.40	0.95	46	14	32
	1+300	0.95	1.50	64	22	42
15	1+400	0.00	0.10	33	11	22
	1+400	0.10	1.10	50	13	37
	1+400	1.10	1.50	63	22	41
16	1+500	0.00	0.35	36	13	23
	1+500	0.35	1.50	45	14	31
17	1+600	0.00	0.30	42	17	25
	1+600	0.30	0.60	52	17	35
	1+600	0.60	1.50	54	23	31
18	1+700	0.00	0.50	38	16	22
	1+700	0.50	1.50	56	20	36

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 39: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
19	1+800	0.00	1.50	50	20	30
20	1+900	0.00	0.40	37	12	25
	1+900	0.40	0.80	52	16	36
	1+900	0.80	1.50	48	17	31
21	2+000	0.00	0.30	31	9	22
	2+000	0.30	1.80	64	34	30
22	2+100	0.00	0.50	48	17	31
	2+100	0.50	1.50	61	5	56
23	2+200	0.00	0.20	36	12	24
	2+200	0.20	0.80	48	20	28
	2+200	0.80	1.50	62	39	23
24	2+300	0.00	0.20	34	11	23
	2+300	0.20	0.35	30	3	27
	2+300	0.35	0.60	33	2	31
25	2+400	0.00	0.20	30	10	20
	2+400	0.20	0.43	39	16	23
	2+400	0.43	0.80	35	3	32

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 40: Resultados de ensayos de limite líquido y limite plástico

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Limites de Atterberg.		
		Desde	Hasta	L.L., %	I.P. %	LP,%
26	2+500	0.00	0.20	30	12	18
	2+500	0.20	0.55	27	12	15
	2+500	0.55	1.20	42	14	28
27	2+600	0.00	0.80	37	11	26
28	2+700	0.00	0.20	35	13	22
	2+700	0.20	0.40	45	9	36
	2+700	0.40	0.80	60	27	33
	2+700	0.80	1.50	54	43	11
29	2+800	0.00	0.40	42	19	23
	2+800	0.40	0.90	51	22	29
	2+800	0.90	1.50	43	24	19
30	2+900	0.00	0.55	30	7	23
	2+900	0.55	0.80	58	12	46
	2+900	0.80	1.30	52	16	36
	2+900	1.30	1.80	33	13	20
31	3+000	0.00	0.07	29	9	20
	3+000	0.07	0.18	27	3	24
	3+000	0.18	1.00	55	9	46
	3+000	1.00	1.50	35	3	32

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

A continuación, se presenta la interpretación técnica de los límites de Atterberg obtenidos por sondeo manual. La evaluación abarca desde la estación 0+010 hasta la 3+000.

- Sondeo 1 (0+010): Suelos de plasticidad media. El índice de plasticidad (IP) disminuye de 16 a 11 con la profundidad, lo que sugiere una transición a un suelo con mayor contenido de finos no plásticos (limos).
- Sondeo 2 (0+100): Anomalía Geotécnica. A partir de 1.30 m, el LL de 72% y el IP de 50% indican una arcilla altamente expansiva (CH). Este estrato es propenso a cambios volumétricos severos ante variaciones de humedad.
- Sondeo 3 (0+200): Suelo superficial plástico (LL=57), que mejora hacia el 1.50 m. El alto límite plástico (LP=40) inicial indica que requiere mucha agua para alcanzar un estado plástico, típico de limos elásticos.
- Sondeo 4 (0+300): Perfil estable. El incremento del LP a 26 a profundidad sugiere un aumento en la fracción limosa o arenosa fina.
- Sondeo 5 (0+400): El estrato superior (0.00-0.30 m) es crítico con un IP=35. Existe un riesgo de asentamiento diferencial si no se remueve esta capa vegetal/orgánica plástica.
- Sondeo 6 (0+500): Suelo muy homogéneo. La estabilidad de los límites indica una formación geológica uniforme, clasificada probablemente como arcilla de baja plasticidad (CL).
- Sondeo 7 (0+600): Presenta una capa superficial de baja plasticidad que sobrepase a estratos que aumentan su LL hasta 54%.
- Sondeo 8 (0+700): Degradación del perfil. La plasticidad aumenta linealmente con la profundidad. El LL de 62% al fondo indica que el suelo firme está a una profundidad mayor a 1.50 m.
- Sondeo 9 (0+800): Suelos de baja compresibilidad. El IP de 10-13% es ideal para subrasantes, ya que presentan buena estabilidad mecánica.
- Sondeo 10 (0+900): Continuación del sector estable. El bajo LL (< 35%) garantiza que el suelo no retendrá humedad excesiva.

- Sondeo 11 (1+000): Punto más crítico del proyecto. El estrato de 0.30-0.90 m tiene un LL=89 y un IP=47. Es una arcilla de muy alta plasticidad (Fat Clay). Requiere sustitución de suelo o estabilización química (cal/cemento).
- Sondeo 12 (1+100): Suelos con LP muy alto (~40%). Aunque el LL es alto, el IP es bajo, lo que define un comportamiento de limo de alta plasticidad (MH), difícil de compactar.
- Sondeo 13 (1+200): Suelo tipo CL-ML (arcilla limosa). Comportamiento excelente para soporte de cargas ligeras.
- Sondeo 14 (1+300): Inversión de calidad. La plasticidad se triplica hacia el fondo (IP de 8 a 22). Los estratos profundos son menos competentes que los superficiales.
- Sondeo 15 (1+400): Similar al 14. El fondo a 1.50 m alcanza un LL=63. Existe riesgo de falla por corte si se sobrecarga.
- Sondeo 16 (1+500): Suelos de plasticidad moderada. El IP de 13-14% indica un suelo franco-arcilloso relativamente estable.
- Sondeo 17 (1+600): Perfil plástico. La base (LL=54, IP=23) sobrepasa la línea A de la carta de plasticidad, clasificándose como CH.
- Sondeo 18 (1+700): El estrato profundo es significativamente más plástico que el superficial, lo que podría indicar una capa freática cercana que altera la meteorización del suelo.
- Sondeo 19 (1+800): Un solo estrato masivo de 1.50 m. Su plasticidad (IP=20) está en el límite entre suelos de baja y alta plasticidad.
- Sondeo 20 (1+900): El núcleo del sondeo (0.40-0.80 m) es el más plástico. Es un perfil estratificado que requiere un diseño de pavimento considerando el valor promedio ponderado.
- Sondeo 21 (2+000): Gran contraste técnico. La capa superficial es casi no plástica, pero descansa sobre una arcilla pesada (IP=34). Riesgo de "efecto colchón" durante la compactación.
- Sondeo 22 (2+100): Datos atípicos. Un IP=5 con un LL=61 sugiere un suelo con alto contenido de mica o materia orgánica que falsea la plasticidad real.

- Sondeo 23 (2+200): Base muy inestable. El IP salta a 39 en el último estrato. Las cimentaciones deben ser superficiales o atravesar este lente.
- Sondeo 24 (2+300): Suelos limosos con baja cohesión. El IP=2 indica un comportamiento casi granular (SM o ML).
- Sondeo 25 (2+400): Continuación de suelos limosos de baja plasticidad. Muy baja expansividad.
- Sondeo 26 (2+500): Comportamiento estable y predecible. Clasificación probable: ML o CL-ML.
- Sondeo 27 (2+600): Suelo de 0.80 m de espesor con plasticidad moderada. Adecuado para rellenos controlados.
- Sondeo 28 (2+700): Zona de falla potencial. El estrato profundo tiene un IP=43 y un LP de solo 11. Es una arcilla muy activa y susceptible a la humedad.
- Sondeo 29 (2+800): Plasticidad media-alta uniforme. El IP se mantiene entre 19 y 24.
- Sondeo 30 (2+900): Perfil de 4 estratos. Presenta un "lente" de alta plasticidad entre 0.55 y 1.30 m (LL=58, 52).
- Sondeo 31 (3+000): Los primeros 18 cm son de excelente calidad (IP=3-9). Sin embargo, existe un estrato de limo elástico a 0.18-1.00 m (LP=46) que dificultará la salida de agua del sistema.

7.2.5. Resultado de Humedad Natural de Sondeos

En las Tablas 41,42,43,44 (ver pág. 86-87) se muestra el resultado de la Humedad Natural de los sondeos manuales del tramo.

Tabla 41: Resultados de humedad natural de Sondeos.

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Humedad natural.
		Desde	Hasta	%
1	0+010	0.00	0.55	10
	0+010	0.55	1.50	14
2	0+100	0.00	0.30	7
	0+100	0.30	0.70	37
	0+100	0.70	1.30	28
	0+100	1.30	1.60	29
	0+100	1.60	1.80	15
3	0+200	0.00	0.40	18
	0+200	0.40	1.10	18
	0+200	1.10	1.50	25
4	0+300	0.00	0.50	14
	0+300	0.50	1.50	6
5	0+400	0.00	0.30	21
	0+400	0.30	0.55	14
	0+400	0.55	0.80	16
	0+400	0.80	1.15	26
	0+400	1.15	1.50	64
6	0+500	0.00	0.25	20
	0+500	0.25	0.85	24
	0+500	0.85	1.50	28
7	0+600	0.00	0.35	9
	0+600	0.00	0.35	22
	0+600	35.00	1.40	40
	0+600	1.40	1.70	24

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 42: Resultados de humedad natural de Sondeos.

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Humedad natural.
		Desde	Hasta	%
8	0+700	0.00	0.30	24
	0+700	0.30	0.45	34
	0+700	0.45	1.10	49
	0+700	1.10	1.50	50
9	0+800	0.00	0.40	16
	0+800	0.40	1.50	30
10	0+900	0.00	0.25	12
	0+900	0.25	1.50	8
11	1+000	0.00	0.30	20
	1+000	0.30	0.90	28
	1+000	0.90	1.50	64
12	1+100	0.00	0.40	40
	1+100	0.40	1.10	23
	1+100	1.10	1.50	15
13	1+200	0.00	0.40	14
	1+200	0.40	1.50	52
14	1+300	0.00	0.40	8
	1+300	0.40	0.95	24
	1+300	0.95	1.50	47
15	1+400	0.00	0.10	6
	1+400	0.10	1.10	31
	1+400	1.10	1.50	38

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 43: Resultados de humedad natural de Sondeos.

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Humedad natural.
		Desde	Hasta	%
16	1+500	0.00	0.35	30
	1+500	0.35	1.50	11
17	1+600	0.00	0.30	11
	1+600	0.30	0.60	24
	1+600	0.60	1.50	32
18	1+700	0.00	0.50	26
	1+700	0.50	1.50	41
19	1+800	0.00	1.50	23
20	1+900	0.00	0.40	29
	1+900	0.40	0.80	26
	1+900	0.80	1.50	41
21	2+000	0.00	0.30	19
	2+000	0.30	1.80	35
22	2+100	0.00	0.50	27
	2+100	0.50	1.50	45
23	2+200	0.00	0.20	19
	2+200	0.20	0.80	25
	2+200	0.80	1.50	52
24	2+300	0.00	0.20	14
	2+300	0.20	0.35	27
	2+300	0.35	0.60	19

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 44: Resultados de humedad natural Sondeos.

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Humedad natural.
		Desde	Hasta	%
25	2+400	0.00	0.20	20
	2+400	0.20	0.43	16
	2+400	0.43	0.80	13
26	2+500	0.00	0.20	12
	2+500	0.20	0.55	20
	2+500	0.55	1.20	32
27	2+600	0.00	0.80	10
28	2+700	0.00	0.20	9
	2+700	0.20	0.40	42
	2+700	0.40	0.80	57
	2+700	0.80	1.50	55
29	2+800	0.00	0.40	13
	2+800	0.40	0.90	31
	2+800	0.90	1.50	13
30	2+900	0.00	0.55	42
	2+900	0.55	0.80	52
	2+900	0.80	1.30	59
	2+900	1.30	1.80	48
31	3+000	0.00	0.07	36
	3+000	0.07	0.18	16
	3+000	0.18	1.00	37
	3+000	1.00	1.50	27

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

El contenido de humedad natural en el área de estudio presenta una variabilidad extrema, fluctuando desde un mínimo de 6% (S-4 a 0.50-1.50 m y S-15 a 0.00-0.10 m) hasta un máximo crítico de 64% (S-5 a 1.15-1.50 m y S-11 a 0.90-1.50 m). Esta amplitud sugiere una estratigrafía compuesta por materiales con capacidades de retención de agua muy disímiles, correlacionándose directamente con el incremento de finos observado en la granulometría.

Sectores de Baja Humedad (Comportamiento Granular): Los sondeos S-1, S-4, S-10 y S-27 mantienen niveles de humedad estables por debajo del 15%. Esto es consistente con suelos de matriz gruesa que permiten un drenaje libre, minimizando riesgos de inestabilidad por presión de poros.

Sectores Críticos de Alta Humedad (0.80 m a 1.80 m): Se identifica un horizonte saturado o de alta retención a partir de los 0.80 m en múltiples estaciones:

- Estación 0+400 (S-5): Salto drástico del 16% al 64% en la base del sondeo.
- Estación 1+000 (S-11): Incremento del 28% al 64% en el estrato profundo.
- Estación 2+900 (S-30): Humedad sostenida de alta magnitud, alcanzando el 59% a 1.30 m.

Zonas de Inestabilidad Superficial: Los sondeos S-12 (estación 1+100) y S-30 (estación 2+900) muestran humedades superficiales elevadas (40% y 42% respectivamente) desde los 0.00 m. Esto indica suelos con baja capacidad portante inmediata y posible presencia de materia orgánica o arcillas altamente expansivas cerca de la superficie.

Se observa una correlación positiva directa entre el Porcentaje que pasa el Tamiz No. 200 y la Humedad Natural:

Los estratos con $w > 40\%$ coinciden casi invariablemente con porcentajes de finos superiores al 50%, como se aprecia en S-11, S-22 y S-30.

El estrato de S-22 (0.50-1.50 m), con un 87.4% de finos, registra una humedad del 45%, confirmando un estado consistente de consistencia blanda a media.

7.2.6. CBR de los sondeos de línea

Para obtener el cálculo del CBR de los sondeos de línea fue necesario llevar a cabo el ensayo de laboratorio, los resultados se muestran en las tablas 45,46,47,48. pág 89-91 correspondientes al CBR 95% Proctor modificado.

Tabla 45: CBR de los sondeos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Compactación (%)		
				0.9	0.95	100
		Desde	Hasta	CBR	CBR	CBR
1	0+010	0.00	0.55	8.00	14.00	20.00
	0+010	0.55	1.50	8.00	14.00	20.00
2	0+100	0.00	0.30	8.00	14.00	20.00
	0+100	0.30	0.70	8.00	14.00	20.00
	0+100	0.70	1.30	6.00	8.00	10.00
	0+100	1.30	1.60	8.00	11.00	14.00
	0+100	1.60	1.80	8.00	11.00	14.00
3	0+200	0.00	0.40	6.00	8.00	10.00
	0+200	0.40	1.10	8.00	14.00	20.00
	0+200	1.10	1.50	8.00	11.00	14.00
4	0+300	0.00	0.50	8.00	14.00	20.00
	0+300	0.50	1.50	8.00	14.00	20.00
5	0+400	0.00	0.30	6.00	8.00	10.00
	0+400	0.30	0.55	6.00	8.00	10.00
	0+400	0.55	0.80	6.00	8.00	10.00
	0+400	0.80	1.15	8.00	14.00	20.00
	0+400	1.15	1.50	1.00	2.00	3.00
6	0+500	0.00	0.25	6.00	8.00	10.00
	0+500	0.25	0.85	6.00	8.00	10.00
	0+500	0.85	1.50	6.00	8.00	10.00
7	0+600	0.00	0.35	27.00	37.00	47.00
	0+600	0.00	0.35	6.00	8.00	10.00
	0+600	35.00	1.40	8.00	14.00	20.00
	0+600	1.40	1.70	1.00	2.00	3.00

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 46: CBR de los sondeos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Compactación (%)		
				0.9	0.95	100
		Desde	Hasta	CBR	CBR	CBR
8	0+700	0.00	0.30	8.00	14.00	20.00
	0+700	0.30	0.45	8.00	11.00	14.00
	0+700	0.45	1.10	1.00	2.00	3.00
	0+700	1.10	1.50	1.00	2.00	3.00
9	0+800	0.00	0.40	27.00	37.00	47.00
	0+800	0.40	1.50	8.00	14.00	20.00
10	0+900	0.00	0.25	27.00	37.00	47.00
	0+900	0.25	1.50	8.00	14.00	20.00
11	1+000	0.00	0.30	35.00	47.00	60.00
	1+000	0.30	0.90	8.00	11.00	14.00
	1+000	0.90	1.50	1.00	2.00	3.00
12	1+100	0.00	0.40	3.00	6.00	9.00
	1+100	0.40	1.10	6.00	8.00	10.00
	1+100	1.10	1.50	6.00	8.00	10.00
13	1+200	0.00	0.40	27.00	37.00	47.00
	1+200	0.40	1.50	27.00	37.00	47.00
14	1+300	0.00	0.40	30.00	43.00	57.00
	1+300	0.40	0.95	6.00	8.00	10.00
	1+300	0.95	1.50	3.00	6.00	8.00
15	1+400	0.00	0.10	27.00	37.00	47.00
	1+400	0.10	1.10	3.00	6.00	8.00
	1+400	1.10	1.50	3.00	6.00	8.00

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 47: CBR de los sondeos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Compactación (%)		
				0.9	0.95	100
		Desde	Hasta	CBR	CBR	CBR
16	1+500	0.00	0.35	6.00	12.00	18.00
	1+500	0.35	1.50	8.00	11.00	14.00
17	1+600	0.00	0.30	8.00	11.00	14.00
	1+600	0.30	0.60	10.00	13.00	15.00
	1+600	0.60	1.50	8.00	11.00	14.00
18	1+700	0.00	0.50	6.00	12.00	18.00
	1+700	0.50	1.50	3.00	6.00	9.00
19	1+800	0.00	1.50	8.00	11.00	14.00
20	1+900	0.00	0.40	6.00	12.00	18.00
	1+900	0.40	0.80	10.00	13.00	15.00
	1+900	0.80	1.50	3.00	6.00	8.00
21	2+000	0.00	0.30	27.00	37.00	47.00
	2+000	0.30	1.80	1.00	2.00	3.00
22	2+100	0.00	0.50	3.00	6.00	9.00
	2+100	0.50	1.50	4.00	9.00	15.00
23	2+200	0.00	0.20	6.00	12.00	18.00
	2+200	0.20	0.80	2.00	4.00	6.00
	2+200	0.80	1.50	3.00	6.00	9.00
24	2+300	0.00	0.20	6.00	12.00	18.00
	2+300	0.20	0.35	27.00	37.00	47.00
	2+300	0.35	0.60	35.00	47.00	60.00

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 48: CBR de los sondeos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Compactación (%)		
				0.9	0.95	100
		Desde	Hasta	CBR	CBR	CBR
25	2+400	0.00	0.20	27.00	37.00	47.00
	2+400	0.20	0.43	6.00	12.00	18.00
	2+400	0.43	0.80	35.00	47.00	60.00
26	2+500	0.00	0.20	6.00	12.00	18.00
	2+500	0.20	0.55	6.00	12.00	18.00
	2+500	0.55	1.20	10.00	13.00	15.00
27	2+600	0.00	0.80	27.00	37.00	47.00
28	2+700	0.00	0.20	6.00	12.00	18.00
	2+700	0.20	0.40	18.00	26.00	34.00
	2+700	0.40	0.80	8.00	11.00	14.00
	2+700	0.80	1.50	18.00	26.00	34.00
29	2+800	0.00	0.40	10.00	13.00	15.00
	2+800	0.40	0.90	2.00	4.00	6.00
	2+800	0.90	1.50	4.00	9.00	15.00
30	2+900	0.00	0.55	27.00	37.00	47.00
	2+900	0.55	0.80	2.00	4.00	6.00
	2+900	0.80	1.30	10.00	13.00	15.00
	2+900	1.30	1.80	4.00	9.00	15.00
31	3+000	0.00	0.07	27.00	37.00	47.00
	3+000	0.07	0.18	30.00	43.00	57.00
	3+000	0.18	1.00	18.00	26.00	34.00
	3+000	1.00	1.50	35.00	47.00	20.00

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

A continuación, se presenta la interpretación técnica de los CBR obtenidos por sondeo manual. La evaluación abarca desde la estación 0+010 hasta la 3+000.

