

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

# **DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO LA TRINIDAD - COMUNIDAD LAS ÁNIMAS APLICANDO EL MÉTODO AASHTO - 93.**

Trabajo Monográfico para optar al título de  
Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Merary Elizabeth  
Calderón Amador  
Carnet: 2018-0197N

Br. Sindy Belén  
Rodríguez Centeno  
Carnet: 2019-0132N

**Tutor:**

Ing. Oliver Josué  
Rivera Gutiérrez

05 de abril de 2024  
Managua, Nicaragua



Carta de aprobación del tema

Carta del tutor

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a nuestro **Dios** por su bondad e infinito amor, por regalarnos la sabiduría y habernos guiado a lo largo de este proceso, por ser nuestra luz y fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

*A nuestros **padres** por los valores que nos han inculcado, por darnos la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas, sobre todo por el ejemplo a seguir.*

*A nuestro tutor **Ing. Oliver Rivera** por el tiempo empleado en dirigirnos y acompañarnos en cada etapa de este trabajo, por animarnos y darnos lecciones de aprendizaje que nos fortalecieron intelectualmente, reforzando nuestros conocimientos.*

*A nuestros maestros **Ing. José Luis Acuña** e **Ing. Juan Leonardo Chow** que han contribuido en nuestra educación, siendo de vital importancia cada uno de los conocimientos que nos han transmitido en el transcurso del tiempo.*

*Br. Merary Elizabeth Calderón Amador*

*Br. Sindy Belén Rodríguez Centeno*

## DEDICATORIA

*Este trabajo monográfico es dedicado especialmente a **Dios**, por darnos principalmente la vida y la oportunidad de estudiar esta profesión, por regalarnos la inteligencia y la fortaleza para poder vencer los obstáculos durante los años de nuestra carrera. “Porque de él, y por él, y para él son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. Amén.” - Romanos 11:36.*

*A nuestros familiares: nuestros padres **Víctor Calderón** y **Maritza Amador, Idalia Centeno** y mi tía **Lelis Rodríguez** por el apoyo incondicional que nos brindaron, por sus oraciones, su comprensión y amor, alentándonos día a día a seguir adelante para llegar alcanzar nuestras metas.*

*A nuestros hermanos, **Nahum Calderón, Nohemí Calderón, Josué Calderón Alexander Laguna** y **Samir Rodríguez** por compartir este recorrido, por ayudarnos incondicionalmente y creer en nosotras, gracias por los buenos consejos y sus palabras de ánimo.*

*A nuestros maestros y amigos: **Ing. Oliver Rivera** por formar parte fundamental de este trabajo, por su paciencia y dedicación, por los conocimientos compartidos y sobre todo por exigirnos a dar lo mejor, asimismo, al **Ing. Willy Gutiérrez** por su cariño, sus consejos, enseñanzas, su apoyo incondicional y por siempre animarnos a seguir adelante.*

*Br. Merary Elizabeth Calderón Amador*

*Br. Sindy Belén Rodríguez Centeno*

## RESUMEN DEL TEMA

El presente trabajo monográfico tiene como propósito determinar todos los estudios técnicos necesarios para la realización del proyecto titulado: “Diseño de estructura de pavimento articulado del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas aplicando el método AASHTO – 93”, el cual se encuentra localizado en la parte noreste del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí y tiene una longitud de 3.7 km.

Este documento consta de tres capítulos donde se reflejan aspectos generales, marco teórico, así como los resultados obtenidos de cada uno de los estudios realizados:

El capítulo 1 aborda generalidades del tema tales como: introducción, macro y micro localización, objetivos y la justificación de la importancia de la construcción de los 3.7 km de adoquinado.

En el capítulo 2, se presenta el referente teórico en cuanto a los estudios que deben realizarse para el desarrollo de este proyecto, los cuales son el estudio de tránsito, estudio de suelos, diseño de estructura de pavimento y estudio de impacto ambiental.

En el capítulo 3, se muestran los resultados obtenidos de los cuatro estudios realizados para este trabajo:

- Estudio de tránsito: contempla las consideraciones que se tomaron en cuenta para la determinación de TPDA, las tasas de proyección de los volúmenes futuros y la obtención del tránsito de diseño necesario para el cálculo del ESAL.
- Estudio de suelos: aquí se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base, que soportará las cargas a las que será sometida, e inducida por la cantidad de ejes equivalentes de diseño; el análisis granulométrico y su respectiva clasificación. Asimismo, se interpretaron los resultados de los ensayos

realizados a los dos bancos de materiales, obteniendo valores de CBR que cumplen con los requerimientos mínimos de la Norma NIC-2019.

- Diseño de estructura de pavimento: este comprende el diseño de la estructura de pavimento articulado haciendo uso del modelo de la AASTHO – 93 conocido por incorporar en su análisis, variables como ESAL's, confiabilidad (R), serviciabilidad (Po, Pt), desviación estándar (So), de igual manera el CBR de diseño el cual sirvió de base para obtener el módulo de resiliencia, el valor de los coeficientes estructurales y de los números estructurales. Posteriormente, se determinaron los espesores requeridos para cada capa de la estructura de pavimento.
- Estudio de impacto ambiental: en él se identificaron los efectos positivos y negativos que traerá el adoquinado del tramo a partir de la metodología de la matriz de Leopold. Además, se proponen medidas de mitigación con el objetivo de que los impactos negativos que pueda generar la realización del proyecto, sean prevenidos, mitigables y compensables.

Por último, en las conclusiones se presentan de manera simplificada los resultados obtenidos en los estudios realizados, asimismo, se proporcionan recomendaciones con el fin de que sean de utilidad para la construcción del tramo en estudio y a la vez, en el desarrollo de otros diseños similares. Los anexos, muestran información complementaria utilizada en el desarrollo del proyecto.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. Introducción .....	1
1.1.1. Macrolocalización.....	2
1.1.2. Microlocalización.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.3. Justificación .....	5

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio de tránsito .....	7
2.1.1. Aforo vehicular .....	7
2.1.2. Clasificación vehicular.....	7
2.1.3. Tránsito promedio diario anual.....	10
2.1.4. Estaciones de conteo.....	10
2.1.5. Expansión y factores de expansión.....	11
2.1.6. Tasa de crecimiento .....	12
2.1.7. Periodo de diseño .....	13
2.1.8. Tránsito de diseño.....	13
2.1.9. Factor de crecimiento (FC).....	14
2.1.10. Factor de distribución por dirección .....	14
2.1.11. Factor de distribución por carril.....	15
2.1.12. ESAL.....	15
2.2. Estudio de suelo .....	16
2.2.1. Propiedades físico mecánicas de los suelos.....	16

2.2.1.1.	Granulometría.....	16
2.2.1.2.	Límites de consistencia .....	16
2.2.2.	Clasificación del suelo.....	18
2.2.2.1.	Clasificación AASHTO.....	18
2.2.2.2.	Clasificación SUCS .....	19
2.2.3.	Compactación de suelos.....	19
2.2.4.	CBR .....	20
2.3.	Diseño de estructura de pavimento .....	21
2.3.1.	Pavimento articulado.....	21
2.3.1.1.	Elementos de la estructura de pavimento articulado .....	21
2.3.2.	Método AASHTO – 93 .....	22
2.3.3.	Principales variables de diseño.....	23
2.3.3.1.	Confiabilidad.....	23
2.3.3.2.	Desviación estándar .....	23
2.3.3.3.	Serviciabilidad .....	23
2.3.3.4.	Módulo de resiliencia.....	24
2.3.3.5.	Coeficiente de drenaje.....	24
2.3.3.6.	Coeficiente de capa.....	24
2.3.3.7.	Número estructural .....	24
2.4.	Estudio de impacto ambiental.....	25
2.4.1.	Definición .....	25
2.4.2.	Legislación vigente.....	25
2.4.3.	Medidas de mitigación ambiental .....	26
2.4.4.	Matriz de Leopold.....	26

## CAPÍTULO III ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Estudio de tránsito .....	28
3.1.1. Metodología .....	28
3.1.2. Aforo vehicular .....	29
3.1.3. Tránsito promedio diario semanal (TPDS) .....	32
3.1.4. Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	34
3.1.4.1. Identificación de vectores de correspondencia.....	34
3.1.4.2. Estaciones de conteo .....	35
3.1.4.3. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA).....	39
3.1.5. Tasa de crecimiento.....	44
3.1.5.1. Tasa de crecimiento vehicular .....	44
3.1.5.2. Tasa de crecimiento poblacional .....	45
3.1.5.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB) .....	46
3.1.5.4. Selección de la tasa de crecimiento .....	47
3.1.6. Proyección del tránsito.....	48
3.1.6.1. Periodo de diseño.....	48
3.1.6.2. Tránsito de diseño .....	49
3.1.7. ESAL.....	52
3.1.7.1. Factor de equivalencia (FESAL).....	52
3.1.7.2. ESAL de diseño.....	54
3.2. Estudio de suelo .....	56
3.2.1. Metodología .....	56
3.2.2. Sondeos de línea .....	59
3.2.2.1. Sondeo manual 1 .....	60
3.2.2.2. Sondeo manual 2 .....	63

3.2.2.3.	Sondeo manual 3 .....	66
3.2.2.4.	Sondeo manual 4 .....	69
3.2.2.5.	Sondeo manual 5 .....	71
3.2.2.6.	Sondeo manual 6 .....	74
3.2.2.7.	Sondeo manual 7 .....	75
3.2.2.8.	Sondeo manual 8 .....	78
3.2.2.9.	Sondeo manual 9 .....	80
3.2.2.10.	Sondeo manual 10 .....	81
3.2.2.11.	Sondeo manual 11 .....	84
3.2.2.12.	Sondeo manual 12 .....	86
3.2.3.	Estratigrafía del suelo .....	94
3.2.4.	Análisis de resultados de estudio de suelo de bancos de materiales	97
3.2.4.1.	Banco de material 1 - Sra. Evarista Laguna .....	97
3.2.4.2.	Banco de material 2 - Sr. Samuel Ortuño .....	101
3.2.5.	Evaluación de los bancos de materiales .....	105
3.2.6.	CBR de diseño .....	107
3.2.6.1.	Metodología para determinar el CBR de Diseño .....	107
3.2.6.2.	Identificación del CBR de la subrasante .....	108
3.3.	Diseño de estructura de pavimento .....	111
3.3.1.	Metodología .....	111
3.3.2.	VARIABLES DE DISEÑO .....	111
3.3.2.1.	Confiablez .....	111
3.3.2.2.	Desviación estándar .....	113
3.3.2.3.	Serviciabilidad .....	113
3.3.2.4.	Módulo de resiliencia .....	114

3.3.3.	Coeficientes estructurales .....	115
3.3.3.1.	Coeficiente de drenaje.....	115
3.3.3.2.	Coeficiente de capa .....	116
3.3.4.	Espesores de capa .....	118
3.3.4.1.	Número estructural .....	119
3.3.4.2.	Cálculo de los espesores.....	122
3.4.	Estudio de impacto ambiental.....	125
3.4.1.	Metodología .....	125
3.4.2.	Descripción del etapas del proyecto .....	125
3.4.3.	Método Matriz de Leopold.....	127
3.4.3.1.	Matriz de causa – efecto.....	127
3.4.3.2.	Matriz de valoración de impactos .....	130
3.4.3.3.	Matriz de importancia de impactos .....	133
3.4.3.4.	Cuantificación de efectos por factores del medio .....	136
3.4.3.5.	Cuantificación de efectos por etapas del proyecto .....	137
3.4.3.6.	Balance de Impactos .....	137
3.4.4.	Medidas de mitigación de los impactos sobre el medio .....	138
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>138</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>141</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>I</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 Resumen de resultados de aforo vehicular tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas.....	31
Tabla 2 Tránsito promedio diario semanal (TPDS).....	33
Tabla 3 Vector geográfico .....	35
Tabla 4 Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 119 La Trinidad - Saclaclí.....	37
Tabla 5 Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 313 Saclaclí – San Gabriel.....	38
Tabla 6 Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – diciembre de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos - Masatepe .....	39
Tabla 7 Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas.....	41
Tabla 8 Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura .....	43
Tabla 9 Histórico de TPDA, estación 313 Saclaclí – San Gabriel.....	45
Tabla 10 Histórico de población estimada.....	46
Tabla 11 Histórico de producto interno bruto (PIB).....	47
Tabla 12 Clasificación de carreteras .....	48
Tabla 13 Periodos de diseño según tipo de carretera .....	49
Tabla 14 Factor de crecimiento .....	49
Tabla 15 Factor de distribución por dirección.....	49
Tabla 16 Factor de distribución por carril .....	50
Tabla 17 Tránsito de diseño para el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas .....	51
Tabla 18 Interpolación factor ESAL.....	53
Tabla 19 ESAL de diseño.....	55
Tabla 20 Ensayos de suelo según normas AASHTO y ASTM .....	57
Tabla 21 Tamaños estándar de tamices .....	58
Tabla 22 Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo .....	59
Tabla 23 Granulometría sondeo 1, estrato 1 .....	61
Tabla 24 Granulometría sondeo 1, estrato 2 .....	62

Tabla 25 Granulometría sondeo 2, estrato 1 .....	64
Tabla 26 Granulometría sondeo 2, estrato 2 .....	65
Tabla 27 Granulometría sondeo 3, estrato 1 .....	67
Tabla 28 Granulometría sondeo 3, estrato 2 .....	68
Tabla 29 Granulometría sondeo 4, estrato 1 .....	70
Tabla 30 Granulometría sondeo 5, estrato 1 .....	71
Tabla 31 Granulometría sondeo 5, estrato 2 .....	73
Tabla 32 Granulometría sondeo 6, estrato 1 .....	74
Tabla 33 Granulometría sondeo 7, estrato 1 .....	76
Tabla 34 Granulometría sondeo 7, estrato 2 .....	77
Tabla 35 Granulometría sondeo 8, estrato 1 .....	79
Tabla 36 Granulometría sondeo 9, estrato 1 .....	80
Tabla 37 Granulometría sondeo 10, estrato 1 .....	82
Tabla 38 Granulometría sondeo 10, estrato 2 .....	83
Tabla 39 Granulometría sondeo 11, estrato 1 .....	85
Tabla 40 Granulometría sondeo 12, estrato 1 .....	86
Tabla 41 Granulometría sondeo 12, estrato 2 .....	88
Tabla 42 Resumen de resultados de enayos de cada uno de los sondeos manuales.....	89
Tabla 43 Clasificación de CBR.....	93
Tabla 44 Granulometría Banco de Material 1 .....	98
Tabla 45 Granulometría para ensayo próctor estándar .....	99
Tabla 46 Método de prueba.....	99
Tabla 47 Grados de humedad .....	99
Tabla 48 Densidades.....	100
Tabla 49 Humedad óptima y densidad máxima.....	100
Tabla 50 Granulometría Banco de Material 2 .....	101
Tabla 51 Granulometría para ensayo próctor estándar .....	102
Tabla 52 Método de prueba.....	103
Tabla 53 Grados de humedad .....	103
Tabla 54 Densidades.....	103

Tabla 55 Humedad óptima y densidad máxima.....	104
Tabla 56 Resumen de resultados de ensayos realizados a los bancos de materiales .....	105
Tabla 57 Especificaciones de los materiales para base y subbase granulae...	106
Tabla 58 Evaluación de los bancos de materiales.....	106
Tabla 59 Especificaciones de terraplén y subrasante .....	107
Tabla 60 Percentil de diseño para subrasante .....	108
Tabla 61 CBR subrasante .....	109
Tabla 62 Selección de CBR de diseño para la subrasante .....	110
Tabla 63 Niveles de confiabilidad.....	112
Tabla 64 Desviación normal estándar, Zr.....	112
Tabla 65 Desviación estándar .....	113
Tabla 66 Serviciabilidad inicial.....	113
Tabla 67 Serviciabilidad final .....	114
Tabla 68 Coeficiente de drenaje de la capa .....	115
Tabla 69 Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje.....	115
Tabla 70 Parámetros para la determinación de los números estructurales.....	119
Tabla 71 Espesores mínimos sugeridos de carpeta asfáltica y base granular .	123
Tabla 72 Espesores de pavimento articulado.....	124
Tabla 73 Matriz de causa efecto (impacto).....	128
Tabla 74 Valores de los atributos de impactos para realizar la evaluación cualitativa .....	130
Tabla 75 Matriz para la valoración de impactos .....	132
Tabla 76 Matriz de importancia de impactos .....	134
Tabla 77 Efectos por factores del medio .....	136
Tabla 78 Efectos por etapas del proyecto .....	137
Tabla 79 Medidas de mitigación contra el impacto ambiental negativo.....	139
Tabla 80 Formato para aforo vehicular.....	III
Tabla 81 Aforo vehicular día lunes (conteo 1) .....	IV
Tabla 82 Aforo vehicular día martes (conteo 2).....	V
Tabla 83 Aforo vehicular día miércoles (conteo 3).....	VI

Tabla 84 Aforo vehicular día jueves (conteo 4).....	VII
Tabla 85 Aforo vehicular día viernes (conteo 5) .....	VIII
Tabla 86 Aforo vehicular día sábado (conteo 6) .....	IX
Tabla 87 Aforo vehicular día domingo (conteo 7) .....	X
Tabla 88 Estación de mayor cobertura San Marcos - Masatepe.....	XII
Tabla 89 Registro histórico de TPDA para ECS Saclaclí – San Gabriel.....	XIII
Tabla 90 Peso por eje para vehículos livianos .....	XIV
Tabla 91 Factor de equivalencia eje simple, Pt=2 .....	XVI
Tabla 92 Factor de equivalencia eje tándem (doble), Pt=2 .....	XVII
Tabla 93 Clasificación del suelo por el método AASHTO.....	XIX
Tabla 94 Datos de laboratorio para granulometría SM1-SM5 .....	XXIII
Tabla 95 Datos de laboratorio para granulometría SM6-SM12 .....	XXV
Tabla 96 Datos de laboratorio para granulometría BM1-BM2.....	XXVII
Tabla 97 Datos de laboratorio para límite líquido SM1-SM5.....	XXVIII
Tabla 98 Datos de laboratorio para límite líquido SM6-SM12.....	XXIX
Tabla 99 Datos de laboratorio para límite líquido BM1-BM2.....	XXX
Tabla 100 Datos de laboratorio para límite plástico SM1-SM5.....	XXXI
Tabla 101 Datos de laboratorio para límite plástico SM6-SM12 .....	XXXII
Tabla 102 Datos de laboratorio para límite plástico BM1-BM2.....	XXXIII
Tabla 103 Coeficiente de permeabilidad, K.....	XXXV

## Índice de figuras

Figura 1 Macro localización del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas. ....	2
Figura 2 Microlocalización del Tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas. ....	3
Figura 3 Ubicación de estación de aforo del tramo La Trinidad-Comunidad Las Ánimas .....	30
Figura 4 Comportamiento vehicular del Tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas .....	32
Figura 5 Composición del TPDS .....	34
Figura 6 Composición vehicular TPDA (%) del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas .....	40
Figura 7 Composición vehicular respecto al TPDA del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas .....	42
Figura 8 Espesores mínimos para estructura de pavimento articulado .....	58
Figura 9 Ubicación de las estaciones de sondeo manual para el tramo La Trinidad- Comunidad Las Ánimas .....	60
Figura 10 Curva granulométrica sondeo 1, estrato 1.....	61
Figura 11 Curva granulométrica sondeo 1, estrato 2.....	63
Figura 12 Curva granulométrica sondeo 2, estrato 1.....	64
Figura 13 Curva granulométrica sondeo 2, estrato 2.....	66
Figura 14 Curva granulométrica sondeo 3, estrato 1.....	67
Figura 15 Curva granulométrica sondeo 3, estrato 2.....	69
Figura 16 Curva granulométrica sondeo 4, estrato 1.....	70
Figura 17 Curva granulométrica sondeo 5, estrato 1.....	72
Figura 18 Curva granulométrica sondeo 5, estrato 2.....	73
Figura 19 Curva granulométrica sondeo 6, estrato 1.....	75
Figura 20 Curva granulométrica sondeo 7, estrato 1.....	76
Figura 21 Curva granulométrica sondeo 7, estrato 2.....	78
Figura 22 Curva granulométrica sondeo 8, estrato 1.....	79
Figura 23 Curva granulométrica sondeo 9, estrato 1.....	81
Figura 24 Curva granulométrica sondeo 10, estrato 1.....	82
Figura 25 Curva granulométrica sondeo 10, estrato 2.....	84

Figura 26 Curva granulométrica sondeo 11, estrato 1.....	85
Figura 27 Curva granulométrica sondeo 12, estrato 1.....	87
Figura 28 Curva granulométrica sondeo 12, estrato 2.....	88
Figura 29 Estratigrafía de los suelos (SM-1, SM-6).....	95
Figura 30 Estratigrafía de los suelos (SM-7, SM-12).....	96
Figura 31 Ubicación de los bancos de materiales .....	97
Figura 32 Curva granulométrica Banco de Material 1 .....	98
Figura 33 Curva de compactación.....	100
Figura 34 Curva granulométrica Banco de Material 2 .....	102
Figura 35 Curva de compactación.....	104
Figura 36 CBR de diseño .....	110
Figura 37 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. ....	117
Figura 38 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes .....	118
Figura 39 Procedimiento para determinar el espesor.....	118
Figura 40 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN3 (subbase) .....	120
Figura 41 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN2 (base)..	121
Figura 42 Espesores de la estructura de pavimento .....	124
Figura 43 Inicio del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas. Est: 0+000 .....	I
Figura 44 Final del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas. Est: 3+700.....	I
Figura 45 Condición actual del tramo durante el verano .....	II
Figura 46 Condición actual del tramo durante el invierno.....	II
Figura 47 Realización de aforo vehicular Est: 0+200 .....	XI
Figura 48 Peso por eje para vehículos de carga .....	XV
Figura 49 Banco de material 1 Comunidad El Chagüite. Sra. Evarista Laguna .....	XVIII
Figura 50 Banco de material 2 Comunidad El Chagüite. Sr. Samuel Ortuño .	XVIII
Figura 51 Sondeo manual Est: 0+900 .....	XX
Figura 52 Recolección de muestras de los sondeos Est: 1+200 .....	XX

Figura 53 Muestras en laboratorio.....	XXI
Figura 54 Tamizado para la determinación de la granulometría .....	XXI
Figura 55 Determinación de los límites de consistencia.....	XXII
Figura 56 Realización de pruebas de compactación proctor estándar .....	XXII
Figura 57 Ensayo de CBR BM-1 .....	XXXIV
Figura 58 Ensayo de CBR BM-2 .....	XXXIV
Figura 59 Comprobación de SN3 .....	XXXVII
Figura 60 Comprobación de SN2 .....	XXXVII
Figura 61 Balance de impactos por factores del medio.....	XXXVIII
Figura 62 Balance de impactos por etapas .....	XXXVIII



# **CAPÍTULO I**

# **GENERALIDADES**

## 1.1. Introducción

La infraestructura del sistema vial es uno de los patrimonios más valiosos con que cuenta cualquier país, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicos para el desarrollo y crecimiento de una región que desea y quiere crecer en comercio interior y exterior.

El tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas está ubicado a 124.9 km de la capital, en la parte noreste del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí. Tiene una longitud de 3.7 km; abarca una población de 832 habitantes, acorde a consulta realizada a la Alcaldía Municipal de La Trinidad (2023). Sus colindantes son al norte con la comunidad La Laguna, al sur con el casco urbano de La Trinidad, al este con la comunidad El granero y al oeste con el cerro La Mokuana.

El sitio en estudio no cuenta con una estructura de pavimento adecuada para la circulación vehicular lo que genera dificultad para transportarse, afectando la producción agrícola y ganadera de los pobladores que viajan a hacer compras y ventas de los productos a los mercados, así como las personas que se trasladan hacia sus centros de trabajo en las ciudades aledañas.

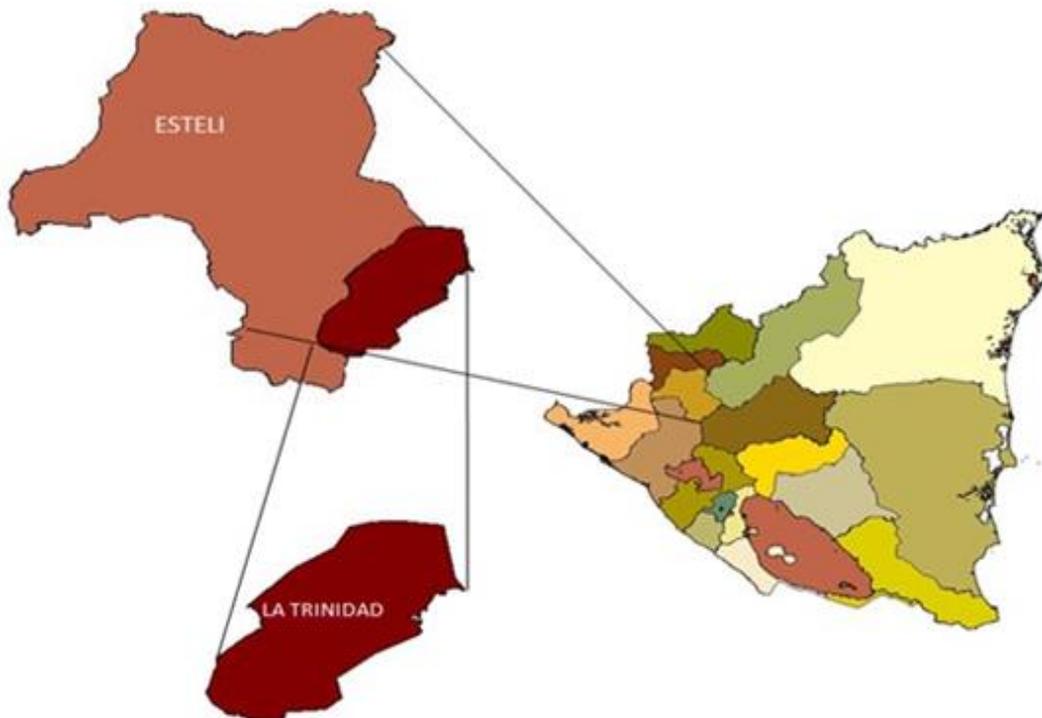
Las condiciones actuales de la carpeta de rodamiento no cumplen con las normas NIC 2019 y la metodología AASHTO – 93, provocando afectaciones en la salud de las personas que habitan a los alrededores del tramo, por el exceso de polvo generado durante la época de verano y la formación de fangos en el invierno.

Se realizó el diseño de la estructura de pavimento articulado mediante el método AASHTO – 93, por lo que fue necesario efectuar un estudio de tránsito en el tramo, aplicando los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura. De igual forma, se analizaron las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo y de los bancos de materiales acorde con el resultado obtenido en el estudio de suelos y su evaluación con los criterios de la norma NIC 2019. Además, se llevó a cabo el estudio de impacto ambiental aplicando el método de la matriz de Leopold.

### 1.1.1. Macrolocalización

El tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas, pertenece al municipio de La Trinidad, departamento de Estelí (Ver figura 1).

**Figura 1 Macro localización del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas.**

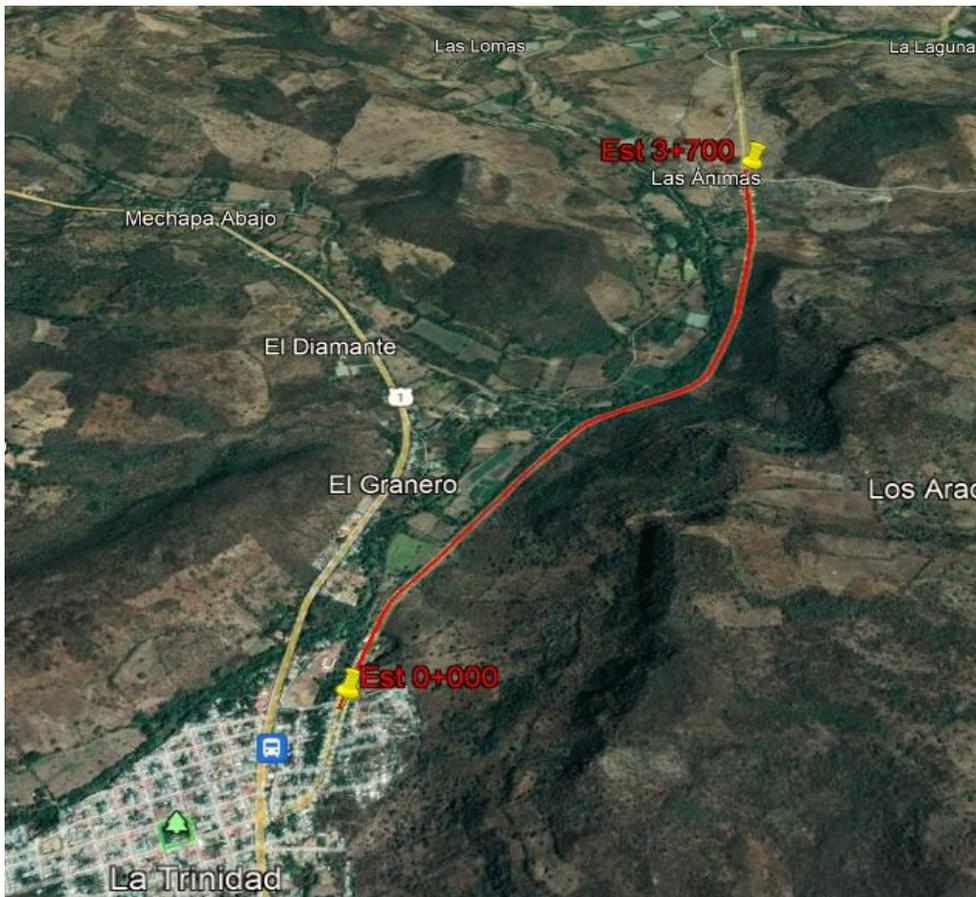


Fuente: Ordenamiento Territorial La Trinidad (Alcaldía Municipal de La Trinidad, 2013, pág. 13).

### 1.1.2. Microlocalización

El tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas está ubicado a 124.9 km de la capital, en la parte noreste del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí. Tiene una longitud de 3.7 km; inicia en las coordenadas 12°58'20.86"N, 86°13'56.58"O y finaliza en las coordenadas 13°0'2.16"N, 86°13'16.49"O.

**Figura 2 Microlocalización del Tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas.**



Fuente: Google Earth.

<https://earth.google.com/web/@12.99847661,86.21996825,604.04522109a,4314.63249855d,35y,1.00750601h,0t,0r/data=MikKJwolCiExak8yMUFBWHVDNzF1UWg5bUdVX1gwUVijNXJMNERvZHogAToDCgEw>

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar el diseño de estructura de pavimento articulado del tramo La Trinidad – comunidad Las Ánimas, aplicando el método AASHTO – 93.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ❖ Realizar el estudio de tránsito para la determinación del tráfico promedio diario anual (TPDA) y las cargas que actuarán sobre la estructura de pavimento, mediante la aplicación de la metodología establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
  
- ❖ Efectuar el estudio de suelo del tramo y de los bancos de materiales, para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo, esenciales en el diseño de la estructura de pavimento, mediante la aplicación de la norma NIC 2019.
  
- ❖ Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado, que soportarán las cargas de diseño por medio del Método AASHTO-93.
  
- ❖ Elaborar el estudio de impacto ambiental que generará el proyecto una vez que comience su ejecución, para la conservación de los recursos naturales en el entorno del tramo, mediante la aplicación del método Matriz de Leopold.

### **1.3. Justificación**

Las carreteras son una pieza clave para el crecimiento económico y social en el territorio de cualquier país. Por ello, es imprescindible que se encuentren en óptimas condiciones de circulación.

Una buena estructura de pavimento permite mejorar la accesibilidad y movilidad de la zona, facilitando el desarrollo de nuevas actividades relacionadas con el comercio y el incremento de recursos económicos.

El tramo propuesto, forma parte de la red de carreteras colectoras secundarias que conecta al municipio de La Trinidad, departamento de Estelí con la comunidad Sacaclí, departamento de Jinotega; la cual no cuenta con una estructura de pavimento adecuada.

Es importante destacar que, esta carretera es muy transitada por comerciantes, ganaderos, agricultores, estudiantes y medios de transporte intramunicipal rural, los cuales suelen ser afectados debido al mal estado de la carretera, ya que tiende a erosionarse puesto que a lo largo del camino existen pendientes muy pronunciadas, donde las escorrentías que bajan de los cerros deterioran el suelo, así como la cantidad de vehículos que circulan diariamente provocan el desgaste de la estructura de pavimento de macadán.

El estado actual del sitio provoca que los transportistas no accedan a la comunidad, causando inconformidad en los pobladores, quienes son afectados por los altos costos del pasaje del transporte y sus ganancias son reducidas, al mismo tiempo la producción muchas veces es retenida generando menos ingresos.

Por ello, surge la necesidad de diseñar la estructura de pavimento articulado con todos los parámetros requeridos, aplicando el método AASHTO – 93, que permita reducir los riesgos, proporcionar condiciones óptimas para que los usuarios puedan trasladarse y así poder satisfacer sus necesidades.

El tramo trae como propósito efectos de desarrollo no solo para los habitantes de la comunidad Las Ánimas, sino para los pobladores de sectores aledaños, el bien que se procura, es un avance económico en los diferentes ámbitos productivos de la zona, brindando un acceso con facilidad en cualquier periodo del año.