- S-1 (Est. 0+010): Presenta un comportamiento homogéneo con un CBR de 14% (al 95% de compactación) en ambos estratos analizados (0.00-1.50 m). Es una subrasante "Regular" estable que no presenta variaciones críticas con la profundidad.
- S-2 (Est. 0+100): Exhibe una degradación de resistencia en el estrato medio. Inicia con 14%, cae a 8% entre 0.70-1.30 m y finaliza en 11%. Esta fluctuación indica un lente de material más fino o húmedo a profundidad media.
- S-3 (Est. 0+200): Muestra una mejoría con la profundidad. Inicia con un soporte pobre de 8% en la superficie (0.00-0.40 m), subiendo a 14% en el estrato de 0.40-1.10 m, y estabilizándose en 11% al final.
- S-4 (Est. 0+300): Es uno de los puntos más estables del primer tramo, manteniendo un CBR de 14% constante desde la superficie hasta los 1.50 m.
- S-5 (Est. 0+400): Zona de Alerta. Aunque inicia con un CBR aceptable de 8% en los primeros 80 cm, el estrato final (1.15-1.50 m) colapsa a un CBR de 2%. Esto sugiere la presencia de un suelo altamente plástico o saturado en la base.
- S-6 (Est. 0+500): Soporte moderado y constante. Registra un CBR de 8% en todos sus niveles (0.00-1.50 m), clasificándose como una subrasante de calidad regular.
- S-7 (Est. 0+600): Perfil Errático. Inicia con una resistencia excelente de 37% en la capa superficial, pero decae drásticamente a 8% y finalmente a 2% en el estrato más profundo (1.40-1.70 m).
- S-8 (Est. 0+700): Condición Crítica. Posee un soporte inicial de 14%, pero a partir de los 45 cm de profundidad, la capacidad de soporte se reduce al mínimo técnico de 2%, manteniéndose así hasta los 1.50 m.

- S-9 (Est. 0+800): Excelente soporte superficial con 37% (0.00-0.40 m), el cual se reduce a un valor regular de 14% en el resto del perfil.
- S-10 (Est. 0+900): Comportamiento idéntico al S-9, con 37% en los primeros 25 cm y 14% hasta los 1.50 m.
- S-11 (Est. 1+000): Variabilidad Extrema. Registra el valor más alto de todo el proyecto (47%) en la superficie (0.00-0.30 m), pero el estrato profundo (0.90-1.50 m) cae a un CBR crítico de 2%.
- S-12 (Est. 1+100): Soporte deficiente en todo el perfil. Los valores oscilan entre 6% y 8%, indicando una zona de suelos finos con baja capacidad portante.
- S-13 (Est. 1+200): Subrasante Ideal. Mantiene un CBR de 37% constante en toda su profundidad (0.00-1.50 m), siendo el punto más competente y uniforme del tramo central.
- S-14 (Est. 1+300): Inicia con un excelente 43%, pero pierde resistencia rápidamente hacia el fondo, cayendo a 8% y finalmente a 6%.
- S-15 (Est. 1+400): Posee una costra superficial competente de 37% (primeros 10 cm), pero debajo de esta, el suelo es de soporte pobre con un CBR estable de 6%.
- S-16 (Est. 1+500): Soporte regular-bueno, con valores entre 12% en la superficie y 11% en profundidad.
- S-17 (Est. 1+600): Muy estable. Valores de CBR entre 11% y 13% en los tres estratos analizados.
- S-18 (Est. 1+700): Inicia con 12%, pero el estrato de 0.50-1.50 m cae a un soporte pobre de 6%.
- S-19 (Est. 1+800): Registra un valor único y constante de 11% para todo el perfil de 1.50 m.

- S-20 (Est. 1+900): Soporte regular entre 12% y 13% en los primeros 80 cm, decayendo a un pobre 6% en la base.
- S-21 (Est. 2+000): Falla Estructural. Pasa de un excelente 37% superficial a un crítico 2% a partir de los 30 cm de profundidad.
- S-22 (Est. 2+100): Soporte bajo en todo el perfil, con valores de 6% (superficie) y 9% (profundidad).
- S-23 (Est. 2+200): Muestra una estratigrafía débil. Inicia con 12%, cae a un preocupante 4% en el estrato medio y sube ligeramente a 6% al final.
- S-24 (Est. 2+300): Perfil de mejoría progresiva. Inicia en 12%, sube a 37% y termina con un excelente 47% a partir de los 35 cm.
- S-25 (Est. 2+400): Muy competente pero heterogéneo. Registra 37% (0.0-0.2 m), baja a 12% (0.2-0.43 m) y sube a 47% al final.
- S-26 (Est. 2+500): Soporte regular y estable, variando mínimamente entre 12% y 13%.
- S-27 (Est. 2+600): Excelente capacidad de soporte constante de 37% en todo el perfil de 80 cm.
- S-28 (Est. 2+700): Perfil variable con un lente de alta resistencia (26%) entre los 20 y 40 cm, rodeado de estratos de 12% y 11%.
- S-29 (Est. 2+800): Registra una zona débil de 4% entre los 40 y 90 cm de profundidad, con un soporte de 9% en la base.
- S-30 (Est. 2+900): Inestabilidad Severa. Inicia en 37%, pero cae a un crítico 4% entre 0.55-0.80 m, recuperando a 13% y finalizando en 9%.
- S-31 (Est. 3+000): Excelente Cierre. Todo el perfil presenta capacidades de soporte superiores al 26%, alcanzando picos de 47% y 43% en sus estratos intermedios.

7.2.7. Clasificación de los suelos

Para llevar a cabo la clasificación de los suelos de los sondeos manuales de la línea del tramo en estudio, se utilizó el método AASHTO, que toma como valores determinantes la granulometría y los estados de consistencias de las muestras.

En la tabla 49, se muestran los resultados obtenidos, predominando suelos clasificados como A-2-6, A-2-7, A-7-5 y A-7-6, los cuales en su mayoría se clasifican de excelente a bueno, para utilizarse como subrasante. En la figura 24-26 se muestran las columnas estratigráficas de cada uno de los sondeos a la profundidad analizada, esto es necesario para el establecimiento del corte de la subrasante, el cual acorde a la norma NIC-2019, debe ser de 25 cm como mínimo. Sin embargo, para este tramo se propone un corte de 30 cm, considerando que los suelos presentes son de mala calidad, se recomienda realizar una estabilización de suelos con material del banco; (Bertoldo Somoza), garantizando de este modo una estructura de pavimento más estable.

Tabla 49: Clasificación de los suelos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Clasificación AASHTO.
		Desde	Hasta	
1	0+010	0.00	0.55	A-2-6(0)
	0+010	0.55	1.50	A-2-6(0)
2	0+100	0.00	0.30	A-2-6(0)
	0+100	0.30	0.70	A-2-6(0)
	0+100	0.70	1.30	A-2-7(0)
	0+100	1.30	1.60	A-7-5(15)
	0+100	1.60	1.80	A-2-7(2)
3	0+200	0.00	0.40	A-2-7(0)
	0+200	0.40	1.10	A-2-6(0)
	0+200	1.10	1.50	A-2-7(1)
4	0+300	0.00	0.50	A-2-6(0)
	0+300	0.50	1.50	A-2-6(0)
5	0+400	0.00	0.30	A-2-7(0)
	0+400	0.30	0.55	A-2-7(0)
	0+400	0.55	0.80	A-2-7(0)
	0+400	0.80	1.15	A-2-6(0)
	0+400	1.15	1.50	A-7-5(10)
6	0+500	0.00	0.25	A-2-7(0)
	0+500	0.25	0.85	A-2-7(0)
	0+500	0.85	1.50	A-2-7(0)
7	0+600	0.00	0.35	A-2-4(0)
	0+600	0.00	0.35	A-2-7(0)
	0+600	35.00	1.40	A-2-6(0)
	0+600	1.40	1.70	A-7-5(10)

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

Tabla 50: Clasificación de los suelos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Clasificación AASHTO.
		Desde	Hasta	
8	0+700	0.00	0.30	A-2-6(0)
	0+700	0.30	0.45	A-2-7(1)
	0+700	0.45	1.10	A-7-5(17)
	0+700	1.10	1.50	A-7-5(17)
9	0+800	0.00	0.40	A-2-4(0)
	0+800	0.40	1.50	A-2-6(0)
10	0+900	0.00	0.25	A-2-6(0)
	0+900	0.25	1.50	A-2-6(0)
11	1+000	0.00	0.30	A-1-a(0)
	1+000	0.30	0.90	A-2-7(6)
	1+000	0.90	1.50	A-7-5(10)
12	1+100	0.00	0.40	A-7-5(3)
	1+100	0.40	1.10	A-2-7(0)
	1+100	1.10	1.50	A-2-7(0)
13	1+200	0.00	0.40	A-2-4(0)
	1+200	0.40	1.50	A-2-4(0)
14	1+300	0.00	0.40	A-1-b(0)
	1+300	0.40	0.95	A-2-7(0)
	1+300	0.95	1.50	A-7-5(9)
15	1+400	0.00	0.10	A-2-4(0)
	1+400	0.10	1.10	A-7-5(6)
	1+400	1.10	1.50	A-7-5(8)
16	1+500	0.00	0.35	A-2-6(0)
	1+500	0.35	1.50	A-2-7(1)
17	1+600	0.00	0.30	A-2-7(1)
	1+600	0.30	0.60	A-2-7(0)
	1+600	0.60	1.50	A-2-7(2)
18	1+700	0.00	0.50	A-2-6(0)
	1+700	0.50	1.50	A-7-5(4)
19	1+800	0.00	1.50	A-2-7(2)

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

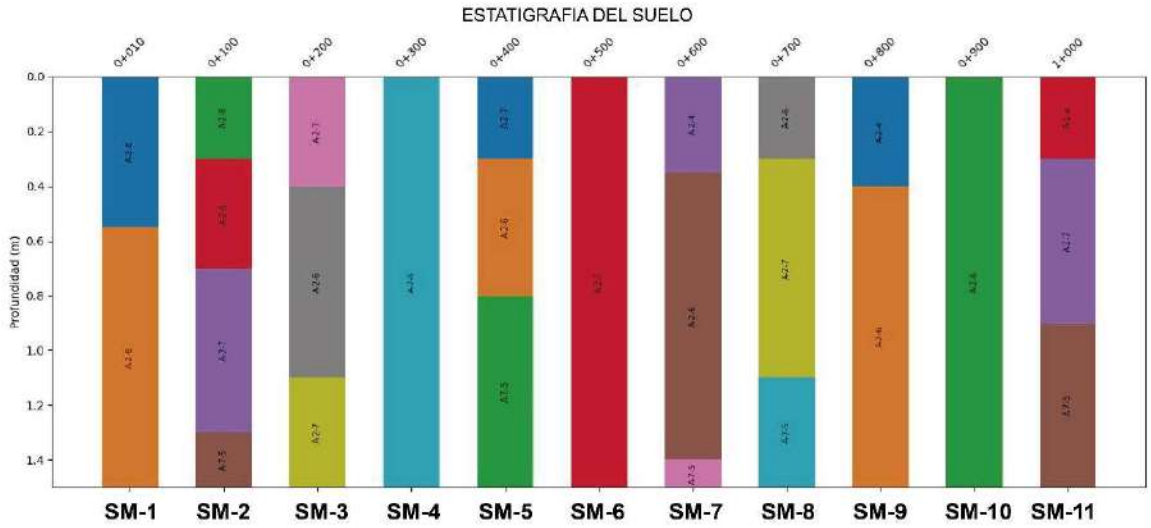
Tabla 51: Clasificación de los suelos

Sondeo No.	Estación.	Profundidad (m)		Clasificación AASHTO.
		Desde	Hasta	
20	1+900	0.00	0.40	A-2-6(0)
	1+900	0.40	0.80	A-2-7(0)
	1+900	0.80	1.50	A-7-5(8)
21	2+000	0.00	0.30	A-2-4(0)
	2+000	0.30	1.80	A-7-5(19)
22	2+100	0.00	0.50	A-7-5(2)
	2+100	0.50	1.50	A-5(16)
23	2+200	0.00	0.20	A-2-6(0)
	2+200	0.20	0.80	A-7-6(7)
	2+200	0.80	1.50	A-7-5(10)
24	2+300	0.00	0.20	A-2-6(0)
	2+300	0.20	0.35	A-2-4(0)
	2+300	0.35	0.60	A-1-a(0)
25	2+400	0.00	0.20	A-2-4(0)
	2+400	0.20	0.43	A-2-6(0)
	2+400	0.43	0.80	A-1-a(0)
26	2+500	0.00	0.20	A-2-6(0)
	2+500	0.20	0.55	A-2-6(0)
	2+500	0.55	1.20	A-2-7(0)
27	2+600	0.00	0.80	A-2-4(0)
28	2+700	0.00	0.20	A-2-6(0)
	2+700	0.20	0.40	A-2-5(0)
	2+700	0.40	0.80	A-2-7(1)
	2+700	0.80	1.50	A-2-5(1)
29	2+800	0.00	0.40	A-2-7(0)
	2+800	0.40	0.90	A-7-6(6)
	2+800	0.90	1.50	A-5(9)
30	2+900	0.00	0.55	A-2-4(0)
	2+900	0.55	0.80	A-7-6(4)
	2+900	0.80	1.30	A-2-7(0)
	2+900	1.30	1.80	A-6(7)
31	3+000	0.00	0.07	A-2-4(0)
	3+000	0.07	0.18	A-1-b(0)
	3+000	0.18	1.00	A-2-5(0)
	3+000	1.00	1.50	A-1-a(0)

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

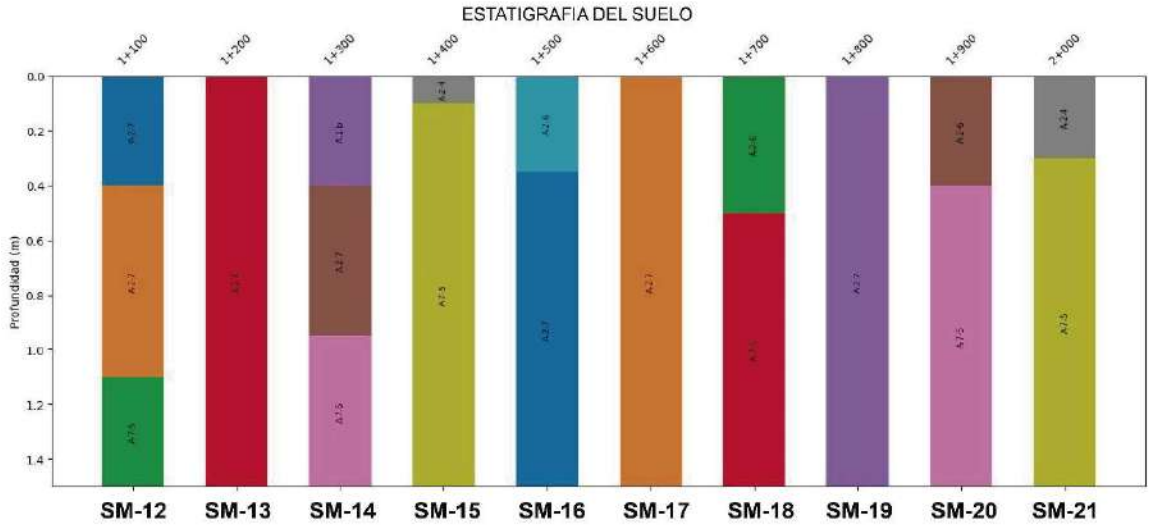
7.2.8. Columnas estratigráficas de los sondeos de línea

Figura 24 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (0+000 – 1+000)



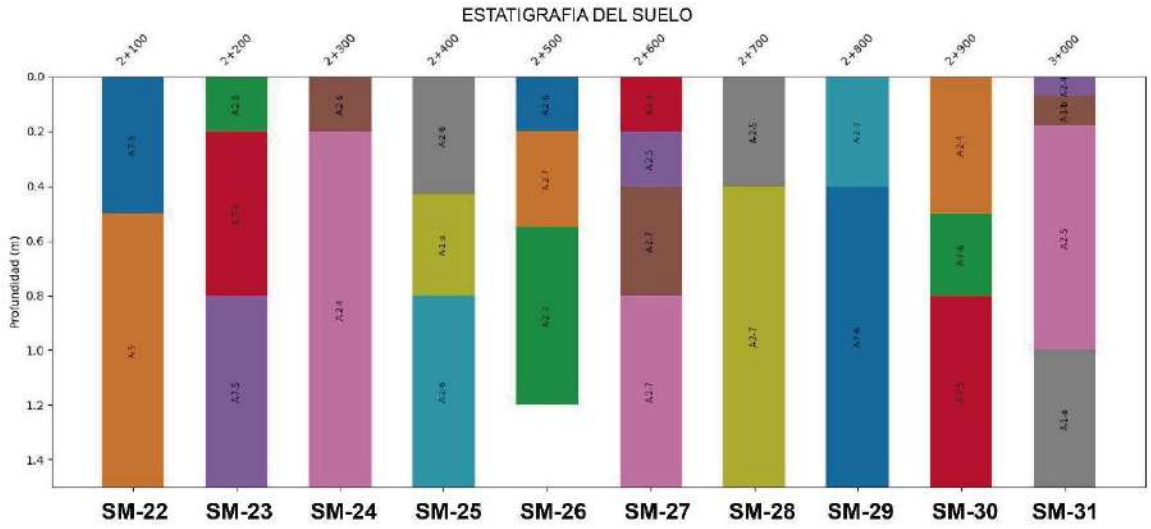
Fuente: Elaboración Propia

Figura 25 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (1+100 – 2+000)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26 Estratigrafía de los sondeos manuales Est. (2+100 – 3+000)



Fuente: Elaboración Propia

7.2.9. Resultado del estudio de suelos en los sondeos de líneas

Se utilizó el método AASHTO para la clasificación de los suelos, dado que es ampliamente empleado en proyectos viales. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de cada una de las muestras de suelo recolectadas durante los sondeos manuales, describiendo en detalle las características específicas de su estratigrafía

En el primer sondeo manual (SM-1) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.55m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.55 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor.