Al ejecutarse este proyecto se estará contribuyendo a crear las condiciones necesarias para garantizar un mayor desarrollo económico, facilitar la circulación vehicular y peatonal, reducción del tiempo de viaje, de igual forma embellecer la comunidad. Se beneficiará a una población directa de 832 habitantes, e indirectamente a 2300 habitantes de las comunidades aledañas, de diferentes estratos sociales, económicos y culturales.



# **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. Estudio de tránsito**

Se define como “aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte” (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018, pág. 33).

### **2.1.1. Aforo vehicular**

Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018) expresan que un aforo vehicular es aquel que tiene por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o una intersección durante un periodo de tiempo determinado; útil para conocer los volúmenes de tránsito por carril individual, la composición vehicular, la clasificación de los vehículos por tipo mediante el uso de hojas de campo, así como para tener registros de un posible incremento o disminución del flujo vehicular en años futuros. De manera que se logre consolidar un diseño de la estructura de pavimento que resista favorablemente la acción rugosa del tránsito.

### **2.1.2. Clasificación vehicular**

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (2020) establece que para el levantamiento de información en campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos, para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en cuatro categorías:

Motocicletas: Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.

Vehículos livianos: son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, jeep, camionetas y microbuses de uso personal.

Vehículos pesados de pasajeros: son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes.

Vehículos pesados de carga: son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como Agrícolas y de Construcción. (Pág. 26).

En el Anuario de Tráfico del MTI (2020), el personal de Conteos de Tráfico de la Oficina de Diagnóstico, Evaluación de Pavimentos y Puentes de la División de Administración Vial, describe los vehículos que circulan por el tramo en estudio, de la siguiente manera:

### **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.

### **Automóviles**

Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.

**Jeep**

Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4\*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.

**Camionetas**

Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que están diseñadas a trabajos de carga.

**Microbus**

Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.

**Bus**

Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.

**Liviano de carga (2-5 t)**

Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 5 toneladas o menores a ellas.

**Camión de carga C2 - C3**

Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.

**Vehículos 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. (Pág. 28).

### 2.1.3. Tránsito promedio diario anual

“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. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018, pág. 206).

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para fines de diseño, se utiliza la ecuación:

$$TPDA = \text{Tráfico Promedio Diario (12 horas)} * FD * Fs * Ft \quad \text{Ecuación 1.}$$

*Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020).*

Donde:

FD: Factor día

Fs: Factor de semana

Ft: Factor temporada

### 2.1.4. Estaciones de conteo

Las estaciones de conteo, acorde a lo que se especifica en el Anuario de Aforos de Tráfico (2020), se dividen en los siguientes:

- ❖ Estaciones de Mayor Cobertura (EMC): Son las estaciones de conteo continuos los 365 días al año con 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.

- ❖ Estaciones de Corta Duración (ECD): Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores a de 300 TPDA.
- ❖ Estación de Conteo Sumaria (ECS): Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6.00 p.m.) por tres consecutivos (martes, miércoles y jueves). (Pág. 8).

### 2.1.5. Expansión y factores de expansión

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria, se aplicarán los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de las Estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 9).

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (2020) establece los siguientes factores para el cálculo del TPDA:

- ❖ Factor Día: Corresponde expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas.

$$Factor\ Día = 1 + \frac{Tráfico\ Nocturno}{Tráfico\ Diurno} \quad Ecuación\ 2.\ Tomado\ de\ (Ministerio\ de\ Transporte\ e\ Infraestructura,\ 2020,\ pág.\ 11)$$

- ❖ Factor Semana: El factor para expandir el resultado obtenido para un período corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo).

$$Factor\ Semana = \frac{(Tlab*5+Tfs*2)}{7*Tlab} \quad Ecuación\ 3.\ Tomado\ de\ (Ministerio\ de\ Transporte\ e\ Infraestructura,\ 2020,\ pág.\ 12)$$

Donde,

Tlab= Corresponde al tráfico levantado durante la semana lunes a viernes.

Tfs= Corresponde al tráfico levantado durante el fin de semana sábado y Domingo.

- ❖ Factor fin de semana: Es el factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana.

$Factor\ fin\ de\ semana = \left( \frac{T_{lab} * 5 + T_{fs} * 2}{7 * T_{fs}} \right)$  Ecuación 4. Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 12)

- ❖ Factor de expansión: Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura. (Pág. 12).

### 2.1.6. Tasa de crecimiento

El primer paso para realizar investigaciones sobre los volúmenes de tránsito, es conocer el TPDA y sus tendencias de crecimiento, no es sino con el volumen horario crítico 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. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 14).

El método más común para la proyección del tráfico es la ecuación siguiente:

$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$  Ecuación 5. Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 14).

Donde,

TC = Tasa de crecimiento

TPDA<sub>i</sub> = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA<sub>0</sub> = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n = Diferencia de años.

Asimismo, el procedimiento para calcular las diferentes tasas de crecimiento para cada uno de los datos históricos (años continuos) es mediante la siguiente ecuación:

$TC_n = \left[ \left( \frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right]$  Ecuación 6. Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 14).

Donde,

$TC_n$  = Tasa de crecimiento que se tenga en el período de análisis.

$TPDA_n$  = Tráfico Promedio Diario del año en análisis.

$TPDA_{n-1}$  = Tráfico Promedio Diario del año anterior.

$n$  = Diferencia de años.

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

$Tf = \left[ (TC_1 * TC_2 * \dots * TC_n)^{1/n} - 1 \right]$  Ecuación 7 Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 15).

Donde,

$Tf$  = Tasa de crecimiento final

$TC_n$  = Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

$n$  = Cantidad de tasas de crecimiento

### **2.1.7. 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).

### **2.1.8. Tránsito de diseño**

Acorde con Montejo Fonseca (2002), 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, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 7. (Pág. 543).

$TD = TPDA * FC * Fds * fc * 365$ . Ecuación 8. Tomado de (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018).

Donde:

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito 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.

### **2.1.9. Factor de crecimiento (FC)**

En el capítulo tres del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, se menciona que “es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas, a su vez implica la tasa de crecimiento vehicular” (Coronado Iturbide, 2002, pág. 24). El factor de crecimiento recomendado se calcula a partir de la siguiente expresión:

$FC = \left[ \frac{(1+TC)^n - 1}{TC} \right]$  Ecuación 9. Tomado de (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002).

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

TC: Tasa de Crecimiento.

n: Período de Diseño.

### **2.1.10. Factor de distribución por dirección**

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, en el capítulo tres, expresa que el factor distribución es la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divide 50% en un sentido y 50% en el otro (Coronado Iturbide, 2002, pág. 28).

### **2.1.11. Factor de distribución por carril**

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, en el capítulo tres, define como carril de diseño a aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de 2 carriles, cualquiera de los 2 puede ser el camino de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril (Coronado Iturbide, 2002, pág. 29).

### **2.1.12. ESAL**

De acuerdo con el capítulo tres del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips, por lo que se le denominará "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL (ejes equivalentes) (Coronado Iturbide, 2002, pág. 1).

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia definidos anteriormente, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$ESAL = TD * F_{ESAL}$  Ecuación 10 Tomado de capítulo 3 (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002, pág. 27).

Donde:

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (Ejes Equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

## **2.2. 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 tierra (Das, 2015).

### **2.2.1. Propiedades físico 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, 2015).

#### **2.2.1.1. Granulometría**

Crespo Villalaz (2004), define que el análisis granulométrico es:

“La determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo” (Pág. 46).

#### **2.2.1.2. Límites de consistencia**

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 adsorbida 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, 2012, pág. 64).

Crespo Villalaz (2004), especifica:

El límite líquido viene a ser el contenido de humedad expresado en porcentos con respecto al peso seco de la muestra, con el cual esta cambia del estado líquido al plástico. Por eso, la resistencia al esfuerzo de corte en

estos suelos plásticos es muy pequeña, donde según Atterberg es de 25 g/cm<sup>2</sup>. Es así que la cohesión de un suelo en límite líquido es nula.

$$LL = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 11. Tomado de (Das, 2015)}$$

LL: límite líquido en %

P<sub>h</sub>: peso de la muestra húmeda (gr)

P<sub>s</sub>: peso de la muestra seca (gr)

P<sub>w</sub>: contenido de agua en la muestra (gr)

Crespo Villalaz (2004) define límite plástico como:

El contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, pero está secada en horno, donde los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 12. Tomado de (Das, 2015)}$$

LP: humedad correspondiente al límite plástico en %

P<sub>h</sub>: peso de los trocitos de filamentos húmedos (gr)

P<sub>s</sub>: peso de los trocitos de filamentos secos (gr)

P<sub>w</sub>: peso del agua contenida en los filamentos (gr)

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.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación 13. Tomado de (Das, 2015)}$$

Por otro lado, el Índice de liquidez, es definido por Das (2015)

En los suelos plásticos, el índice de liquidez es indicativo de la historia de los esfuerzos a que se ha sometido el suelo. Si el valor de IL es cercano a cero, se considera el suelo pre consolidado y si es cercano a uno es considerado como normalmente consolidado.

$$IL = \frac{w-LP}{IP} \quad \text{Ecuación 14. Tomado de (Das, 2015)}$$

### **2.2.2. Clasificación del suelo**

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.

Braja M. Das, (2012) presenta el sistema de clasificación de suelos AASHTO:

#### **2.2.2.1. Clasificación AASHTO**

Este método clasifica los suelos, de acuerdo a 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:

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad \text{Ecuación 15. Tomado de (Das, 2012).}$$

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:

$$IG = 0.01(F_{200} - 15) (IP - 10) \text{ Ecuación 16. Tomado de (Das, 2012)}$$

### **2.2.2.2. Clasificación SUCS**

Según Das (2015), este sistema de clasificación fue presentado por Arthur Casagrande en 1948, para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. Su clasificación divide al suelo en dos grandes categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz número 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava y S para la arena o suelo arenoso.
2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz número 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos (Pág. 82).

### **2.2.3. 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 (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 575).

#### **2.2.3.1. Pruebas de compactación**

##### **2.2.3.1.1. Prueba proctor estándar**

Según Das (2015), en la prueba Proctor, el suelo se compacta en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>. El diámetro del molde es 101.6 mm. Durante la prueba de laboratorio el molde se une a una placa de base en la parte inferior y a una extensión en la parte superior. El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego es compactado en tres capas iguales por un martillo que entrega

25 golpes a cada capa. El martillo pesa 24.4 N (masa < 2.5 kg) y tiene una caída de 304.8 mm.

#### *2.2.3.1.2. Prueba proctor modificada*

Das (2015) explica que, con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, la prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor modificada (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180).

Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (masa 4.536 kg) y tiene una caída de 457.2 mm. El número de golpes de martillo para cada capa se mantiene en 25, como en el caso de la prueba Proctor estándar.

#### **2.2.4. 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 (Crespo 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 (AASHTO-93, 2001).

### **2.3. 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).

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

#### **2.3.1. Pavimento articulado**

Un pavimento articulado es aquel que está compuesto por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí (Fonseca, 2002, pág. 7).

##### **2.3.1.1. Elementos de la estructura de pavimento articulado**

Sub Rasante: 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).

Sub Base: 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 (AASHTO-93, 2001, pág. 111).

Capa de Arena: Se usarán arenas naturales de río, arenas volcánicas o minerales, debiendo estar libres de arcillas, materia orgánica o cualquier otro material que

podiera interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie (Cordo, 2006).

Adoquines: Son elementos construidos de material pétreo y cemento colocados sobre una capa de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, su función primordial es absorber las irregularidades que pudiera tener la base proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado (Fonseca, 2002).

Sello de Arena: Los adoquines se colocarán directamente sobre la arena, de manera que la junta entre ellos no exceda los 5 milímetros. La arena de sello entre juntas de adoquines puede ser, de la misma usada para su lecho, cribada por el tamiz N° 8 (Cordo, 2006).

### 2.3.2. 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) (AASHTO-93, 2001, pág. 169). La ecuación de este método de diseño es:

$$\log_{10} Wt_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{1094} \right)}{(SN+1)^{5.79}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \quad \text{Ecuación 17.}$$

Tomado de (AASHTO-93, 2001)

Dónde:

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

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

So: Desvío estándar de todas las variables.

$\Delta$ PSI: Pérdida de serviciabilidad.

MR: Módulo resiliente de la subrasante.

### **2.3.3. Principales variables de diseño**

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

#### **2.3.3.1. 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 (AASTHO-93, 2001, pág. 131).

#### **2.3.3.2. 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 " (AASTHO-93, 2001, pág. 122).

#### **2.3.3.3. 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 AASTHO-93 (2001), el diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial ( $P_0$ ) y el índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ), para la vida útil o de diseño del pavimento.

El índice de serviciabilidad inicial ( $P_0$ ) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. El índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ), 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.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{Ecuación 18. Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

#### **2.3.3.4. 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 (AASHTO-93, 2001).

#### **2.3.3.5. Coeficiente de drenaje**

Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo (AASHTO-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.

#### **2.3.3.6. Coeficiente de capa**

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente ( $a_n$ ), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos permiten convertir los espesores reales a números estructurales (AASHTO-93, 2001).

#### **2.3.3.7. Número 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:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \text{Ecuación 19. Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

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

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

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

## **2.4. Estudio de impacto ambiental**

### **2.4.1. Definición**

Dellavedova (2016), define un estudio de impacto ambiental como el proceso de análisis para identificar relaciones causa-efecto, predecir cuanti-cualitativamente, valorar, interpretar y prevenir los efectos de acciones provenientes de la ejecución de un proyecto. Es de carácter multidisciplinario y está basado en procedimientos jurídicos administrativos, con el objeto de mejorar la toma de decisiones en los proyectos, programas o políticas, tanto en el campo ambiental como en lo socialmente sostenible. En síntesis, es una herramienta de gestión para la protección del medio ambiente.

Asimismo, el Decreto No. 20-2017, establece que un estudio de impacto ambiental es un conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales de un proyecto y sus alternativas, presentado en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por las normas vigentes, cuya elaboración estará a cargo de un equipo interdisciplinario (2017, art. 4).

### **2.4.2. Legislación vigente**

Las normas para la conservación, protección, mejora y restauración del medio ambiente y los recursos naturales que lo integran asegurando su uso racional y sostenible, se encuentran establecidas en la Ley No 217 “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales” (1996, art. 1). Esta ley tiene como objetivo la prevención, regulación y control de cualquiera de las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y los ecosistemas (1996, art. 3).

Asimismo, en la Ley No 647 “Ley de reformas y adiciones a la ley No 217”, se mandata que “El sistema de evaluación ambiental será administrado por el Ministerio del Ambiente y de los recursos naturales en coordinación con las instituciones que correspondan” (2008, art. 25).

Esto implica que los proyectos, obras, industrias o cualquier otra actividad que, por sus características, pueden producir deterioro al ambiente y/o los recursos

naturales, deberán obtener, previo a su ejecución, el permiso ambiental otorgado por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) (Ley N°. 647, 2008, art. 27).

Por último, El Decreto Ejecutivo No. 20-2017, establece el Sistema de Evaluación Ambiental con las disposiciones administrativas que regulan los permisos, autorizaciones, constancias y avales que emite el MARENA para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales (2017, art. 1).

En el capítulo V “Evaluación Ambiental de Proyectos”, cita que los proyectos que pueden causar impactos ambientales moderados y están sujetos a una valoración ambiental son aquellas modificaciones al trazado de carreteras, autopistas, y vías suburbanas preexistentes, medido en una longitud continua de menos de 10 km y nuevas vías intermunicipales cuya longitud sea menor de diez kilómetros, lo cual es aplicable al tramo en estudio (2017, art. 16).

#### **2.4.3. Medidas de mitigación ambiental**

Conjunto de acciones que se establecen en el estudio de impacto ambiental y en los Programas de Gestión Ambiental destinada a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos negativos ocasionados por la ejecución de un proyecto, obra, industria o actividad (La Gaceta, Diario Oficial N°. 228, 2017, pág. 4).

#### **2.4.4. Matriz de Leopold**

Dellavedova (2016) expresa que la matriz de Leopold es un método diseñado para la evaluación de impactos asociados con casi cualquier tipo de proyecto, el cual consiste en un cuadro de doble entrada en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados según la categoría (ambiente físico-biológico, socioeconómico) y como columnas las acciones propuestas que tienen lugar y que pueden causar posibles impactos. Su utilidad principal es incorporar información cualitativa sobre relaciones causa y efecto.

Cada celda (producto de la intersección de filas y columnas) se divide en diagonal, haciendo constar en la parte superior la magnitud del impacto (M) y en la parte inferior la intensidad o grado de incidencia del impacto (I).

Según sea la valoración para M: Magnitud del Impacto medido en una escala ascendente de 1 a 10, precedido del signo más (+) o menos (-), si el impacto es positivo o negativo respectivamente.

Según sea la valoración para I: Incidencia del Impacto medido en una escala ascendente de 1 a 10.

La suma de los valores que arrojen las filas indicará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental, mientras que la suma de los valores de las columnas, arrojará una valoración relativa del efecto que cada acción producirá al medio (Dellavedova, 2016).



# **CAPÍTULO III ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.1. Estudio de tránsito**

Los análisis de tránsito juegan un papel vital 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 la que presenta mayores problemas para su estimación y ajuste a las exigencias futuras de una vía.

En este acápite, se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito realizado en el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas mediante la aplicación de la metodología establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Es importante mencionar, que este trabajo monográfico 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 89, pág. XIII).

#### **3.1.1. Metodología**

Para este estudio se tomó en consideración la metodología recomendada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual se detalla a continuación:

- Selección de un punto de aforo sobre el tramo en estudio, para registrar la cantidad de vehículos que circulan, durante siete días (lunes a domingo), por doce horas de conteo.
- Procesar datos del aforo en Microsoft Excel para la determinación del tránsito promedio diario semanal (TPDS).
- 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.

- Identificar la estación de mayor cobertura a la cual pertenece la estación seleccionada.
- 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.
- Determinación de la tasa de crecimiento con la cual se diseñará la estructura de pavimento articulado, tomando en consideración los históricos del TPDA de la estación seleccionada. Además, de los datos históricos del producto interno bruto (PIB) y población (POB).
- Calcular el ESAL de diseño de la estructura de pavimento, considerando los pesos por ejes de carga.

### **3.1.2. Aforo vehicular**

Para determinar la cantidad de vehículos y composición del tránsito actual que circula por el tramo, fue necesario realizar un aforo vehicular en la estación 0+200, la cual fue seleccionada en función de las características geométricas de la infraestructura vial (tramo de carretera recto y plano) que permite obtener una mejor visibilidad con respecto al movimiento de los vehículos (ver figura 3, pág. 30). Este se llevó a cabo durante siete días, del lunes 18 al domingo 24 de septiembre del año 2023, con un periodo de tiempo de doce horas diarias, (6:00 am a 6:00 pm). Dicho conteo se realizó en ambos sentidos de la vía utilizando el formato de aforo proporcionado por el anuario estadístico del MTI (2020). (Ver anexos, tabla 80, pág. III).

**Figura 3 Ubicación de estación de aforo del tramo La Trinidad-Comunidad Las Ánimas**



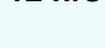
Fuente: Google Earth.

<https://earth.google.com/web/@12.98216637,86.23747638,660.54521603a,5769.5237861d,35y,20.95971609h,46.95232366t,0r/data=MikKJwoICiExak8yMUFBWHVDNzF1UWg5bUdVX1gwUVIjNXJMNERvZHogAToDCgEw>

Los resultados del aforo vehicular realizado en el tramo en estudio, se han resumido en la tabla 1 (ver pág. 31). Los datos por día de aforo se muestran en las tablas 81-87 (Ver anexos, págs. IV-X).

Tabla 1

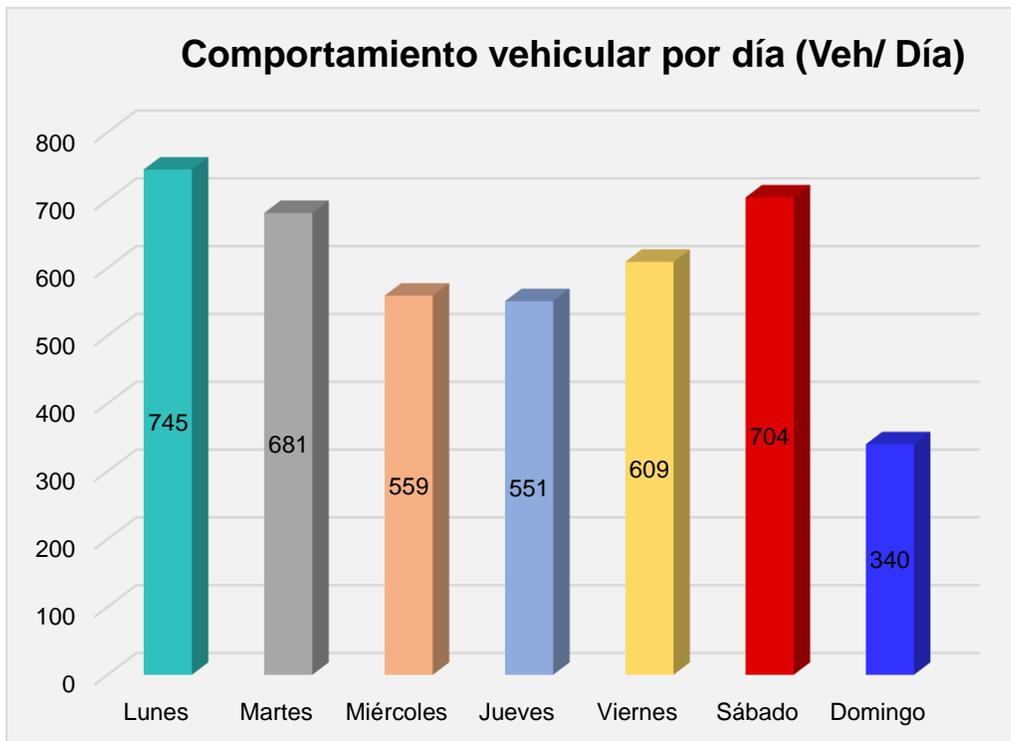
Resumen de resultados de aforo vehicular tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas												Est: 0+200	
Sentido: Ambos Sentidos												Fecha: 18/09/23 - 24/09/23	
Fecha	Día	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado	Total Veh 12 hrs	
		Motos	Autos	Jeep	Camio-neta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh. Const		
													
18/9/23	Lunes	497	22	11	159	5	6	21	17	7	0	745	
19/9/23	Martes	478	19	3	126	5	4	27	13	6	0	681	
20/9/23	Miércoles	384	25	3	105	6	6	14	14	2	0	559	
21/9/23	Jueves	399	19	4	94	5	6	13	8	2	1	551	
22/9/23	Viernes	422	12	9	127	5	6	12	12	4	0	609	
23/9/23	Sábado	493	17	3	144	0	6	27	12	2	0	704	
24/9/23	Domingo	253	5	0	75	0	0	4	2	1	0	340	
<b>Total/ Veh.</b>		2926	119	33	830	26	34	118	78	24	1	4189	
<b>Total</b>		3934						255				4189	
<b>Veh / 12 hrs (%)</b>		69.85%	2.84%	0.79%	19.81%	0.62%	0.81%	2.82%	1.86%	0.57%	0.02%	100%	
		<b>% Vehículos livianos</b>				<b>93.91%</b>		<b>% Vehículos Pesados</b>			<b>6.09%</b>		<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el comportamiento vehicular por día de aforo, en la figura 4. Se observa que los días lunes y sábado son los que presentan mayor volumen de tránsito y que los días domingo circula menor cantidad de vehículos.

**Figura 4 Comportamiento vehicular del Tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana dividido entre los 7 días que contiene la semana.

En la tabla 2, se muestra el cálculo del tránsito promedio diario semanal (TPDS), a manera de ejemplo, se muestra el cálculo del TPDS para las camionetas:

$$TPDS = \frac{159 + 126 + 105 + 94 + 127 + 144 + 75}{7} = 119 \text{ veh/día}$$

Tabla 2

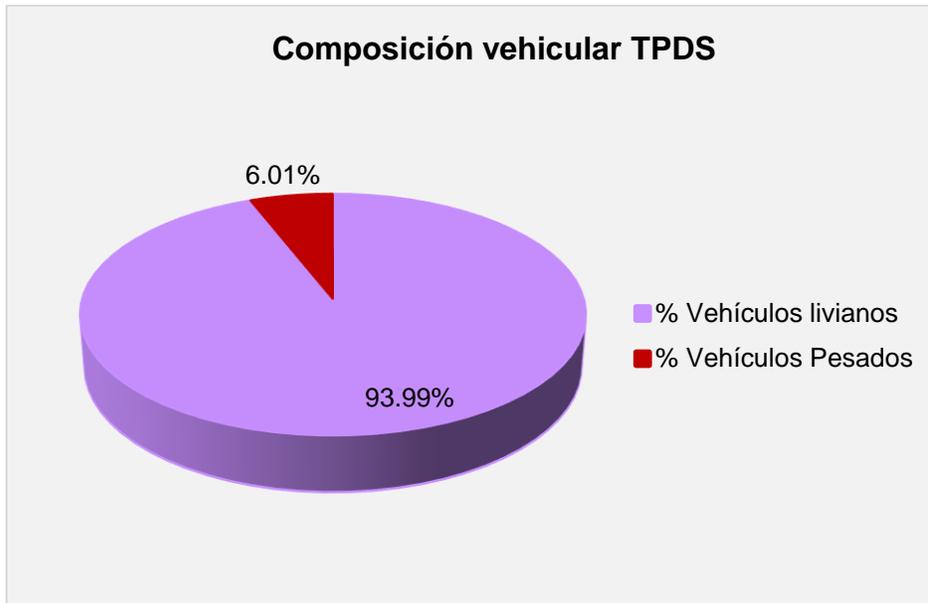
*Tránsito promedio diario semanal (TPDS)*

	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado	Total
	Motos	Auto	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh. Const	
<b>TPDS</b>	418	17	5	119	4	5	17	11	3	0	599
<b>TOTAL</b>	563						36				599
<b>%</b>	69.78%	2.84%	0.8%	19.87%	0.67%	0.83%	2.84%	1.84%	0.50%	0.00%	100%
	93.99%						6.01%				100%
	<b>% Vehículos livianos</b>						<b>% Vehículos Pesados</b>				

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, se muestra el comportamiento del tránsito promedio diario semanal (TPDS), por clasificación vehicular:

**Figura 5 Composición del TPDS**



Fuente: Elaboración propia

### **3.1.4. 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 carretera proyectada.

#### **3.1.4.1. 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 3, se muestra la clasificación del vector geográfico para el tramo en estudio La Trinidad – Comunidad Las Ánimas, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Estelí.

Tabla 3

*Vector geográfico*

REGIONES POR CÓDIGO Y DEPARTAMENTO				
N°1	Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
1	R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
<b>3</b>	<b>R3</b>	<b>CN</b>	<b>Central Norte</b>	<b>Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales</b>
4	R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
5	R5	AN	Atlántico Norte	Región Autónoma 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 V2, ya que en el conteo vehicular se muestra que la cantidad de vehículos se encuentra en el intervalo de 300 a 5,000 vehículos por día (ver tabla 7, pág. 41).

#### **3.1.4.2. 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 119 La Trinidad – Sacaclí, ya que, se encuentra en el tramo en estudio.

Sin embargo, los porcentajes de composición vehicular de esta estación corresponden al 100% de vehículos livianos, los cuales no son similares a los obtenidos en el aforo que se muestra en la figura 5 (Pág. 34), por lo que, se seleccionó la estación 313 Sacaclí – San Gabriel que es continuación del tramo La Trinidad – Sacaclí, debido a que presenta un 94% de vehículos livianos y 6% de vehículos pesados (ver tablas 4 y 5, págs. 37-38).

Es preciso señalar que la estación 313 Sacaclí – San Gabriel, no solo es similar en la composición vehicular, sino que también presenta las mismas características económicas y sociales del tramo en estudio La Trinidad – Comunidad Las Ánimas, además tanto la estación 119 como la 313 se clasifican como estación de conteo sumaria y pertenecen a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe (ver anexos, tabla 88, pág. XII).

Tabla 4

Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 119 La Trinidad - Sacacolí

N°	Código NIC	Est.	Tipo	Tramo	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Mc bus	Min bus	Bus	Liv 2-5 t	C2 5+ t	C3	tx-sx<=4e	tx-sx>=5e	cx-rx<= 4e	cx-rx >= 5e	V.A	V.C	otros	TPDA				
<b>364</b>	NN-46	119	ECS	La Trinidad - Sacacolí	2019	20			11															<b>31</b>			
					2015	126	10	4	106	7	7		9	7	6							1				<b>283</b>	
					2008	65	8	5	88				6	13	17	3										1	<b>206</b>
					2002	6	10	5	32	1	1		8	1	2												<b>66</b>
					2000	13	7	5	51						8	7	6							1		1	<b>98</b>
					<b>EMC: 1802</b>																						
<b>Tasa Crecimiento: 6.74%</b>																											
					2020	21			12														<b>33</b>				
						<b>Liv. 33</b>						<b>Pesado</b>															
						100%																					

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 240).

Tabla 5

Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 313 Sacaclí – San Gabriel

N°	Código NIC	Est.	Tipo	Tramo	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Mc bus	Min bus	Bus	Liv 2-5 t	C2 5+ t	C3	Tx-sx<=4e	tx-sx>=5e	CX-rx<= 4e	CX-rx >= 5e	V.A	V.C	otros	TPDA			
<b>365</b>	NN-46	313	ECS	Sacaclí - San Gabriel	2015	90	1	1	14			3	5	1										115		
					2011	57		2	22			6	3	4												94
					2008	28	3	1	32			9	2	5												80
					2002	10	4	8	19	0		7	3	4												65
<b>EMC: 1802</b>																										
<b>Tasa Crecimiento: 6.74%</b>					2020	125	1	1	19			4	7	1										159		
					<b>Liv. 150</b>						<b>Pesado 9</b>															
					94%						6%															

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 240).

### 3.1.4.3. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), fue calculado utilizando la ecuación 1 (ver pág. 10), 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 6, se muestran los factores utilizados para realizar la expansión de TPDS a TPDA. Debido a que el aforo vehicular se realizó en la tercera semana el mes de septiembre, los valores correspondientes pertenecen al tercer cuatrimestre del año (conteo 3).

Tabla 6

*Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe.*

Factores	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado
	Motos	Auto	Jeep	Cam	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh. Const
										
<b>Factor Día</b>	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.43	1.23	1.31	1.18	1
<b>Factor Semana</b>	0.94	1.03	1.08	1.01	0.95	0.9	0.9	0.86	0.89	1
<b>Factor fin de semana</b>	1.19	0.93	0.84	0.97	1.17	1.37	1.36	1.74	1.46	1
<b>Factor Expansión TPDA</b>	0.87	0.89	0.83	0.9	0.84	0.87	0.91	0.95	0.82	1

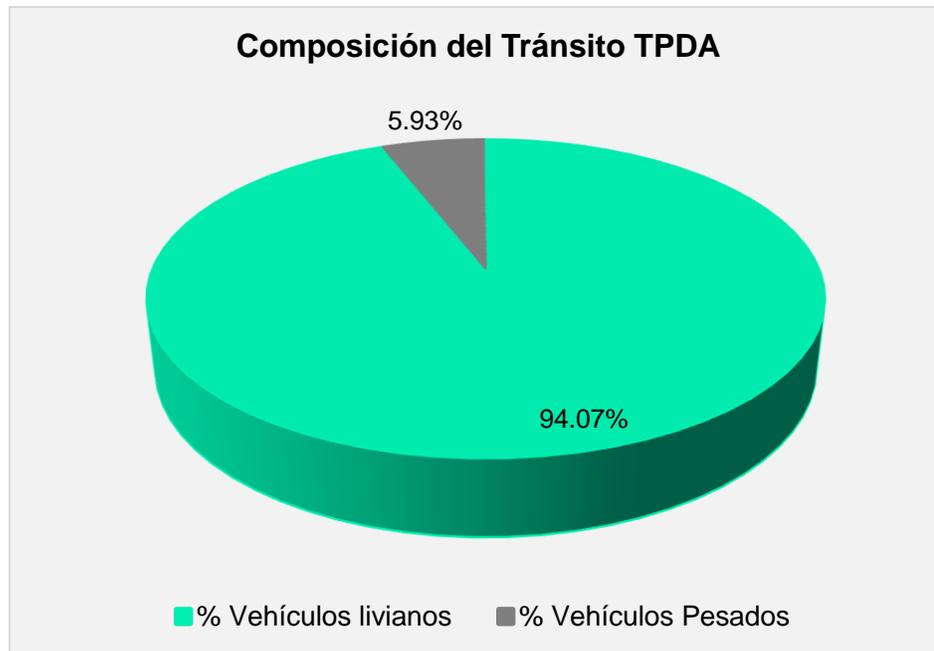
Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 385).

Los resultados obtenidos de expansión del TPDS A TPDA por cada vehículo se muestran en la tabla 7 (ver pág. 41), expresando un valor general de TPDA de 708 vpd (vehículos por día).

Con los resultados obtenidos en la tabla 7, se determinó de forma porcentual la composición vehicular, la cual se compone de la siguiente manera: de los 708 vpd,

el 94.07% corresponde a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, micro bus) y el 5.93%, representa los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3, vehículo de construcción), observe figura 6.

**Figura 6 Composición vehicular TPDA (%) del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas**



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 conteo sumaria 313 Sacaclí – San Gabriel, ya que presenta un 94% de vehículos livianos y 6% de vehículos pesados (ver tabla 5, pág. 38).

Tabla 7

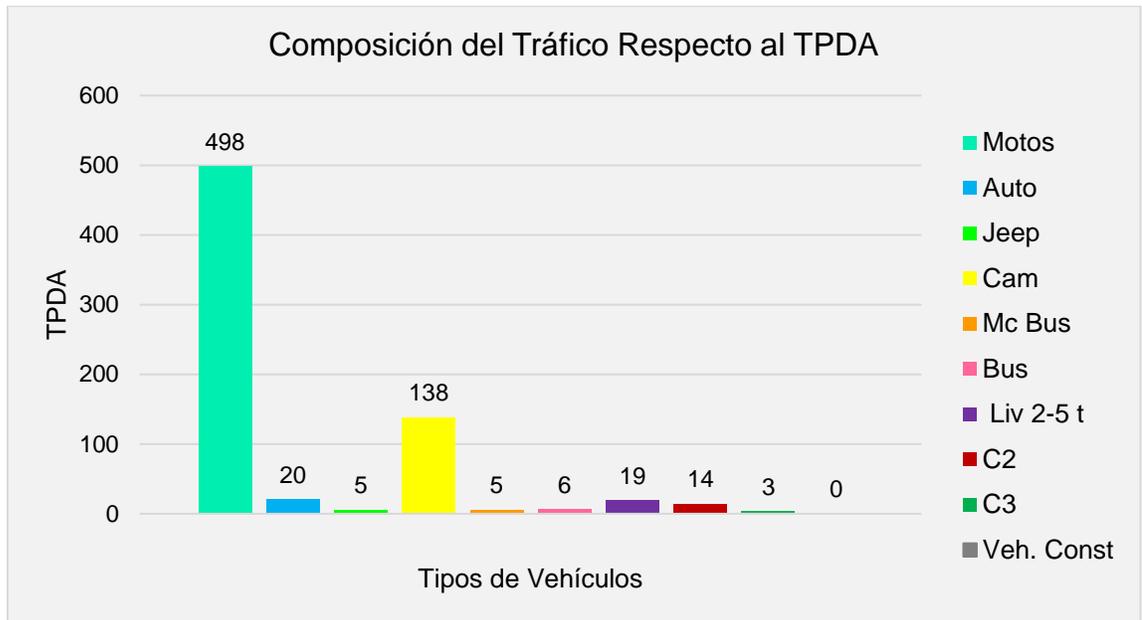
Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas

Ubicación: Est.0+200		Ambos Sentidos					EMC: 1802 - San Marcos - Masatepe				
Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas							ECS: 313 Sacaclí – San Gabriel				
	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado	Total Veh 12 hrs
	Motos	Auto	Jeep	Cam	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh. Const	
											
<b>TPDS</b>	418	17	5	119	4	5	17	11	3	0	599
<b>Factor día</b>	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.43	1.23	1.31	1.18	1	
<b>Factor Expansión</b>	0.87	0.89	0.83	0.9	0.84	0.87	0.91	0.95	0.82	1	
<b>TPDA</b>	498	20	5	138	5	6	19	14	3	0	708
<b>% TPDA</b>	70.34%	2.82%	0.71%	19.49%	0.71%	0.85%	2.68%	1.98%	0.42%	0.00%	100%
<b>TOTAL</b>	666						42				
	94.07%						5.93%				100%
	<b>% Vehículos livianos</b>						<b>% Vehículos Pesados</b>				

Fuente: Elaboración propia

La figura 7, refleja que la mayor incidencia que presenta la proyección del TPDA, son las motocicletas, con una cantidad de 498, seguido por las camionetas con 138, en tercer lugar, se encuentran los autos con 20, 19 que corresponden a los livianos de carga (2-5 ton) y, por último, están los camiones C2 con 14.

**Figura 7 Composición vehicular respecto al TPDA del tramo La Trinidad - Comunidad Las Ánimas**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se puede observar que existe una leve variación en los porcentajes de vehículos livianos y pesados del TPDA de la estación de mayor cobertura 1802, San Marcos Masatepe, dado que presenta un 91.1% de vehículos livianos y 8.8% de vehículos pesados en comparación con el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas cuyos porcentajes son de 94.07% para vehículos livianos y 5.93% para vehículos pesados (ver pág. 43).

Tabla 8

Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura

Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura								
N°	Est.	Nombre de Tramo	TPDA	Total Pesado	$\Sigma$ Tx-Sx y Cx-Rx	% de liviano	% de pesado	% Tx-Sx y Cx-Rx veh de carga
1	101B	Zona Franca - La Garita	24,523	5,291	956	78.3%	21.6%	18.1%
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,585	2,614	934	75.0%	24.7%	35.7%
3	200	Entrada INCAE - El Crucero	9,403	1,183	283	87.3%	12.6%	23.9%
<b>4</b>	<b>1802</b>	<b>San Marcos - Masatepe</b>	<b>9,392</b>	<b>830</b>	<b>69</b>	<b>91.1%</b>	<b>8.8%</b>	<b>8.3%</b>
5	401	Masaya - Granada	8,882	1,074	69	87.8%	12.1%	6.4%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	1,797	463	77.0%	22.8%	25.8%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	1,459	200	76.5%	23.3%	13.7%
8	2803	Nagarote-La Paz Centro	6,058	2,227	1,106	62.8%	36.8%	49.7%
9	2404	Chinandega - Corinto	5,471	1,754	1,110	67.7%	32.1%	63.3%
10	2400	Chinandega (Rotonda) - Ranchería	4,019	686	166	81.1%	17.1%	24.2%
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2,024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 13).

### 3.1.5. Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento vehicular es un parámetro el cual depende no sólo de los registros estadísticos que se hayan obtenido de los conteos vehiculares, sino también de otros factores tales como el crecimiento de la población en la zona (POB) y las condiciones socioeconómicas, es decir, el producto interno bruto (PIB).

Para la realización de proyecciones de crecimiento del tránsito se analizaron diferentes tasas de crecimiento, donde se utilizó la ecuación 5 para TPDA (ver pág. 12) y la ecuación 6 y 7 para POB y PIB (ver pág. 13).

#### 3.1.5.1. Tasa de crecimiento vehicular

Es preciso señalar que para calcular la tasa de crecimiento se seleccionaron valores de los registros históricos de conteos vehiculares de la estación con mayor similitud en porcentaje de composición vehicular y características socioeconómicas al tramo en estudio (La Trinidad – Comunidad Las Ánimas), la cual es la Estación de Conteo Sumaria 313 Sacaclí – San Gabriel, dicho registro histórico, se presenta en la versión del anuario estadístico del MTI (2020). (Ver tabla 5, pág. 38).

A manera de ejemplo, utilizando la ecuación 5, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento para el periodo 2002-2008:

$$TC = \left[ \left[ \left( \frac{80}{65} \right)^{1/(2008-2002)} \right] - 1 \right] * 100$$

$$TC = 3.52\%$$

Los resultados se muestran en la tabla 9, determinándose una tasa de crecimiento final de TPDA histórico de 5.23%, correspondiente al promedio de las tasas en estudio, importante mencionar que no se descartaron ninguno de los datos históricos.

Tabla 9

*Histórico de TPDA, estación 313 Sacacolí – San Gabriel*

Año	TPDA	Tasa de crecimiento
2002	65	
2008	80	3.52
2011	94	5.52
2015	115	5.17
2020	159	6.69
<b>TF =</b>		<b>5.23</b>

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 240)

### **3.1.5.2. Tasa de crecimiento poblacional**

El Instituto nacional de información de desarrollo (INIDE), realiza publicaciones de anuarios estadísticos, en los que presentan información de los principales sectores del país. En este caso, se seleccionaron los históricos de población desde el año 2000 hasta el 2022. A continuación, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, utilizando la ecuación 6:

$$TC = \left[ \left[ \left( \frac{5,058,643}{4,956,964} \right)^{1/(2001-2000)} \right] \right]$$

$$TC = 1.02\%$$

Asimismo, con la obtención de la serie de tasas de un año con otro, se procede al cálculo de la tasa de crecimiento final aplicando la ecuación 7 (ver pág. 13):

$$Tf = \left[ (1.02 * 1.02 * 1.02 * 1.02 * 1.02 * 1.01 * 1.01 * \dots)^{1/22} - 1 \right] * 100$$

$$Tf = 1.40\%$$

Los resultados se muestran en la tabla 10, obteniéndose una tasa de crecimiento poblacional final de 1.40%. En este análisis no se descartó ninguna tasa de crecimiento.

Tabla 10

*Histórico de población estimada*

<b>Año</b>	<b>POB</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
2000	4,956,964	
2001	5,058,643	1.02
2002	5,162,275	1.02
2003	5,267,714	1.02
2004	5,374,820	1.02
2005	5,483,447	1.02
2006	5,522,606	1.01
2007	5,595,541	1.01
2008	5,668,876	1.01
2009	5,742,310	1.01
2010	5,815,524	1.01
2011	5,996,619	1.03
2012	6,071,045	1.01
2013	6,134,270	1.01
2014	6,198,154	1.01
2015	6,262,703	1.01
2016	6,327,927	1.01
2017	6,393,824	1.01
2018	6,460,411	1.01
2019	6,527,691	1.01
2020	6,595,674	1.01
2021	6,664,364	1.01
2022	6,733,763	1.01
<b>TF =</b>		<b>1.40</b>

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

### **3.1.5.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)**

El Banco Central de Nicaragua a través del anuario de estadísticas macroeconómicas 2022, presenta valores históricos del producto interno bruto con enfoque en la producción. En este caso, se seleccionaron los históricos de producto interno bruto (PIB) desde el año 2006 hasta el 2022.

A continuación, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento del PIB, utilizando la ecuación 6:

$$TC = \left[ \left( \frac{124,870.3}{118,837.7} \right)^{1/(2007-2006)} \right] = 1.05\%$$

Asimismo, con la obtención de la serie de tasas de un año con otro, se procede al cálculo de la tasa de crecimiento final aplicando la ecuación 7 (ver pág. 13):

$$Tf = \left[ (1.05 * 1.03 * 1.04 * 1.06 * 1.06 * 1.05 * \dots)^{1/12} - 1 \right] * 100 = 5.28\%$$

Los resultados se muestran en la tabla 11, obteniéndose una tasa de crecimiento final para PIB de 5.28%, descartando las tasas que representaban decrecimiento.

Tabla 11

*Histórico de producto interno bruto (PIB)*

<b>Año</b>	<b>PIB</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
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	171,577.6	0.98
2021	189,331.1	1.10
2022	196,432.5	1.04
<b>TF =</b>		<b>5.28</b>

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (Banco Central de Nicaragua, 2022, págs. 10-11).

#### **3.1.5.4. Selección de la tasa de crecimiento**

Para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, se realizó un promedio de las tasas que corresponden al TPDA, PIB que es el que rige a nuestro país y el crecimiento poblacional, demostrando el cálculo a continuación:

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

$$TC = \frac{5.23\% + 5.28\% + 1.40\%}{3} = 3.97\%$$

La tasa de crecimiento vehicular a implementar en el tramo es de 3.97%.

### 3.1.6. Proyección del tránsito

#### 3.1.6.1. Período de diseño

De acuerdo a las características del tramo y al volumen actual de tránsito que circula por él, la carretera en estudio se puede clasificar de acuerdo a su función vial como colector rural (ya que se encuentra en la zona rural del municipio de La Trinidad, y presenta un TPDA de 708 vpd), por lo tanto, se eligió el valor medio de 15 años como período de diseño, de acuerdo a lo planteado por la SIECA (2011). (Ver tablas 12 y 13, págs. 48 y 49).

Tabla 12

*Clasificación de las carreteras*

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

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

Tabla 13

*Periodos 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	<b>10 – 20 años</b>
<b>Colectoras Rurales</b>	

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002 (Cap.7, pág. 3).

### 3.1.6.2. Tránsito de diseño

#### 3.1.6.2.1. Factor de crecimiento

El factor de crecimiento de acuerdo a la tasa de crecimiento vehicular, se obtuvo utilizando la ecuación 9 (ver pág.14), cuyo resultado se muestra en la tabla 14.

Tabla 14

*Factor de crecimiento*

<b>TC</b>	3.97%
<b>Factor de Crecimiento</b>	19.98

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.6.2.2. Factor de distribución por dirección

Para el tramo en estudio, el factor de distribución por dirección se seleccionó de acuerdo al número de carriles que en este caso son dos. La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro, por lo que se tomó el valor de 0.5 mostrado en la tabla 15.

Tabla 15

*Factor de distribución por dirección*

Número de carriles en ambas direcciones	LD <sup>10</sup>
<b>2</b>	<b>50%</b>
4	45%
6 o más	40%

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93, pág. 57).

### 3.1.6.2.3. Factor de distribución por carril

En la tabla 16, se presenta el factor de distribución por carril seleccionado para el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas, a partir del número de carriles en una sola dirección, que para este caso tiene un valor de 1.

Tabla 16

*Factor de distribución por carril*

<b>Número de carriles en una sola dirección</b>	<b>LC<sup>11</sup></b>
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93, pág. 58).

En la tabla 17, se muestra el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo, calculado a partir de la ecuación 8 (pág. 14) y tomando en cuenta los factores definidos anteriormente, donde se obtuvo un total de 2,582,010 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

Tabla 17

*Tránsito de diseño para el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas*

	<b>Vehículos pasajeros</b>						<b>Vehículos de Carga</b>			<b>Equipo Pesado</b>	<b>Total</b>
	<b>Motos</b>	<b>Auto</b>	<b>Jeep</b>	<b>Cam</b>	<b>Mc Bus</b>	<b>Bus</b>	<b>Liv 2-5 t</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Veh. Const</b>	
											
TPDA	498	20	5	138	5	6	19	14	3	0	708
Tránsito de Diseño	1,815,875	73,000	18,250	503,335	18,250	21,900	69,350	51,100	10,950	0	<b>2,582,010</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.7. ESAL**

#### **3.1.7.1. Factor de equivalencia (FESAL)**

El Factor de Equivalencia se determinó por estudios de pruebas de la AASHTO, en los que sometieron muestras de pavimentos a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el objetivo de analizar el daño que se ocasionó a la estructura. En dichos estudios, se presentan pesos de los ejes a partir de 2 kip hasta 50 kip, definiendo los pesos en números pares en el rango descrito.

Para determinar este factor, se debe tener en cuenta el peso por eje de cada tipo de vehículo los cuales presentan las cargas en toneladas y se deben convertir a KIPS (ver anexos, tabla 90 y figura 48 págs. XIV y XV).

Asimismo, acorde al capítulo tres del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y que en la mayoría de los casos se selecciona, como primera aproximación, un valor de  $SN = 3,0$ ; también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera ya que los factores de equivalencia varían en dependencia del tipo de eje (sencillo, doble) (Coronado Iturbide, 2002, págs. 5-6). (Ver anexos, tablas 91-92, págs. XVI-XVII).

Una vez estimadas las cargas, a partir del SN asumido y concluido el diseño real del paquete estructural, se compara el SN obtenido con el SN asumido, hasta que la diferencia entre ambos SN sea menor a 0.5 (Corredor M, 2008, pág. 21).

Como el tramo en estudio se trata de una carretera colectora menor rural ya que posee un tránsito menor, se asumió valor de serviciabilidad de 2 y un SN igual a 3.

Además, si los pesos de los ejes no se encuentran en las tablas proporcionadas por la AASHTO se deben de Interpolarse dichos valores, aplicando la ecuación 20.

$$y = \frac{(x-x_1)y_2+(x_2-x)y_1}{(x_2-x_1)} \text{ Ecuación 20. Tomado de (Spiegel \& Stephens, 2009).}$$

En la tabla 18, mediante interpolación se definen los factores de equivalencia para los ejes cuyos pesos no se encuentran en los resultados de las pruebas de la AASHTO.

A manera de ejemplo se presenta el cálculo de FESAL para los automóviles que tiene un peso en cada eje de 2.2 kip, para lo cual se utilizó la ecuación 20.

$$y = \frac{(2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip})0.002 + (4 \text{ kip} - 2.2 \text{ kip})0.0002}{(4 \text{ kip} - 2 \text{ kip})}$$

$$y = \frac{0.0004 + 0.00036}{2} \quad y = 0.00038$$

El Factor ESAL es de 0.00038 y corresponde a uno de los dos ejes que posee un automóvil.

Tabla 18

*Interpolación Factor 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.

### **3.1.7.2. ESAL de diseño**

Una vez obtenido los factores de equivalencia (FESAL), se realiza el cálculo del ESAL de diseño mediante la aplicación de la Ecuación 10 (ver pág. 15).

A manera de ejemplo, se determinó el ESAL de diseño con los datos correspondientes a bus, el cual presenta dos ejes con pesos diferentes, el eje delantero tiene un peso de 11 kip, y el eje trasero 22 kip, por lo que el FESAL es diferente, presentando para el primer eje un valor de 0.1395 y para el segundo de 2.35, asimismo, presenta un tránsito de diseño de 21,900, demostrándose a continuación el resultado:

$$ESAL_1 = 21,900 * 0.1395 = 3,055 \text{psi} \qquad ESAL_2 = 21,900 * 2.35 = 51,465 \text{psi}$$

$$ESAL (W18) = 3,055 \text{psi} + 51,465 \text{psi} = 54,520 \text{psi}$$

El ESAL de diseño para bus, es de 54,520 psi.

En la Tabla 19, se presenta el ESAL total de 270,218 psi, obtenido para el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, siendo esto acumulado en un periodo de diseño de 15 años. Las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento.

Tabla 19

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 pasajero	Autos	73,000	2.2	Simple	0.00038	28	56
			2.2	Simple	0.00038	28	
	Jeep	18,250	2.2	Simple	0.00038	7	14
			2.2	Simple	0.00038	7	
	Camioneta	503,335	2.2	Simple	0.00038	191	2,104
			4.4	Simple	0.0038	1913	
	Mc Bus	18,250	4.4	Simple	0.0038	69	1,120
			8.8	Simple	0.0576	1051	
	Bus	21,900	11	Simple	0.1395	3055	54,520
			22	Simple	2.35	51465	
Vehículos de carga	Liv 2-5 t	69,350	8.8	Simple	0.0576	3995	67,977
			17.6	Simple	0.9226	63982	
	C2	51,100	11	Simple	0.1395	7128	127,213
			22	Simple	2.35	120085	
	C3	10,950	11	Simple	0.1395	1528	17,214
			36.3	Doble	1.4325	15686	
<b>ESAL DE DISEÑO =</b>							<b>270,218</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2. 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.

En este acápite, se muestran los resultados obtenidos en el estudio de suelos realizado en el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas mediante la aplicación de la norma NIC – 2019.

#### **3.2.1. Metodología**

Para este estudio se tomó en consideración la metodología recomendada por la Norma NIC – 2019 y el Manual de Revisión de Estudios Geotécnicos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual se detalla a continuación:

- Realizar sondeos manuales a cada 300 m de distancia en las estaciones del tramo de carretera con 1.5 m de profundidad, para el posterior análisis en laboratorio de los diferentes estratos de suelo encontrados.
- Ejecutar sondeos manuales en los bancos de materiales. (Ver Anexos, figuras 49 y 50, pág. XVIII).
- Determinación de las características físico – mecánicas del suelo mediante la realización de ensayos de muestras provenientes de los sondeos efectuados a lo largo del tramo y en los bancos de materiales. (ver tabla 20, pág. 57).
- Clasificar los suelos mediante el método AASHTO, de acuerdo a sus propiedades (ver anexos, tabla 93, pág. XIX).
- Definir la subrasante de la carretera en base a la estratigrafía del suelo, considerando lo establecido en la norma NIC – 2019, la cual plantea que el mínimo necesario es de 25 cm, según se muestra en la figura 8, pág. 58.

- Efectuar prueba de CBR a los sondeos manuales y banco de materiales y realizar cálculos correspondientes en Microsoft Excel para la evaluación de la capacidad portante del suelo de la subrasante haciendo uso de las normas NIC – 2019.

Tabla 20

*Ensayos de suelo según normas AASHTO y ASTM*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Granulometría	AASHTO T-88 / ASTM D-422 y D-6913
Límite Líquido	AASHTO T-89 / ASTM D-423 y D-4318
Límite Plástico	AASHTO T-90 / ASTM D-424 y D-4318
Índice de plasticidad	AASHTO T-90 / ASTM D-4318
Peso específico	AASHTO T-19 / ASTM C-29
Clasificación de Suelos AASHTO	AASHTO M-145 / ASTM D-3282.
Clasificación de Suelos SUCS	ASTM D-2487
Ensayo Proctor Estándar	AASHTO T-99 / ASTM D-698
CBR	AASHTO T-193 / ASTM D-1883
Contenido de humedad	ASTM D-2216

Fuente: Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008, págs. 8-9).

Para la granulometría se aplicó el método mecánico para tamizar, haciendo uso de la abertura de tamices presentados en Das (2015), los cuales se muestran en la Tabla 21, pág. 58.

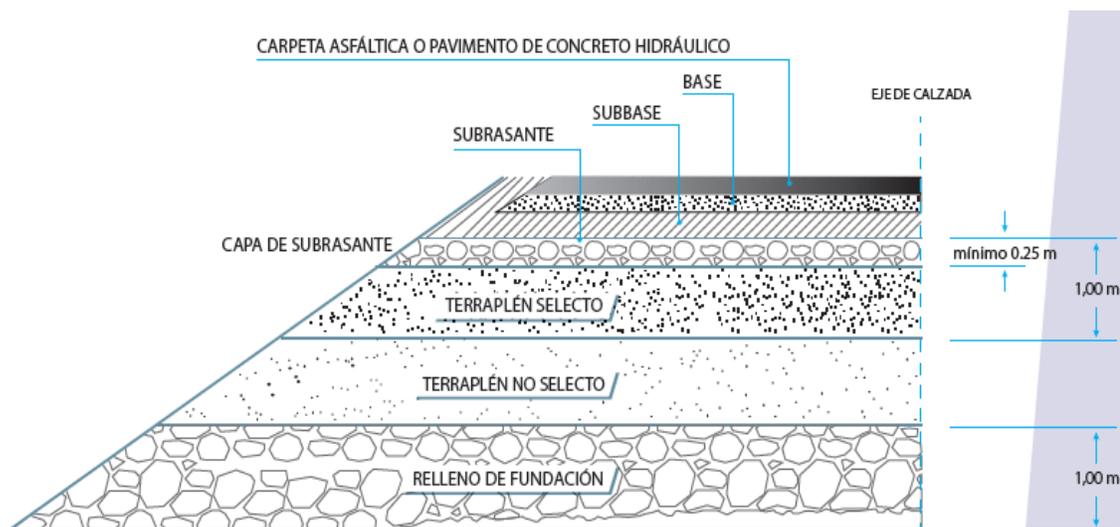
Tabla 21

Tamaños estándar de tamices

Tamiz núm.	Abertura (mm)
2"	76.200
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.050
½"	12.700
3/8"	9.525
No 4	4.750
No 10	2.000
No 16	1.180
No 20	0.850
No 30	0.600
No 40	0.425
No 50	0.300
No 60	0.250
No 80	0.180
No 100	0.150
No 200	0.075

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

Figura 8 Espesores mínimos para estructura de pavimento articulado



Fuente: Norma NIC 2019, TOMO II (2019, pág. 823).

### 3.2.2. Sondeos de línea

A lo largo del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas se realizaron 12 sondeos manuales intercalando banda izquierda y derecha, con una profundidad de 1.50 metros y distribuidos con distancia entre sondeos de 300 metros, considerando que las condiciones del suelo no cambian significativamente en el transcurso del tramo, obteniendo 19 muestras (ver tabla 22). La ubicación de las estaciones de los sondeos efectuados, se muestra en la figura 9, pág. 60.

El muestreo de los sondeos de línea y bancos fue hecho con posteadora (palín doble), piocha, pala y barra, clasificando el material en el sitio, visualmente y al tacto, para luego trasladar las muestras al laboratorio, y realizar su análisis y estudio de las propiedades físico-mecánicas del suelo obteniendo así un criterio de diseño que permita estimar los espesores a colocar en el pavimento.

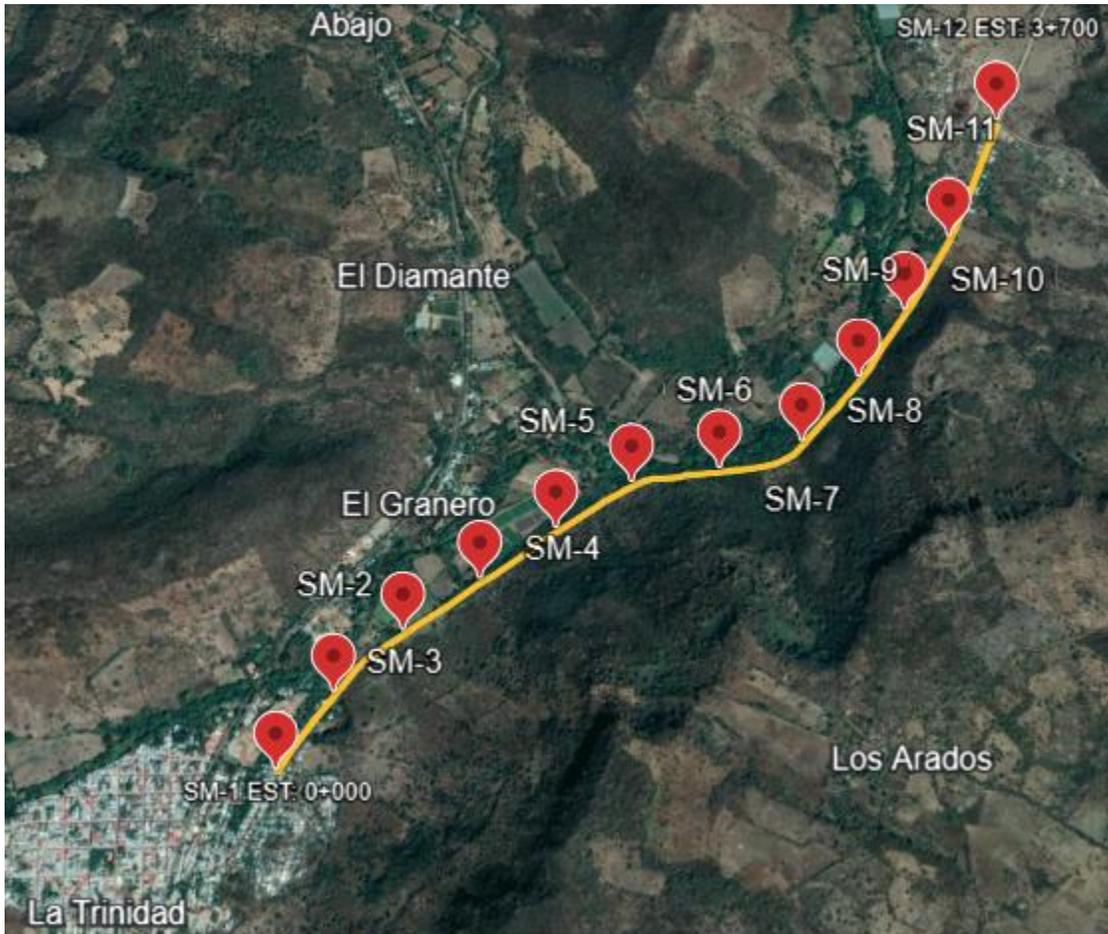
Tabla 22

*Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo*

N° de Sondeo	Estación	Banda
Sm – 1	0+000	Derecha
Sm – 2	0+300	Izquierda
Sm – 3	0+600	Derecha
Sm – 4	0+900	Izquierda
Sm – 5	1+200	Derecha
Sm – 6	1+500	Izquierda
Sm – 7	1+900	Derecha
Sm – 8	2+300	Izquierda
Sm – 9	2+700	Derecha
Sm – 10	3+000	Izquierda
Sm – 11	3+300	Derecha
Sm – 12	3+700	Izquierda

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9 Ubicación de las estaciones de sondeo manual para el tramo La Trinidad-Comunidad Las Ánimas**



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.98533337,86.2341849,614.27813258a,6685.28668299d,35y,26.67520464h,18.29475605t,0r/data=MikKJwoICiExQVdTRXRhUjVWMDkwTkt5WmdjSmQ1MFhkZS11YXZZRkQgAToDCgEw>

### **3.2.2.1. Sondeo manual 1**

#### **3.2.2.1.1. Estrato 1**

Para el material del sondeo 1, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 20.37% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.96%** y un **índice de plasticidad de 13.93%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava limosa con arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

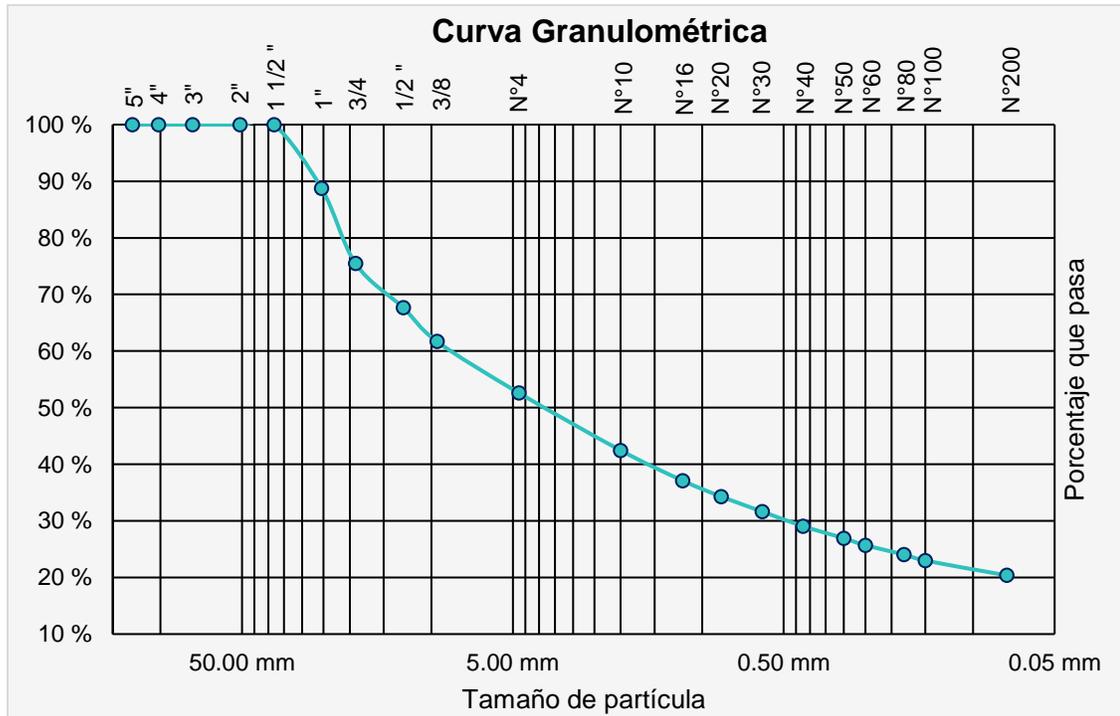
Tabla 23

Granulometría sondeo 1, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>47.40 %</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	24.54 %	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	22.86 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>32.22 %</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	15.50 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	8.03 %	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	8.69 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>20.37 %</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Curva granulométrica sondeo 1, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.1.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 1, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 41.44% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.16%** y un **índice de plasticidad de 16.27%**.