En el segundo sondeo manual (SM-2) se encontró en los 1.8 m cinco estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 0.70 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.70-1.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor de CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 1.30-1.60m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(15) con un valor de CBR obtenido del 11% al 95% Proctor. En la quinta profundidad comprendida de 1.60-1.80m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(2) con un valor de CBR obtenido del 11% al 95% Proctor.

En el tercer sondeo manual (SM-3) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 1.10m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6(0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 1.10-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(1) con un valor de CBR obtenido del 11% al 95% Proctor

En el cuarto sondeo manual (SM-4) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.50 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor

En el quinto sondeo manual (SM-5) se encontró en los 1.5 m cinco estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8%

al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 0.55 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.55-0.80m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor de CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 0.80-1.15m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6(0) con un valor de CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la quinta profundidad comprendida de 1.15-1.50m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(10) con un valor de CBR obtenido del 2% al 95% Proctor.

En el sexto sondeo manual (SM-6) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.25m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.25 – 0.85 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.85-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor de CBR obtenido del 8% al 95% Proctor.

En el séptimo sondeo manual (SM-7) se encontró en los 1.7 m cuatro estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.35m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.00 – 0.35 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.35-1.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6(0) con un valor de CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 1.40-1.70m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(10) con un valor de CBR obtenido del 2% al 95% Proctor.

En el octavo sondeo manual (SM-8) se encontró en los 1.5 m cuatro estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 0.45 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (1) con un valor del CBR obtenido del 11% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.45-1.10m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (17) con un valor de CBR obtenido del 2% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 1.10-1.50m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (17) con un valor de CBR obtenido del 2% al 95% Proctor.

En el noveno sondeo manual (SM-9) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor.

En el décimo sondeo manual (SM-10) se encontró en los 1.5m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.25m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.25 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6(0) con un valor del CBR obtenido del 14% al 95% Proctor.

En el décimo primero sondeo manual (SM-11) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-a (0) con un valor del CBR obtenido del 47% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 0.90 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (6) con un valor del CBR obtenido del 11% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.90-1.50m el cual

se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(10) con un valor de CBR obtenido del 2% al 95% Proctor.

En el décimo segundo sondeo manual (SM-12) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (3) con un valor del CBR obtenido del 6% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 1.10 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 1.10-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor de CBR obtenido del 8% al 95% Proctor.

En el décimo tercero sondeo manual (SM-13) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 1.50m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor.

En el décimo cuarto sondeo manual (SM-14) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-b (0) con un valor del CBR obtenido del 43% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – .95 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 8% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.95-1.5m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(9) con un valor de CBR obtenido del 6% al 95% Proctor.

En el décimo quinto sondeo manual (SM-15) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.10m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.10 – 1.10 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (6) con un valor del CBR obtenido del 6% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 1.10-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(8) con un valor de CBR obtenido del 6% al 95% Proctor.

En el décimo sexto sondeo manual (SM-16) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.35m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.35 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (1) con un valor del CBR obtenido del 11% al 95% Proctor.

En el décimo séptimo sondeo manual (SM-17) se encontró en los 1.5m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (1) con un valor del CBR obtenido del 11% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 0.60 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 13% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.60-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(2) con un valor de CBR obtenido del 11% al 95% Proctor.

En el décimo octavo sondeo manual (SM-18) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.50 – 1.50 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (4) con un valor del CBR obtenido del 6% al 95% Proctor.

En el décimo noveno sondeo manual (SM-19) se encontró en los 1.5 m un estrato:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (2) con un valor del CBR obtenido del 11% al 95% Proctor.

En el vigésimo sondeo manual (SM-20) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 0.80 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor del CBR obtenido del 13% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.80-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(8) con un valor de CBR obtenido del 6% al 95% Proctor

En el vigésimo primero sondeo manual (SM-21) se encontró en los 1.8 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.30 – 1.80 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (19) con un valor del CBR obtenido del 2% al 95% Proctor.

En el vigésimo segundo sondeo manual (SM-22) se encontró en los 1.5 m dos estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5 (2) con un valor del CBR obtenido del 6% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.50 – 1.5 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-5(16) con un valor del CBR obtenido del 9% al 95% Proctor.

En el vigésimo tercero sondeo manual (SM-23) se encontró en los 1.5 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.20 – 0.80 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-6 (7) con un valor del CBR obtenido del 4% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.80-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-5(10) con un valor de CBR obtenido del 6% al 95% Proctor

En el vigésimo cuarto sondeo manual (SM-24) se encontró en los 0.60 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.20 – 0.35 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.35-0.60m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-a (0) con un valor de CBR obtenido del 47% al 95% Proctor

En el vigésimo quinto sondeo manual (SM-25) se encontró en los 0.80 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.20 – 0.43 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.43-0.80m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-a (0) con un valor de CBR obtenido del 47% al 95% Proctor

En el vigésimo sexto sondeo manual (SM-26) se encontró en los 1.20 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.20 – 0.55 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.55-1.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor de CBR obtenido del 13% al 95% Proctor

En el vigésimo séptimo sondeo manual (SM-27) se encontró en los 0.80 m un estrato:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.80m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor.

En el vigésimo octavo sondeo manual (SM-28) se encontró en los 1.5 m cuatro estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.20m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-6 (0) con un valor del CBR obtenido del 12% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.20 – 0.40 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-5 (0) con un valor del CBR obtenido del 26% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.40-0.80m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(1) con un valor de CBR obtenido del 11% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 0.80-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-5(1) con un valor de CBR obtenido del 26% al 95% Proctor.

En el vigésimo noveno sondeo manual (SM-29) se encontró en los 1.50 m tres estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.40m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7 (0) con un valor del CBR obtenido del 13% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.40 – 0.90 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-6 (6) con un valor del CBR obtenido del 4% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.90-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-5(9) con un valor de CBR obtenido del 9% al 95% Proctor.

En el trigésimo sondeo manual (SM-30) se encontró en los 1.8 m cuatro estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.55m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.55 – 0.80 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-7-6 (4) con un valor del CBR obtenido del 4% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.80-1.30m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-7(0) con un valor de CBR obtenido del 13% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 1.30-1.80m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-6(7) con un valor de CBR obtenido del 9% al 95% Proctor.

En el trigésimo primero sondeo manual (SM-31) se encontró en los 1.5 m cuatro estratos:

• En la primera profundidad comprendida de 0.00 – 0.07m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-4 (0) con un valor del CBR obtenido del 37% al 95% Proctor. En la segunda profundidad comprendida de 0.07 – 0.18 m se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-b (0) con un valor del CBR obtenido del 43% al 95% Proctor. En la tercera profundidad comprendida de 0.18-1.00m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-2-5(0) con un valor de CBR obtenido del 26% al 95% Proctor. En la cuarta profundidad comprendida de 1.00-1.50m el cual se obtuvo una clasificación según la AASHTO de A-1-a(0) con un valor de CBR obtenido del 47% al 95% Proctor.

7.2.10. Resultado del estudio de suelos de bancos de materiales

Se ubicaron los bancos de materiales mediante puntos de coordenadas tomadas con un GPS de buena precisión en el área del banco. Con estos puntos se realizó un esquema por banco en el que se muestran los datos más importantes tales como: estación, ubicación geográfica, nombre del banco, clasificación del material, propietario, tipo de acceso, fotos del banco.

Los ensayos de laboratorios practicados a las muestras obtenidas en los pozos a cielo abierto son los siguientes:

Tabla 52: Ensayos de laboratorio realizados y normas ASTM y AASHTO aplicadas para la caracterización de suelos

N°	Prueba	Ensayo o Norma ASTM o AASHTO
1	Análisis Granulométrico	ASTM D-422 o AASHTO T-88
2	Límite Líquido	ASTM D-423 o AASHTO T-89
3	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM D-424 o AASHTO T-90
4	Clasificación HRB	ASTM D-3282 o AASHTO M-145
5	Proctor Estándar	ASTM D-698 o AASHTO T-99
6	Proctor Modificado	ASTM D-698 o AASHTO T-100
7	Pesos Volumétricos y Varillado	ASTM D-698 o AASHTO T-101
8	Humedad Natural	ASTM D-698 o AASHTO T-102
9	CBR	ASTM D-698 o AASHTO T-103

Fuente: Elaboración propia con base en normas ASTM y AASHTO.

A continuación, se muestra tabla resumen con la información general del banco de material.

Tabla 53: Información general del banco de material.

INFORMACION	BANCO N°1
PROPIETARIO	**Bertoldo Somoza**
UTILIZACION	Capa de subrasante y subbase
UBICACIÓN DEL BANCO	50m a la Izq. del camino Est. 2+700
COORDENADAS (UTM) DE CALICATAS EXCAVADAS DE 1.5X1.5X3m	CAL 1 X= 679452, Y= 1380010
	CAL 2 X= 679452, Y= 1379988
	CAL 3 X= 679454, Y= 1379967
	CAL 4 X= 679482, Y= 1380023
VOLUMEN ESTIMADO	108,951.149 M3

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

A continuación, se aprecian los resultados de los ensayos de las fuentes o bancos de

Los resultados de laboratorio comprenden la distribución de tamaños o granulometría del material, su plasticidad, clasificación AASHTO, Proctor y valor relativo soporte CBR.

El potencial de extracción de material es de 108,951 m^3respectivamente.

Tabla 54: Resultados del estudio de suelo del banco de material Bertoldo Somoza (Parte 1).

Calicata	Prof (m)	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Hum. Op.	F. abund.	% absorción
1	1.5	43%	13%	16.20%	1.3	6%
2	1.83	45%	12%	16.20%	1.33	5.65%
3	3.2	45%	12%	18.20%	1.34	6.20%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Resultados del estudio de suelo del banco de material Bertoldo Somoza (Parte 2).

Calicata	PVS máx (Kg/m3)	PVSS (Kg/m3)	PVSC (Kg/m3)	Peso específico	% que pasa por tamiz 3"	% que pasa por tamiz N° 4	% que pasa por tamiz N° 200
1	1798	1386	1532	2.65	100%	22%	13%
2	1798	1351	1451	2.66	100%	25%	14%
3	1740	1296	1436	2.46	100%	40%	20%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Granulometría detallada del Banco de materiales "Bertoldo Somoza"

Granulometría del Banco de materiales "Bertoldo Somoza"			
Tamices	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
1"	58%	65%	100%
3/4"	48%	54%	91%
1/2"	38%	46%	73%
3/8"	30%	37%	58%
No. 4	22%	25%	40%
No. 16	20%	22%	34%
No. 40	16%	18%	28%
No. 200	13%	14%	20%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27 Curva granulométrica de la calicata 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 28 Curva granulométrica de calicata 2.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 29 Curva granulométrica de la calicata 3.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados de CBR de Material Banco "Bertoldo Somoza".

Esta es una de las variables que tiene gran importancia para poder cuantificar la calidad del material del banco de material, por ello luego de realizar los diferentes ensayos de clasificación de los suelos éstos se agruparon en muestras con características similares, y se les realizó los ensayos correspondientes de CBR. Los resultados obtenidos en muestras compactadas al 90, 95 y 100% Proctor Modificado, y luego saturadas por 96 horas en agua, tienen los resultados de CBR que se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 57: CBR del banco de material "Bertoldo Somoza".

No.	Suelos	CBR %			Hinchamiento %			PVS máx.	Hum. Óp. %
		90%	95%	100%	90%	95%	100%	kg/m3	
1	Suelos A-2-7 (0) Gravas con limosa de media a baja plasticidad	29	35	41	0.152	0.103	0.063	1798	16.1

Fuente: Elaboración propia.

7.2.11. Evaluación del banco de material “Bertoldo Somoza”

Tabla 58: Especificaciones de los materiales para base y subbase granular

Ensayo	Límite Líquido	Índice de Plasticidad		CBR	
Norma	AASHTO T 89	AASHTO T 90		AASHTO T 190	
Requerimiento	25 máx	Subbase	Base	Subbase	Base
		6 máx	0 máx	30% mín.	80% mín.

Fuente: Norma NIC 2019, TOMO II, sección 1003.8 (b), (2019, págs. 809-810).

Tabla 59: Evaluación del banco de material "Bertoldo Somoza"

Ensayos	Límite líquido AASHTO T 89	Índice de plasticidad AASHTO T 90	CBR AASHTO T 190	
			Base	Subbase
Requerimientos según norma	25 máx	6 máx	80% mín.	30% mín.
Banco Bertoldo Somoza	*44.33%*	*12.33%*	*35%*	**35%**
El banco de materiales no cumple con los requerimientos de la norma.				

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros clave incluyen el límite líquido, índice de plasticidad y CBR (California Bearing Ratio). Los valores actuales del límite líquido (44.33) e índice de plasticidad (12.33) superan los estándares (25 y 6 respectivamente), y el CBR para la base está por debajo del mínimo requerido (80%), mientras que para la subbase cumple satisfactoriamente.

Por tanto, se considera necesario estabilizar el material del banco con cemento para mejorar sus propiedades y garantizar su idoneidad en su uso para la elaboración de la base. Los ensayos de estabilización involucraron diferentes porcentajes de cemento (4%, 6% y 10%), seguidos de la fabricación de probetas compactadas al 100% del Proctor Modificado y un proceso de curado en arena húmeda. Después de 7 días, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión simple para evaluar la efectividad de la estabilización.

Los resultados mostraron una mejora notable en la resistencia del material estabilizado con cemento, así como una reducción en su plasticidad con mayores porcentajes de cemento, lo que indica una mejora en sus propiedades de trabajo.

En resumen, la estabilización con cemento se presenta como una solución efectiva para cumplir con los estándares requeridos y garantizar la calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Esto no solo asegura la seguridad de las construcciones, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos asociados con posibles fallas futuras.

7.2.12. Estabilización con cemento banco "Bertoldo Somoza" para base

Tomando en cuenta los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras del banco analizado, se consideró importante realizar ensayos de estabilización con cemento. Se realizaron mezclas del material con 4%, 6% y 10% de cemento referidos al peso volumétrico de dicho material. Luego se fabricaron probetas compactadas al 100% Próctor Modificado, se dejaron curando en arena húmeda y finalmente a los 7 días de edad fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión simple. Igualmente, se chequeó la plasticidad del material sometido a la aplicación de los diferentes porcentajes de cemento.

Tabla 60: Resultados de la estabilización con cemento

% de Cemento	4%	6%	10%
Espécimen No.	1	2	3
Edad (Días)	7	7	7
Resultado de Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm2)	14	21	32
Límite Líquido %	45	42	40
Índice de Plasticidad %	10	8	7

Fuente: Elaboración propia.

7.3. Diseño de estructura de pavimento flexible

Para el desarrollo de este acápite, se presentarán los resultados obtenidos en el diseño de pavimento articulado del tramo Empalme la Calamidad-Finca San Dionisio. Se trabajó mediante el método AASHTO 93 para realizar el diseño de la estructura de pavimento, que implica los estudios abordados anteriormente (estudios de tránsito y suelo).

Este procedimiento se basa en la determinación del número estructural "SN" que requiere soportar el nivel de carga requerido por el proyecto.

7.3.1. Variables de diseño

7.3.1.1. Confiabilidad

Los niveles de confiabilidad dependen de diversos factores que influyen directamente en el grado de serviciabilidad que ofrecerá el diseño del pavimento. La AASHTO propone un cuadro de porcentajes de confiabilidad según el grado funcional, el cual se presenta en la Tabla 62 (pág. 116).

Tabla 61: Niveles de confiabilidad

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interesterales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93, pág. 137)

El valor de confiabilidad (R) utilizado es de 80%, ya que se trata de una carretera local rural. En dependencia de la confiabilidad, se determina el valor de Zr en la curva normal.

Tabla 62: Desviación normal estándar, Zr

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2002), cap. 7, pág. 55

7.3.1.2. Desviación estándar

Para la determinación de la desviación estándar So, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza y en base a predicciones futuras del tránsito. Estos valores sugeridos se muestran en la tabla 63, y para el caso en estudio, se seleccionó un valor de 0.45.

Tabla 63: Desviación estándar

Condición	So
Pavimentos Flexibles	0.4 - 0.5
Construcción Nueva	0.35 - 0.4
Sobre – capas	0.5

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento. SIECA (2002) cap. 7, pág. 56

7.3.1.3. Serviciabilidad

Para el diseño de pavimento debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final.

La inicial (Po), es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (Pt) se adopta en base a la categoría del camino y al criterio del diseñador. En este diseño se utilizará el valor mostrado en la tabla 64, se seleccionó un valor de serviciabilidad inicial de 4.2 y de la tabla 65, se tomó un índice de serviciabilidad final de 2, pues el tramo en estudio se trata de un camino de tránsito menor.

Tabla 64: Serviciabilidad Inicial

Elementos	Índice de Serviciabilidad Inicial (Po)
Pavimento Rígido	4.5
Pavimento Flexible	4.2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento. SIECA (2002) cap. 7, pág. 4

Tabla 65: Serviciabilidad final

Tipo de tráfico expresado en EE	Índice de Serviciabilidad Final (Pt)
Igual o más para caminos principales	2.5
Caminos de tránsito menor	2.0

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento. SIECA (2002) cap. 7, pág. 4

La pérdida por serviciabilidad se puede determinar mediante la ecuación, dando como resultado un valor de pérdida total en el índice de serviciabilidad igual a 2.2.

$$\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2$$

7.3.1.4. CBR de diseño de la subrasante

Para llevar a cabo el proceso de cálculo del CBR de diseño, se deben considerar los sondeos manuales analizados en el acápite de Estudios de suelos, en el cual se deben considerar los CBR de los sondeos de línea. Se establecerá el Método del Instituto del Asfalto, el cual indica lo siguiente:

- Reconocer los valores que se usarán en el diseño del CBR, estos serán los datos que se encuentran debajo de la línea de la subrasante (Se realizará el corte a 30 cm por la calidad de materiales encontrados en la línea del tramo). (Ver Figura 24-26, pág. 98-99).
- Organizar los datos de menor a mayor, así se ordena la frecuencia que poseen cada uno de ellos, como su porcentaje de valores ya sean iguales o mayores.
- Dibujar un gráfico que plasme los valores de CBR contra los porcentajes calculados, a su vez con la curva obtenida, se determina el CBR con el percentil que corresponda, teniendo en cuenta el número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

Es importante la obtención del valor de CBR de la subrasante, ya que a partir de esta se determinarán otras variables de diseño de la estructura de pavimento con el módulo de resiliencia (MR).

La regla más conocida para la obtención del valor de resistencia de diseño es el dado por el instituto de asfalto, el cual recomienda tomar un valor percentil, acorde al tránsito esperado para circular en el pavimento.

En el estudio realizado el ESAL de diseño es de 448,824 PSI psi, por ende, el valor percentil que corresponde utilizar es el de 75%, según la tabla 66.

Tabla 66: Percentil de diseño para subrasante

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60%
Entre 10000 y 1000000 ESAL	**75%**
> de 1000000 ESAL	87.50%

Fuente: Instituto de Asfalto (1991)

Se registran los valores del CBR para la obtención de su valor para el diseño de la subrasante acorde al tipo de suelo existente en el tramo a los 0.30m se ordenan de

menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores, a como se muestran en la tabla 67.

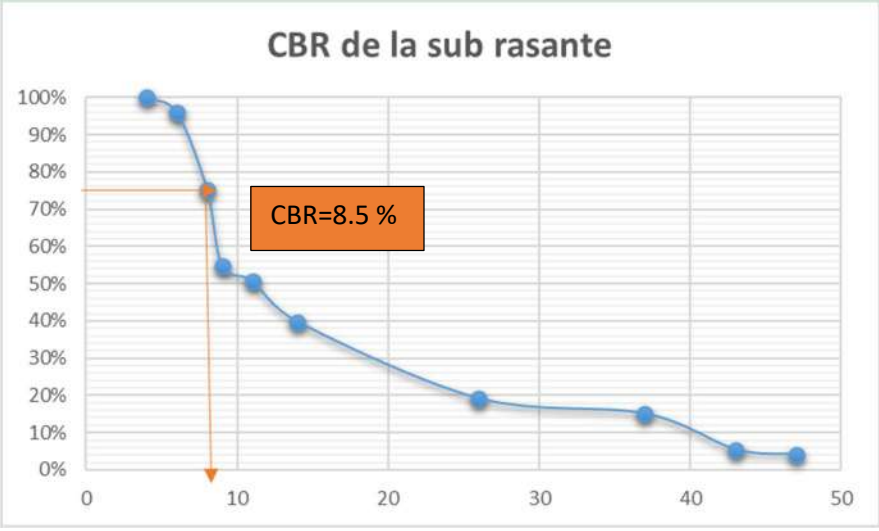
Tabla 67: Selección del CBR de diseño de la subrasante

Suelo	CBR	Frecuencia	Mayores o iguales	Porcentaje
A-7-6(4)	4	3	73	100%
A-7-5(10)	6	15	70	96%
A-2-7(0)	8	15	55	75%
A-5(16)	9	3	40	55%
A-2-7(1)	11	8	37	51%
A-2-6(0)	14	15	29	40%
A-2-5(0)	26	3	14	19%
A-2-4(0)	37	7	11	15%
A-1-b(0)	43	1	4	5%
A-1-a(0)	47	3	3	4%

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenidos los valores de CBR y el porcentaje de los valores, se crea un gráfico donde se deduce el CBR de diseño para la subrasante

Figura 30 CBR de diseño de la subrasante



Fuente: Elaboración Propia

Teniendo trazada la tangente sobre el valor percentil de 70% obtenemos el CBR de diseño para la subrasante siendo este el valor de 8.5% el cual no cumple con el valor mínimo establecido en la norma de NIC – 2019 de 15%.

7.3.1.5. Módulo de resiliencia

Para determinar este módulo se han establecido ecuaciones de correlación a partir de ensayos que relacionan el módulo resiliente y el CBR, las cuales se presentan a continuación:

Para materiales de subrasante con valores de CBR mayores a 10%

$$MR = 4326 * Ln\,(CBR) + 241$$

Para materiales de subrasante con valores de CBR menores a 7.2%

$Mr = 1500 * CBR$

En el estudio de suelos, se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, siendo el valor resultante 4.8%. Por lo tanto, al ser menor que el 7.2%, se utilizó siguiente formula.

$Mr = 1500 * CBR$

$Mr = 1500 * 8.5$

$Mr = 12{,}750$ Psi

7.3.1.6. Coeficientes estructurales

- Coeficiente de drenaje

En el capítulo siete de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, la (AASTHO-93) sugiere los coeficientes de drenaje para el cálculo de los espesores de diseño, los cuales se presentan en las tablas 68 y 69, pág. 122.

Tabla 68: Coeficiente de drenaje de la capa

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

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), cap. 7, pág. 14

Tabla 69: Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje

Calidad del Drenaje	P=% del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación.			
Calificación	<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 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), cap. 7, pág. 148

- Coeficiente de capa

Los coeficientes de capa son representados como a1, a2, a3 y están asociados a la superficie de rodadura, la capa base y la sub-base, respectivamente. Estos coeficientes desempeñan un papel crucial al ponderar la influencia de cada capa en la estructura general, ofreciendo así una representación cuantitativa de cada componente al rendimiento estructural del pavimento.

La AASHTO 93 indica el empleo de gráficos nominales para la evaluación de dichos parámetros. La utilización de nomogramas ha aportado una notable simplificación al proceso, al tratarse de la aplicación de modelos matemáticos que se representan de forma gráfica en escalas predefinidas. Este enfoque gráfico no solo facilita la

interpretación, sino que también agiliza el manejo de la información al ofrecer una representación visual intuitiva de los datos.

Mediante la consulta del nomograma visualizado en la figura 31, pág. 124, se ha identificado y confirmado que el valor del coeficiente a1 es precisamente 0.34. Este proceso de determinación, respaldado por la representación gráfica, ha permitido obtener con certeza la contribución específica de la capa superficial de rodamiento.

El valor de a1 corresponde al coeficiente de la estructura de pavimento, a2 corresponde el valor de la base y a3 al valor de la subbase.

Para la determinación del coeficiente de capa a1, se tomó en consideración la estabilidad de Marshall, la cual se muestra en la Tabla 70, considerando que el tránsito que circula en el tramo se encuentra en el rango de tránsito mediano ya que el ESAL es de 448,824 psi. (Ver Tabla 27, pág. 67), resultando una Estabilidad N de 750.

Tabla 70: Criterios para mezcla del Método Marshall

Criterios para Mezcla del Método Marshall	Tránsito Liviano Carpeta y Base		Tránsito mediano Carpeta y Base		Tránsito pesado Carpeta y Base	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta.	35		50		75	
Estabilidad N.	3356		5338		8006	
(lb)	**750**	------	1200	------	1800	------
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulg)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)						
Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
Clasificación del tránsito **Liviano: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño < 10^4.** Mediano: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño entre 10^4 y 10^6. Pesado: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño > 10 ^6.						

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Posteriormente, se hace uso del nomograma que se muestra en la figura 31, pág. 124, dando como resultado un a_1=0.27.

Figura 31 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos

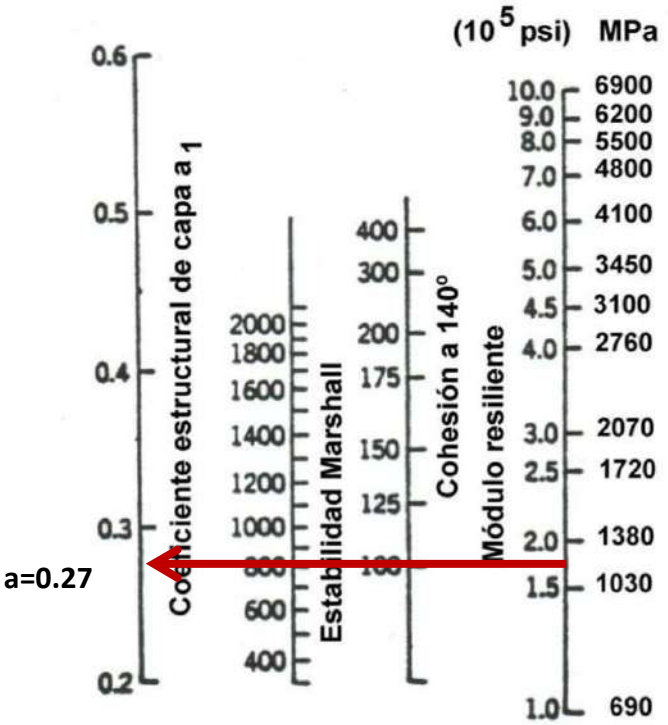
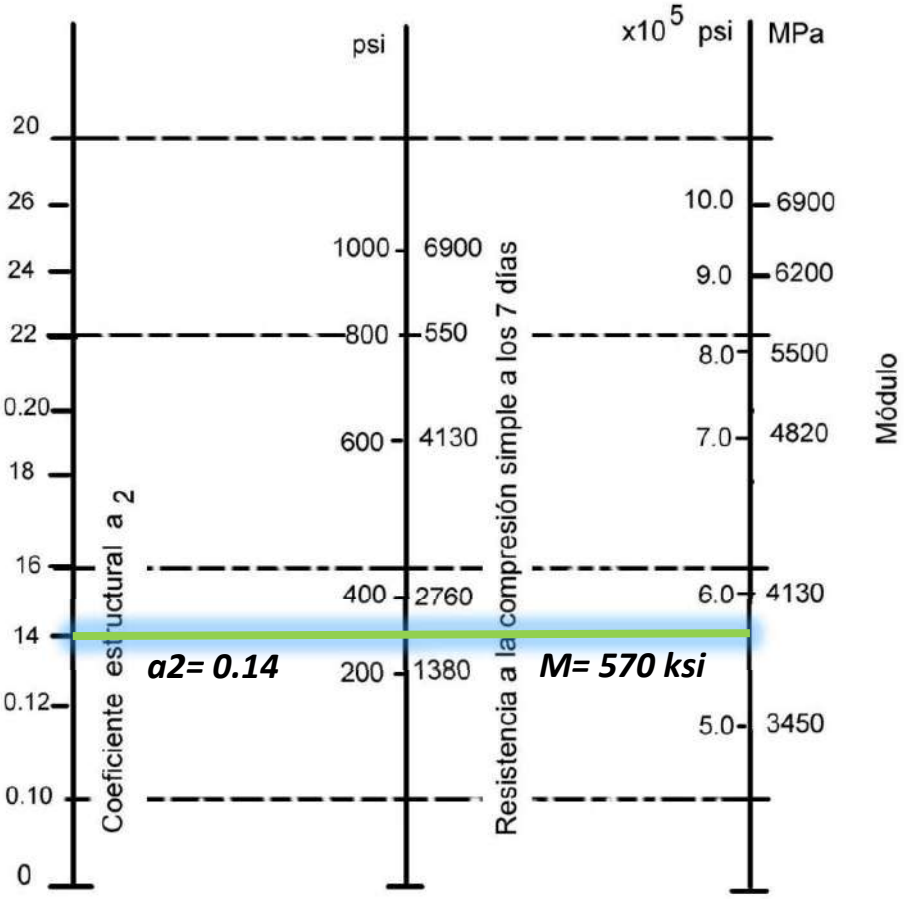


Figura 5.10. Coeficientes estructurales para capas asfálticas relacionados con varios ensayos

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 5. Pág. 110

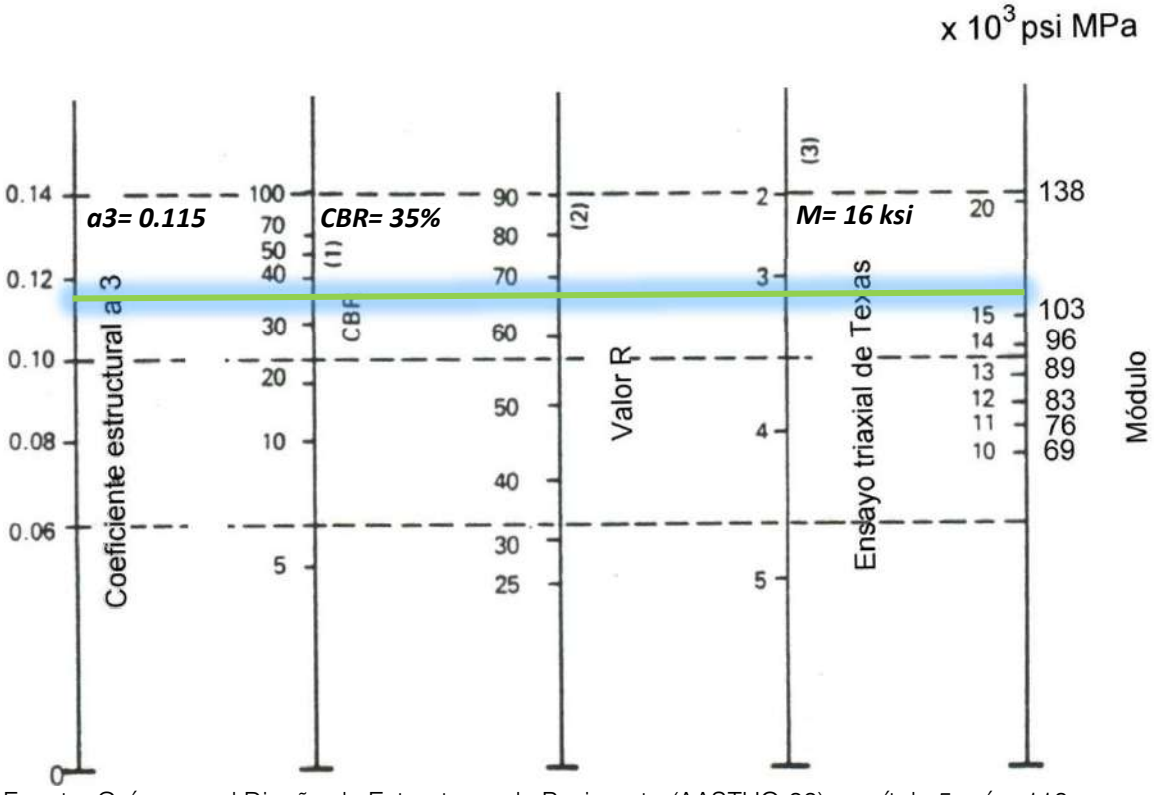
Figura 32 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), capítulo 5, pág. 119.

Para determinar el coeficiente a3, se utilizó del nomograma mostrado en la figura 33, pág. 126. Al trazar la línea sobre el valor CBR de 35% usado para la subbase, se obtiene un resultado a3 = 0.115 y un módulo de resiliencia de 16,000 PSI.

Figura 33 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes

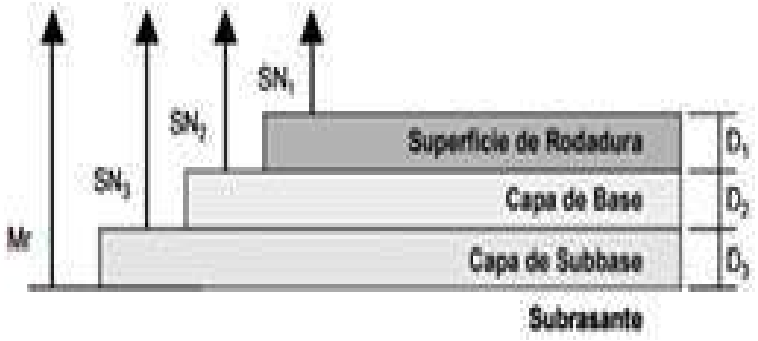


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), capítulo 5, pág. 118.

7.3.1.7. Espesores de capa

La filosofía de la AASHTO se cimienta en la noción crucial de preservar las capas granulares no tratadas frente a tensiones verticales que podrían inducir deformaciones permanentes. El desglose detallado de este enfoque se ilustra gráficamente en la figura 41, pág. 101, y a continuación, se presenta una explicación minuciosa de dicho proceso:

Figura 34 Procedimiento para determinar el espesor



Fuente: AASHTO-93, 2001

7.3.1.8. Número estructural

Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa.