Según la clasificación SUCS, se tiene un suelo de tipo **CL Arcilla Mal Graduada Arenosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es tipo **A-6(3) Suelos Arcillosos**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

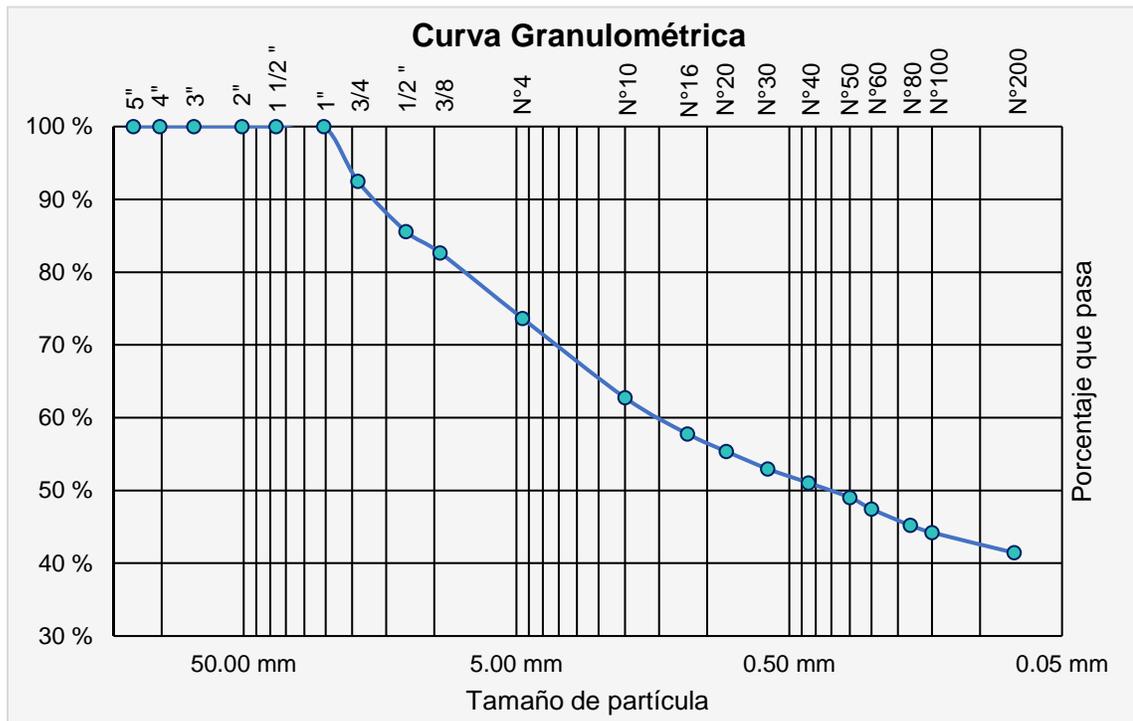
Tabla 24

*Granulometría sondeo 1, estrato 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>26.36%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	7.53%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	18.84%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>32.20%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	15.86%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	6.73%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	9.60%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>41.44%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 11 Curva granulométrica sondeo 1, estrato 2**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.2. Sondeo manual 2

#### 3.2.2.2.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 2, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 25.99% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 44.74%** y un **índice de plasticidad de 16.84%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Limosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

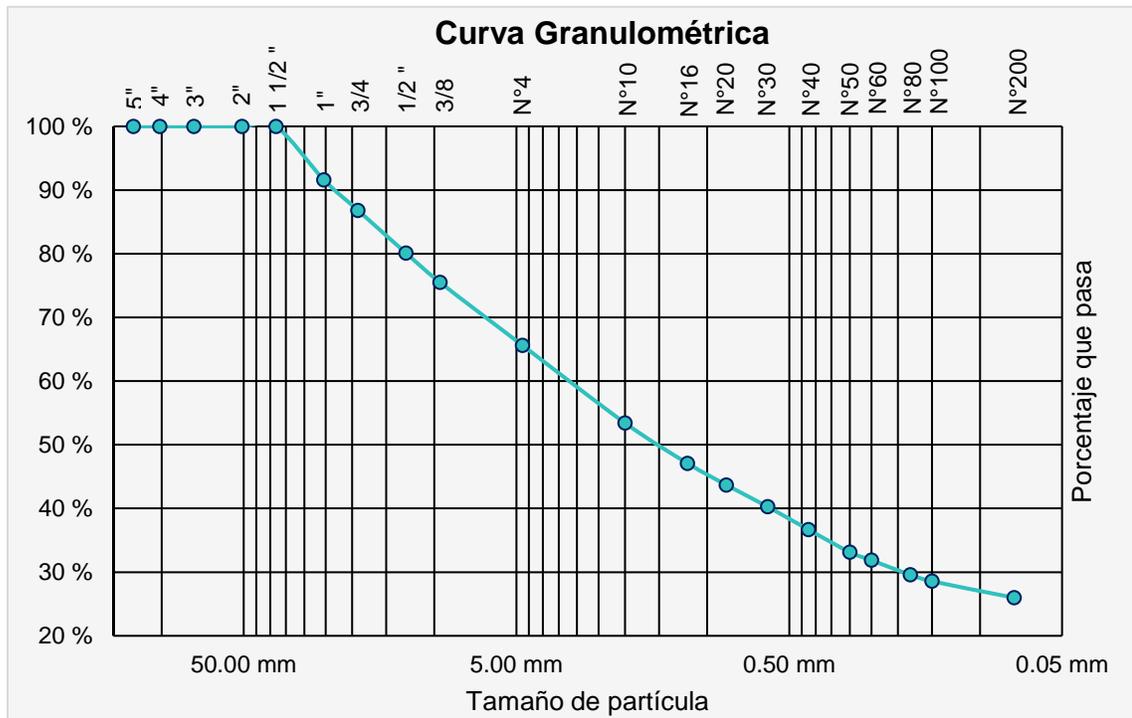
Tabla 25

Granulometría sondeo 2, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>34.39%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	13.19%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	21.20%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>39.62%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	18.52%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	10.42%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	10.68%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>25.99%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Curva granulométrica sondeo 2, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.2.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 2, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 34.40% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 45.75%** y un **índice de plasticidad de 19.81%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GC Grava Arcillosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(2) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

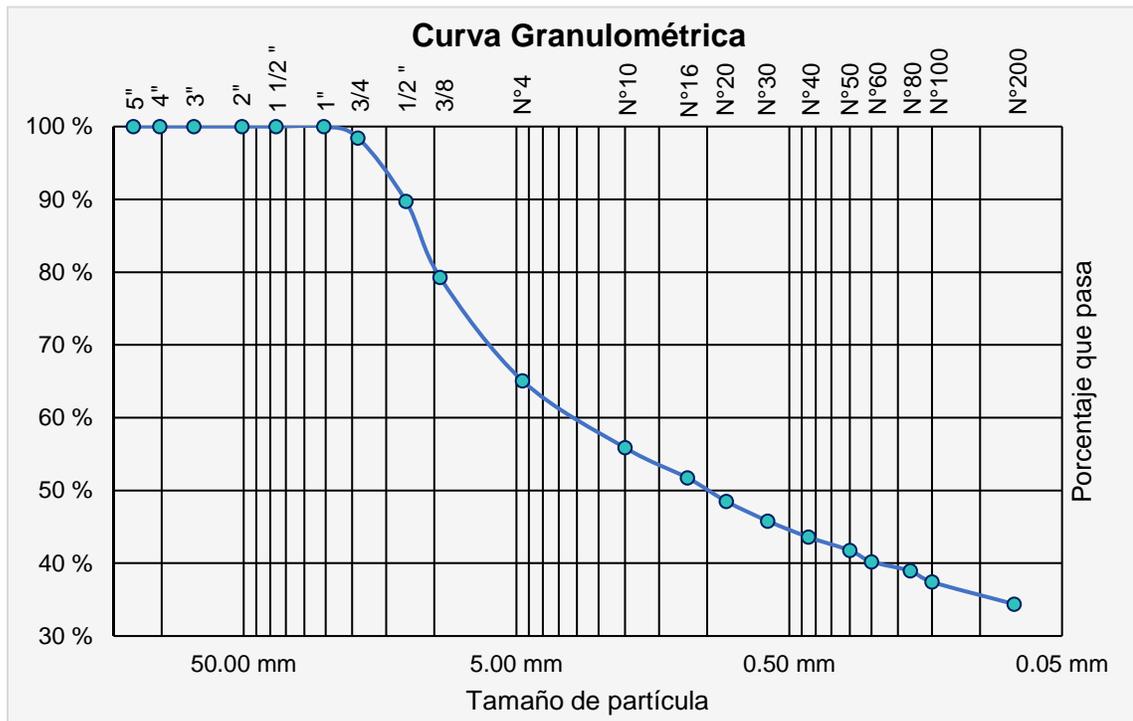
Tabla 26

*Granulometría sondeo 2, estrato 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>34.94%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	1.56%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	33.38%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>30.67%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	13.33%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	8.14%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	9.19%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>34.40%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13 Curva granulométrica sondeo 2, estrato 2**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.3. Sondeo manual 3

#### 3.2.2.3.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 3, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 17.5% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.96%** y un **índice de plasticidad de 13.22%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Limosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

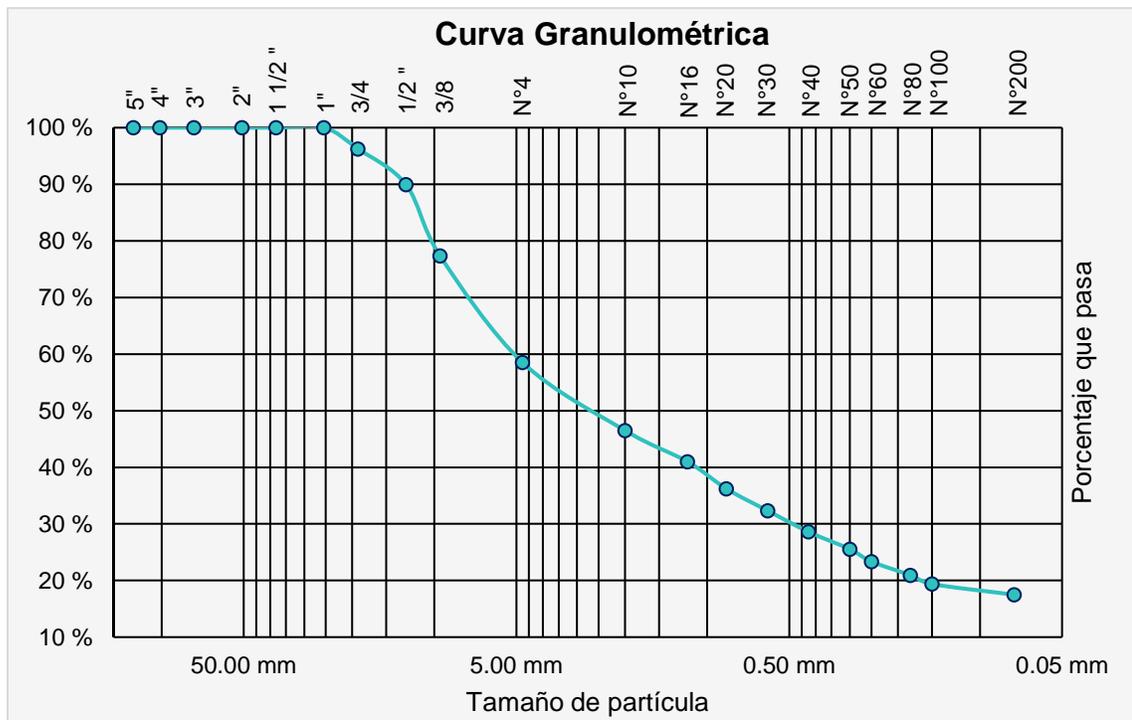
Tabla 27

Granulometría sondeo 3, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>41.49%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	3.74%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	37.75%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>41.01%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	17.51%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	12.40%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	11.10%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>17.50%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14 Curva granulométrica sondeo 3, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.3.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 3, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 21.71% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 44.54%** y un **índice de plasticidad de 19.90%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Limosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

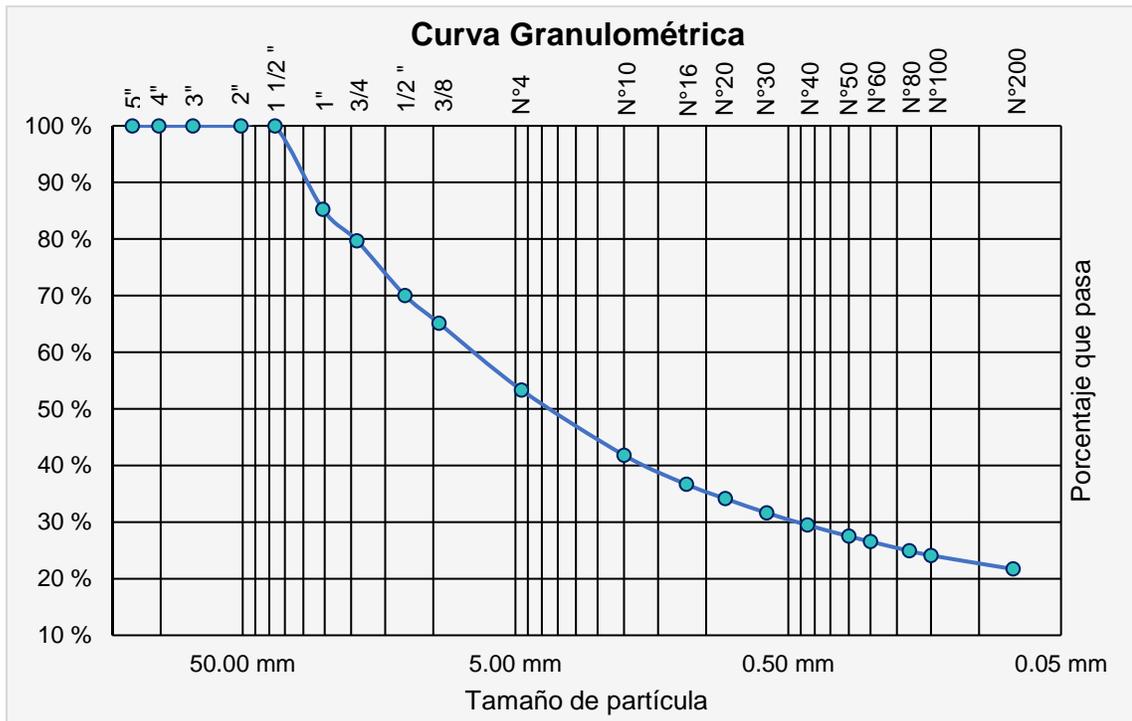
Tabla 28

*Granulometría sondeo 3, estrato 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>46.67%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	20.31%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	26.37%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>31.62%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	16.66%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	7.20%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	7.76%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>21.71%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15 Curva granulométrica sondeo 3, estrato 2**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2.4. Sondeo manual 4**

#### **3.2.2.4.1. Estrato 1**

Para el material del sondeo 4, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 34.68% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 44.21%** y un **índice de plasticidad de 17.52%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GC Grava Arcillosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

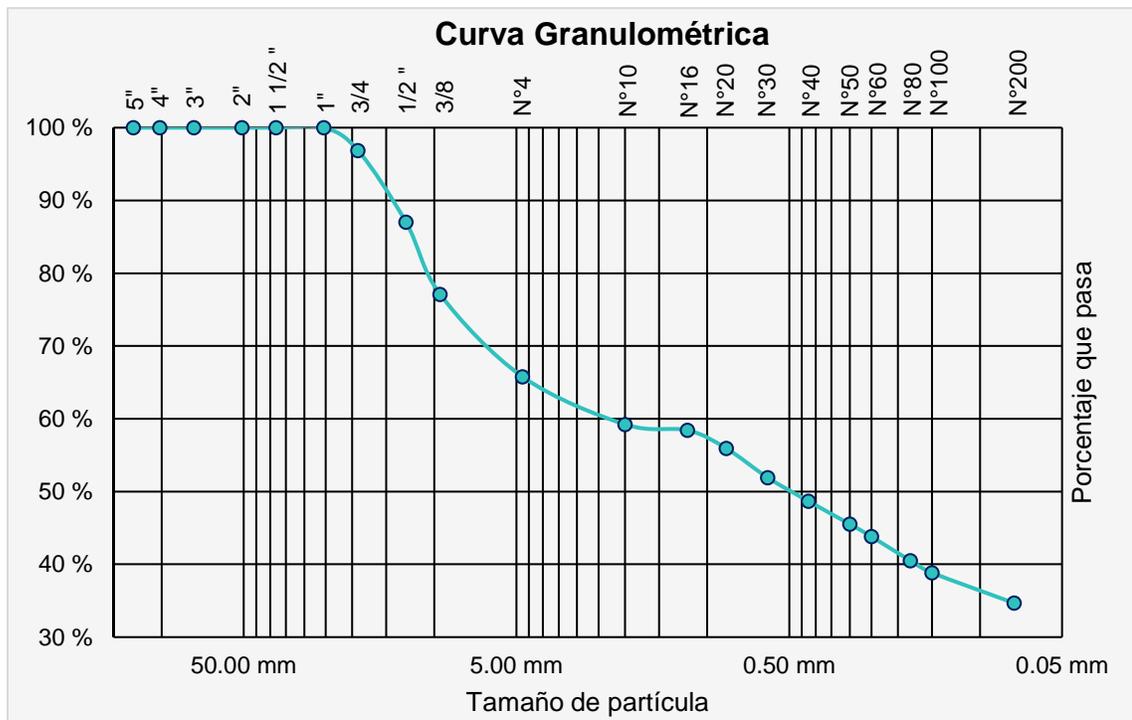
Tabla 29

Granulometría sondeo 4, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>34.23%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	3.13%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	31.10%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>31.09%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	7.35%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	9.75%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	14.00%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>34.68%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Curva granulométrica sondeo 4, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.5. Sondeo manual 5

#### 3.2.2.5.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 5, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 12.49% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 37.40%** y un **índice de plasticidad de 12.94%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SC Arena Arcillosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

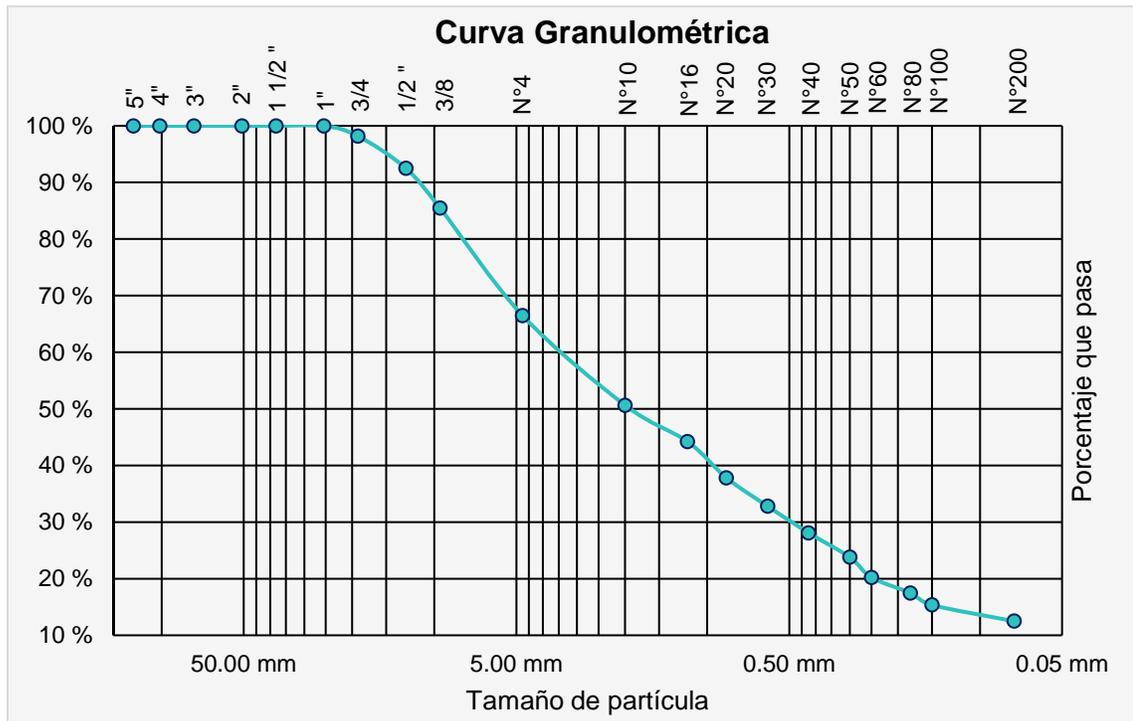
Tabla 30

*Granulometría sondeo 5, estrato 1*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>33.51%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	1.82%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	31.69%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>54.01%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	22.27%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	16.11%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	15.62%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>12.49%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17 Curva granulométrica sondeo 5, estrato 1**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.5.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 5, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 27.29% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.96%** y un **índice de plasticidad de 17.13%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SC Arena Arcillosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(1) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

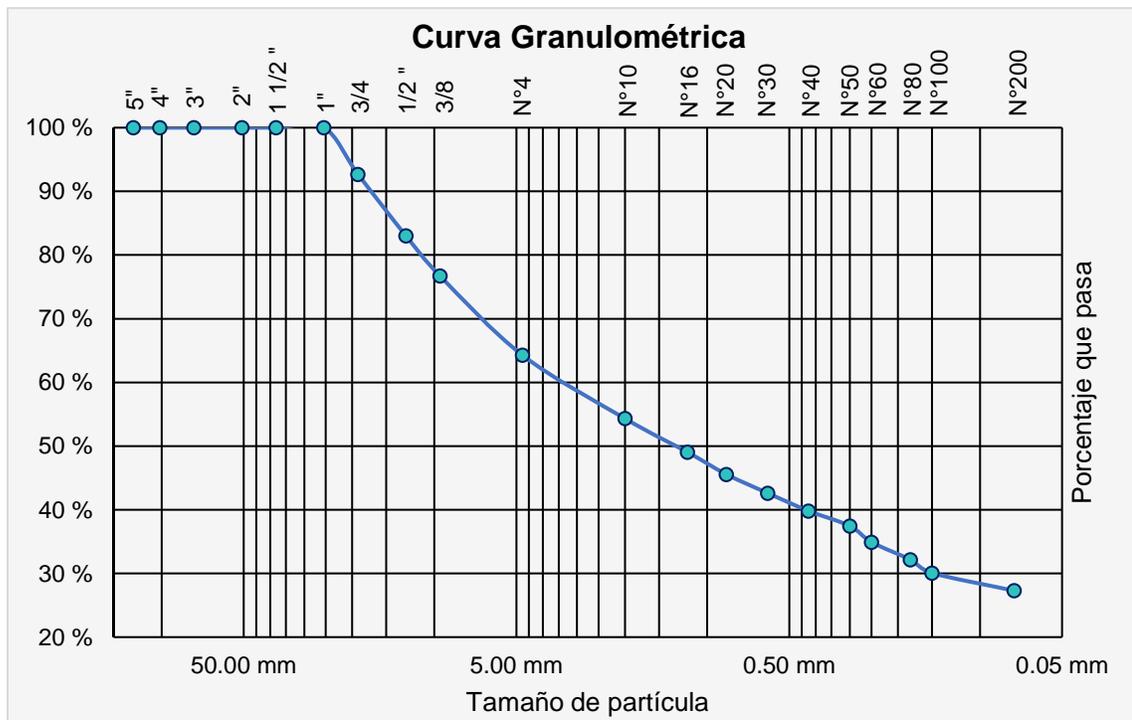
Tabla 31

Granulometría sondeo 5, estrato 2

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>35.74%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	7.32%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	28.42%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>36.97%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	15.22%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	9.22%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	12.53%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>27.29%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Curva granulométrica sondeo 5, estrato 2



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.6. Sondeo manual 6

#### 3.2.2.6.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 6, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 19.17% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 45.66%** y un **índice de plasticidad de 14.88%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Arcillosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(0) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

Tabla 32

*Granulometría sondeo 6, estrato 1*

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>41.46%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	3.73%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	37.73%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>39.37%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	18.42%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	11.38%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	9.58%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>19.17%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19 Curva granulométrica sondeo 6, estrato 1**

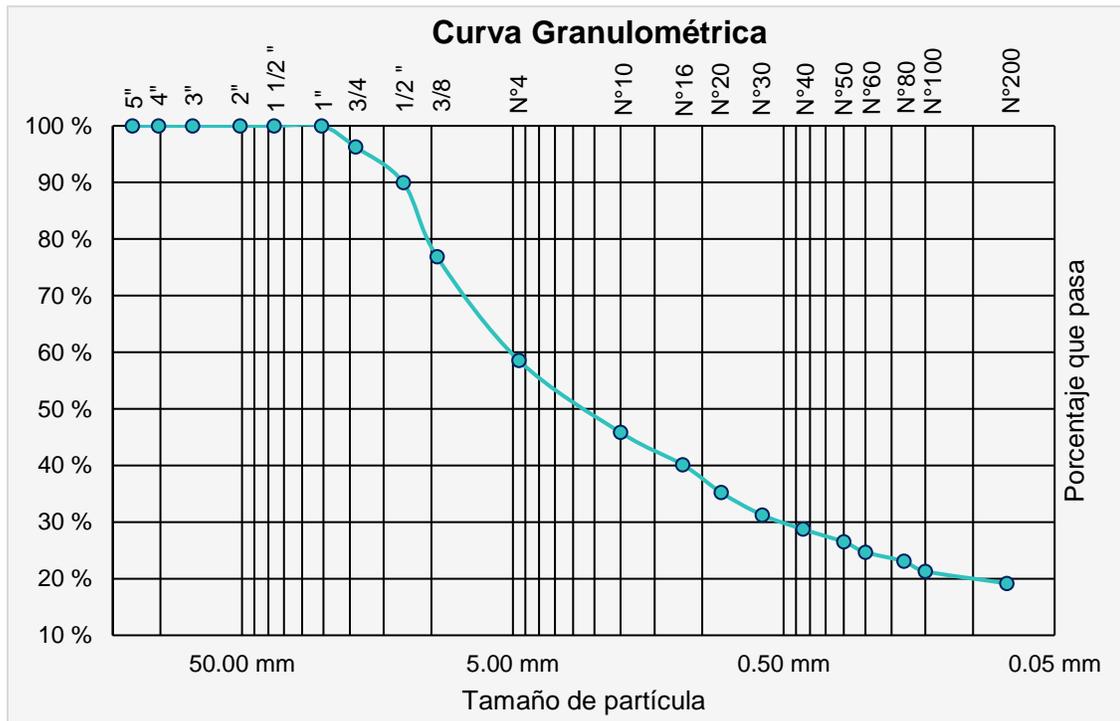


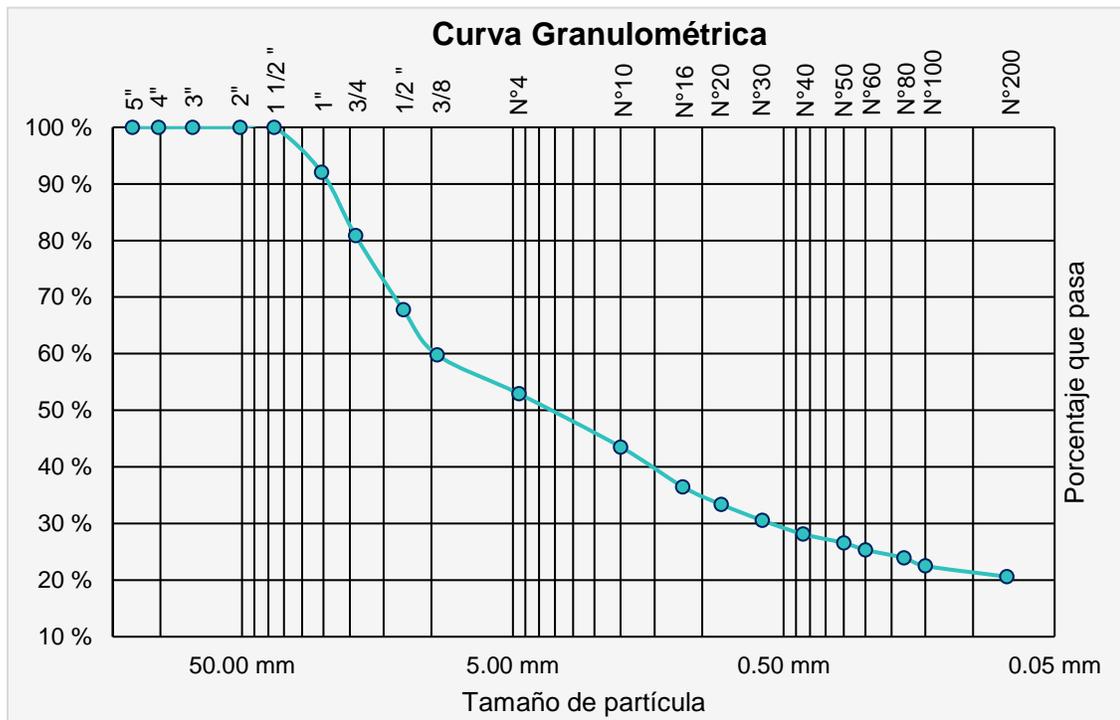
Tabla 33

Granulometría sondeo 7, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>47.08%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	19.14%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	27.94%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>32.31%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	16.43%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	8.36%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	7.53%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>20.61%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 Curva granulométrica sondeo 7, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.7.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 7, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 29.02% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 43.08%** y un **índice de plasticidad de 14.54%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Arcillosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

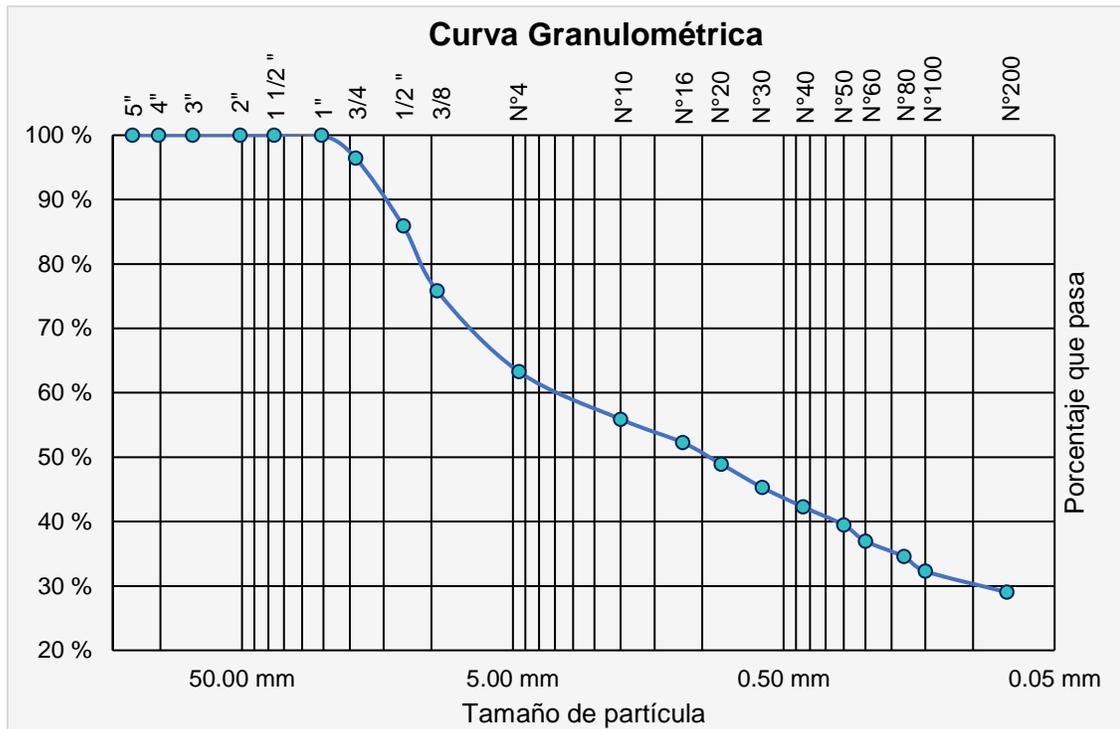
Tabla 34

*Granulometría sondeo 7, estrato 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>36.73%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	3.54%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	33.19%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>34.25%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	11.00%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	9.98%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	13.27%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>29.02%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 21 Curva granulométrica sondeo 7, estrato 2**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.8. Sondeo manual 8

#### 3.2.2.8.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 8, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 19.52% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.96%** y un **índice de plasticidad de 11.01%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Arcillosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

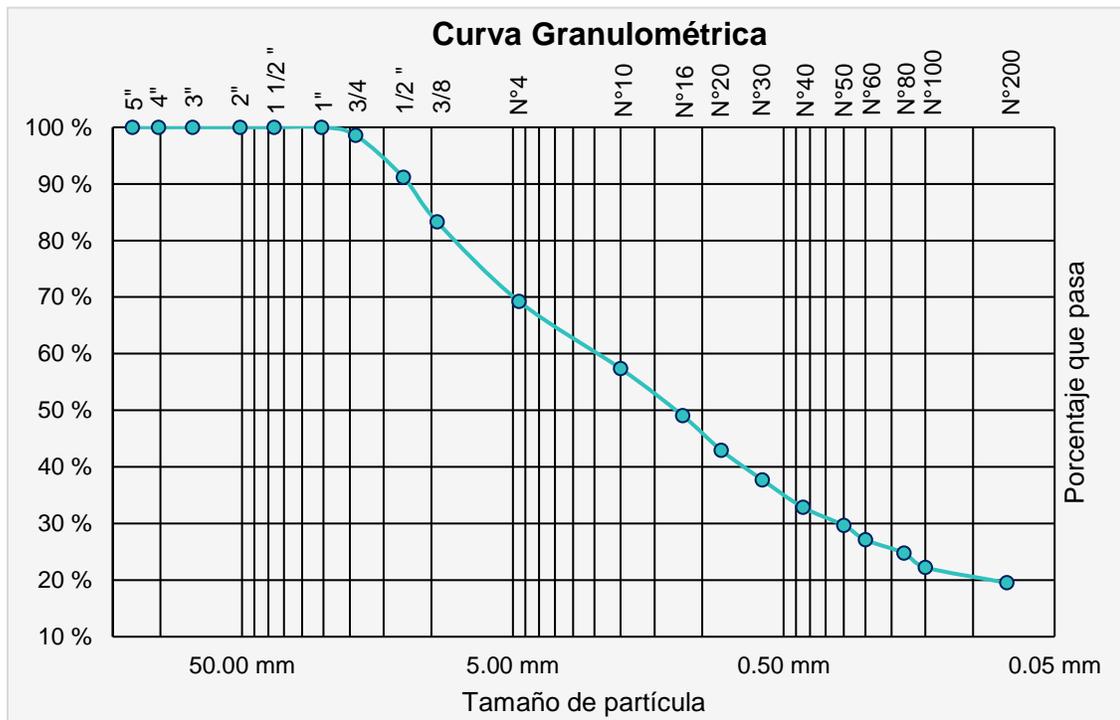
Tabla 35

Granulometría sondeo 8, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>30.75%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	1.43%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	29.32%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>49.73%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	20.20%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	16.18%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	13.34%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>19.52%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22 Curva granulométrica sondeo 8, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.9. Sondeo manual 9