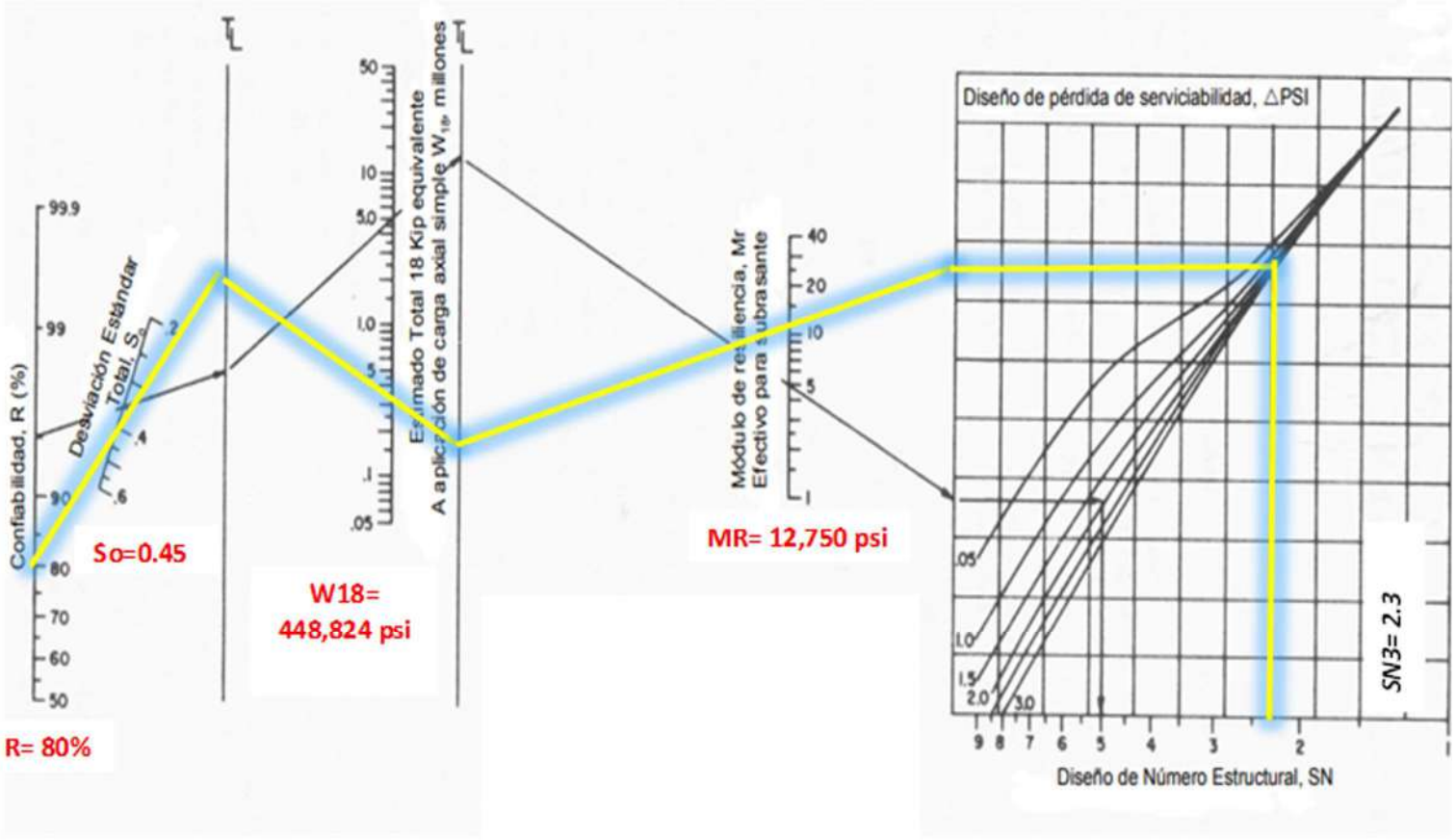
Tabla 71: Parámetros para la determinación de los números estructurales

Parámetro	Valor utilizado
Confiabilidad (R)	0.8
Desviación estándar (So)	0.45
ESAL de diseño (W18)	448,824 PSI
Módulo de resiliencia subrasante	12,750 PSI
Módulo de resiliencia subbase	16,000 PSI
Módulo de resiliencia de la base	570000 psi
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.2

Fuente: Elaboración Propia

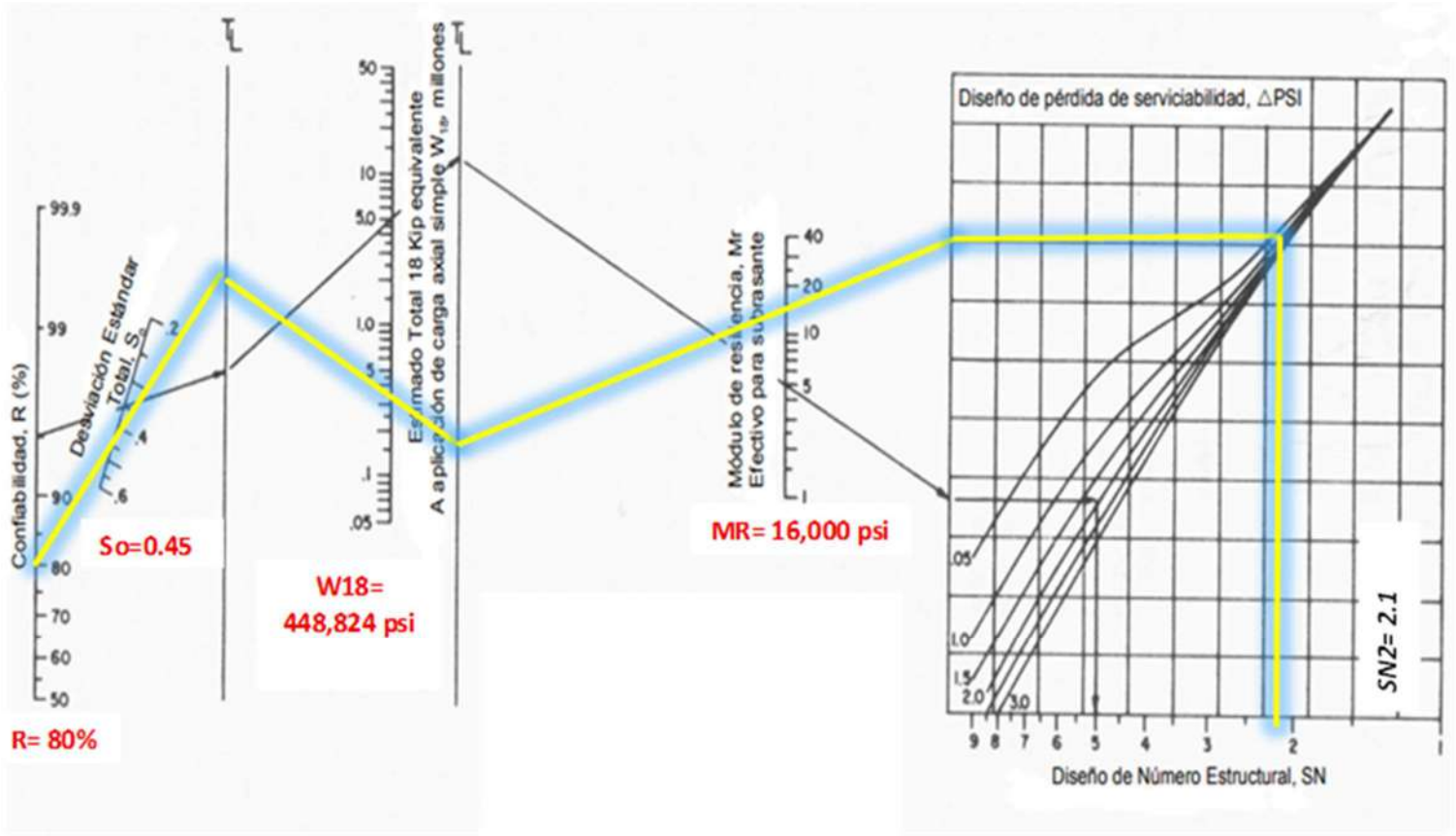
Usando el ábaco de la figura 35, pág. 128, se obtuvo el número estructural de la subbase SN3 = 2.3 utilizando el MR = 12,750 PSI correspondiente a subrasante. Además, a manera de comprobación la figura 38, pág. 131, se muestra el cálculo del SN1 realizado a través del software AASHTO 93.

Figura 35 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN3(Subbase)



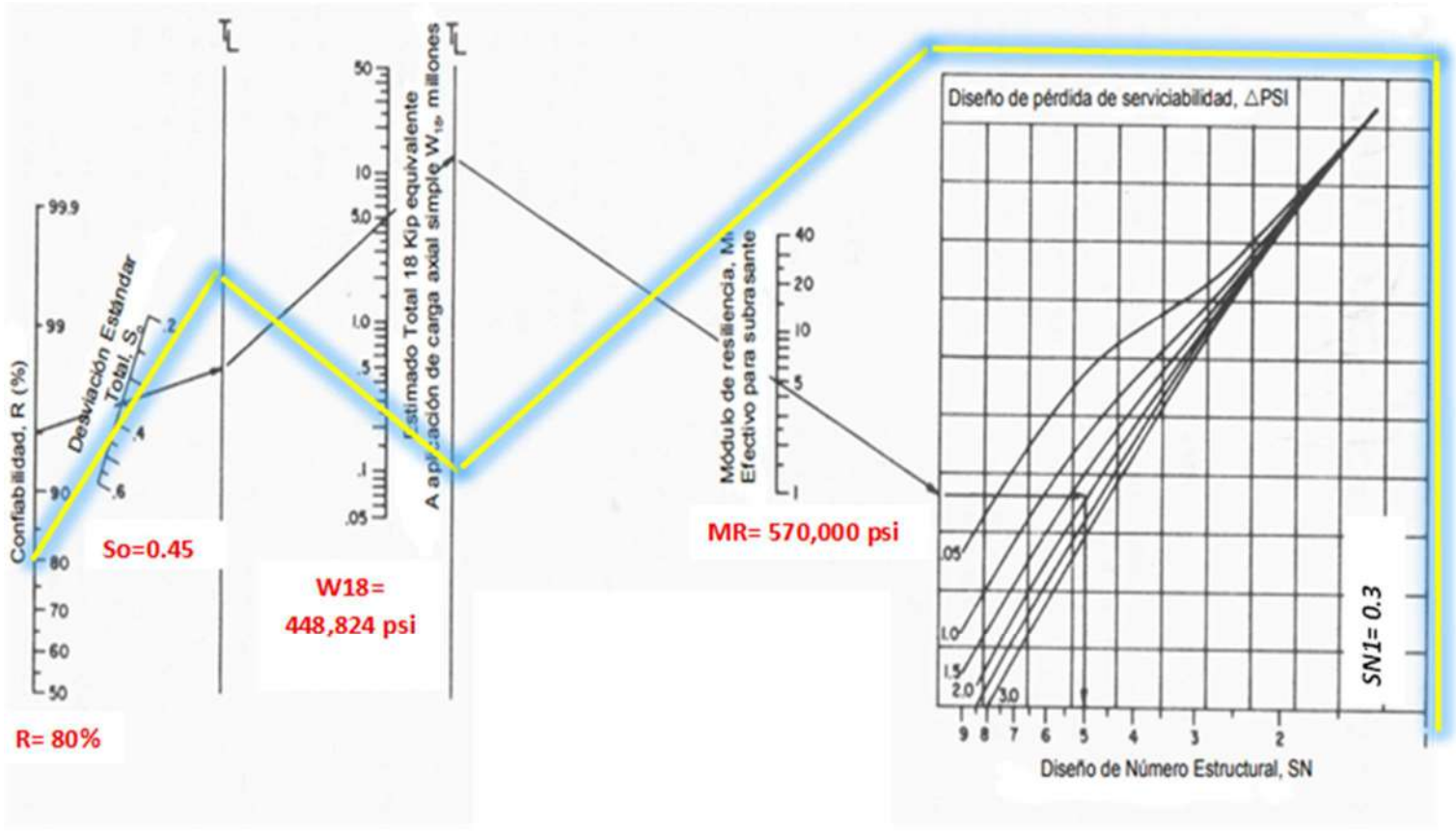
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), capítulo 8, pág. 174

Figura 36 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN2(Base)



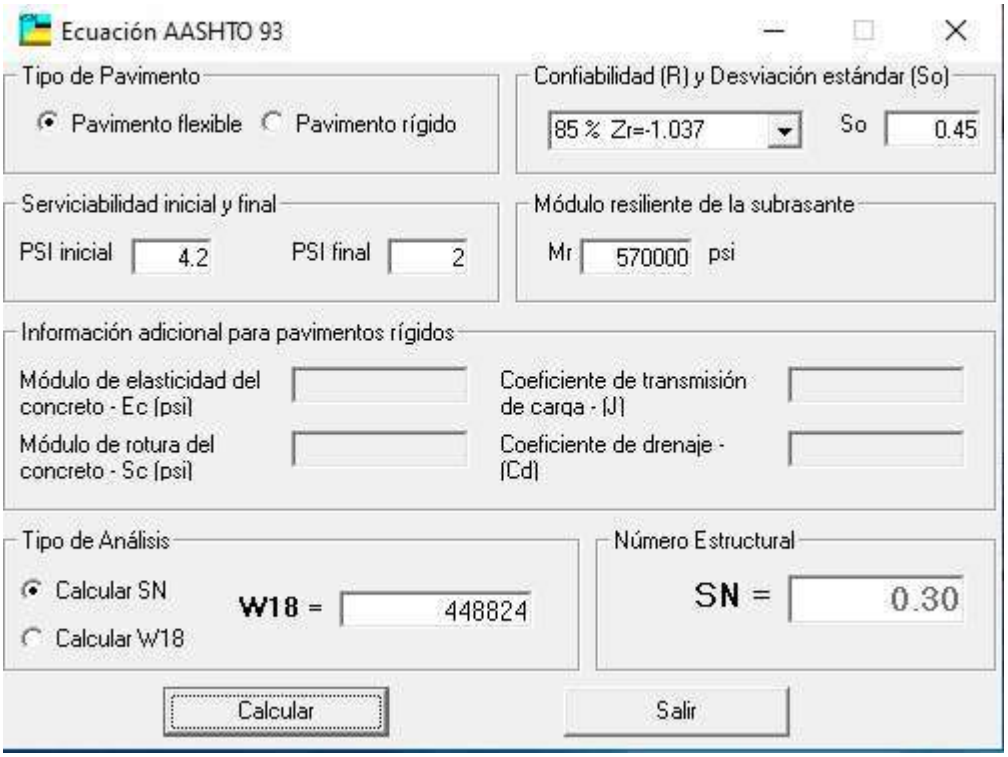
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), capítulo 8, pág. 174

Figura 37 Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles SN1(Carpeta de rodamiento)



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93), capítulo 8, pág. 174

Figura 38 Calculo de SN1 en el software AASHTO 93



Fuente: Software AASHTO 93

Cómo se observa en la figura 37, el valor del SN1 no es posible calcularlo porque se sale del ábaco, esta situación se presenta porque el valor del Módulo de resiliencia de la base es demasiado grande para la escala contemplada en el ábaco. Por tal situación, el libro de Ingeniería de Pavimento de Alfonso Montejo Fonseca (2002) establece lo siguiente: “Este procedimiento no debe de aplicarse en la determinación del SN Requerido sobre los materiales de base o subbase con un módulo de resiliencia mayor a 40,000 psi. En estos casos, los espesores de las capas superiores se establecen en base a consideraciones practicas sobre espesores mínimos y costos” (Pág.277).

Este análisis proporciona una representación gráfica precisa de la influencia estructural de la capa de base en la carpeta de rodamiento, contribuyendo a una evaluación integral de la capacidad estructural del pavimento.

7.3.1.9. 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.

7.3.1.10. Espesor de carpeta asfáltica

Tomando en consideración el valor de SN1 = 0.3 , el coeficiente de capa a1 = 0.27 y aplicando la Ecuación, se define un valor de D1 = 2.6 pulg, el proceso se describe a continuación:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{0.3}{0.27}$$

$$D_1 = 1.11\ Pulg.$$

Es importante mencionar que el valor mínimo de espesor de carpeta asfáltica es de 2.6 pulg, según la tabla 72, pagina 133.

Se recalcula el valor de SN1, aplicando la Ecuación:

$$SN_1 = D_1 * \ a_1$$

$$SN_1 = (2.6) * (0.27)$$

$$SN_1 = 0.702$$

7.3.1.11. Espesor de base

El valor del número estructural SN2 = 2.1 determinado con el uso del ábaco. El valor de a2 = 0.14 y m2 = 1, se procede a la aplicación de la Ecuación, demostrando el resultado a continuación:

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

$$D_2 = \frac{2.1 - 0.702}{(0.14) * (1)}$$

$$D_2 = 9.98\, pulg.$$

Tabla 72: Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular

Numero de ESAL'S	Espesor minimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Basa 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

Se vuelve a calcular el valor de SN2*, aplicando la Ecuación, se obtiene un resultado de SN2*=1.40, demostrándose a continuación:

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_2 = (0.14) * (9.98pulg) * (1)$$

$$SN_2 = 1.40$$

En base a la Tabla 72, de acuerdo con el ESAL de diseño del tramo correspondiente a 448,824 psi (Ver Tabla 27, pág. 67), el valor mínimo de la base granular para el tramo en estudio es de 4 pulgadas, ya que el ESAL se encuentra en el rango de 150,000 – 500,000 Psi, por lo tanto el valor calculado cumple.

7.3.1.12. Cálculo de espesor de subbase

Para determinar el espesor de la subbase, se toma en consideración los valores del SN1* y SN2* calculados anteriormente, así como el valor del coeficiente de capa a3=0.115 y el coeficiente de drenaje m3 = 1.

El cálculo se determina aplicando la siguiente Ecuación:

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

$$D_3 = \frac{2.3 - (1.40 + 0.702)}{0.115 * 1}$$

$$D_3 = 1.72\ pulg$$

Calcular el SN*3

$$SN3 *= a3 * m3 * D3$$

$$SN3 *= 0.115 * 1 * 1.72 = 0.198$$

La verificación de que el proceso esté correcto se encuentra realizando la sumatoria de los SN corregidos, comparando con el SN requerido, tal como se muestra a continuación:

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

$$0.702 + 1.40 + 0.198 \geq 2.3$$

$$2.3 \geq\ Cumple$$

7.3.1.13. Consolidado de espesores

Después de haber realizado los cálculos correspondientes al diseño de espesores de la estructura de pavimento del tramo Emp. La Calamidad-Finca San Dionisio, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 73, pág. 140.