#### 3.2.2.9.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 9, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 16.11% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 37.62% y un índice de plasticidad de 12.14%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Arcillosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

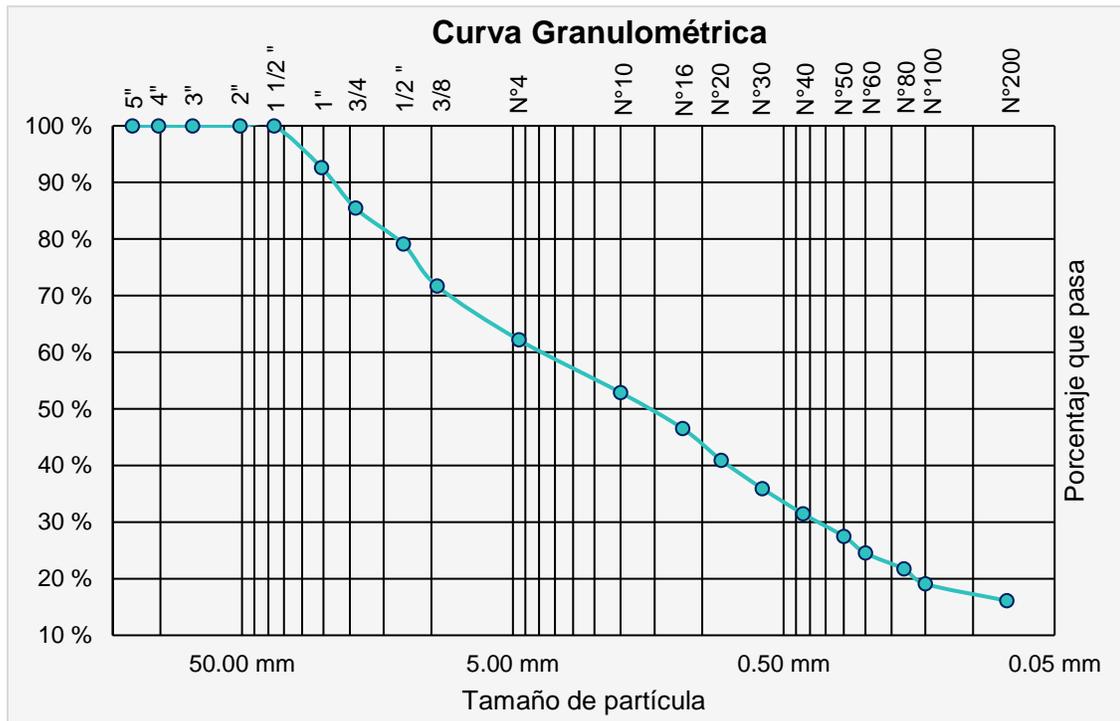
Tabla 36

*Granulometría sondeo 9, estrato 1*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>37.81%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	14.55%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	23.26%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>46.08%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	15.67%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	15.03%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	15.37%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>16.11%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23 Curva granulométrica sondeo 9, estrato 1**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.10. Sondeo manual 10

#### 3.2.2.10.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 10, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 15.07% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.73%** y un **índice de plasticidad de 9.51%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Limosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-4(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

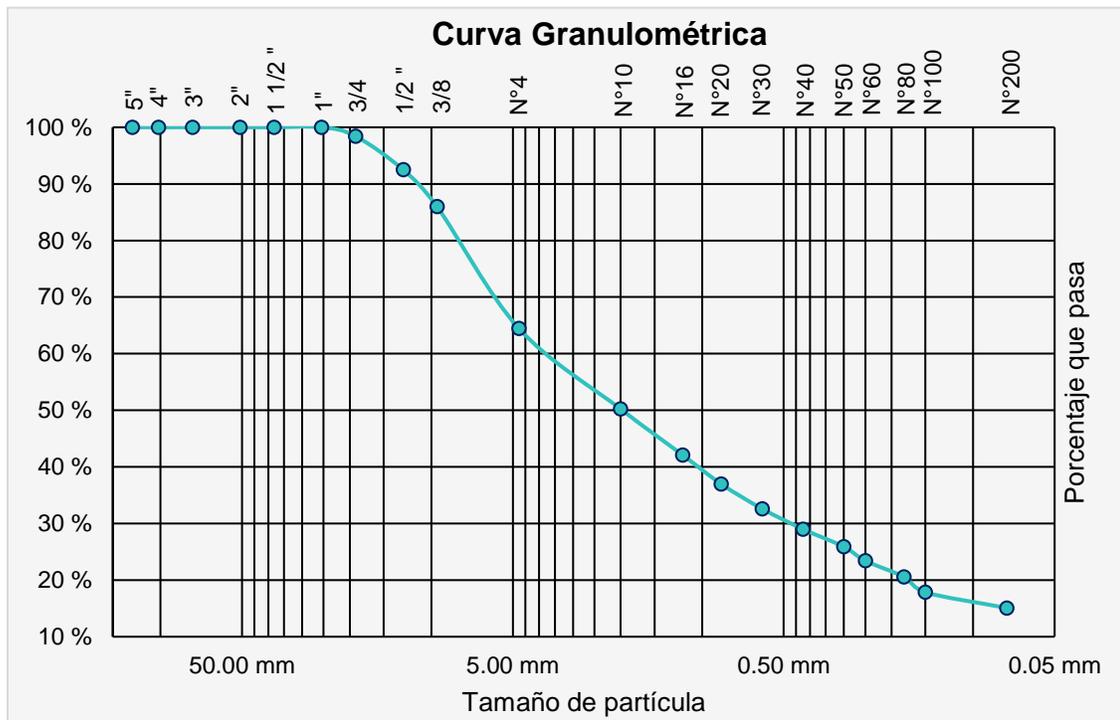
Tabla 37

Granulometría sondeo 10, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>35.56%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	1.57%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	33.98%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>49.37%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	22.36%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	13.07%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	13.94%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>15.07%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24 Curva granulométrica sondeo 10, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.10.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 10, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 26.82% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 45.11% y un índice de plasticidad de 16.61%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Arcillosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

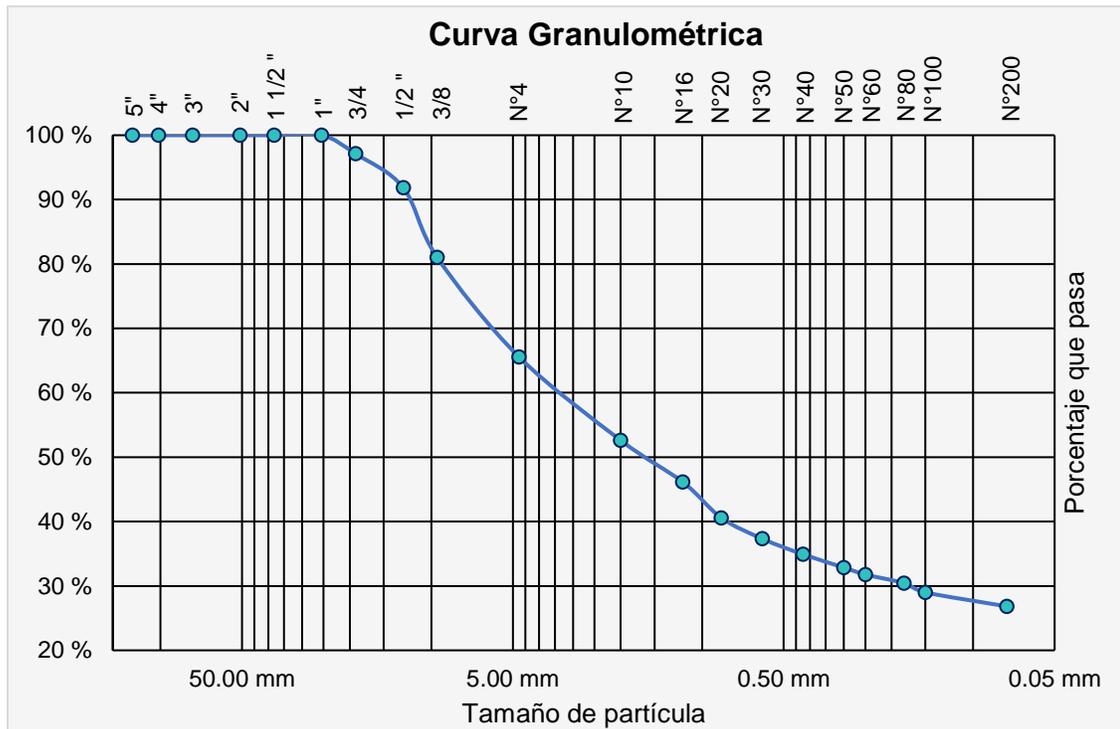
Tabla 38

*Granulometría sondeo 10, estrato 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>34.42%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	2.88%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	31.54%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>38.76%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	19.44%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	11.23%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	8.09%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>26.82%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25 Curva granulométrica sondeo 10, estrato 2**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.11. Sondeo manual 11

#### 3.2.2.11.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 11, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 20.12% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 39.19%** y un **índice de plasticidad de 9.24%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **SM Arena Limosa con Grava** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-4(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

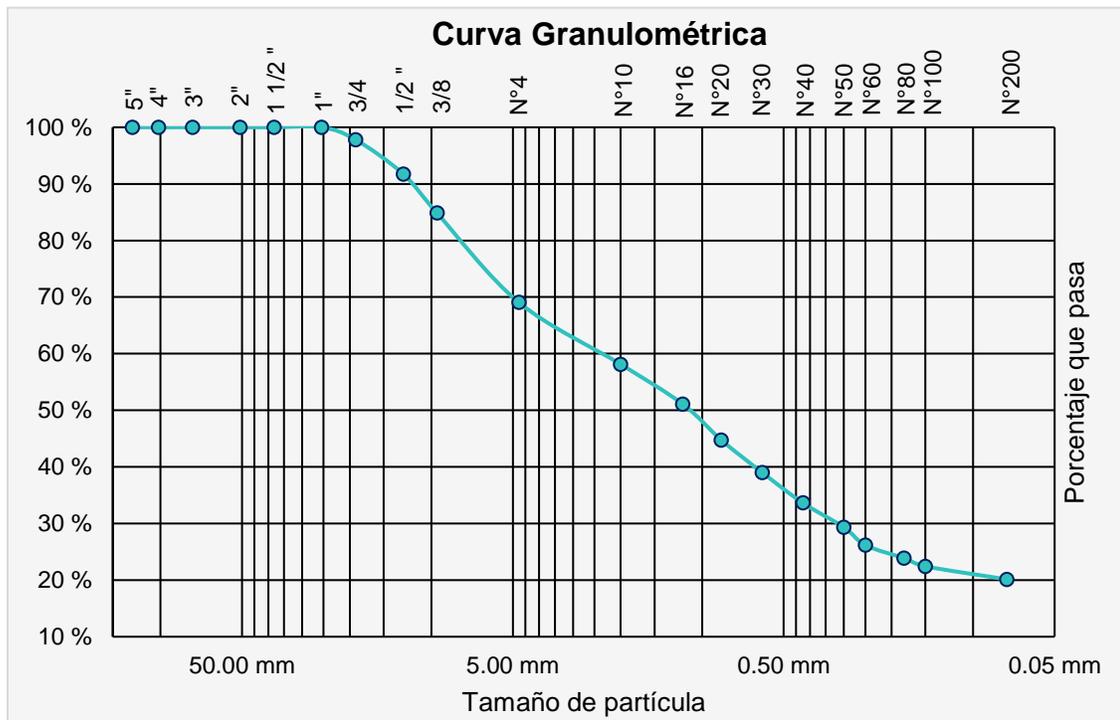
Tabla 39

Granulometría sondeo 11, estrato 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>30.96%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	2.19%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	28.77%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>48.92%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	17.95%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	17.46%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	13.51%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>20.12%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26 Curva granulométrica sondeo 11, estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.12. Sondeo manual 12

#### 3.2.2.12.1. Estrato 1

Para el material del sondeo 12, estrato 1, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 16.85% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 37.03% y un índice de plasticidad de 7.53%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Limosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-4(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

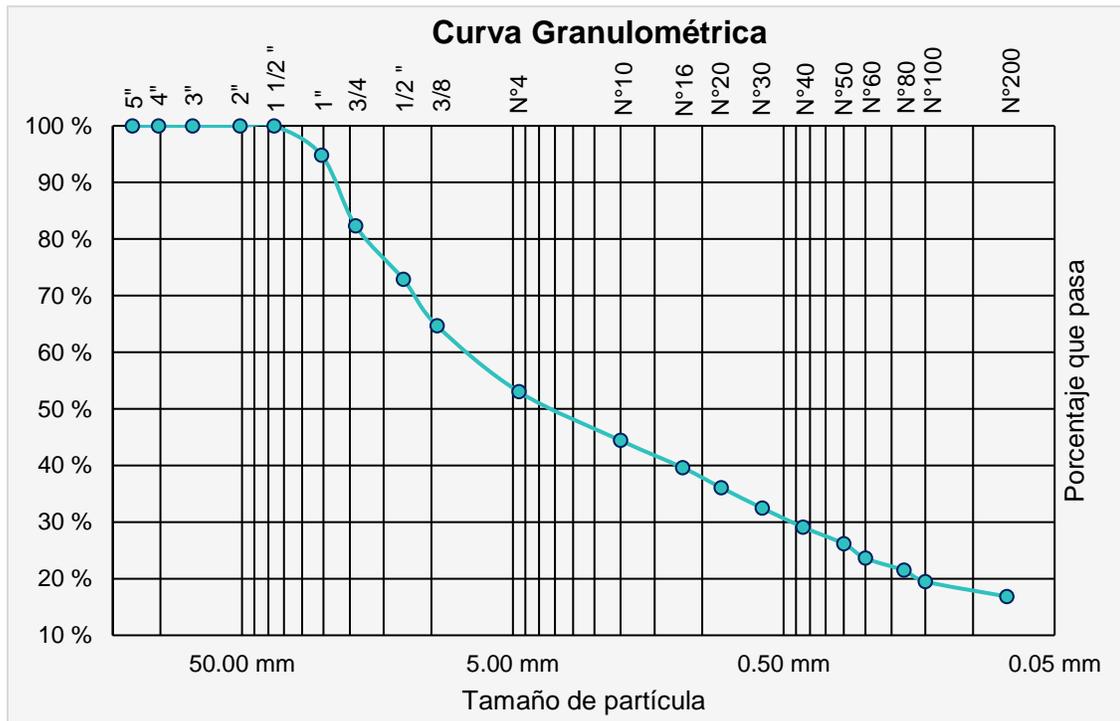
Tabla 40

*Granulometría sondeo 12, estrato 1*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>46.98%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	17.65%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	29.34%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>36.17%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	13.41%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	10.50%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	12.26%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>16.85%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 27 Curva granulométrica sondeo 12, estrato 1**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.12.2. Estrato 2

Para el material del sondeo 12, estrato 2, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 27.15% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 41.79%** y un **índice de plasticidad de 14.26%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GM Grava Arcillosa con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

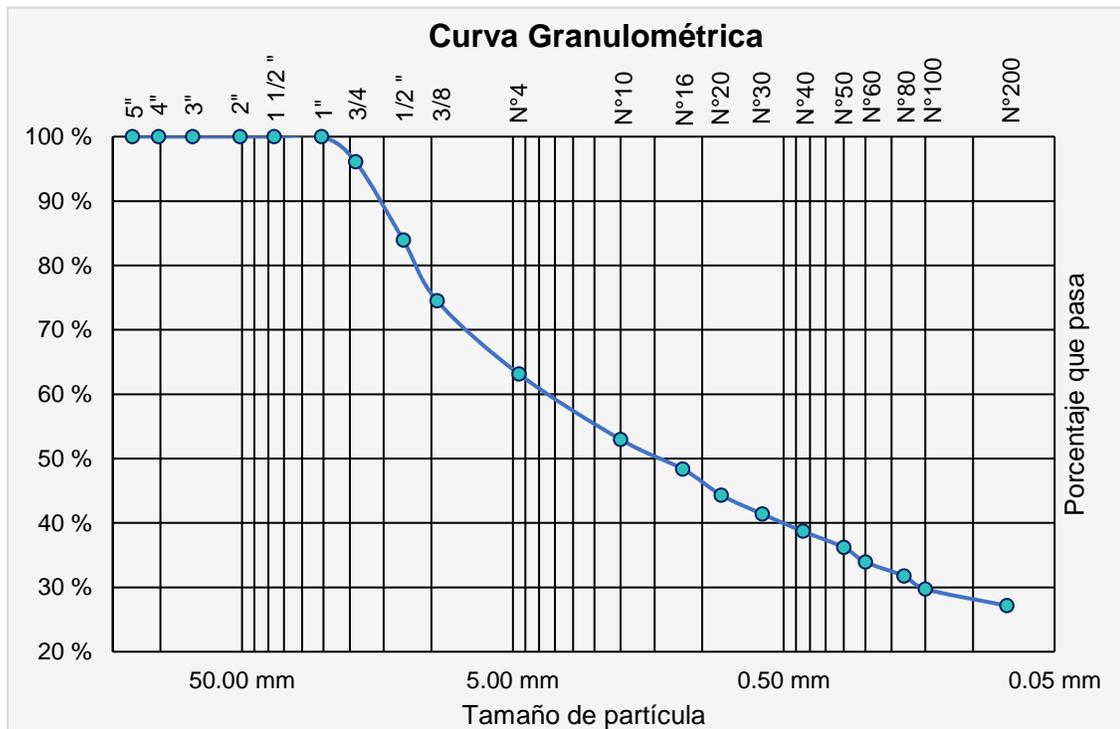
Tabla 41

Granulometría sondeo 12, estrato 2

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>36.87%</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	3.90%	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	32.97%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>35.98%</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	14.75%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	9.67%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	11.56%	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>27.15%</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 Curva granulométrica sondeo 12, estrato 2



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 42, se presentan de manera resumida los resultados obtenidos de los ensayos en laboratorio de cada uno de los sondeos manuales realizados a lo largo del tramo.

Tabla 42

*Resumen de resultados de ensayos de cada uno de los sondeos manuales*

<b>Resultados de Sondeos Manuales Granulometría, Límites de consistencia, Clasificación de Suelos y CBR</b>										
<b>Datos Generales</b>		<b>Clasificación de Suelos</b>		<b>Límites de Consistencia</b>			<b>Distribución de Partículas</b>			<b>C.B.R (95%)</b>
<b>Muestra</b>	<b>% de Humedad</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>% de Grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de Arcilla</b>	
S1-1	9.16 %	GM (Grava Limosa con Arena)	A-2-6(0) Grava y Arena Limosa	39.96%	26.03%	13.93%	47.40%	32.22%	20.37%	24.00%
S1-2	7.09 %	CL (Arcilla Mal Graduada Arenosa con Grava)	A-6(3) Suelos Arcillosos	39.16%	22.89%	16.27%	26.36%	32.20%	41.44%	8.00%
S2-1	8.12 %	SM (Arena Limosa con Grava)	A-2-7(1) Grava y Arena Limosa	44.74%	27.90%	16.84%	34.39%	39.62%	25.99%	18.00%
S2-2	7.91 %	GC (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(2) Grava y Arena Arcillosa	45.75%	25.94%	19.81%	34.94%	30.67%	34.40%	18.00%

<b>Resultados de Sondeos Manuales Granulometría, Límites de consistencia, Clasificación de Suelos y CBR</b>										
<b>Datos Generales</b>		<b>Clasificación de Suelos</b>		<b>Límites de Consistencia</b>			<b>Distribución de Partículas</b>			<b>C.B.R (95%)</b>
<b>Muestra</b>	<b>% de Humedad</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>% de Grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de Arcilla</b>	
S3-1	7.15 %	GM (Grava Limosa con Arena)	A-2-6(0) Grava y Arena Limosa	39.96 %	26.74 %	13.22 %	41.49 %	41.01 %	17.50 %	24.00 %
S3-2	7.10 %	GM (Grava Limosa con Arena)	A-2-7(1) Grava y Arena Limosa	44.54 %	24.65 %	19.90 %	46.67 %	31.62 %	21.71 %	18.00 %
S4-1	8.49 %	GC (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa	44.21 %	26.69 %	17.52 %	34.23 %	31.09 %	34.68 %	18.00 %
S5-1	5.02 %	SC (Arena Arcillosa con Grava)	A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa	37.40 %	24.46 %	12.94 %	33.51 %	54.01 %	12.49 %	24.00 %
S5-2	7.74 %	SC (Arena Arcillosa con Grava)	A-2-6(1) Grava y Arena Arcillosa	39.96 %	22.83 %	17.13 %	35.74 %	36.97 %	27.29 %	20.00 %
S6-1	12.67 %	GM (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(0) Grava y Arena Arcillosa	45.66 %	30.78 %	14.88 %	41.46 %	39.37 %	19.17 %	20.00 %

<b>Resultados de Sondeos Manuales Granulometría, Límites de consistencia, Clasificación de Suelos y CBR</b>										
<b>Datos Generales</b>		<b>Clasificación de Suelos</b>		<b>Límites de Consistencia</b>			<b>Distribución de Partículas</b>			<b>C.B.R (95%)</b>
<b>Muestra</b>	<b>% de Humedad</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>% de Grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de Arcilla</b>	
S7-1	6.51 %	GC (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(0) Grava y Arena Arcillosa	41.46 %	25.29 %	16.17 %	47.08 %	32.31 %	20.61 %	20.00 %
S7-2	10.90 %	GM (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa	43.08 %	28.54 %	14.54 %	36.73 %	34.25 %	29.02 %	18.00 %
S8-1	13.31 %	SM (Arena Arcillosa con Grava)	A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa	39.96 %	28.95 %	11.01 %	30.75 %	49.73 %	19.52 %	24.00 %
S9-1	6.77 %	SM (Arena Arcillosa con Grava)	A-2-6(0) Grava y Arena Arcillosa	37.62 %	25.49 %	12.14 %	37.81 %	46.08 %	16.11 %	24.00 %
S10-1	13.41 %	SM (Arena Limosa con Grava)	A-2-4(0) Grava y Arena Limosa	39.73 %	30.22 %	9.51 %	35.56 %	49.37 %	15.07 %	60.00 %
S10-2	13.27 %	SM (Arena Arcillosa con Grava)	A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa	45.11 %	28.50 %	16.61 %	34.42 %	38.76 %	26.82 %	18.00 %

<b>Resultados de Sondeos Manuales Granulometría, Límites de consistencia, Clasificación de Suelos y CBR</b>										
<b>Datos Generales</b>		<b>Clasificación de Suelos</b>		<b>Límites de Consistencia</b>			<b>Distribución de Partículas</b>			<b>C.B.R (95%)</b>
<b>Muestra</b>	<b>% de Humedad</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>% de Grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de Arcilla</b>	
S11-1	11.63 %	SM (Arena Limosa con Grava)	A-2-4(0) Grava y Arena Limosa	39.19 %	29.95 %	9.24 %	30.96 %	48.92 %	20.12 %	60.00 %
S12-1	5.04 %	GM (Grava Limosa con Arena)	A-2-4(0) Grava y Arena Limosa	37.03 %	29.50 %	7.53 %	46.98 %	36.17 %	16.85 %	60.00 %
S12-2	14.47 %	GM (Grava Arcillosa con Arena)	A-2-7(1) Grava y Arena Arcillosa	41.79 %	27.53 %	14.26 %	36.87 %	35.98 %	27.15 %	18.00 %

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de granulometría muestran un predominio de materiales arenosos y gravosos, con medianos porcentajes de limos y arcillas, lo que los hace materiales con buen drenaje natural y con buena capacidad de carga.

Los límites líquidos no sobrepasan el 50%, por lo que se consideran materiales de mediana a baja plasticidad, lo que los hace menos susceptibles a cambios volumétricos y asentamientos por cargas.

Basándose en los resultados de la granulometría de las muestras ensayadas y de los límites de consistencias, los suelos en estudio se clasificaron por el sistema AASHTO, según AASHTO M-145 y la ASTM, en su designación D 3282 y por el sistema SUCS, en su designación D 2487. Donde se obtuvieron cuatro tipos, tres de carácter granular que corresponden a los grupos A-2-4, A-2-6 y A-2-7 “grava y arena arcillosa o limosa” (según el sistema de clasificación de suelos por el método AASHTO), los cuales son los más frecuentes en el sitio de estudio y otro material de carácter arcilloso que corresponde al tipo A-6, tal como se muestra en la tabla 42, págs. 89-92.

Los valores de CBR de los sondeos de línea se encuentran en el rango de 8% a 60%, por lo que de acuerdo a la tabla 43, se pueden clasificar de regulares a buenos para utilizar en la subrasante.

Tabla 43

*Clasificación de CBR*

<b>CBR</b>	<b>Clasificación</b>
0 – 5	Subrasante mala
5 – 10	Subrasante regular
10 – 20	Subrasante buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: (Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz, 2004).

Los datos recopilados en laboratorio para la obtención de los resultados se muestran en anexos, tablas 94-102, págs. XXIII-XXXIII.

### **3.2.3. Estratigrafía del suelo**

La clasificación de las muestras se ven representadas en las columnas estratigráficas mostradas en las figuras 29 y 30, págs. 95 y 96. Las cuales fueron el resultado de aplicar el método de clasificación AASHTO y SUCS a partir de los ensayos de laboratorio realizados en cada sondeo de línea.

El corte de la subrasante se definió a los 30 cm tomando como referencia lo establecido en la norma NIC – 2019, la cual muestra que el mínimo necesario es de 25 cm (ver figura 8, pág. 58) y porque a esa profundidad los suelos predominantes son los grupos A-2-4, A-2-6 y A-2-7 y que según la tabla de clasificación de suelos AASHTO (ver anexos tabla 93, pág. XIX), se consideran de excelentes a buenos para ser utilizados en la subrasante. Además, en la sección 205.3.5 (Norma NIC 2019, Tomo I, 2019, pág. 103), se plantea que cuando se han realizado cortes de 30 cm, los suelos deben poseer un CBR mayor o igual al 8% y para el caso en estudio, los valores de CBR del tramo cumplen.

Figura 29 Estratigrafía de los suelos (SM-1, SM-6)

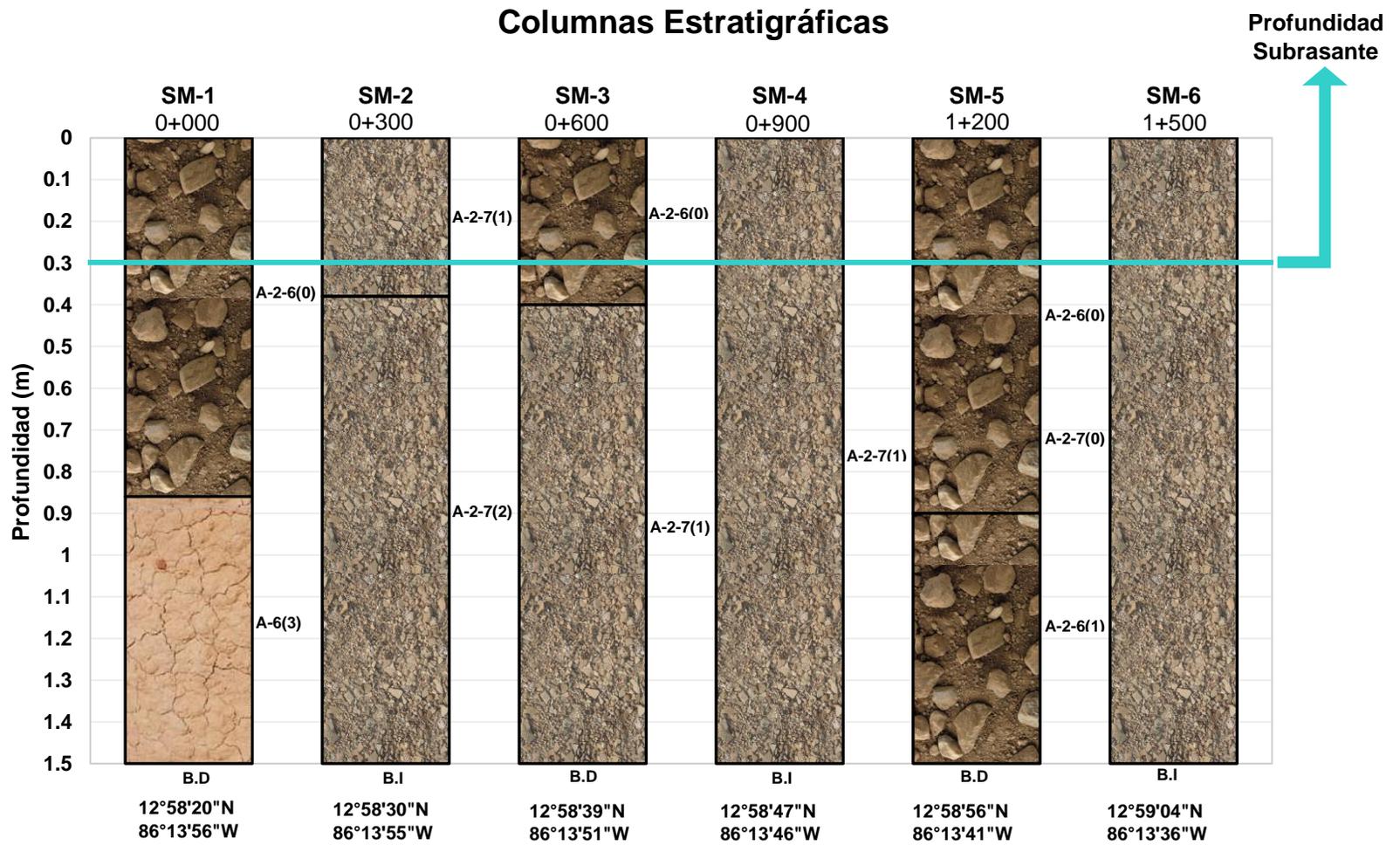
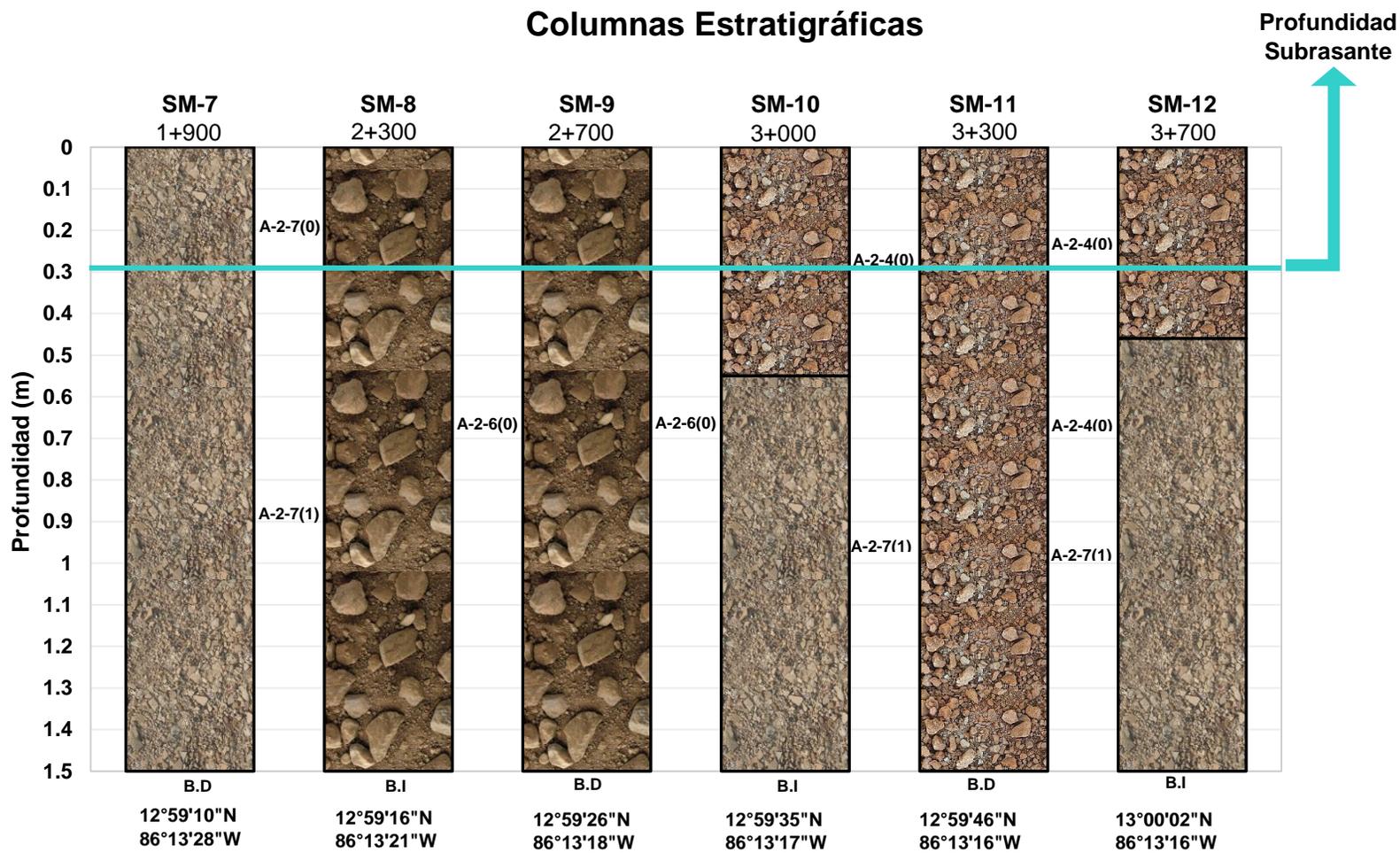


Figura 30 Estratigrafía de los suelos (SM-7, SM-12)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. Análisis de resultados de estudio de suelo de los bancos de materiales

Los estudios de suelos realizados a los bancos de materiales, consistieron en el análisis de dos fuentes, las cuales se encuentran localizadas en la comunidad El Chagüite (ver figura 31).