Tabla 73: Consolidado de espesores de pavimento

CAPA	ESPESOR	
	PULGADAS	CENTIMETROS
Carpeta Asfáltica	2.6	6.6
Base Granular	9.98	25.35
Sub-Base	1.72	4.37
Espesor Total	14.3	36.32

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

- En base, al estudio de tránsito realizado en la Estación 0 + 000 – 3+000 del Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio, se distribuyó en dos periodos de tres días consecutivos cada uno: del 6 al 8 de enero de 2026 y del 13 al 15 de enero de 2026, se logra consolidar que el TPDA es de 991 vehículos en este periodo, se determinó la tasa de crecimiento vehicular a implementar, la cual es de 2.38%, resultando del promedio de las tasas que concierne a los registros históricos del PIB y crecimiento poblacional, ya que la tasa de la ECD 3503, es considerable por ser un valor más bajo en comparación a la del PIB, ya que este rige el país. El ESAL de diseño obtenido es de 448,824 Psi.
- Respecto al estudio de suelos, se realizaron 31 sondeos manuales, se obtuvo que en la mayoría predominaron las gravas arcillosas, gravas limosas, suelos limosos y arcillosos, los cuales poseen una caracterización de regulares a malos para el uso en subrasante, sin embargo, en base a los ensayos de CBR se obtuvo que no cumplen con el mínimo establecido por la norma NIC – 2019. Los bancos de materiales poseen suelo granular, clasificado de acuerdo con el método AASHTO como A – 2 – 6 y fue necesario la realización de una estabilización con cemento.
- La estructura de pavimento flexible diseñada se realizó tomando cada uno de los requisitos y procesos establecidos en el Manual Centroamericano de diseño de pavimentos SIECA 2002, tomando como referencia el Método AASHTO 93. El cálculo de espesores de capa de la estructura dio como resultado para la carpeta asfáltica un valor de 2.6 pulgadas, lo cual se encuentra en el rango requerido para las solicitaciones de carga vial. Los espesores de la base y subbase, tienen un valor de 9.98 pulgadas y 1.72 pulgadas, respectivamente.

8. RECOMENDACIONES

Con base en el estudio realizado durante el desarrollo del presente trabajo monográfico, se formulan las siguientes recomendaciones técnicas, orientadas a garantizar que el diseño propuesto se adapte de manera adecuada a las condiciones físicas, geotécnicas, hidráulicas y de tránsito previamente identificadas en el tramo objeto de estudio. Estas recomendaciones buscan contribuir a la correcta ejecución del proyecto, así como a la durabilidad, funcionalidad y seguridad de la infraestructura vial proyectada.

- El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) deberá implementar programas de aforos vehiculares periódicos y sistemáticos en el tramo de estudio, con el propósito de obtener información actualizada y confiable sobre el comportamiento del tránsito. Esto permitirá mantener un control más preciso del volumen vehicular, la composición del tráfico y las variaciones en la demanda de transporte a lo largo del tiempo. La información recopilada será fundamental para la adecuada planificación, evaluación y actualización del diseño vial durante el período de vida útil proyectado de la carretera.
- El contratista encargado de la ejecución del proyecto deberá verificar rigurosamente que todos los materiales a utilizar en las diferentes etapas constructivas cumplan estrictamente con las especificaciones técnicas y normativas vigentes establecidas por los organismos reguladores correspondientes. Asimismo, se deberá garantizar que dichos materiales se encuentren en plena conformidad con las normas de calidad previamente especificadas en el diseño del proyecto. El cumplimiento de estos criterios técnicos permitirá asegurar la resistencia estructural, durabilidad y adecuado desempeño de la infraestructura vial frente a las condiciones de carga, clima y uso a las que estará sometida.
- La Alcaldía Municipal de Camoapa deberá establecer un programa permanente de mantenimiento preventivo y correctivo para todas las obras de drenaje superficial y subterráneo construidas en el área de estudio, tales como cunetas,

alcantarillas y estructuras hidráulicas complementarias. De igual manera, se recomienda realizar inspecciones periódicas y trabajos de mantenimiento en la carpeta de rodamiento, con el objetivo de prevenir deterioros prematuros, preservar las condiciones óptimas de operación de la vía y maximizar la vida útil del pavimento.

- El responsable del área de higiene y seguridad ocupacional deberá implementar medidas preventivas y protocolos adecuados durante todas las etapas de ejecución del proyecto, con el fin de preservar la integridad física de los trabajadores, así como proteger el entorno ambiental inmediato. Estas medidas deberán contemplar la protección de las áreas verdes, estructuras existentes y demás elementos circundantes que puedan verse afectados por las actividades constructivas, garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad laboral vigentes.

9. REFERENCIAS

AASTHO-93. (2001). *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 93 (3ra edicion).* Washington: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

American Association of State Highway and Transportation Officials-93. (2001). *Guide for Design of Pavement Structures.* Washington, D.C.: AASHTO.

Badillo, J., & Rodriguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos.* México D.F.: Limusa.

Cal y Mayor, R. (2001). Ingeniería de tránsito. En R. Cal y Mayor, *Ingeniería de tránsito* (pág. 33). México: Alfaomega.

Cárdenas Grisales, R. (2018). *Ingeniería de tránsito.* México: Alfaomega.

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.* Guatemala: SIECA.

Corredor M., G. (2008). *Apuntes Sobre Pavimentos.* Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.* México: Cengage Learning.

Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.* México: Cengage Learning.

Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.* Mexico.

Das, B. M. (2016). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.* Mexico: Cengage Learning.

Grisales, C. y. (2018). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones.* México: Alfaomega.

Jimenez, J., Justo Alpañes, J. L., & Serrano Gonzalez, A. A. (2013). *Geotecnia y Cimientos II.* Madrid: Editorial Rueda.

Lynch Blackman, H. (2005). *Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles y Rígidos: Nuevos y de Refuerzo.* Lima: Fondo Editorial del ICG.

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2019). Norma NIC 2019, TOMO II. *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes*. Nicaragua.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). *Anuario de aforos de tráfico.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). Anuario de Aforos de Tráfico. En *Anuario de Aforos de Tráfico* (pág. 11). Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). Anuario de Aforos de Tráfico Año 2020. En *Anuario de Aforos de Tráfico Año 2020* (pág. 11). Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). Anuario de Aforos de Tráfico Año 2020. En *Anuario de Aforos de Tráfico Año 2020* (pág. 14). Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). *Anuario vehicular.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2022). *Anuario de aforos de tráfico.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2022). *Anuario de aforos de tráfico.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos.* Bogotá: Universidad de los Andes.

Robles, C. L. (2004). *Introducción a la topografía en la ingeniería civil.* Universidad de Granada.

Villalaz, C. C. (2004). *Mecanica de Suelos y Cimentaciones.* Mexico: Lumisa Mexico.

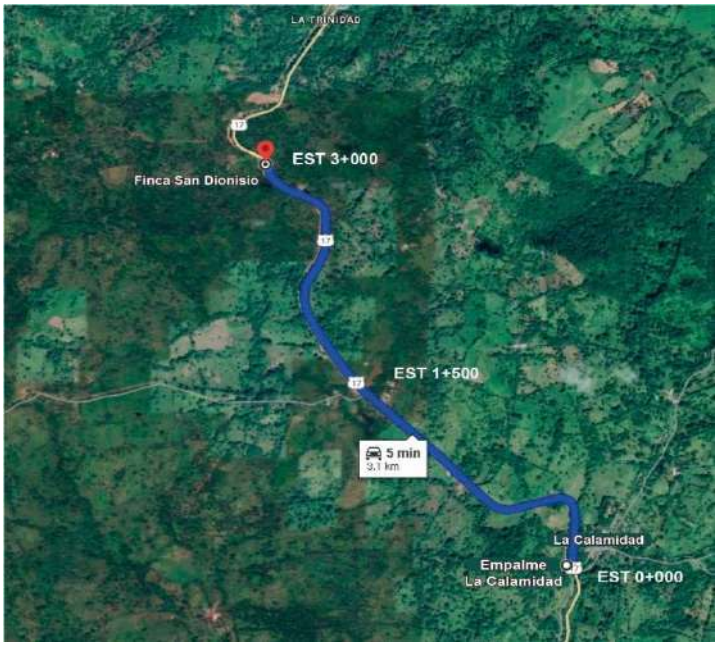
10. ANEXOS

Figura 39 Macro localización del La Calamidad-Finca San Dionisio



Fuente: Google Earth

Figura 40 Micro localización del La Calamidad-Finca San Dionisio



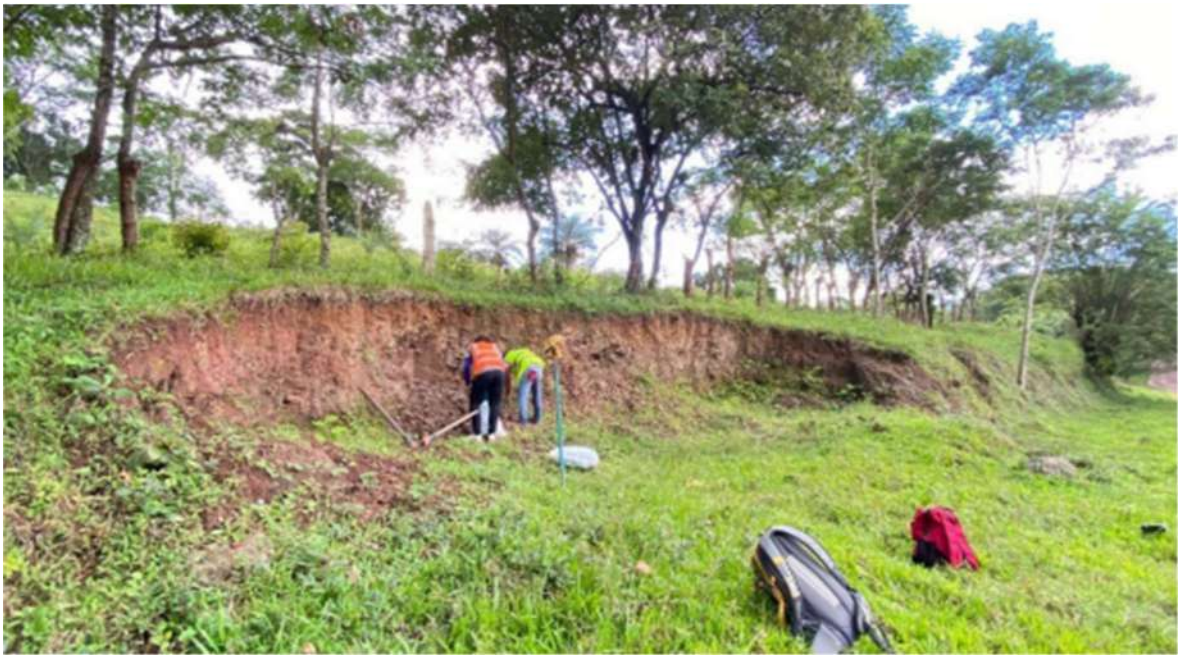
Fuente: Google Earth

Figura 41 Condiciones actuales del Tramo Empalme La Calamidad-Finca San Dionisio



Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Muestreo de banco Bertoldo Somoza, Estación 2+700, Lado Izquierdo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio



Fuente: Elaboración propia

Figura 44 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio



Fuente: Elaboración propia

Figura 45 Tramo Emp. La Calamidad– Finca San Dionisio



Fuente: Elaboración propia

Figura 46 Tipología y descripción vehicular de conteos de tránsito.

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

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

Tabla 74: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 6/01/26

Sentido:		Ambos												Fecha:	6/1/2026						
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C
06:00	06:15		2			2				2									
06:15	06:30				2	2				2	2								
06:30	06:45											1							
06:45	07:00		1	1	2	1				1	2								
07:00	07:15									1									
07:15	07:30					3					1								
07:30	07:45				1	1				2									
07:45	08:00		1								1								
08:00	08:15				1														
08:15	08:30					1				1									
08:30	08:45				2	1				1	1								
08:45	09:00		1																
09:00	09:15					2				2	1								
09:15	09:30				1	1													
09:30	09:45		2								2								
09:45	10:00					1				1		1							
10:00	10:15					3					1								
10:15	10:30		3		2					2									
10:30	10:45					1					1								
10:45	11:00					2						1							
11:00	11:15		2							1									
11:15	11:30					1					1								
11:30	11:45			1		2			1	1									
11:45	12:00		2			2													
12:00	12:15		1																
12:15	12:30				1	3					1								
12:30	12:45		3			2													
12:45	01:00		1			2				1									
01:00	01:15																		
01:15	01:30				1	3					1	1							
01:30	01:45		2							1									
01:45	02:00		1			2					2								
02:00	02:15									2									
02:15	02:30					1						1							
02:30	02:45				1	1				1	2								
02:45	03:00																		
03:00	03:15					2					1								
03:15	03:30					2				2									
03:30	03:45											1							
03:45	04:00		2			3				2									
04:00	04:15										1								
04:15	04:30					1				1	1								
04:30	04:45				1														
04:45	05:00		1			2				1	2								
05:00	05:15					2													
05:15	05:30					2													
05:30	05:45					3				1									
05:45	06:00					3													
Volumen 12h diurnas		0	25	2	15	60	0	0	1	29	24	6	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración: Fuente propia

Tabla 75: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 7/01/26

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										Est:		Est. 0+000					
Sentido:		Ambos										Fecha:		7/1/2026					
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C
06:00	06:15				2	3			1	2		1							
06:15	06:30		2								2								
06:30	06:45			1		1				1	2								
06:45	07:00		3																
07:00	07:15				1	1				2	2								
07:15	07:30		1		2														
07:30	07:45					1				1	2								
07:45	08:00		2									1							
08:00	08:15		2			3													
08:15	08:30		2			1				3	1								
08:30	08:45				1	2													
08:45	09:00					3				2	2								
09:00	09:15		2	1		1													
09:15	09:30				1	2													
09:30	09:45		2			1				1	1								
09:45	10:00					3													
10:00	10:15					1				2		1							
10:15	10:30		3		1	2					1								
10:30	10:45		2			3													
10:45	11:00			1	2	1				1									
11:00	11:15									2	2								
11:15	11:30		2			2													
11:30	11:45									2		1							
11:45	12:00		1								1								
12:00	12:15					1			1	1									
12:15	12:30		3		1														
12:30	12:45					1													
12:45	01:00		1			2				1									
01:00	01:15																		
01:15	01:30		1		1	1													
01:30	01:45		1			1				2	1								
01:45	02:00																		
02:00	02:15		2							1		1							
02:15	02:30		1		1	2													
02:30	02:45					1				1	2								
02:45	03:00		1								1								
03:00	03:15					2													
03:15	03:30					2				1	2								
03:30	03:45		2	1	1	3													
03:45	04:00		1																
04:00	04:15					3					1								
04:15	04:30		2		1	1													
04:30	04:45					3													
04:45	05:00		2	1							1								
05:00	05:15				1	2			1	1	1								
05:15	05:30		1			2													
05:30	05:45		2			1													
05:45	06:00																		
Volumen 12h diurnas		0	44	5	16	59	0	0	3	27	25	5	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración: Fuente propia

Tabla 76: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 8/01/26

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										Est:		Est. 0+000					
Sentido:		Ambos										Fecha:		8/1/2026					
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C
06:00	06:15				2	2			1	2									
06:15	06:30		1			2				3	2								
06:30	06:45		1		1						2								
06:45	07:00					3				2	1								
07:00	07:15		2	2		1													
07:15	07:30		1			3				3	2								
07:30	07:45		1		1	1						1							
07:45	08:00									2									
08:00	08:15				1	2					1								
08:15	08:30		2			3				1									
08:30	08:45					2													
08:45	09:00					2				1									
09:00	09:15		2		1														
09:15	09:30			1		2													
09:30	09:45		1			2				2	2								
09:45	10:00					2				1									
10:00	10:15		2			1													
10:15	10:30		2			2				2	1								
10:30	10:45					2													
10:45	11:00		1								2								
11:00	11:15				1	2													
11:15	11:30		2			1				2	1								
11:30	11:45		1	1		2													
11:45	12:00					1				2									
12:00	12:15					2			1										
12:15	12:30					2						1							
12:30	12:45										2								
12:45	01:00					2				1									
01:00	01:15					2													
01:15	01:30		1		1	3				1	2								
01:30	01:45											1							
01:45	02:00		2	1		2													
02:00	02:15										2								
02:15	02:30					2													
02:30	02:45				1														
02:45	03:00		1			2					1								
03:00	03:15					1				3									
03:15	03:30		2		2														
03:30	03:45					2													
03:45	04:00				2	2													
04:00	04:15		1								2								
04:15	04:30					3													
04:30	04:45		1			1													
04:45	05:00		2			1													
05:00	05:15								1										
05:15	05:30				2	3													
05:30	05:45		2			3													
05:45	06:00		1																
Volumen 12h diurnas			32	5	15	71	0	0	3	28	23	3	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración: Fuente propia

Tabla 77: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 13/01/26

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										Est:		Est. 1+500					
Sentido:		Ambos										Fecha:		13/1/2026					
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C
06:00	06:15					1				2	1								
06:15	06:30		2			2													1
06:30	06:45		1							2	1								
06:45	07:00			1						1									
07:00	07:15		2			2					2								
07:15	07:30									1									
07:30	07:45				1	1				2									
07:45	08:00		1			2					1								
08:00	08:15																		
08:15	08:30			1								1							
08:30	08:45		2			1					2								
08:45	09:00									1									
09:00	09:15					2													
09:15	09:30				1	2				1	1								
09:30	09:45					1													
09:45	10:00		2			1						1							
10:00	10:15										2								
10:15	10:30					1					1								
10:30	10:45		1			1				2									
10:45	11:00																		
11:00	11:15									2									
11:15	11:30					1					1								
11:30	11:45		2		1	2													
11:45	12:00					2			1										
12:00	12:15				1	1				2		1							
12:15	12:30		1		1	3				1									
12:30	12:45					1													
12:45	01:00				2	1				2									
01:00	01:15										1								
01:15	01:30		1		1	2													
01:30	01:45					1						1							
01:45	02:00			1		1				2	1								
02:00	02:15		2		2	2													
02:15	02:30		1			1				2									
02:30	02:45				1	2					1								
02:45	03:00					1				1									
03:00	03:15		2			2					2								
03:15	03:30		1			1					1	1							
03:30	03:45				1	2				2									
03:45	04:00				1	2					2								
04:00	04:15					1				1									
04:15	04:30		2		2	1					1								
04:30	04:45										1								
04:45	05:00					2													
05:00	05:15				1	2													
05:15	05:30					2						1							
05:30	05:45				1														
05:45	06:00					1													
Volumen 12h diurnas		0	23	3	17	54	0	0	1	27	22	6	0	0	0	0	0	0	1