**Figura 31 Ubicación de los bancos de materiales**



Fuente: [https://earth.google.com/earth/d/1rNJRZz--QMeuDkfxB\\_jDICrBwyN1QkjY?usp=sharing](https://earth.google.com/earth/d/1rNJRZz--QMeuDkfxB_jDICrBwyN1QkjY?usp=sharing)

#### 3.2.4.1. Banco de material 1 - Sra. Evarista Laguna

##### 3.2.4.1.1. Granulometría, Límites de Atterberg y Clasificación de suelos

Para el material del Banco de Materiales 1 “**Evarista Laguna**”, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 4.04% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 24.34% y un índice de plasticidad de 4.81%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GW Grava bien Graduada con Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-4(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

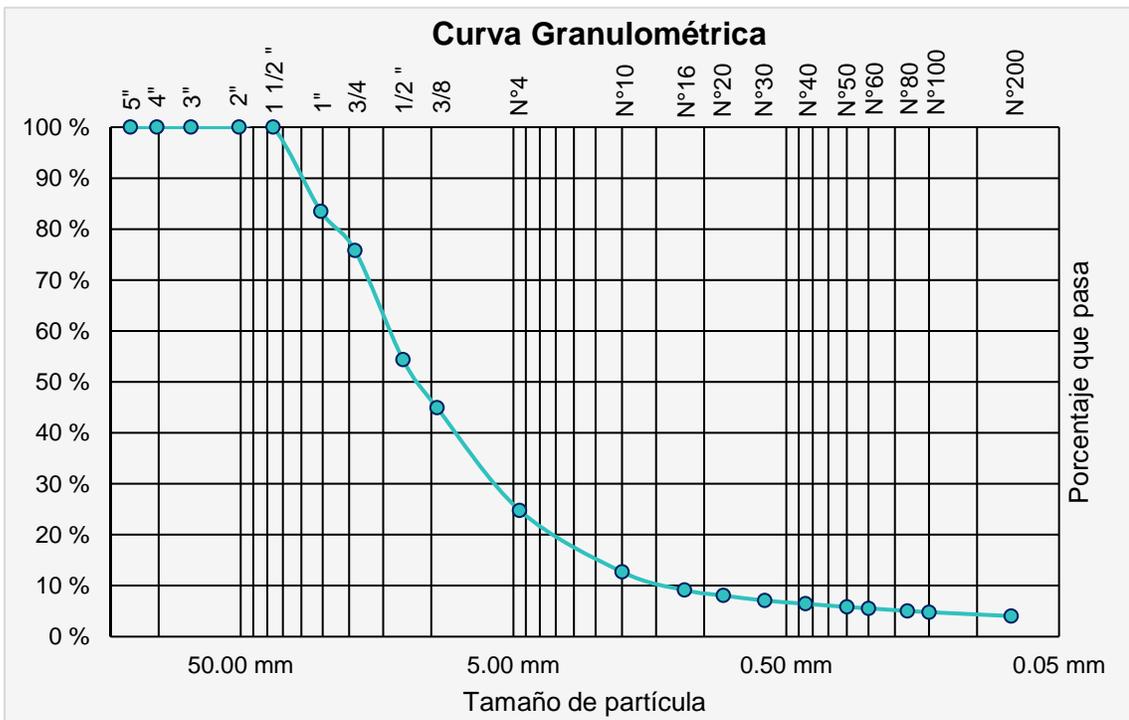
Tabla 44

Granulometría Banco de Material 1

Distribución de Partículas		
<b>Grava</b>	<b>75.20 %</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	24.20 %	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	51.00 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>20.76 %</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	15.66 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	2.69 %	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	2.41 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>4.04 %</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32 Curva granulométrica Banco de Material 1



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4.1.2. Ensayo de Compactación Proctor Estándar

Se efectuó el ensayo de Proctor Estándar para el banco de préstamo 1, en el que se realizaron 4 iteraciones con diferentes grados de humedad y posteriormente graficar la curva de compactación (% humedad vs densidad seca) para encontrar la humedad óptima y densidad máxima, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 45

#### Granulometría para Ensayo Proctor Estándar

Datos de Granulometría		
Peso retenido en malla 3/4"	Peso retenido en malla 3/8"	Peso retenido en malla #4
850.5	1936.1	2642.9
% retenido en malla 3/4"	% retenido en malla 3/8"	% retenido en malla #4
24.20%	55.10%	75.22%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

#### Método de prueba

Especificaciones por tipo de material						
Método	Condición	Material a usar	Peso por muestra	Molde	Golpes	Capas
Método A	< 25% retiene la #4	Pasa #4	2.3 kg	4"	25	3
Método B	> 25% retiene la #4 y < 25% retiene la 3/8"	Pasa 3/8"	2.3 kg	4"	25	3
<b>Método C</b>	<b>&gt; 25% retiene la 3/8" y &lt; 30% retiene la 3/4"</b>	<b>Pasa 3/4"</b>	<b>5.9 kg</b>	<b>6"</b>	<b>56</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

#### Grados de humedad

Compactación de la muestra				
Prueba	1	2	3	4
% de humedad	2%	4%	6%	9%
Peso material + molde (gr)	7232.6	7461	7658.9	7675

Fuente: Elaboración propia.

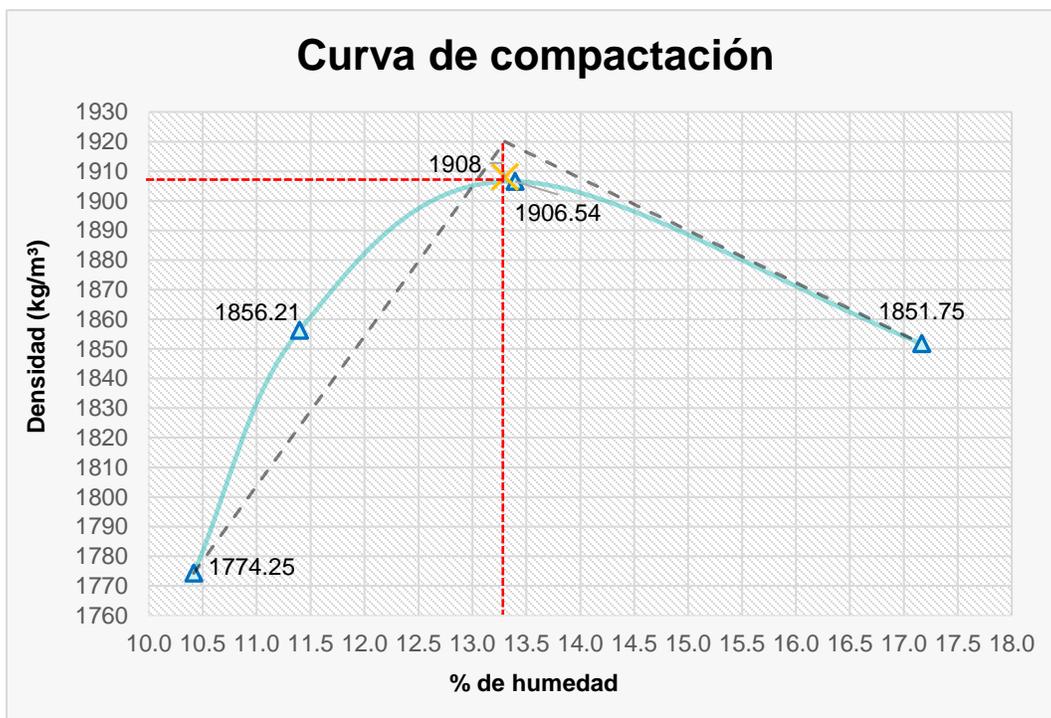
Tabla 48

*Densidades*

Densidades	Iteraciones			
	1	2	3	4
Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1959.05	2067.76	2161.95	2169.61
% de Humedad	10.42	11.40	13.40	17.17
Peso seco	3687.37	3849.37	3933.89	3776.01
Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	1774.25	1856.21	1906.54	1851.75

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33 Curva de compactación



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49

*Humedad óptima y densidad máxima*

Densidad Máxima Seca	% de Humedad Óptimo
1908 kg/m <sup>3</sup>	13.3 %

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4.2. Banco de material 2 - Sr. Samuel Ortuño

#### 3.2.4.2.1. Granulometría, Límites de Atterberg y Clasificación de suelos

Para el material del Banco de Materiales 2 “**Sr. Samuel Ortuño**”, se usó una muestra representativa recolectada en el sitio. El material extraído presenta un 9.18% de material fino, el cual tiene un **Límite Líquido de 24.86% y un índice de plasticidad de 5.02%**.

Según la clasificación SUCS se tiene un suelo de tipo **GP GM Grava mal Graduada con Limo y Arena** y conforme a la clasificación AASHTO el suelo es del tipo **A-2-4(0) Grava y Arena Limosa**.

A continuación, se detalla la distribución de sus partículas y su curva granulométrica:

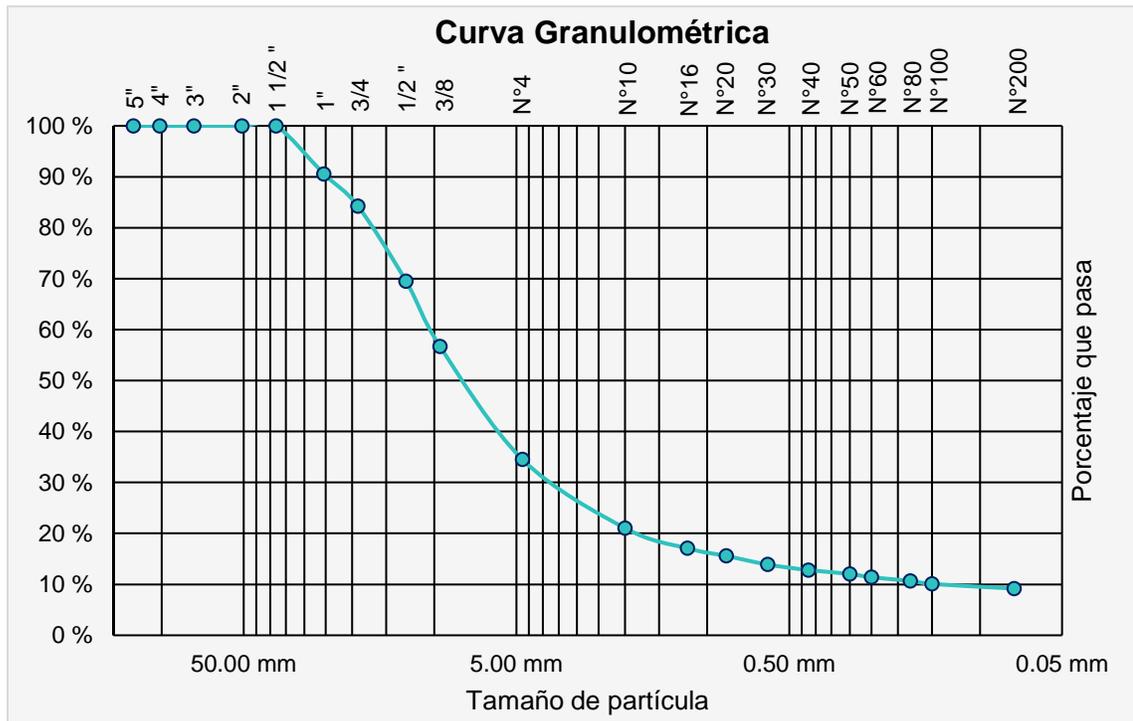
Tabla 50

*Granulometría Banco de Material 2*

<b>Distribución de Partículas</b>		
<b>Grava</b>	<b>65.51 %</b>	<b>% que pasa la 5" y retiene la #4</b>
Grava Gruesa	15.79 %	% que pasa la 5" y retiene la 3/4"
Grava Fina	49.72 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
<b>Arena</b>	<b>25.31 %</b>	<b>% que pasa la #4 y retiene la #200</b>
Arena Gruesa	17.42 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	4.26 %	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	3.63 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
<b>Limo y Arcilla</b>	<b>9.18 %</b>	<b>% que pasa la #200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34 Curva granulométrica Banco de Material 2**



Fuente: Elaboración propia.

**3.2.4.2.2. Ensayo de Compactación Proctor Estándar**

Se efectuó el ensayo de Proctor Estándar para el banco de préstamo 2, en el que se realizaron 4 iteraciones con diferentes grados de humedad y posteriormente graficar la curva de compactación (% humedad vs densidad seca) para encontrar la humedad óptima y densidad máxima, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 51

*Granulometría para Ensayo Proctor Estándar*

Datos de Granulometría		
Peso retenido en malla 3/4"	Peso retenido en malla 3/8"	Peso retenido en malla #4
535.7	1469.5	2222.2
% retenido en malla 3/4"	% retenido en malla 3/8"	% retenido en malla #4
15.79%	43.32%	65.51%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

*Método de prueba*

Especificaciones por tipo de material						
Método	Condición	Material a usar	Peso por muestra	Molde	Golpes	Capas
Método A	< 25% retiene la #4	Pasa #4	2.3 kg	4"	25	3
Método B	> 25% retiene la #4 y < 25% retiene la 3/8"	Pasa 3/8"	2.3 kg	4"	25	3
<b>Método C</b>	<b>&gt; 25% retiene la 3/8" y &lt; 30% retiene la 3/4"</b>	<b>Pasa 3/4"</b>	<b>5.9 kg</b>	<b>6"</b>	<b>56</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53

*Grados de humedad*

Compactación de la muestra				
Prueba	1	2	3	4
% de humedad	2%	4%	6%	9%
Peso material + molde (gr)	7286.4	7526.4	7715.2	7615.2

Fuente: Elaboración propia.

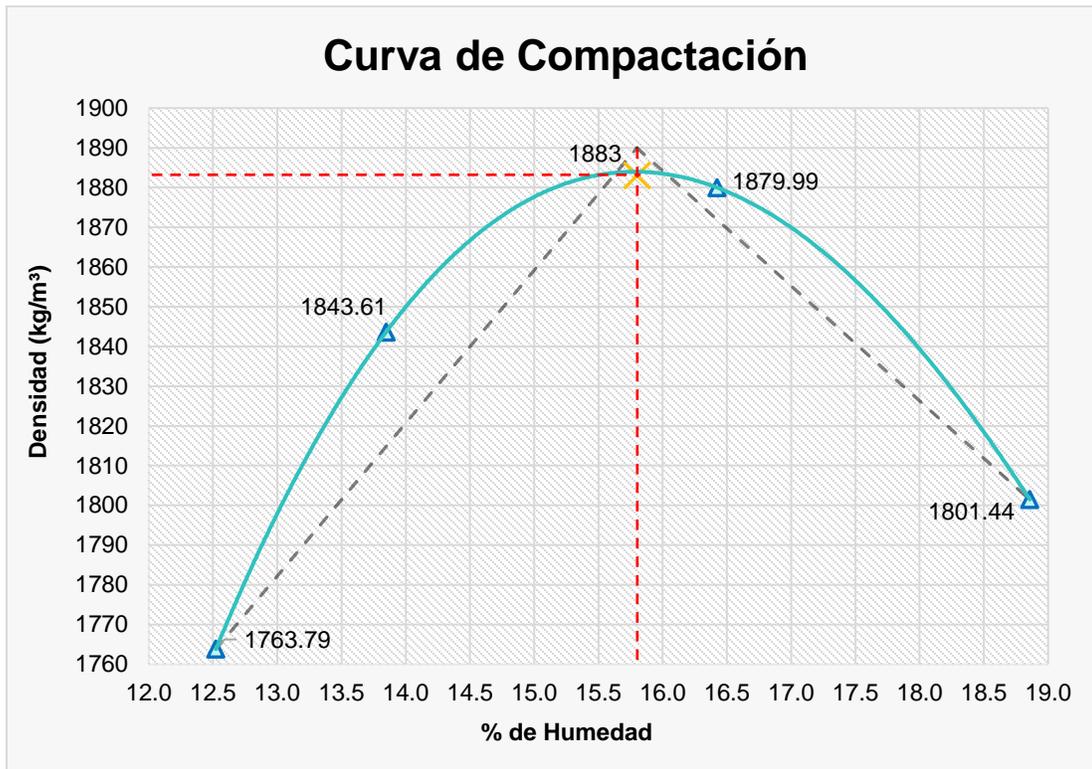
Tabla 54

*Densidades*

Densidades	Iteraciones			
	1	2	3	4
Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1984.66	2098.88	2188.74	2141.15
% de Humedad	12.52	13.85	16.42	18.86
Peso seco	3647.73	3799.28	3843.45	3650.35
Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	1763.79	1843.61	1879.99	1801.44

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35 Curva de compactación**



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55

*Humedad óptima y densidad máxima*

Densidad Máxima Seca	% de Humedad Óptimo
<b>1883 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>15.8 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.5. Evaluación de los bancos de materiales

En la tabla 56, se presentan de manera resumida los resultados obtenidos de los ensayos en laboratorio realizados a los bancos de materiales.

Tabla 56

*Resumen de resultados de ensayos realizados a los bancos de materiales*

<b>Resultados Bancos de Materiales de Pruebas de Granulometría, Límites de consistencia, Clasificación de Suelos y CBR</b>											
<b>Banco de Material</b>	<b>Densidad Máxima Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Humedad óptima %</b>	<b>Clasificación de Suelos</b>		<b>Distribución de Partículas</b>			<b>Límites de Consistencia</b>			<b>C.B.R %</b>
			<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>% de Grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de Arcilla</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>	
BM-1	1,908	13.3	GW	A-2-4 (0)	75.20	20.76	4.04	24.34	19.53	4.81	83.4
BM-2	1,883	15.8	GP-GM	A-2-4 (0)	65.51	25.31	9.18	24.86	19.83	5.02	82.25

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales de banco presentan similitudes entre sí, siendo el material del Banco 1 superior al Banco 2, ya que su densidad es mayor, alcanzada con un menor porcentaje de agua. Su distribución del tamaño de partículas permite un buen drenaje, una alta capacidad de carga, buena resistencia y estabilidad.

Los suelos predominantes en los bancos de materiales son del tipo A-2-4, correspondiente a gravas y arenas limosas. Los cuales pueden ser usados en la base y sub base de la estructura de pavimento.

Los ensayos de CBR para los bancos de materiales con suelo A-2-4 (0) al 95% son de 83.4% y 82.25% (ver anexos, figuras 57 y 58, pág. XXXIV), los cuales cumplen las condiciones establecidas según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (Norma NIC 2019, TOMO II) mostrada en la tabla 57.

Tabla 57

*Especificaciones de los materiales para base y sub base 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).

A continuación, en la tabla 58, se muestra la comparación de las propiedades de los materiales obtenidas a partir del análisis realizado a los bancos de materiales y las especificaciones contenidas en la norma NIC 2019.

Tabla 58

*Evaluación de los bancos de materiales*

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.
BM-1	24.34%	4.81%	83.4%	
BM-2	24.86%	5.02%	82.25%	
Ambos bancos de materiales cumplen con los requerimientos de la norma				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar que los dos bancos de materiales cumplen con los parámetros de la Norma NIC-2019, por lo que se ha seleccionado el Banco de Material 1 perteneciente a la señora Evarista Laguna, el cual puede ser utilizado tanto para base como subbase, ya que presenta un CBR mayor que el banco de material 2.

### 3.2.6. CBR de diseño

Para determinar el CBR de diseño, se debe verificar que los valores del CBR del tramo cumplan con las especificaciones de terraplén y subrasante establecidas en la norma NIC 2019, observe tabla 59. El valor del CBR se tomó a una profundidad de subrasante de 0.30 metros. (ver págs. 94-96).

Tabla 59

*Especificaciones de terraplén y subrasante*

Ensayo		Límite Líquido	Índice de Plasticidad	CBR
Norma		AASHTO T 89	AASHTO T 90	AASHTO T 190
Requerimiento	Terraplén	40 máx.	25 máx.	5% mín.
	Subrasante	30 máx.	10 máx.	15% mín.

Fuente: Norma NIC 2019, TOMO II, sección 1003.22.1-2, (2019, págs. 830-831).

#### 3.2.6.1. Metodología para determinar el CBR de Diseño

- Identificar los valores a utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la subrasante (0.30 m).
- Ordenar los valores de menor a mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

### 3.2.6.2. Identificación del CBR de la subrasante

El valor de CBR de la subrasante es un parámetro importante, a partir del cual se determinan otras variables de diseño de la estructura de pavimento como el Módulo de Resiliencia (MR).

Los suelos encontrados en los sondeos manuales realizados a lo largo del tramo pertenecen a la clasificación de grava y arena limosa (A-2-4), grava y arena arcillosa (A-2-6 y A-2-7) y suelos arcillosos (A-6). De los cuales en su mayoría según lo que establece la AASHTO son considerados de excelentes a buenos para usar en la subrasante, pero una parte es considerada de regular a malo para el uso de la misma (ver anexos tabla 93, pág. XIX).

El criterio más conocido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor de percentil, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento, como se muestra en la tabla 60.

Tabla 60

*Percentil de diseño para subrasante*

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

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1), (1991).

Para este estudio en particular, el ESAL de diseño es de 270,218 (ver tabla 19, pág. 55), por tanto, el valor percentil a utilizar corresponde a 75% del porcentaje de los valores mayores o iguales.

En la tabla 61, pág. 109, se presentan los valores de CBR de cada uno de los sondeos manuales realizados en el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas.

Tabla 61

*CBR subrasante*

Sondeo	Estrato	Profundidad (m)	Clasificación AASHTO	CBR
S1	1	0 – 0.86	A-2-6 (0)	24%
	2	0.86 – 1.50	A-6 (3)	8%
S2	1	0 – 0.38	A-2-7 (1)	18%
	2	0.38 – 1.50	A-2-7 (2)	18%
S3	1	0 – 0.40	A-2-6 (0)	24%
	2	0.40 – 1.50	A-2-7 (1)	18%
S4	1	0 – 1.50	A-2-7 (1)	18%
S5	1	0 – 0.90	A-2-6 (0)	24%
	2	0.90 – 1.50	A-2-6 (1)	24%
S6	1	0 – 1.50	A-2-7 (0)	20%
S7	1	0 – 0.29	A-2-7 (0)	20%
	2	0.29 – 1.50	A-2-7 (1)	18%
S8	1	0 – 1.50	A-2-6 (0)	24%
S9	1	0 – 1.50	A-2-6 (0)	24%
S10	1	0 – 0.55	A-2-4 (0)	60%
	2	0.55 – 1.50	A-2-7 (1)	18%
S11	1	0 – 1.50	A-2-4 (0)	60%
S12	1	0 – 0.46	A-2-4 (0)	60%
	2	0.46 – 1.50	A-2-7 (1)	18%

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de CBR se han acumulado para la determinación del valor de CBR de diseño de la subrasante de acuerdo al tipo de suelo existente en el tramo a los 0.30 m. Se ordenan de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno, como se muestra en la tabla 62, pág. 110.

Tabla 62

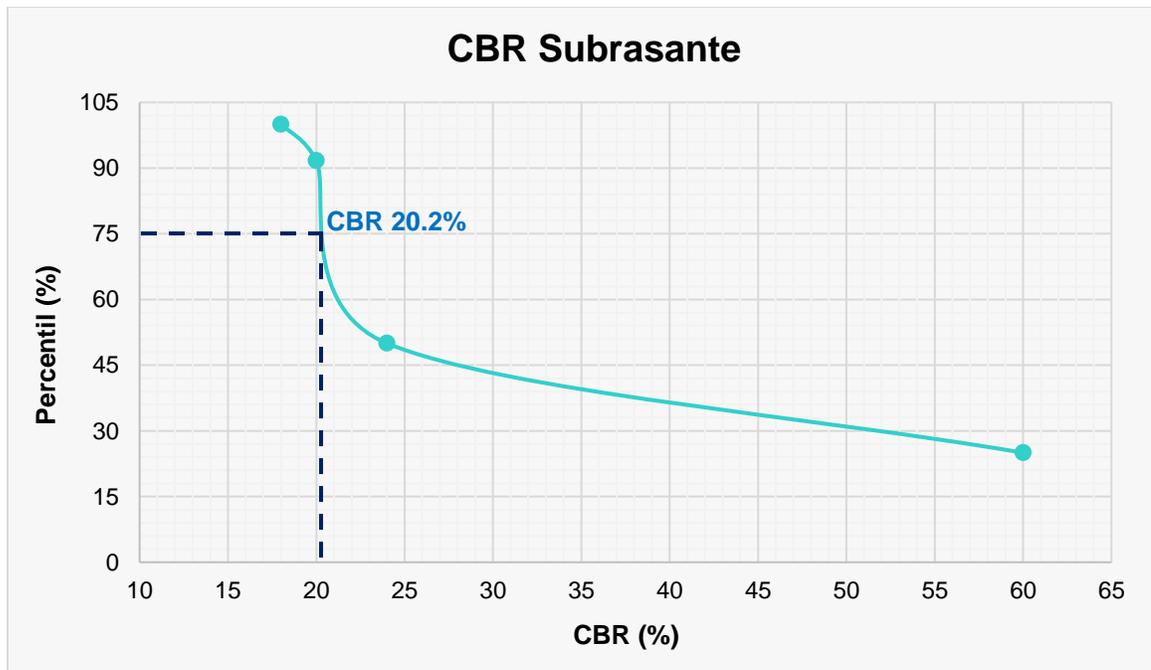
*Selección de CBR de diseño para la subrasante*

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	Cantidades Mayores o Iguales	%
A-2-7(1)	18.00 %	3	12	100%
A-2-7(0)	20.00 %	1	11	91.67%
A-2-6(0)	24.00 %	5	6	50%
A-2-4(0)	60.00 %	3	3	25%
Sumatoria		12		

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores CBR y porcentaje de valores iguales o mayores, se crea un gráfico donde se determina el CBR de diseño para subrasante, mostrado a continuación:

**Figura 36 CBR de diseño**



Fuente: Elaboración propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75%, se obtiene el CBR de diseño para la subrasante siendo este valor 20.2%, el cual cumple con el mínimo recomendado por la norma NIC-2019 de 15% (ver tabla 59, pág.107).

### **3.3. Diseño de estructura de pavimento**

En el desarrollo de este acápite, se muestran los resultados referentes al diseño de pavimento articulado del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas. El método que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento en este trabajo monográfico fue el de la AASHTO 93, el cual involucra los estudios abordados anteriormente (estudio de tránsito y suelos).

Este método está basado en la determinación del número estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

#### **3.3.1. Metodología**

Para el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento articulado, se tomó en consideración la metodología recomendada por la AASHTO 93, detallada a continuación:

- De acuerdo al periodo de diseño y el ESAL calculado en el estudio de tránsito, se deben seleccionar los parámetros de diseño establecidos en el método AASHTO – 93: confiabilidad, desviación estándar, serviciabilidad y módulos de resiliencia.
- Determinar los valores de los coeficientes estructurales de capa utilizando los nomogramas de la AASHTO – 93.
- Calcular los números estructurales, SN, tomando como referencia los nomogramas de la AASHTO – 93 y luego, aplicar las fórmulas correspondientes para el cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

#### **3.3.2. Variables de diseño**

##### **3.3.2.1. Confiabilidad**

Los niveles de confiabilidad están en dependencia de muchos factores que conllevarán al grado de serviciabilidad que presentará el diseño de pavimento. La AASHTO ha propuesto un cuadro de porcentajes de confiabilidad de acuerdo al grado funcional, mostrado en la tabla 63, pág. 112.

Tabla 63

*Niveles de confiabilidad*

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
<b>Colectoras</b>	<b>80-95</b>	<b>75-95</b>
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 colectoras en la zona rural. En dependencia de la confiabilidad, se determina el valor de Zr en la curva normal, siendo el seleccionado el que se muestra en la tabla 64.

Tabla 64

*Desviación normal estándar, Zr*

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
<b>80</b>	<b>-0.841</b>
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), capítulo 7, pág. 55.

### 3.3.2.2. Desviación estándar

Para la determinación de la desviación estándar  $S_o$ , 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 65, y para el caso en estudio, se seleccionó un valor de 0.45.

Tabla 65

*Desviación estándar*

Condición	$S_o$
<b>Pavimentos flexibles</b>	<b>0.4 – 0.5</b>
Construcción nueva	0.35 – 0.4
Sobre – capas	0.5

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

### 3.3.2.3. Serviciabilidad

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

La inicial ( $P_o$ ), es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal ( $P_t$ ) se adopta en base a la categoría del camino y al criterio del diseñador.

Para este diseño, de la tabla 66 se seleccionó un valor de serviciabilidad inicial de 4.2 y de la tabla 67 se tomó un índice de serviciabilidad final de 2, pues el tramo en estudio se trata de un camino de tránsito menor.

Tabla 66

*Serviciabilidad inicial*

Elementos	Índice de Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )
Pavimento Rígido	4.5
<b>Pavimento Flexible</b>	<b>4.2</b>

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

Tabla 67

*Serviciabilidad final*

Tipo de tráfico expresado en EE	Índice de Servicios Final (Pt)
Igual o más para caminos Principales	2.5
<b>Caminos de tránsito menor</b>	<b>2.0</b>

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

La pérdida por serviciabilidad se puede determinar mediante la ecuación 18 (ver pág. 24), dando como resultado un valor de pérdida total en el índice de serviciabilidad igual a 2.2.

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

**3.3.2.4. 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 CBR menor o igual a 10%

$$MR = 1500 * CBR \text{ Ecuación 21 Tomado de Ingeniería de Pavimentos para carreteras, (Fonseca, 2002).}$$

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

$$MR = 4326 * \ln(CBR) + 241 \text{ Ecuación 22 Tomado de Ingeniería de Pavimentos para carreteras, (Fonseca, 2002).}$$

En el estudio de suelos, se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, siendo el valor resultante 20.2% (ver figura 36, pág. 110).

El cálculo del módulo de resiliencia para la subrasante se realizó utilizando la ecuación 22, ya que se tiene un CBR mayor al 10%.

$$MR = 4326 * \ln(20.2) + 241$$

$$MR = 13,243.58 \text{ Psi}$$

### 3.3.3. Coeficientes estructurales

#### 3.3.3.1. Coeficiente de drenaje

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

Para el caso en estudio, se seleccionó como coeficiente de drenaje  $m_2$  y  $m_3$  un valor de 1.2, ya que se estima que la calidad del drenaje es excelente, dado que no se cuenta con un estudio de permeabilidad y mediante los métodos indirectos para la determinación de la permeabilidad partiendo de la curva granulométrica, no es posible su aplicación debido a que solamente se usa para arenas y gravas limpias sin cohesión (ver anexos tabla 103, pág. XXXV-XXXVI).

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 hora
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

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

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.			
	< 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 (AASHTO-93), capítulo 7, pág. 148.

### **3.3.3.2. Coeficiente de capa**

La AASHTO 93 designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto en PSI, y considerando el adoquín como pavimento articulado.

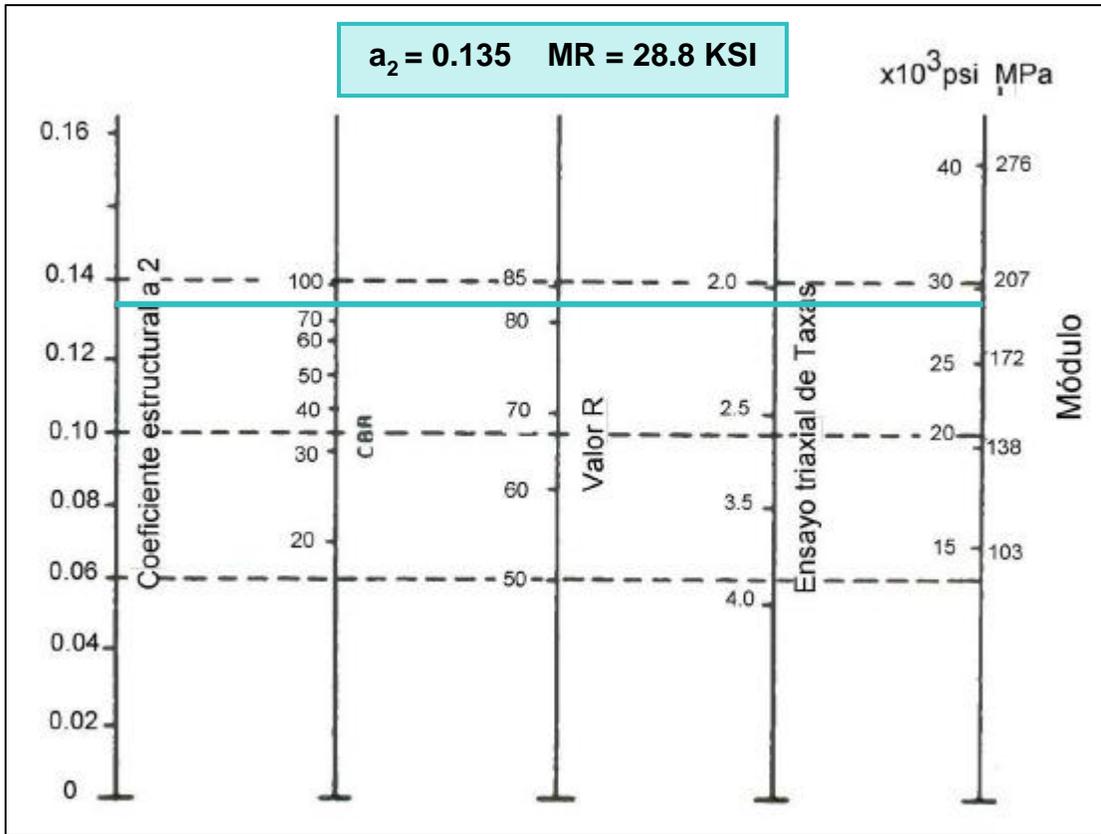
La aplicación de los nomogramas ha simplificado el uso del mismo, ya que son la aplicación de modelos matemáticos representados en medios gráficos a escalas determinadas.

Los valores  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente, los cuales se obtienen mediante nomogramas proporcionados por la AASHTO.

El valor del coeficiente para la carpeta de rodamiento de adoquín que se tomó es el establecido en el capítulo 7 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, el cual aplica el Método AASHTO – 93, siendo este  $a_1 = 0.45$ .

En referencia a las características del suelo (CBR del banco de materiales 1 = 83.40%), la determinación del coeficiente  $a_2$  se realizó en base a la aplicación del nomograma mostrado en la figura 37, pág. 117, obteniéndose un valor de  $a_2 = 0.135$ . Asimismo, se determinó el valor del módulo resiliente para la base, el cual es de 28.8 KSI.

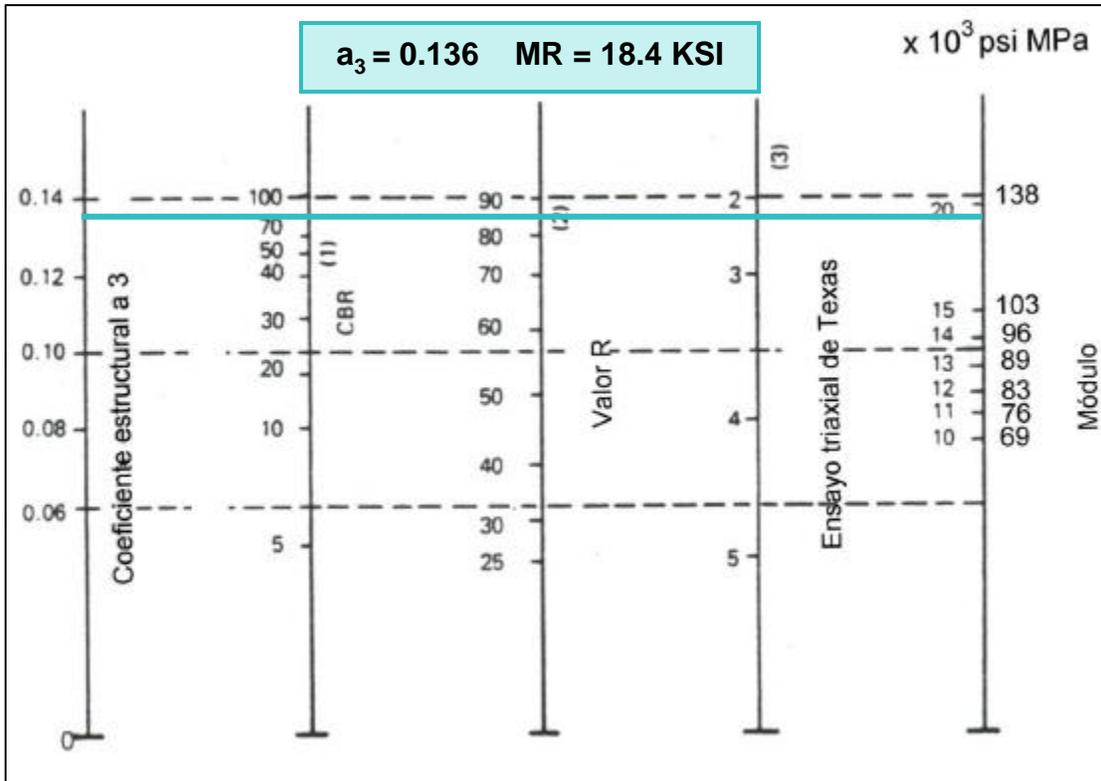
Figura 37 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



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

Para determinar el coeficiente  $a_3$ , se utilizó del nomograma mostrado en la figura 38, pág 118. Al trazar la línea sobre el valor CBR de 83.40% usado para la subbase, se obtiene un resultado  $a_3 = 0.136$  y un módulo de resiliencia de 18.4 KSI.

**Figura 38 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes**

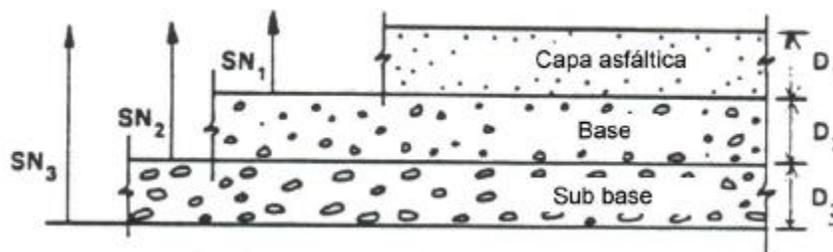


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 118.

### 3.3.4. Espesores de capa

La metodología de la AASHTO se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes. El proceso está indicado en la figura 39 y se explica a continuación:

**Figura 39 Procedimiento para determinar el espesor**



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 8, pág. 175.

### 3.3.4.1. Número estructural

Para la determinación de los números estructurales  $SN_2$  y  $SN_3$  se utilizaron los datos mostrados en la tabla 70, la cual es un resumen de todos los procedimientos y cálculos realizados anteriormente. Posteriormente, se interpolaron en los ábacos proporcionados por la Guía de Diseño AASHTO – 93.

Tabla 70

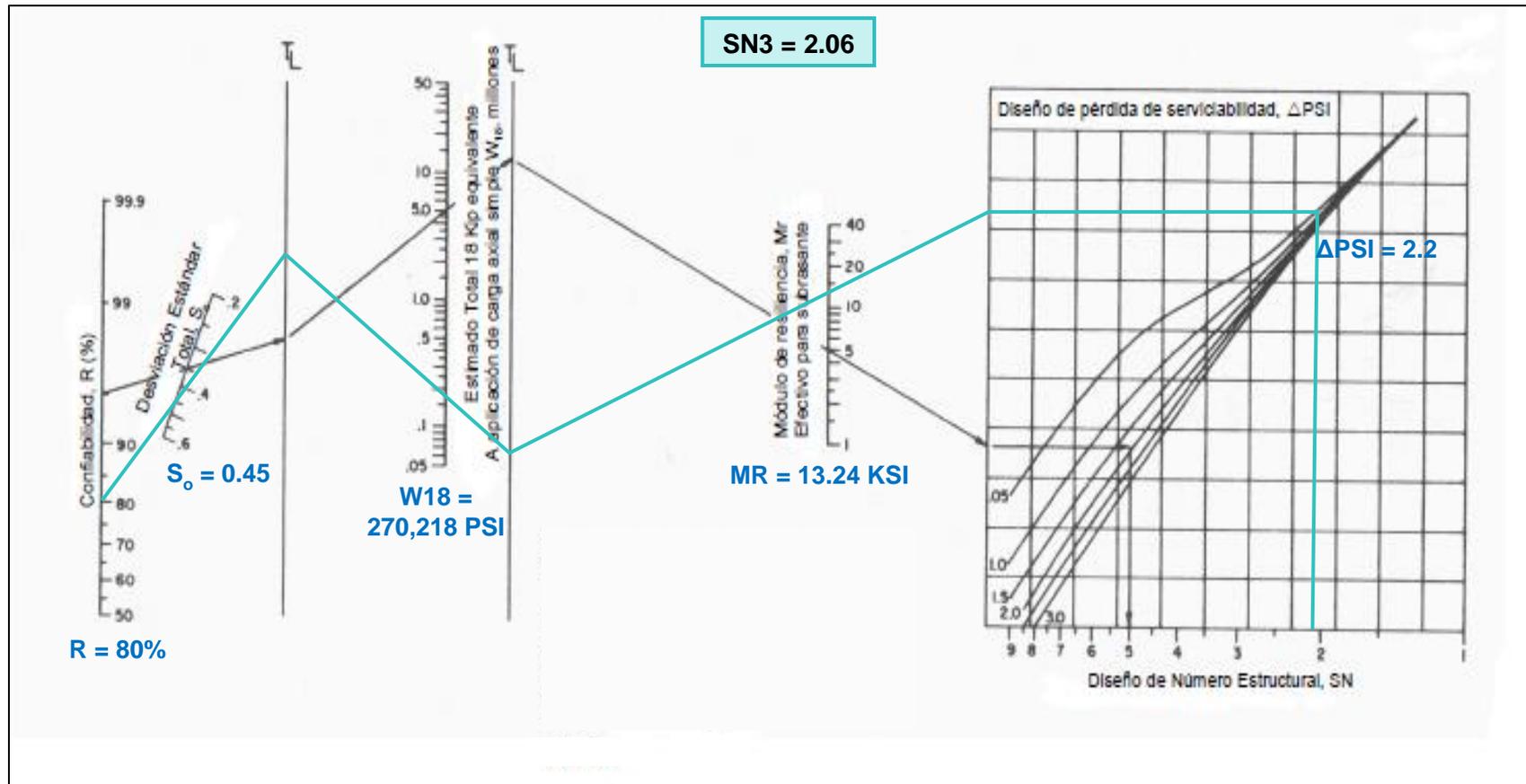
*Parámetros para la determinación de los números estructurales*

Parámetro	Valor utilizado
Confiabilidad (R)	80%
Desviación estándar ( $S_o$ )	0.45
ESAL de diseño (W18)	270,218 PSI
Módulo de resiliencia subrasante	13.24 KSI
Módulo de resiliencia de subbase	18.4 KSI
Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )	2.2

Fuente: Elaboración propia.

Usando el ábaco de la figura 40, pág. 120, se obtuvo el número estructural de la subbase  $SN_3 = 2.06$  utilizando el  $MR = 13.24$  KSI correspondiente a subrasante.

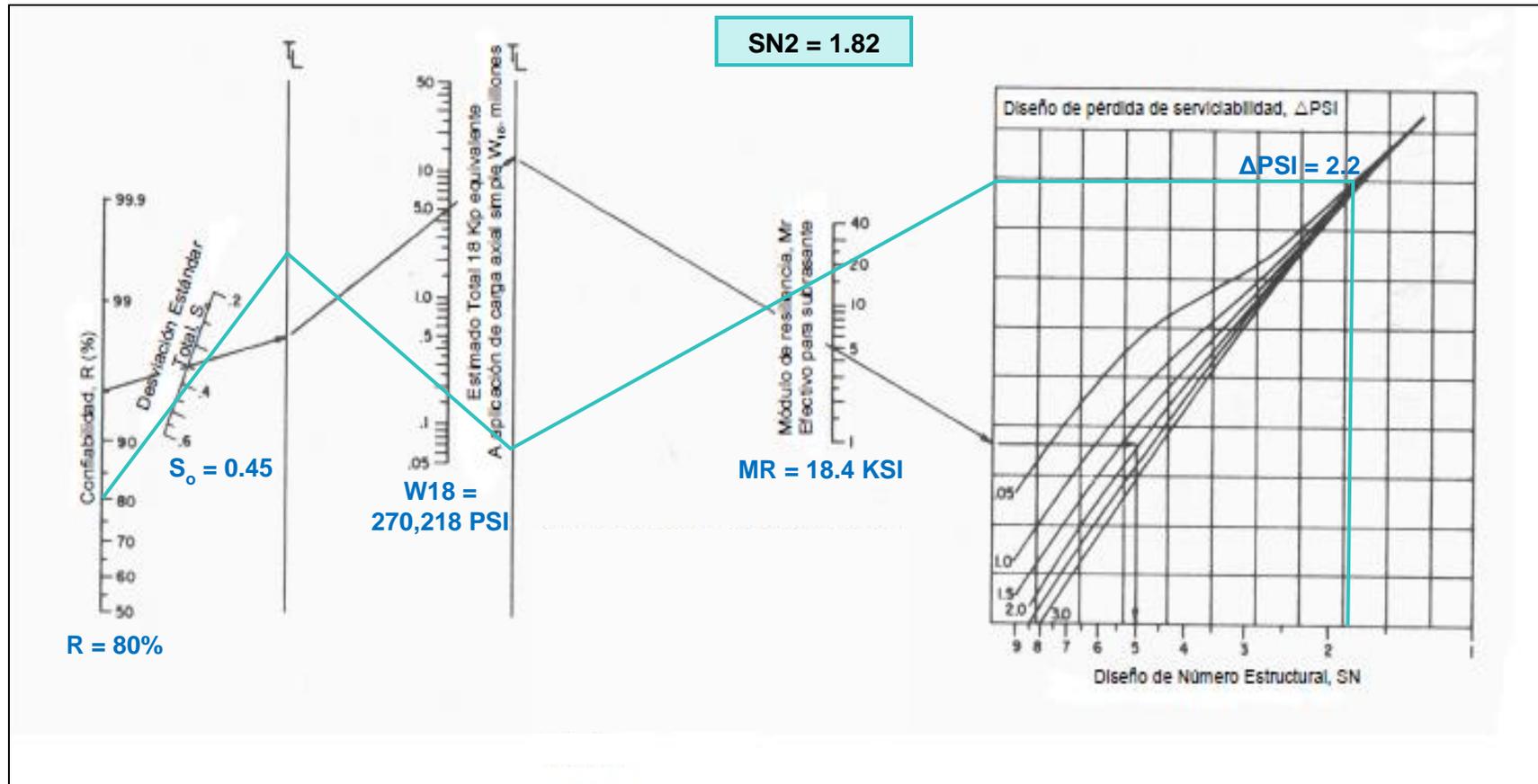
Figura 40 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN3 (subbase)



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

Para determinar el número estructural de la base  $SN_2 = 1.82$ , se utilizó el ábaco con el  $MR = 18.4$  KSI de la subbase como se muestra en la figura 41.

**Figura 41 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles,  $SN_2$  (base)**



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

Todos estos valores son necesarios para la determinación de los espesores de capa de la estructura de pavimento. Los valores de SN, se comprobaron en el software de la AASTHO 93, coincidiendo los valores con los presentados en los ábacos anteriores (Ver anexos, figuras 59-60, pág. XXXVII).

### 3.3.4.2. Cálculo de los espesores

Con los valores de los coeficientes encontrados  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , el coeficiente de drenaje para base y sub-base, el módulo de resiliencia, y los números estructurales, se procedió al cálculo de los espesores de cada capa como se muestra a continuación:

#### 3.3.4.2.1. Carpeta de rodamiento

El espesor  $D_1$ , será de 4 pulgadas ya que en este caso se utilizará adoquín como carpeta de rodamiento.

$$D_1 = 4 \text{ pulg}$$

Aplicando la ecuación 23, se determina el valor del número estructural,  $SN_1$ :

$$SN_1 = a_1 * D_1 \text{ Ecuación 23 Tomado de (AASTHO-93, 2001)}$$

$$SN_1 = 0.45 * 4 = 1.8$$

#### 3.3.4.2.2. Base

Conociendo el valor de  $SN_1$  y el  $SN_2$  obtenido del ábaco, así como el valor de  $a_2$  y  $m_2$ , se procede a aplicar la ecuación 24 para determinar el espesor de la base detallado a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2} \text{ Ecuación 24 Tomado de (AASTHO-93, 2001)}$$

$$D_2 = \frac{1.82 - 1.8}{0.135 * 1.2} = 0.12 \text{ pulg}$$

Atendiendo la recomendación de la AASHTO el valor obtenido de  $D_2$  no cumple con el espesor mínimo para la base granular (ver tabla 71, pág. 123), por lo que se utilizó un  $D_2 = 4$  para luego recalcular el  $SN_2$ , aplicando la ecuación 25.

Tabla 71

*Espesores mínimos sugeridos de carpeta asfáltica y base granular*

Número de ESAL'S	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
<b>150,000 - 500,000</b>	<b>2.6</b>	<b>4</b>
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 para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 8, pág. 175.

$$SN_2 = a_2 m_2 D_2 \text{ Ecuación 25 Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$SN_2 = 0.135 * 1.2 * 4 = 0.648$$

#### 3.3.4.2.3. Subbase

Finalmente, para la subbase el espesor se determina empleando la ecuación 26 que toma en cuenta los valores de SN1 y SN2 calculados anteriormente, así como los coeficientes  $a_3$  y  $m_3$ .

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3} \text{ Ecuación 26 Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$D_3 \geq \frac{2.06 - (1.8 + 0.648)}{0.136 * 1.2} = - 2.38 \text{ pulg}$$

Como el resultado es negativo, no se empleará sub-base para la estructura de pavimento articulado, ya que de acuerdo a los criterios de la AASHTO, no se necesita dicha capa.

A continuación, se muestra la verificación del SN requerido que para este caso se tomó el valor del SN3 = 2.06, realizando una sumatoria de los SN corregidos para lo cual se aplicó la ecuación 27.

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{req} \text{ Ecuación 27 Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$1.8 + 0.648 \geq 2.06$$

$$2.45 \geq 2.06 \therefore \text{Cumple}$$

Luego de realizar estos procedimientos se ha llegado al diseño definitivo de los espesores, mostrados en la tabla 72 y figura 42.

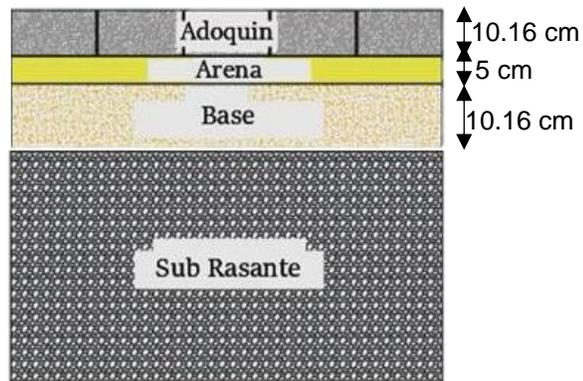
Tabla 72

*Espesores de pavimento articulado*

Capa	Espesor	
	Pulgadas	cm
Adoquín	4	10.16
Colchón de arena	2	5.08
Base	4	10.16
Espesor total	10	25.40

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42 Espesores de la estructura de pavimento**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. Estudio de impacto ambiental**

El Estudio de Impacto Ambiental para el proyecto consiste en una descripción de la información base del medio ambiente físico, biológico y socioeconómico de la zona donde se ubica el estudio.

Este apartado refleja los diferentes impactos al medio ambiente durante la construcción del proyecto Diseño de Estructura de Pavimento Articulado del Tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas y cómo se podrían atenuar dichos impactos en los proyectos de caminos y carreteras, que resultan de su construcción, mantenimiento y tránsito a través de una evaluación cualitativa y mediante la utilización del método Matriz de Leopold.

#### **3.4.1. Metodología**

- Evaluar los efectos positivos y negativos (matriz causa - efecto) que pueden resultar de la ejecución del proyecto, utilizando la matriz de Leopold en Microsoft Excel.
- Realizar una valoración cualitativa de los impactos identificados mediante una matriz de importancia basada en la matriz causa–efecto.
- Analizar las medidas de mitigación ambiental necesarias antes las posibles afectaciones al medio ambiente.

#### **3.4.2. Descripción de las etapas del proyecto**

##### **3.4.2.1. Remoción de estructuras**

Los trabajos de este proyecto consisten en la remoción parcial o total de cunetas y vados, que incluirá la limpieza y desecho de todos los materiales producto de la remoción a una distancia considerable. Las cunetas y vados que se encuentren en buen estado no serán removidos.

##### **3.4.2.2. Excavación cortes y movimiento de tierra**

Según los informes geológicos del proyecto, no existen procesos geodinámicos de gran magnitud que pongan en riesgo la integridad de la carretera y las vidas

de sus usuarios; además, se ha considerado que la condición existente de los taludes en la carretera son estables.

#### **3.4.2.3. Explotación de Bancos de Materiales**

Esta actividad consiste en la extracción de materiales provenientes del banco de material Sra. Evarista Laguna, previamente identificado para ser utilizado en la construcción de terraplenes y para su utilización como base dentro del paquete estructural de la carretera.

#### **3.4.2.4. Explotación de fuentes de agua**

Consiste en la obtención del recurso de los cuerpos superficiales de agua dentro de la zona de estudio. En este caso, la fuente de agua existente a lo largo del tramo es el Río La Trinidad cuyo caudal varía de acuerdo a la estación (invierno y verano). No obstante, la explotación del agua para uso de las actividades de construcción o rehabilitación de la carretera deberá ser autorizada por la autoridad correspondiente y verificada en relación a sus propiedades fisicoquímicas.

#### **3.4.2.5. Paquete estructural y colocación de carpeta de rodamiento**

Esta actividad consta de la habilitación final del sitio y conformación para recibir el paquete estructural, incluyendo base. Colocación de la carpeta con adoquines, según especificaciones técnicas de ingeniería de pavimentos.

#### **3.4.2.6. Depósitos de materiales excedentes**

Identificación y habilitación de depósitos para albergar material excedente proveniente del movimiento de tierras por obras de corte y construcción de variantes.

#### **3.4.2.7. Obras de drenaje**

Construcción obras de drenaje transversal y longitudinal, incluyendo cunetas y vados.

#### **3.4.2.8. Fase de Operación**

Se refiere a la puesta en operación del proyecto, que implica el libre flujo de los vehículos a la velocidad directriz, el aumento del tráfico vehicular. Es importante

mencionar que esta actividad iniciará a partir de la culminación de todas las etapas constructivas.

### **3.4.3. Método Matriz de Leopold**

Este método cualitativo da una idea del efecto de cada acción sobre el factor ambiental afectado y posteriormente permitirá definir las medidas de mitigación pertinentes para aquellos impactos negativos o críticos. Al ir determinando la importancia del impacto se construye la matriz de impacto.

En esta valoración, se mide el impacto, en base al grado de manifestación cualitativa del efecto que quedará reflejado en el concepto importancia del impacto.

Para determinar cualitativamente dichos impactos ambientales se usó una serie de matrices donde se le asignaron valores de acuerdo a las relaciones de las actividades vinculadas. En la evaluación se abordaron factores que afectan ya sea positiva o negativamente la zona en estudio.

Los impactos potenciales que podrían originarse, son analizados con relación a los siguientes factores ambientales: microclima, ruido, vibraciones, contaminación del aire, suelo y agua, paisaje, estética y aspectos socioeconómicos. Los impactos variarán en grado y magnitud, en función a la condición ambiental inicial existente de los recursos mismos, la relación con las actividades previstas en ejecución del proyecto y el grado de sinergia con los diferentes componentes del ecosistema.

A continuación se presenta paso a paso la aplicación del método:

#### **3.4.3.1. Matriz de causa – efecto**

Permite identificar los factores del medio que posiblemente pueden ser afectados por las etapas que se ejecutarán en el proyecto a como se muestra en la tabla 73, págs. 128-129.

Tabla 73

Matriz de causa – efecto (impactos)

Factores del medio			Etapa							
			Remoción de Estructuras	Excavación, corte y movimiento de tierra	Explotación de Bancos de materiales	Explotación de Fuentes de Agua	Construcción de Paquete Estructural y colocación de Carpeta de Adoquín	Depósito de Materiales Excedentes (Botaderos)	Construcción Obras de Drenaje	Fase de Operación
			I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>
Nombre		Clave								
Aire	Microclima	M <sub>1</sub>				X				X
	Ruido	M <sub>2</sub>	X	X	X		X			
	Vibraciones	M <sub>3</sub>		X			X			
	Contaminación del aire	M <sub>4</sub>	X	X	X		X			
Suelo	Erosión	M <sub>5</sub>			X				X	X
	Contaminación del suelo	M <sub>6</sub>					X			
Agua	Escorrentía y Drenaje	M <sub>7</sub>			X				X	X
	Cuerpo de Agua Superficial	M <sub>8</sub>			X	X				

Salud	Calidad sanitaria del ambiente local	M <sub>9</sub>								X
	Salud de los Pobladores	M <sub>10</sub>				X				X
	Bienestar Social	M <sub>11</sub>					X			X
Medio Perceptual	Cubierta Vegetal	M <sub>12</sub>			X			X		
	Paisaje	M <sub>13</sub>			X	X	X	X	X	X
	Estética	M <sub>14</sub>					X		X	X
Medio Socio-Económico	Vías de Acceso	M <sub>15</sub>					X		X	X
	Empleos Temporales	M <sub>16</sub>	X	X	X	X	X	X	X	
	Comercio, compra y venta de terrenos	M <sub>17</sub>					X		X	X
	Producción Agrícola	M <sub>18</sub>					X		X	X

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa Fernández-Vítora, 1997).

### 3.4.3.2. Matriz de valoración de impactos

Esta permite valorar a criterio del evaluador los impactos cuyo valor de importancia se determina en función de su naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, acumulación, probabilidad, efecto, periodicidad y percepción social.

Para la valoración de impacto se utilizaron los valores de los atributos de impactos mostrados en la tabla 74, asimismo, se realizó la evaluación cualitativa que se presenta en la tabla 75 págs. 132-133.

Tabla 74

*Valores de los atributos de impactos para realizar la evaluación cualitativa*

Naturaleza		Intensidad (IN) (Grado de Destrucción)	
Impacto beneficioso	(+)	Baja	1
Impacto perjudicial	(-)	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
Extensión (EX) (Área de influencia)		Momento (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Critica	(+4)
Critica	(+4)		
Persistencia (PE) (Permanencia del Efecto)		Reversibilidad (RV) (Recuperabilidad)	
Fugaz	1	Corto Plazo	1
Temporal	2	Medio Plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Acumulación (AC) (Incremento progresivo)		Probabilidad (PB) (Certidumbre de aparición)	
Sin sinergismo (simple)	1	Probable	1
Sinérgico	2	Dudoso	2
Acumulativo	4	Cierto	4

<b>Efecto (EF) (Relación Causa - Efecto)</b>		<b>Periodicidad (PR) (Regularidad de manifestación)</b>	
Indirecto (secundario)	1	Irregular y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
<b>Percepción Social (PS) (Grado de percepción del impacto por la población)</b>		<b>Importancia (I) (Valor total)</b>	
Mínima (25%)	1	$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RV + AC + PB + EF + PR + PS)$	
Media (50%)	2		
Alta (75%)	4		
Máxima (100%)	8		
Total (>100%)	(+4)		

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa Fernández-Vítora, 1997).

Tabla 75

Matriz para la valoración de impactos

IMPACTOS	Atributos a evaluar												*Valor máximo de importancia
	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Acumulación	Probabilidad	Efecto	Periodicidad	Perc. Social	Importancia	
	SIGNO	IN	EX	MO	PE	RV	AC	PB	EF	PR	PS	SUMA	
I1M2	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I1M4	-1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	-20	100
I1M16	1	4	2	4	2	2	1	4	4	1	2	36	100
I2M2	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I2M3	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I2M4	-1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	-20	100
I2M16	1	8	4	4	2	2	1	4	4	1	2	52	100
I3M2	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I3M4	-1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	-20	100
I3M5	-1	1	1	1	2	2	1	1	4	1	2	-19	100
I3M7	-1	1	1	1	2	2	1	1	4	1	2	-19	100
I3M8	-1	1	1	1	2	2	1	2	4	1	2	-20	100
I3M12	-1	2	2	2	2	2	1	2	4	1	2	-26	100
I3M13	-1	2	2	2	2	2	1	2	4	1	2	-26	100
I3M16	1	4	2	4	2	2	1	4	4	1	2	36	100
I4M1	-1	1	2	2	2	1	1	2	4	1	1	-21	100
I4M8	-1	1	1	1	2	2	1	2	4	1	2	-20	100
I4M10	-1	1	2	2	2	2	1	2	4	1	2	-23	100
I4M13	-1	1	2	2	2	2	1	2	4	1	2	-23	100
I4M16	1	4	2	4	2	2	1	4	4	1	2	36	100
I5M2	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I5M3	-1	1	2	4	1	1	1	2	4	1	1	-22	100
I5M4	-1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	-20	100
I5M6	-1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	-20	100
I5M11	1	8	8	4	2	2	4	4	4	2	2	64	100
I5M13	1	4	4	4	2	2	1	2	4	2	2	39	100
I5M14	1	4	4	4	2	2	1	2	4	2	2	39	100
I5M15	1	8	8	4	2	2	4	4	4	2	2	64	100
I5M16	1	4	4	2	2	2	1	4	4	2	2	39	100
I5M17	1	4	8	4	2	2	4	4	4	2	2	52	100

I5M18	1	8	8	4	2	2	4	4	4	2	2	64	100
I6M12	-1	1	1	2	2	1	1	1	4	1	2	-19	100
I6M13	-1	1	1	2	2	1	1	1	4	1	2	-19	100
I6M16	1	4	2	4	2	1	1	4	4	1	2	35	100
I7M5	1	4	4	4	2	2	1	4	4	1	2	40	100
I7M7	1	4	4	4	2	2	1	4	4	2	2	41	100
I7M13	1	8	8	4	2	2	1	4	4	2	2	61	100
I7M14	1	8	8	4	2	2	1	4	4	2	2	61	100
I7M15	1	12	8	4	2	2	1	4	4	2	2	73	100
I7M16	1	8	8	4	2	2	1	4	4	1	2	60	100
I7M17	1	12	8	4	2	2	1	4	4	2	2	73	100
I7M18	1	12	8	4	2	2	1	4	4	2	2	73	100
I8M1	-1	1	2	2	2	1	1	2	4	1	1	-21	100
I8M5	1	8	4	2	2	2	1	4	4	2	2	51	100
I8M7	1	8	4	4	2	2	1	4	4	2	2	53	100
I8M9	1	12	8	4	2	2	4	4	4	4	2	78	100
I8M10	1	12	8	4	2	2	4	4	4	4	2	78	100
I8M11	1	12	8	4	2	2	4	4	4	4	2	78	100
I8M13	1	8	8	4	2	2	1	4	4	2	2	61	100
I8M14	1	8	8	4	2	2	1	4	4	2	2	61	100
I8M15	1	12	8	4	2	2	1	4	4	4	2	75	100
I8M17	1	12	8	4	2	2	1	4	4	4	2	75	100
I8M18	1	12	8	4	2	2	1	4	4	4	2	75	100
<b>*Valor Máximo de la Importancia: Tomado de la tabla de valores de atributos de impactos</b>													
$I = \pm (3IN+2EX+MO+PE+RV+AC+PB+EF+PR+PS)$													
$I = (3(12)+2(12)+8+4+4+4+4+4+4+8)$													
$I= 100$													

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa Fernández-Vítora, 1997).

### 3.4.3.3. Matriz de importancia de impactos

Esta matriz es un resumen de las alteraciones sobre cada medio que permite identificar el factor impactado con mayor peso y a la vez determinar la actividad más importante sobre el medio físico y social (ver tabla 76, págs. 134-135).

Tabla 76

Matriz de importancia de impactos

Factores del Medio			Etapa											
			Impactos								Valor de la Alteración	Máximo Valor de la Alteración	Grado de la Alteración	
			I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>				
Nombre	Clave													
Aire	Microclima	M <sub>1</sub>				-21					-21	-42	200	-21
	Ruido	M <sub>2</sub>	-22	-22	-22		-22					-88	400	-22
	Vibraciones	M <sub>3</sub>		-22			-22					-44	200	-22
	Contaminación del aire	M <sub>4</sub>	-20	-20	-20		-20					-80	400	-20
Suelo	Erosión	M <sub>5</sub>			-19				40	51	72	300	24	
	Contaminación del suelo	M <sub>6</sub>					-20				-20	100	-20	
Agua	Escorrentía y Drenaje	M <sub>7</sub>			-19				41	53	75	300	25	
	Cuerpo de Agua Superficial	M <sub>8</sub>			-20	-20						-40	200	-20
Salud	Calidad sanitaria del ambiente local	M <sub>9</sub>								78	78	100	78	

	Salud de los Pobladores	M <sub>10</sub>					-23				78	55	200	27.5
	Bienestar Social	M <sub>11</sub>						64			78	142	200	71
Medio Perceptual	Cubierta Vegetal	M <sub>12</sub>				-26						-26	100	-26
	Paisaje	M <sub>13</sub>				-26	-23	39	-19	61	61	93	600	15.5
	Estética	M <sub>14</sub>						39	-19	61	61	142	400	35.5
Medio Socio-Económico	Vías de Acceso	M <sub>15</sub>						64		73	75	212	300	70.7
	Empleos Temporales	M <sub>16</sub>	36	52	36	36	39	35	60			294	700	42
	Comercio y Exportaciones, Compra y Venta de Terrenos	M <sub>17</sub>						52		73	75	200	300	66.7
	Producción Industrial y Agrícola	M <sub>18</sub>						64		73	75	212	300	
Valor medio de importancia			-2	-3	-14.5	-10.2	25.2	-1	60.3	60.4				
Dispersión típica			32.9	36.7	20.6	25.9	37.9	31.2	13.5	28.9	1235			
Valor de la Alteración			-6	-12	-116	-51	277	-3	482	664	1235	5300		
Máxima Alteración			300	400	800	500	1100	300	800	1100		5300	23	
Grado de Alteración			-2	-3	-14.5	-10.2	25.2	-1	60.3	60.4				23

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa Fernández-Vítora, 1997).