Elaboración: Fuente propia

Tabla 78: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 14/01/26

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio										Est:		Est. 1+500					
Sentido:		Ambos										Fecha:		14/1/2026					
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C
06:00	06:15		1			3			1	2									
06:15	06:30		1		1						1								
06:30	06:45				1	1				1									
06:45	07:00			1		2													
07:00	07:15				1	3						1							
07:15	07:30		3																
07:30	07:45				1	2				2									
07:45	08:00			1															
08:00	08:15		1							1									
08:15	08:30					1					1								
08:30	08:45									1									
08:45	09:00			1															
09:00	09:15		2			1													
09:15	09:30									1									
09:30	09:45		2			1													
09:45	10:00									2	1								
10:00	10:15					1													
10:15	10:30				1	2													
10:30	10:45										2								
10:45	11:00					1				1	2								
11:00	11:15																		
11:15	11:30		2			2													
11:30	11:45				1	1				1									
11:45	12:00					1													
12:00	12:15					2			1	2	1								
12:15	12:30																		
12:30	12:45					2				2									
12:45	01:00																		
01:00	01:15		2			2													
01:15	01:30		2	1		1					1								
01:30	01:45					2						1							
01:45	02:00																		
02:00	02:15		2		1	1				1	2								
02:15	02:30		1			1													
02:30	02:45					2					1	1							
02:45	03:00		2		1	2				2									
03:00	03:15		2	1		1					2								
03:15	03:30					2													
03:30	03:45				1	2					2	1							
03:45	04:00					1					2								
04:00	04:15					2													
04:15	04:30		3			1				3	1								
04:30	04:45		3		1	1					1								
04:45	05:00		2	1	1					1	2								
05:00	05:15		3			3			1										
05:15	05:30		3		2	3													
05:30	05:45		4			1													
05:45	06:00		1			1													
Volumen 12h diurnas		0	42	6	13	55	0	0	3	23	22	4	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración: Fuente propia

X

Tabla 79: Formato para conteo de tránsito vehicular estación del 15/01/26

Tramo:		Empalme La Calamidad - Finca San Dionisio												Est:	Est. 1+500					
Sentido:		Ambos												Fecha:	15/1/2026					
Hora		Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga									Equipos Pesados	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3		V.A	V.C
06:00	06:15					3			1	1										
06:15	06:30		2			1														
06:30	06:45			1		2				1										
06:45	07:00					3														
07:00	07:15					2				2	1									
07:15	07:30		2			2														
07:30	07:45				1	3				1										
07:45	08:00																			
08:00	08:15			1		2				1										
08:15	08:30		2			1														
08:30	08:45		1			3				2										
08:45	09:00					1						1								
09:00	09:15				1					1										
09:15	09:30		2			2														
09:30	09:45		1			1						1								
09:45	10:00					2				2										
10:00	10:15		1		1	2														
10:15	10:30		2			1				2										
10:30	10:45		1			1				1										
10:45	11:00		2	1		2														
11:00	11:15				1					1										
11:15	11:30					1					1									
11:30	11:45				1	1				2										
11:45	12:00		2			1														
12:00	12:15					3			1	1										
12:15	12:30		1		1							1								
12:30	12:45										1									
12:45	01:00					1				1										
01:00	01:15																			
01:15	01:30		1		1	1														
01:30	01:45		2							1										
01:45	02:00					2					1									
02:00	02:15		1			2														
02:15	02:30		1	1		2														
02:30	02:45				1	3				1										
02:45	03:00		1			1					1									
03:00	03:15					3				1										
03:15	03:30			1	2	2						1								
03:30	03:45		2			2				1										
03:45	04:00					3														
04:00	04:15		1	1	3															
04:15	04:30		1		1	1														
04:30	04:45			1		1														
04:45	05:00				1	1														
05:00	05:15		3		2					1										
05:15	05:30					1														
05:30	05:45		2			1														
05:45	06:00																			
Volumen 12h diurnas		0	34	7	17	67	0	0	2	24	5	4	0	0	0	0	0		0	0

Elaboración: Fuente propia

Tabla 80: Factor de Equivalencia Eje Simple, Pt = 2

Carga por eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	35.6	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.079
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	80	1	1	1	1	1	1
20	89	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	160	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	178	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	213.6	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Capítulo 3, Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93, pág. 22).

Tabla 81: Factor de Equivalencia Eje Tándem (Doble), Pt = 2

Carga por eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0	0	0	0	0	0
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	80	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	275.9	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43

Fuente: Capítulo 3, Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASTHO-93, pág. 23)

Figura 47 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100)

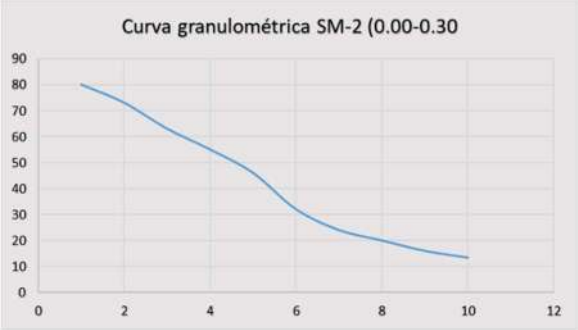


Figura 48 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100)



Figura 49 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100)

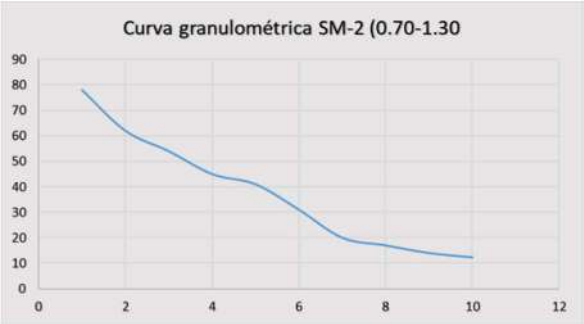


Figura 50 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100)

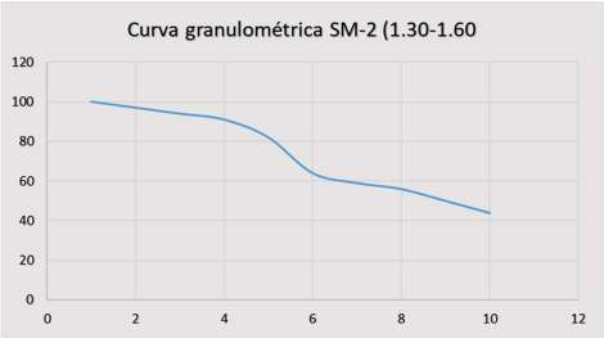


Figura 51 Curva granulométrica del SM-2 (Est. 0+100)



Figura 52 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200)



Figura 53 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200)



Figura 54 Curva granulométrica del SM-3 (Est. 0+200)

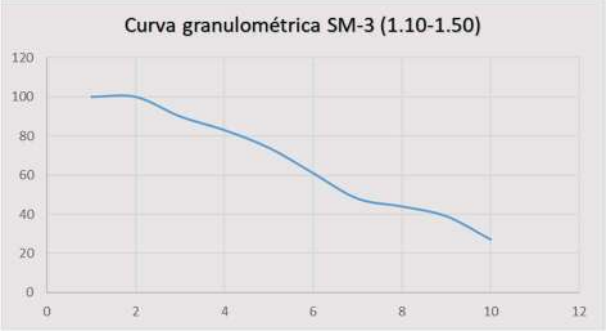


Figura 55 Curva granulométrica del SM-4 (Est. 0+300)



Figura 56 Curva granulométrica del SM-4 (Est. 0+300)

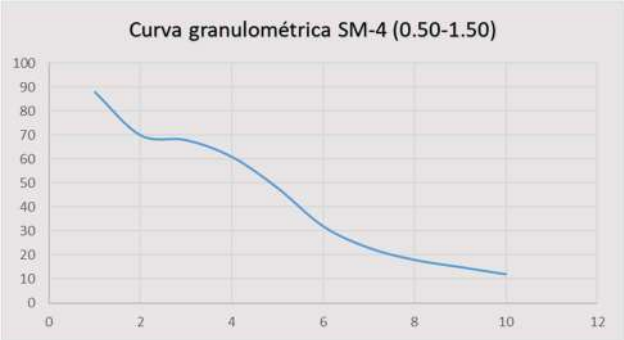


Figura 57 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400)

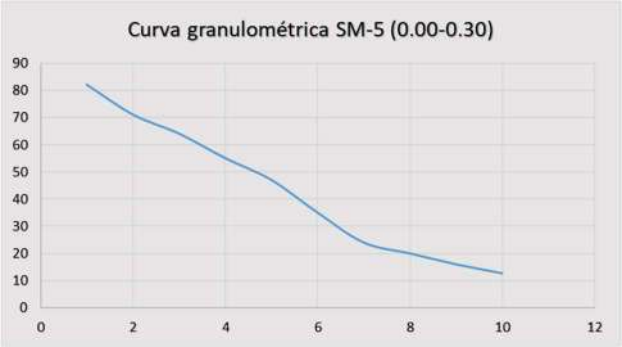


Figura 58 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400)

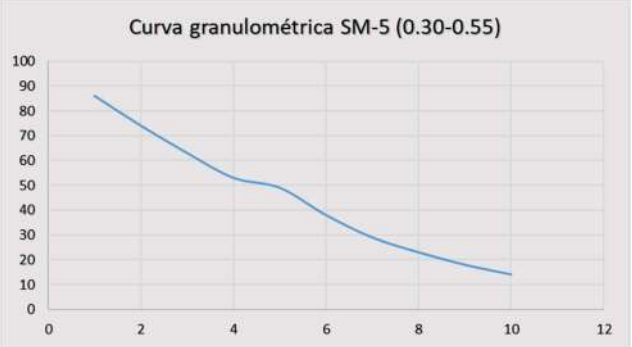


Figura 59 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400)



Figura 60 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400)



Figura 61 Curva granulométrica del SM-5 (Est. 0+400)

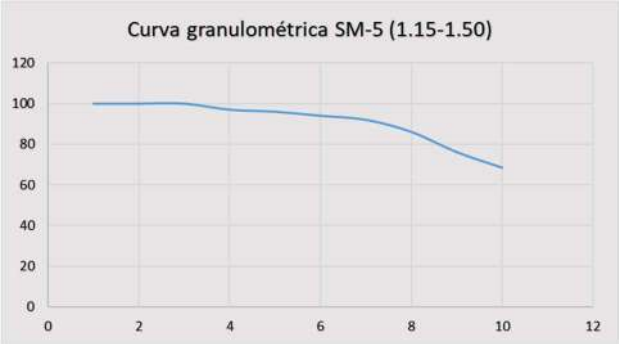


Figura 62 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500)

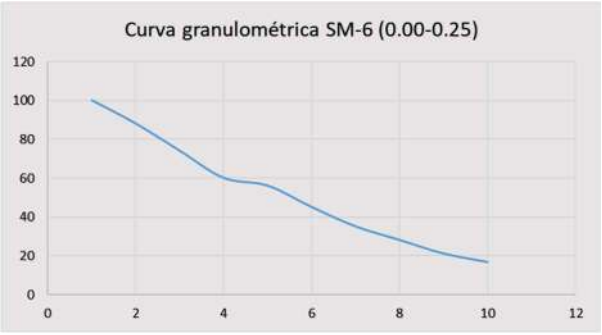


Figura 63 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500)

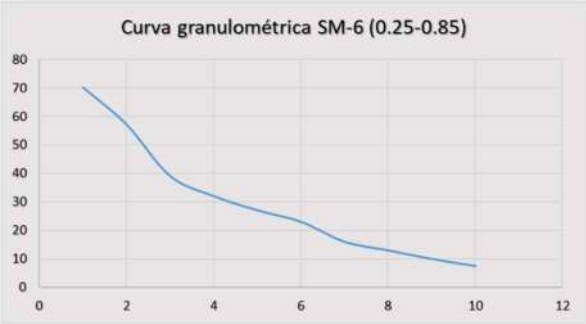


Figura 64 Curva granulométrica del SM-6 (Est. 0+500)

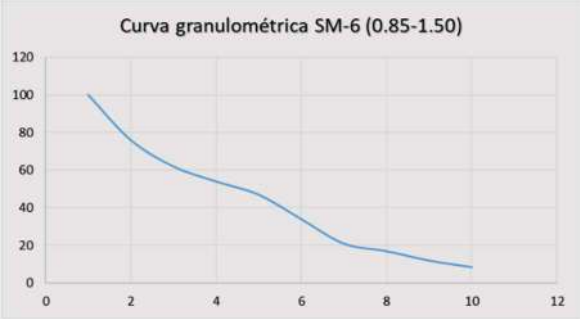


Figura 65 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600)

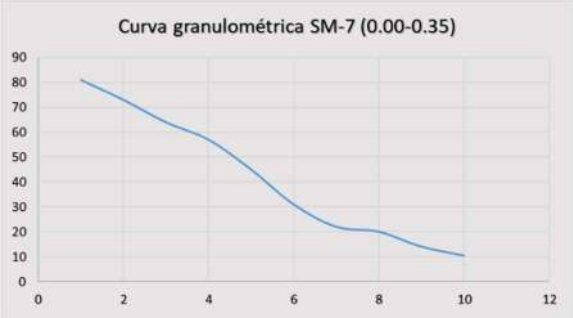


Figura 66 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600)



Figura 67 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600)



Figura 68 Curva granulométrica del SM-7 (Est. 0+600)



Figura 69 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700)

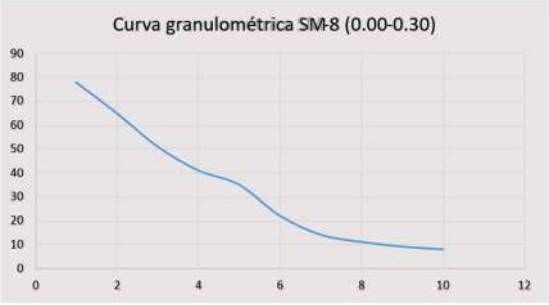


Figura 70 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700)



Figura 71 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700)

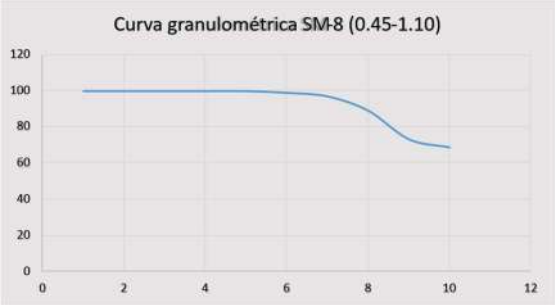


Figura 72 Curva granulométrica del SM-8 (Est. 0+700)

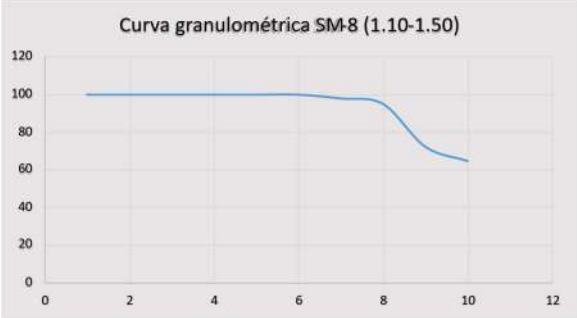


Figura 73 Curva granulométrica del SM-9 (Est. 0+800)

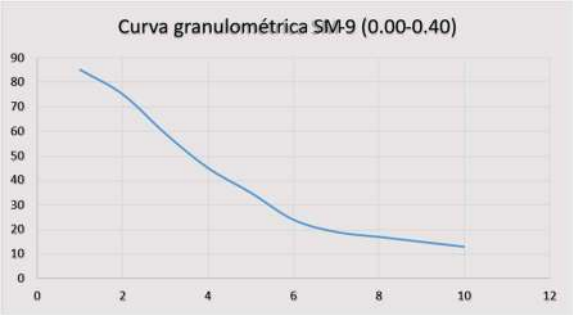


Figura 74 Curva granulométrica del SM-9 (Est. 0+800)



Figura 75 Curva granulométrica del SM-10 (Est. 0+900)



Figura 76 Curva granulométrica del SM-10 (Est. 0+900)



Figura 77 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000)

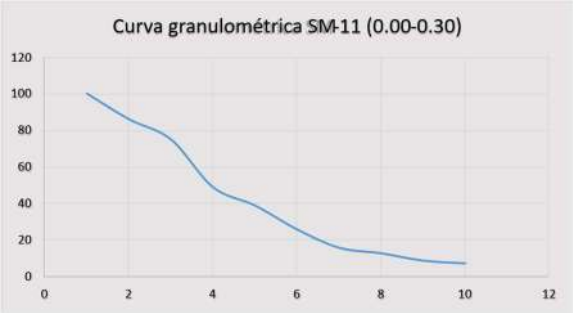


Figura 78 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000)



Figura 79 Curva granulométrica del SM-11 (Est. 1+000)



Figura 80 Curva granulométrica del SM-12 (Est. 1+100)

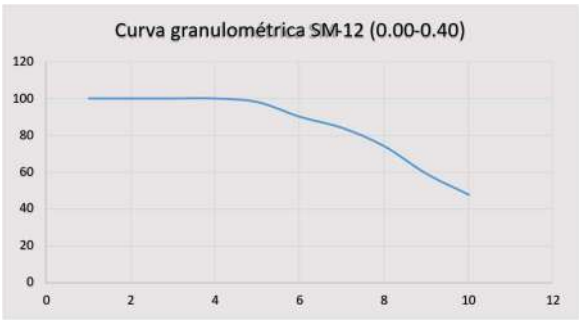


Figura 81 Curva granulométrica del SM-12 (Est. 1+100)

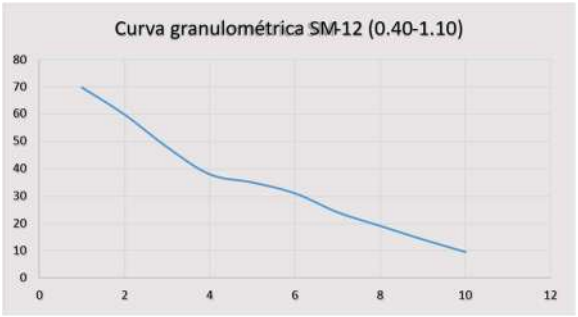


Figura 82 Curva granulométrica SM-12 (Est. 1+100)

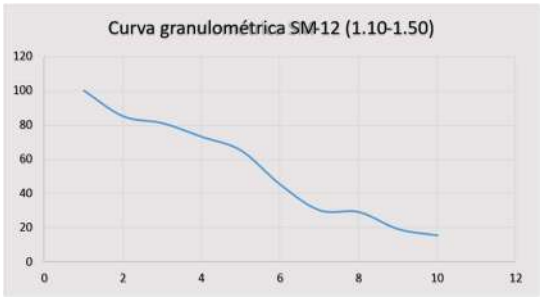


Figura 83 Curva granulométrica del SM-13 (Est. 1+200)

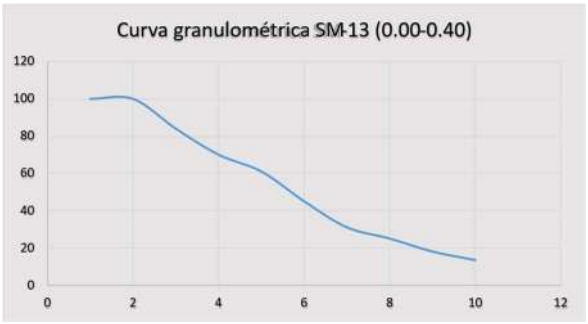


Figura 84 Curva granulométrica del SM-13 (Est. 1+200)

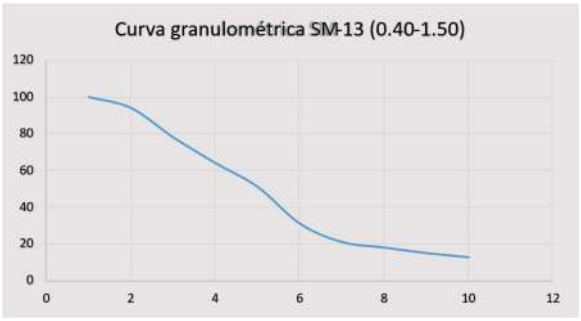


Figura 85 Curva granulométrica del SM-14 (Est. 1+300)

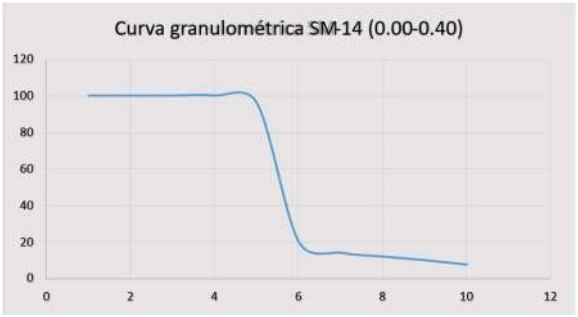


Figura 86 Curva granulométrica SM-14 (Est. 1+300)



Figura 87 Curva granulométrica del SM-14 (Est. 1+300)



Figura 88 Curva granulométrica del SM-15 (Est. 1+400)

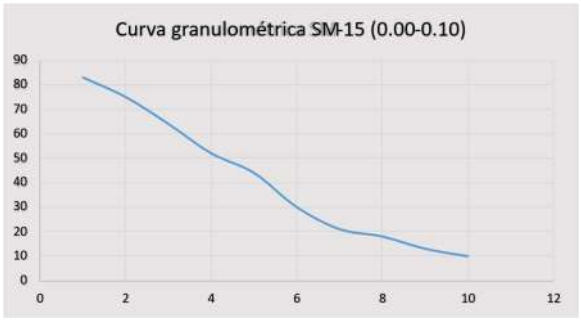


Figura 89 Curva granulométrica del SM-15 (Est. 1+400)

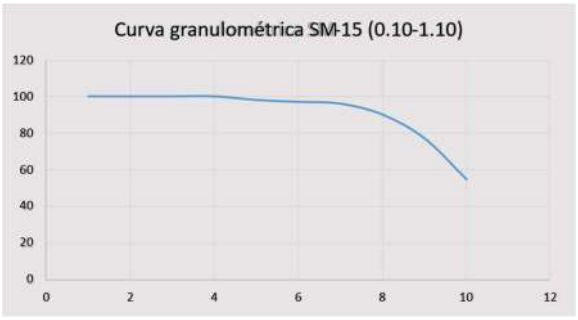


Figura 90 Curva granulométrica SM-15 (Est. 1+400)

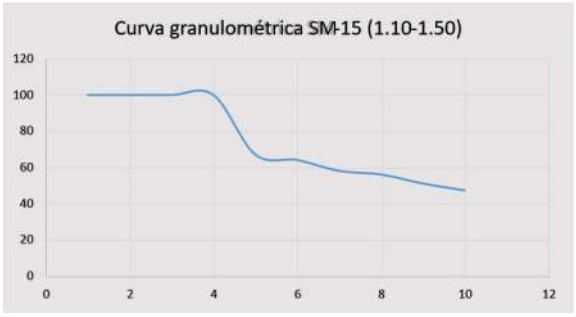


Figura 91 Curva granulométrica del SM-16 (Est. 1+500)

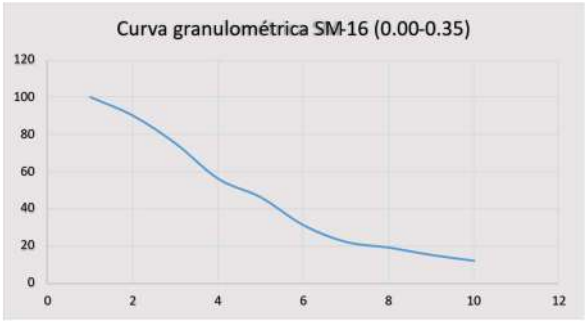


Figura 92 Curva granulométrica del SM-16 (Est. 1+500)

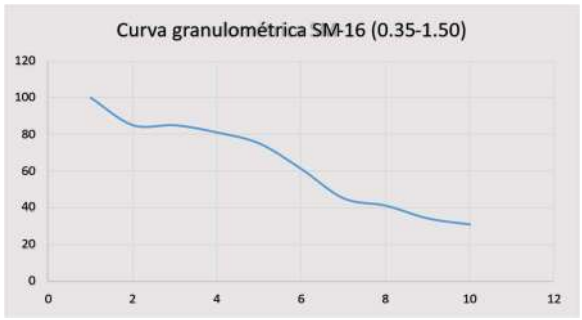


Figura 93 Curva granulométrica del SM-17 (Est. 1+600)

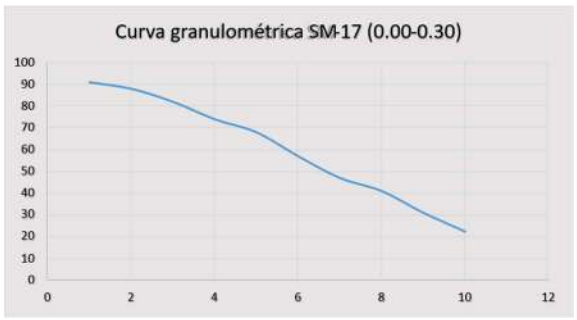


Figura 94 Curva granulométrica SM-17 (Est. 1+600)



Figura 95 Curva granulométrica del SM-17 (Est. 1+600)

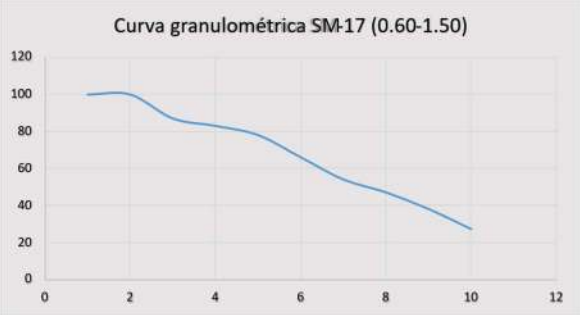


Figura 96 Curva granulométrica del SM-18 (Est. 1+700)

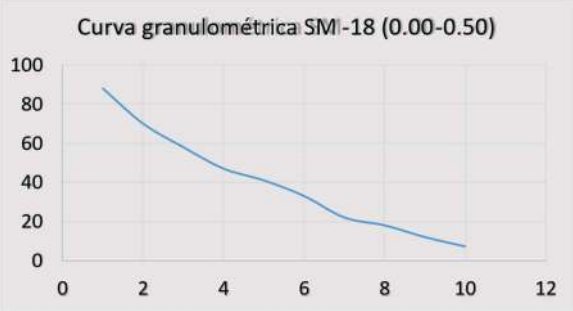


Figura 97 Curva granulométrica del SM-18 (Est. 1+700)



Figura 98 Curva granulométrica SM-19 (Est. 1+800)



Figura 99 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900)



Figura 100 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900)



Figura 101 Curva granulométrica del SM-20 (Est. 1+900)



Figura 102 Curva granulométrica SM-21 (Est. 2+000)

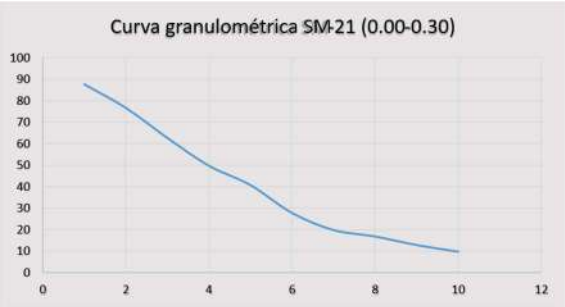


Figura 103 Curva granulométrica del SM-21 (Est. 2+000)



Figura 104 Curva granulométrica del SM-22 (Est. 2+100)



Figura 105 Curva granulométrica del SM-22 (Est. 2+100)

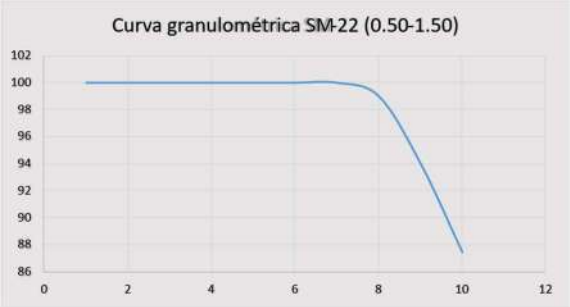


Figura 106 Curva granulométrica SM-23 (Est. 2+200)



Figura 107 Curva granulométrica del SM-23 (Est. 2+200)



Figura 108 Curva granulométrica del SM-23 (Est. 2+200)



Figura 109 Curva granulométrica del SM-24 (Est. 2+300)

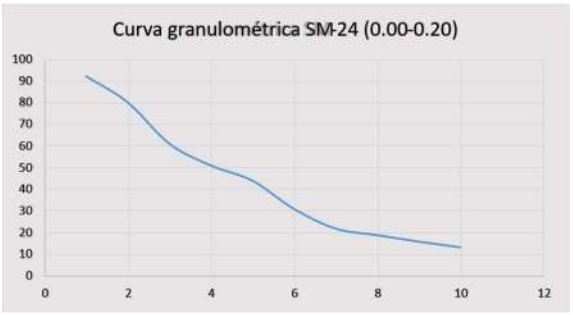


Figura 110 Curva granulométrica SM-24 (Est. 2+300)



Figura 111 Curva granulométrica del SM-24 (Est. 2+300)



Figura 112 Curva granulométrica del SM-25 (Est. 2+400)

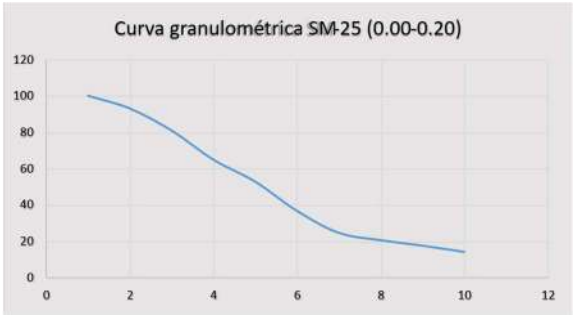


Figura 113 Curva granulométrica del SM-25 (Est. 2+400)

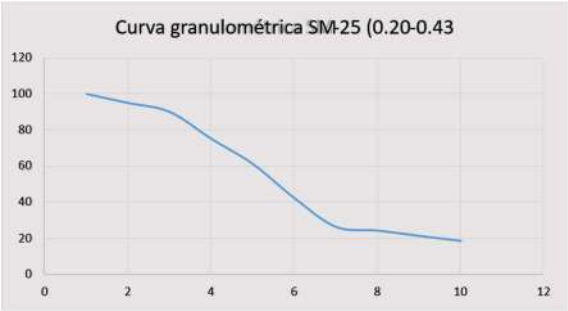


Figura 114 Curva granulométrica SM-25 (Est. 2+400)



Figura 115 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500)

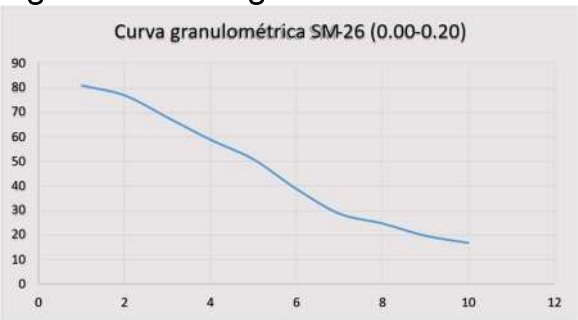


Figura 116 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500)

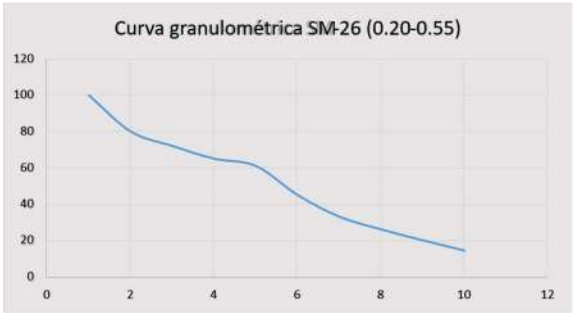


Figura 117 Curva granulométrica del SM-26 (Est. 2+500)

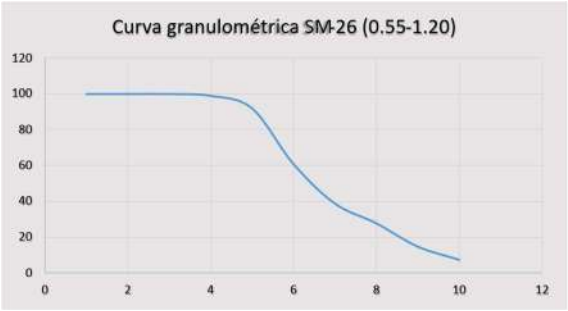


Figura 118 Curva granulométrica SM-27 (Est. 2+600)

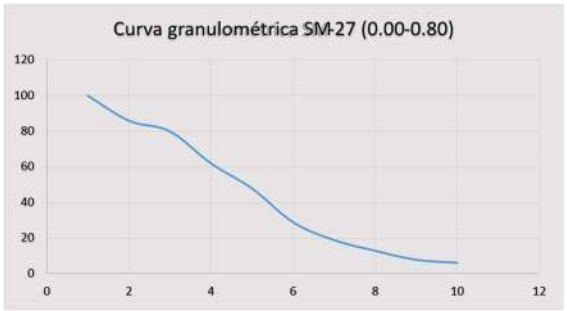


Figura 119 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700)

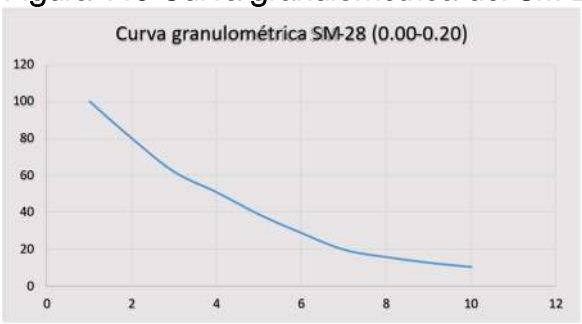


Figura 120 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700)



Figura 121 Curva granulométrica del SM-28 (Est. 2+700)



Figura 122 Curva granulométrica SM-28 (Est. 2+700)



Figura 123 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800)



Figura 124 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800)

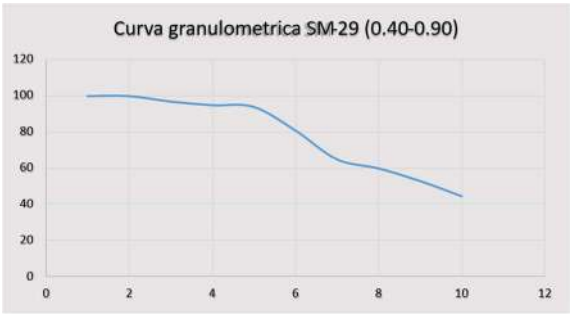


Figura 125 Curva granulométrica del SM-29 (Est. 2+800)



Figura 126 Curva granulométrica SM-30 (Est. 2+900)



Figura 127 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900)

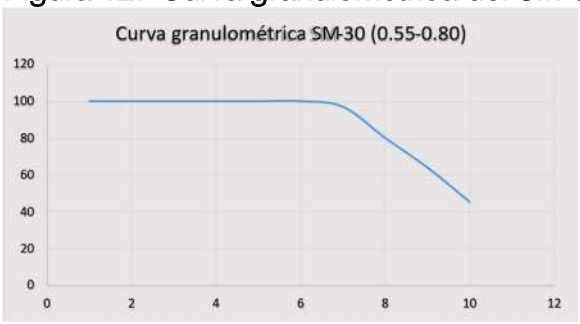


Figura 128 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900)



Figura 129 Curva granulométrica del SM-30 (Est. 2+900)



Figura 130 Curva granulométrica SM-31 (Est. 3+000)

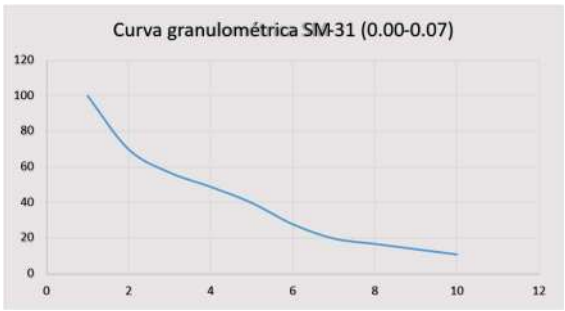


Figura 131 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000)

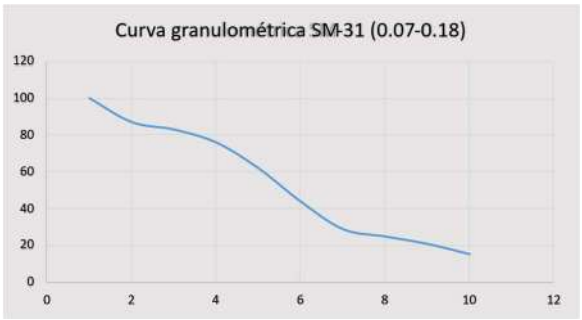


Figura 132 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000)



Figura 133 Curva granulométrica del SM-31 (Est. 3+000)