### 3.4.3.4. Cuantificación de efectos por factores del medio

Para realizar una valoración cualitativa de todas las alteraciones se elabora una tabla que muestre el peso o valor de alteración sobre cada factor, esta se hace en orden ascendente a fin de poder comparar las alteraciones positivas y negativas.

Tabla 77

*Efectos por factores del medio.*

Factores del Medio	Orden de Categorías	Valor de la Alteración	Áreas
Ruido	1	-88	-84
Contaminación del aire	2	-80	-62
Vibraciones	3	-44	-43
Microclima	4	-42	-31
Contaminación del suelo	5	-20	-30
Cuerpo de Agua Superficial	6	-40	-33
Cubierta Vegetal	7	-26	14.5
Salud de los Pobladores	8	55	66.5
Calidad sanitaria del ambiente local	9	78	75
Erosión	10	72	73.5
Escorrentía y Drenaje	11	75	84
Paisaje	12	93	117.5
Bienestar Social	13	142	142
Estética	14	142	177
Producción Agrícola	15	212	212
Vías de Acceso	16	212	206
Comercio, compra y venta de terrenos	17	200	247
Empleos Temporales	18	294	
<b>Suma de Efectos Positivos</b>			<b>1415</b>
<b>Suma de Efectos Negativos</b>			<b>-283</b>
<b>Suma de Efectos Totales</b>			<b>1893</b>
<b>Porcentaje de efectos positivos</b>			<b>75%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3.5. Cuantificación de efectos por etapas del proyecto

De la misma manera que se realizó la cuantificación de efectos por factores del medio, se realiza una cuantificación de efectos por etapas de proyecto. En la tabla 78, se muestra los resultados.

Tabla 78

*Efectos por etapas del proyecto*

<b>Etapas</b>	<b>Orden de Categorías</b>	<b>Valor de la Alteración</b>	<b>Áreas</b>
Explotación de Bancos de materiales	1	-116	-83.5
Explotación de Fuentes de Agua	2	-51	-31.5
Excavación, corte y movimiento de tierra	3	-12	-9
Remoción de Estructuras	4	-6	-4.5
Depósito de Materiales Excedentes (Botaderos)	5	-3	411
Construcción de Paquete Estructural y colocación de Carpeta de Adoquín	8	277	379.5
Construcción Obras de Drenaje	9	482	573
Fase de Operación	10	664	
<b>Suma de Efectos Positivos</b>			<b>952.5</b>
<b>Suma de Efectos Negativos</b>			<b>282.5</b>
<b>Suma de Efectos Totales</b>			<b>1160.5</b>
<b>Porcentaje de efectos positivos</b>			<b>82%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3.6. Balance de Impactos

Una manera de realizar un balance de impactos es a través de una comparación de pesos de alteraciones en la que se muestre el efecto neto de las alteraciones positivas y negativas, esto se hace con el objetivo de obtener una herramienta que permita evaluar el impacto global del proyecto. En los anexos, figuras 61 y 62, pág. XXXVIII, se muestran gráficamente los balances de comparación.

#### **3.4.4. Medidas de mitigación de los impactos sobre el medio**

En esta sección se señalarán las distintas medidas de mitigación para cada impacto identificado dentro del presente proyecto. El propósito de estas será atenuar los impactos ambientales negativos a un nivel aceptable.

La ventaja de incorporar el presente análisis ambiental cuando se está elaborando el proyecto, radica en que este es el momento más oportuno de introducir las medidas de mitigación (que pueden ser de prevención o de corrección) y esto implica reducir los costos, comparado con el hecho de que estas medidas se incorporen cuando el proyecto está totalmente formulado o en ejecución.

La mitigación se hace de tres maneras:

1. Ejecutar las obras viales atendiendo las normas a seguir en las operaciones constructivas.
2. Construcción de obras de protección previstas en los planos.
3. Construcción de obras provisionales y toma de medidas eventuales que permiten una ejecución de las obras viales evitando que fenómenos naturales como la lluvia, el viento, el fuego, afecten al medio ambiente y los recursos naturales.

En la tabla 79, pág. 139, se muestra un resumen de las medidas de mitigación para los impactos ambientales negativos más relevantes por la ejecución del proyecto Diseño de Estructura de Pavimento Articulado del Tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas.

Tabla 79

*Medidas de mitigación contra el impacto ambiental negativo*

Acciones	Medidas de mitigación
Depósito de materiales excedentes	Colocar la señalización informativa correspondiente para indicar la ubicación del depósito y su camino de acceso.
	Los depósitos deben ser ubicados lo suficientemente alejados de los cuerpos de agua.
Explotación de fuentes de agua	Se debe establecer un sistema de extracción del agua de manera que no exista una remoción de las partículas suspendidas aumentando la turbiedad del agua, encharcamiento en el área u otros daños en los componentes del medio ambiente aledaño, tales como alteraciones a la fauna acuática. Si una fuente de agua en uso pudo haber sido contaminada se ordenará la suspensión de su utilización.
Explotación de bancos de materiales	Estabilizar y normalizar la topografía en los bancos de materiales, dejando el piso del área de explotación levemente inclinada hacia el área natural de esorrentía, a fin de facilitar la evacuación de las agua.
	Selección de sitios para mantenimiento de la maquinaria y recolectar residuos grasas y combustibles.
	Realizar corte según ángulos de reposos.
Generación de ruido	Establecer un adecuado sistema de mantenimiento de los silenciadores de los equipos y vehículos, retirando a los que excedan los 80 db (nivel máximo permitido).
	Se deberán establecer limitaciones de velocidad cerca de los centros poblados.
Fase de operación del proyecto	En los sitios donde se ejecutaron cortes, se realizará revegetación.
	Identificar tramos en los que el crecimiento de la vegetación actúe como barrera y que haga inoperante las cunetas y alcantarillas.

Fuente: Elaboración propia.



# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

- ❖ Mediante la realización del estudio de tránsito se pudo identificar que el tránsito del tramo es muy variado, predominando vehículos livianos como motos, automóviles, camionetas y regularmente camiones de carga C2, así como buses de transporte intramunicipal rural resultando un TPDA de 708 vehículos por día. De igual forma, se obtuvo una tasa de crecimiento de 3.97 % con la cual se proyectó el tránsito de diseño, generando un ESAL de 270,218 psi con un periodo de diseño de 15 años.
- ❖ En el estudio de suelo se realizaron 12 sondeos manuales con profundidades máximas de 1.50 metros, en los que se determinó que los suelos predominantes en el tramo son en su gran mayoría materiales arenosos y gravosos, con medianos porcentajes de limos y arcillas, que según la clasificación AASHTO pertenecen a los grupos A-2-4, A-2-6, A-2-7 y A-6.

Los dos bancos de materiales que se analizaron presentan suelos del tipo A-2-4, correspondiente a gravas y arenas limosas, seleccionando el material del Banco 1 "Sra. Evarista Laguna", ya que su densidad máxima alcanzada con un menor porcentaje de agua es superior al Banco 2, por lo que puede ser usado en la base de la estructura de pavimento. Respecto a los ensayos de CBR, el banco seleccionado ubicado en la comunidad El Chagüite, posee un CBR de 83.40%, con una densidad máxima de 1,908 kg/m<sup>3</sup> y humedad óptima de 13.3%.

- ❖ En el diseño de la estructura de pavimento, se utilizó el método de la AASHTO - 93, se realizó de manera manual resultando una estructura de pavimento constituida por 3 capas: la de rodadura con adoquín de 4 pulgadas, la cama de arena de 2 pulgadas y la base granular de 4 pulgadas para un total de 10 pulgadas o 25.40 cm. Debido a que el tránsito es mayoritariamente de vehículos livianos, no se propone subbase, además que la subrasante del sitio es de muy buena calidad siendo innecesario el empleo de la misma.

- ❖ Los impactos ambientales detectados pueden ser considerados de baja significancia en vista de que no representan una alteración permanente al medio ambiente cuya afectación no va más allá del período de ejecución de las mismas. Las medidas de mitigación no representan una inversión significativa, más bien están limitadas al cumplimiento de prácticas adecuadas de manejo de desechos, limpieza, mantenimiento preventivo de los equipos y selección adecuada de sitios para depósitos de materiales.



## **RECOMENDACIONES**

## RECOMENDACIONES

- ❖ El MTI deberá establecer medidas de control como buena señalización, desvíos, personal que oriente la circulación vehicular, con el fin de evitar que los vehículos que exceden el límite de carga transiten y provoquen daño prematuro en la vía, así como eliminar al máximo cualquier riesgo de accidente.
- ❖ El MTI tendrá que efectuar conteos vehiculares de manera constante en el tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas para tener un control del comportamiento del flujo vehicular analizado dentro del estudio de tránsito y así prever daños en la estructura de pavimento por el aumento o disminución de los volúmenes de tránsito y sus cargas que puedan afectar directamente el futuro y la vida útil de la carretera.
- ❖ El FOMAV tendrá que brindar mantenimiento a todas las obras de drenaje construidas en la zona estudiada y a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil.
- ❖ La empresa constructora deberá utilizar adoquines procedentes de fábricas certificadas y reconocidas a nivel nacional y que cumpla con las normas ASTM C-140 y C-936 para garantizar la estabilidad y durabilidad de la carpeta de rodamiento del tramo de carretera.
- ❖ El contratista deberá utilizar la mano de obra calificada en todas las etapas constructivas del proyecto, así como involucrar a los pobladores de la zona en el cuidado de las obras realizadas.
- ❖ La supervisión y empresa ejecutora del proyecto deberán llevar un estricto control en la compactación del material selecto que se utilizará en la capa base de la estructura de pavimento de conformidad a las normas de control de calidad ASTM D-698 y así obtener la densidad requerida.
- ❖ El contratista deberá aplicar las medidas de compensación, mitigación y protección ambiental propuestas en el estudio de impacto ambiental de tal manera que las mismas sean parte integral de sus compromisos durante la construcción de la estructura de pavimento articulado del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO-93. (2001). *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 93 (3ra edición)*. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Alcaldía Municipal de La Trinidad. (2013). *Ordenamiento Territorial La Trinidad*. La Trinidad, Nicaragua.
- Alcaldía Municipal de La Trinidad. (marzo de 2023). *Rehabilitación y mantenimiento de caminos rurales en La Trinidad*. (M. Calderón, Entrevistador)
- Banco Central de Nicaragua. (2022). *Anuario de Estadísticas Macroeconómicas . Sector Real: Producto Interno Bruto con enfoque en la producción*. Nicaragua.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. Novena Edición*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Ed. Mundi-Prensa.
- Cordo, O. V. (2006). *Manual de Diseño de Pavimento*. La Paz: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA*. Guatemala: USAID/SIECA.
- Corredor M, G. (2008). *Experimento Vial de la AASHTO y las Guías de Diseño AASHTO*. Managua: UNI.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, D.F.: Limosa S.A.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima Edición*. México, D.F.: Cengage Learning.

Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Cuarta Edición*. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

Decreto Ejecutivo No. 20-2017 Sistema de Evaluación Ambiental de Permisos y Autorizaciones para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales. (28 de Noviembre de 2017). La Gaceta, Diario Oficial N°. 228. Managua, Nicaragua. Obtenido de <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/907d4e65c363cc8d062583520054fe79?OpenDocument>

Dellavedova, M. G. (2016). Obtenido de Guía Metodológica para la Elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental: <https://blogs.ead.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-N%C2%BA-17-Gu%C3%ADa-metodol%C3%B3gica-para-la-elaboraci%C3%B3n-de-una-EIA.pdf>

Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Agora Ediciones.

Instituto de Asfalto, (MS-1) . (1991).

Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (2021). Anuario Estadístico INIDE. *Sector Social: Población y hechos vitales*. Nicaragua.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo I*. México, DF: Limusa S.A.

Ley N°. 217 Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. (27 de marzo de 1996). La Gaceta, Diario Oficial N°. 105. Managua, Nicaragua. Obtenido de [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/1B5EFB1E58D7618A0625711600561572?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/1B5EFB1E58D7618A0625711600561572?OpenDocument)

Ley N°. 647 Ley de Reformas y Adiciones a la Ley N°. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. (13 de febrero de 2008). La Gaceta, Diario Oficial N°. 62. Managua, Nicaragua. Obtenido de

<http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aeea87dac762406257265005d21f7/3931522956b885a30625744e00548b32?OpenDocument>

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (03 de Octubre de 2008). Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos. Managua, Nicaragua.

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: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2022). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua: MTI.

Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI. (2019). Norma NIC 2019, Tomo I. *Especificaciones generales para la construcción de camino, calles y puentes*. Nicaragua.

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

Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). *Estadística*. México, DF.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.



# ANEXOS

**Figura 43 Inicio del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas. Est: 0+000**



Fuente: Propia

**Figura 44 Final del tramo La Trinidad – Comunidad Las Ánimas. Est: 3+700**



Fuente: Propia

**Figura 45 Condición actual del tramo durante el verano**



Fuente: Propia

**Figura 46 Condición actual del tramo durante el invierno**



Fuente: Propia

Tabla 80

Formato para aforo vehicular

Tramo: Sentido:									Est: Fecha:					
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C		
06:00	07:00													
07:00	08:00													
08:00	09:00													
09:00	10:00													
10:00	11:00													
11:00	12:00													
12:00	01:00													
01:00	02:00													
02:00	03:00													
03:00	04:00													
04:00	05:00													
05:00	06:00													
Volumen (12 horas diurnas)														

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020).

Tabla 81

Aforo vehicular día lunes (conteo 1)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200				
Sentido: Ambos									Fecha: 18/9/2023				
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C	
06:00	07:00	0	48	0	0	13	1	0	3	0	0	0	65
07:00	08:00	1	68	2	0	8	0	2	0	2	0	0	83
08:00	09:00	0	33	2	0	13	0	1	0	1	0	0	50
09:00	10:00	0	35	6	0	14	0	0	5	2	1	0	63
10:00	11:00	0	29	0	0	12	0	0	2	2	1	0	46
11:00	12:00	0	35	3	0	12	1	0	3	3	0	0	57
12:00	01:00	1	31	1	2	13	1	1	0	0	0	0	50
01:00	02:00	0	35	1	2	18	0	1	3	0	0	0	60
02:00	03:00	0	34	1	1	12	0	1	4	1	1	0	55
03:00	04:00	1	49	2	2	12	1	0	1	3	0	0	71
04:00	05:00	1	53	0	2	14	0	0	0	3	1	0	74
05:00	06:00	1	47	4	2	18	1	0	0	0	3	0	76
Volumen (12 horas diurnas)		5	497	22	11	159	5	6	21	17	7	0	750

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82

Aforo vehicular día martes (conteo 2)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200		Fecha: 19/9/2023			
Sentido: Ambos														
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C		
06:00	07:00	0	40	0	0	8	1	0	2	0	0	0	51	
07:00	08:00	1	53	2	0	3	0	1	0	0	0	0	60	
08:00	09:00	0	27	2	0	5	0	1	0	1	0	0	36	
09:00	10:00	0	30	4	0	10	0	0	6	2	1	0	53	
10:00	11:00	0	29	0	0	15	0	0	2	2	0	0	48	
11:00	12:00	0	32	1	0	13	1	0	4	3	1	0	55	
12:00	01:00	0	44	2	2	11	1	0	3	0	1	0	64	
01:00	02:00	0	42	2	0	8	0	1	3	2	0	0	58	
02:00	03:00	0	37	1	0	17	0	1	1	2	0	0	59	
03:00	04:00	0	41	4	1	13	1	0	2	0	2	0	64	
04:00	05:00	0	46	0	0	10	0	0	4	1	1	0	62	
05:00	06:00	1	57	1	0	13	1	0	0	0	0	0	73	
Volumen (12 horas diurnas)		2	478	19	3	126	5	4	27	13	6	0	683	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Aforo vehicular día miércoles (conteo 3)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200		Fecha: 20/9/2023			
Sentido: Ambos														
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C		
06:00	07:00	0	27	3	0	8	2	0	0	0	0	0	40	
07:00	08:00	1	51	1	0	7	0	2	0	3	0	0	65	
08:00	09:00	0	30	2	1	11	0	1	0	0	0	0	45	
09:00	10:00	0	13	6	0	8	0	0	0	1	0	0	28	
10:00	11:00	0	24	3	0	6	0	0	2	2	0	0	37	
11:00	12:00	0	32	3	0	7	1	0	2	3	0	0	48	
12:00	01:00	0	29	2	2	10	1	1	1	1	0	0	47	
01:00	02:00	0	30	1	0	7	0	1	2	1	0	0	42	
02:00	03:00	0	29	0	0	10	0	1	2	1	1	0	44	
03:00	04:00	0	28	3	0	9	1	0	3	1	0	0	45	
04:00	05:00	0	46	0	0	11	0	0	1	1	1	0	60	
05:00	06:00	1	45	1	0	11	1	0	1	0	0	0	60	
Volumen (12 horas diurnas)		2	384	25	3	105	6	6	14	14	2	0	561	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84

Aforo vehicular día jueves (conteo 4)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200		Fecha: 21/9/2023		Volumen Horario		
Sentido: Ambos									Vehículos de Pasajeros			Vehículos de Carga		Equipos Pesados	
Hora		Bici	Moto	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C			
06:00	07:00	0	31	0	0	7	2	0	1	0	0	0	41		
07:00	08:00	1	52	1	0	3	0	2	0	0	0	0	59		
08:00	09:00	0	26	2	0	8	0	1	0	0	0	0	37		
09:00	10:00	0	20	3	0	7	0	0	2	0	0	0	32		
10:00	11:00	0	27	0	0	8	0	0	1	1	0	0	37		
11:00	12:00	0	29	2	0	7	1	0	3	2	0	0	44		
12:00	01:00	0	35	2	1	10	1	0	2	0	1	0	52		
01:00	02:00	0	44	0	1	13	0	2	1	1	0	0	62		
02:00	03:00	1	42	0	1	8	0	1	1	2	0	0	56		
03:00	04:00	0	15	4	1	5	0	0	2	2	1	1	31		
04:00	05:00	1	39	5	0	6	0	0	0	0	0	0	51		
05:00	06:00	0	39	0	0	12	1	0	0	0	0	0	52		
Volumen (12 horas diurnas)		3	399	19	4	94	5	6	13	8	2	1	554		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85

Aforo vehicular día viernes (conteo 5)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200				
Sentido: Ambos									Fecha: 22/9/2023				
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C	
06:00	07:00	3	30	1	0	13	2	0	0	0	0	0	49
07:00	08:00	1	55	1	0	11	0	2	0	2	2	0	74
08:00	09:00	0	30	1	2	14	0	1	1	1	0	0	50
09:00	10:00	0	30	1	1	8	0	0	1	3	0	0	44
10:00	11:00	0	36	1	0	7	0	0	3	1	0	0	48
11:00	12:00	1	32	4	3	12	1	0	2	1	0	0	56
12:00	01:00	0	30	1	0	9	1	0	0	1	0	0	42
01:00	02:00	0	42	0	2	8	0	2	1	0	1	0	56
02:00	03:00	0	40	0	0	10	0	1	1	1	0	0	53
03:00	04:00	0	20	1	0	7	0	0	2	1	0	0	31
04:00	05:00	0	36	1	1	12	1	0	1	1	0	0	53
05:00	06:00	0	41	0	0	16	0	0	0	0	1	0	58
Volumen (12 horas diurnas)		5	422	12	9	127	5	6	12	12	4	0	614

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86

Aforo vehicular día sábado (conteo 6)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200				
Sentido: Ambos									Fecha: 23/9/2023				
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga			Equipos Pesados	Volumen Horario
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C	
06:00	07:00	0	40	2	0	8	0	0	2	0	0	0	52
07:00	08:00	0	56	1	1	13	0	2	1	0	0	0	74
08:00	09:00	3	40	1	0	14	0	1	3	1	0	0	63
09:00	10:00	0	30	2	0	7	0	0	3	2	0	0	44
10:00	11:00	0	29	0	0	11	0	0	1	2	1	0	44
11:00	12:00	0	26	1	0	12	0	0	3	1	0	0	43
12:00	01:00	0	56	2	0	16	0	1	4	2	0	0	81
01:00	02:00	0	45	2	0	12	0	1	4	0	0	0	64
02:00	03:00	0	37	2	0	13	0	1	3	3	0	0	59
03:00	04:00	0	39	1	2	15	0	0	0	1	0	0	58
04:00	05:00	0	50	2	0	13	0	0	3	0	1	0	69
05:00	06:00	1	45	1	0	10	0	0	0	0	0	0	57
Volumen (12 horas diurnas)		4	493	17	3	144	0	6	27	12	2	0	708

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87

Aforo vehicular día domingo (conteo 7)

Tramo: La Trinidad - Comunidad Las Ánimas									Est: 0+200		Fecha: 24/9/2023		Volumen Horario		
Sentido: Ambos									Vehículos de Pasajeros			Vehículos de Carga		Equipos Pesados	
Hora		Bici	Moto	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	V.C			
06:00	07:00	0	23	0	0	6	0	0	0	0	0	0	29		
07:00	08:00	0	31	1	0	7	0	0	0	0	0	0	39		
08:00	09:00	1	23	0	0	9	0	0	0	0	0	0	33		
09:00	10:00	0	16	1	0	4	0	0	2	0	1	0	24		
10:00	11:00	0	14	0	0	3	0	0	0	1	0	0	18		
11:00	12:00	0	21	2	0	9	0	0	0	0	0	0	32		
12:00	01:00	0	26	0	0	9	0	0	0	0	0	0	35		
01:00	02:00	0	15	0	0	3	0	0	0	0	0	0	18		
02:00	03:00	0	13	0	0	3	0	0	0	0	0	0	16		
03:00	04:00	0	21	1	0	7	0	0	1	1	0	0	31		
04:00	05:00	0	28	0	0	7	0	0	1	0	0	0	36		
05:00	06:00	1	22	0	0	8	0	0	0	0	0	0	31		
Volumen (12 horas diurnas)		2	253	5	0	75	0	0	4	2	1	0	342		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47 Realización de aforo vehicular Est: 0+200**



Fuente: Propia

Tabla 88

*Estación de mayor cobertura San Marcos – Masatepe*

<b>Dependencia de estaciones</b>				
<b>Estación de mayor cobertura</b>	<b>NIC</b>	<b>N° de estación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nombre del Tramo</b>
<b>1802 - San Marcos - Masatepe</b>	NN-38	3207	ECS	El Regadío-Los Encuentros (San Juan de Limay)
	NN-39	121	ECS	Estelí - Rodeo Grande
	NN-40	4902 B	ECS	La Aceituna - Achuapa
	NN-41	4903	ECS	Petaquia - Saslale
	NN-43	3506	ECS	Emp. Chilamatillo - La Concordia
	NN-44	309	ECS	San Rafael del Norte - Los Chaguitones
	NN-45	3501	ECD	Emp. Santa Cruz - San Nicolás
	NN-46	119	ECS	La Trinidad - Sacaclí
	<b>NN-46</b>	<b>313</b>	<b>ECS</b>	<b>Sacaclí - San Gabriel</b>
	NN-48	310	ECS	Sisle -Santa Fe
	NN-59	4107	ECS	La Porrira - Sacramento
NN-51	5704	ECS	Emp. Peñas Blancas - Abisinia	

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 70).

Tabla 89

Registro histórico de TPDA para ECS Sacaclí – San Gabriel

N°	Código NIC	Est.	Tipo	Tramo	Superficie	Clasificación funcional	Año	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13	Clase 14	Clase 15	TPDA
367	NN-46	313	ECS	Sacaclí - San Gabriel	Revestida	Col Sec.	2015	90	2	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115
				EMC: 206																			
				T.CREC. 6.74%			2023	113	3	24	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
							Liv.	140				Pesado				5							
							97%								3%								

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2022, pág. 150).

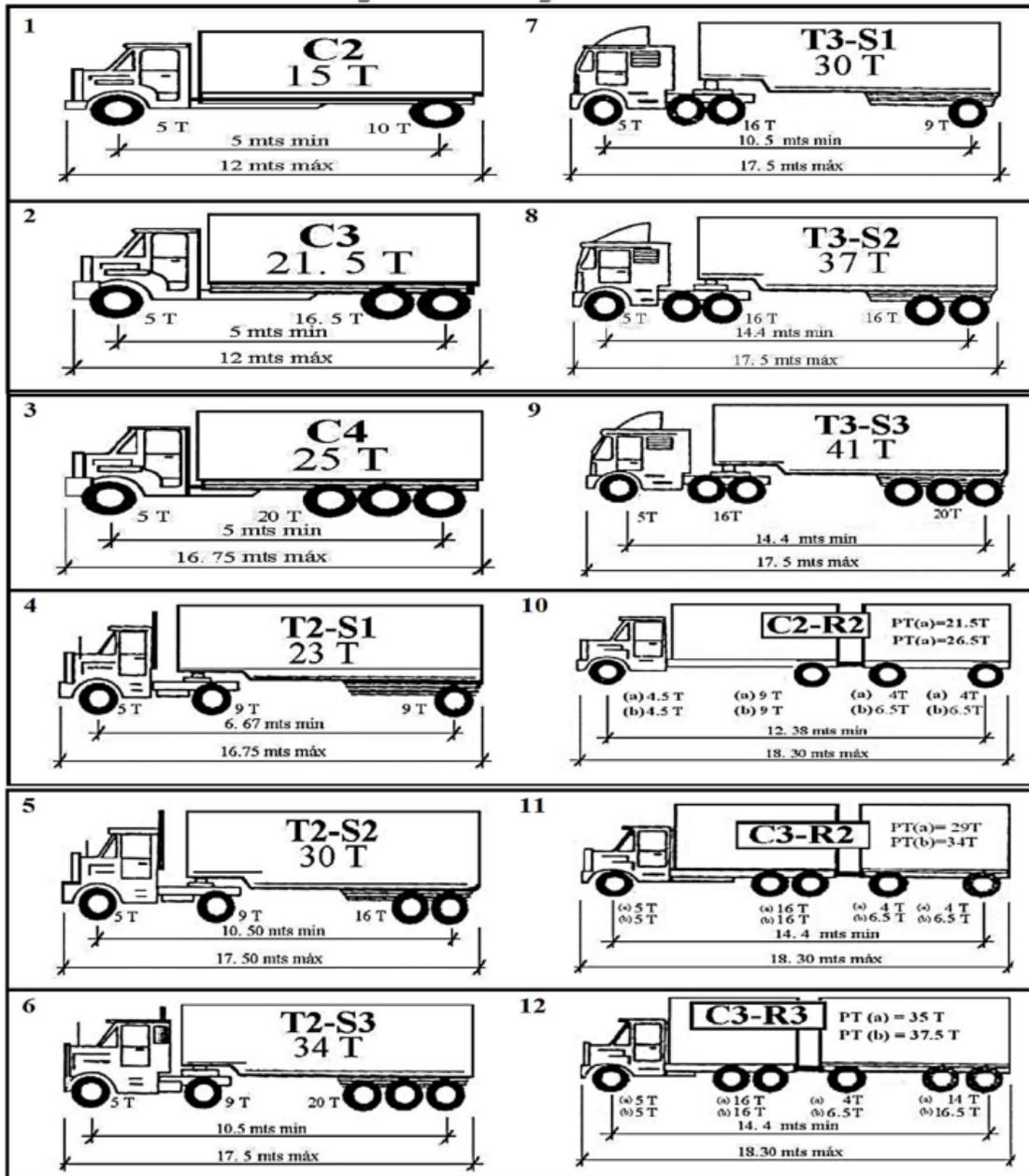
Tabla 90

*Peso por eje para vehículos livianos*

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Peso por eje en TON</b>	<b>Peso por eje en Lbs</b>
Automóvil	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI.

Figura 48 Peso por eje para vehículos de carga



Fuente: Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI.

Tabla 91

*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 (AASHTO-93, pág. 22).

Tabla 92

Factor de Equivalencia Eje Tándem (doble),  $P_t = 2$

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 (AASHTO-93, pág. 23).

**Figura 49 Banco de material 1 Comunidad El Chagüite. Sra. Evarista Laguna**



Fuente: Propia

**Figura 50 Banco de material 2 Comunidad El Chagüite. Sr. Samuel Ortuño**



Fuente: Propia

Tabla 93

Clasificación del suelo por el método AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el N° 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Grupo de Clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
<b>Análisis de tamiz (% que pasa)</b>							
No 10	50 máx.						
No 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
<b>Características de la fracción que pasó No 40.</b>							
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena.		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Grupo de Clasificación	A-4		A-5		A-6		A-7
							A-7-5 y A-
<b>Análisis de tamiz (% que pasa)</b>							
No 10							
No 40							
No 200	36 mín.		36 mín.		36 mín.		36 mín.
<b>Características de la fracción que pasó No 40.</b>							
Límite Líquido	40 máx.		41 mín.		40 máx.		41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.		10 máx.		11 mín.		11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos				Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						

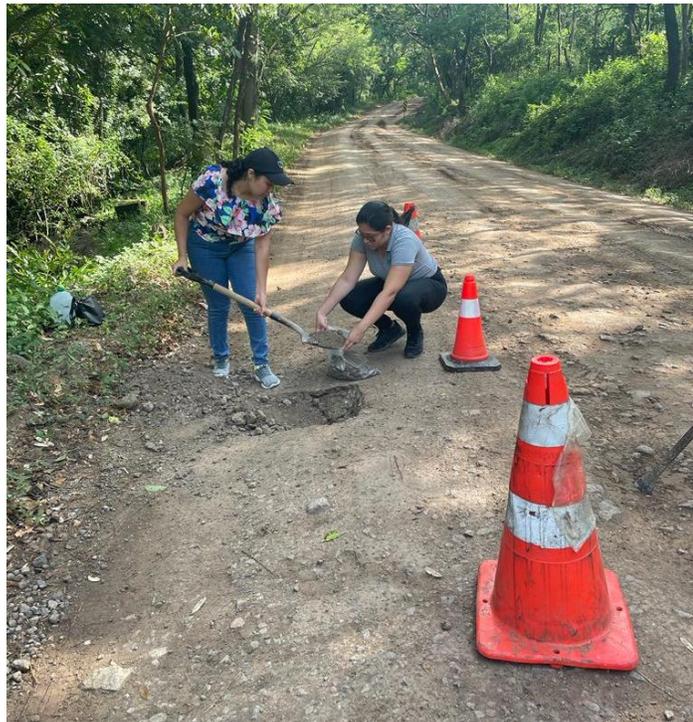
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2015, pág. 79).

**Figura 51 Sondeo manual Est: 0+900**



Fuente: Propia

**Figura 52 Recolección de muestras de los sondeos Est: 1+200**



Fuente: Propia

**Figura 53 Muestras en laboratorio**



Fuente: Propia

**Figura 54 Tamizado para la determinación de la granulometría**



Fuente: Propia

**Figura 55 Determinación de los límites de consistencia**



Fuente: Propia

**Figura 56 Realización de pruebas de compactación proctor estándar**



Fuente: Propia

Tabla 94

*Datos de laboratorio para granulometría SM1 - SM5*

<b>Prueba N°</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
Profundidad (m)	0 - 0.86	0.86- 1.5	0 - 0.38	0.38 - 1.5	0 - 0.40	0.40 - 1.5	0 - 1.5	0 - 0.90	0.90 - 1.5
Peso húmedo antes de lavado (gr)	3505.1	1473.1	3192.9	1430.2	1445.3	3122.4	1736	1468.4	1555.4
Peso seco antes de lavado (gr)	3211.02	1375.6	2953.2	1325.4	1348.9	2915.4	1600.1	1398.2	1443.7
Peso seco después de lavado (gr)	2573.7	809.7	2193.2	876.6	1115.3	2289.3	1050.5	1226	1055.4
Peso retenido en Tamiz 1"	362.3	-	248.2	-	-	429.8	-	-	-
Peso retenido en Tamiz 3/4"	425.8	103.5	141.3	20.7	50.5	162.2	50.1	25.4	105.7
Peso retenido en Tamiz 1/2"	250.6	95	198.4	115.4	85.4	281.8	157.8	79.6	139.7
Peso retenido en Tamiz 3/8"	191.8	40	135.8	138.8	169.8	143.2	158.5	98.3	90.9
Peso retenido en Tamiz N° 4	291.6	124.1	292	188.2	254	343.7	181.3	265.2	179.7
Peso retenido en Tamiz N° 10 (gr)	325.9	149.9	359.8	121.8	162	335.3	104.7	221.5	143.5

Peso retenido en Tamiz N° 16 (gr)	171.7	68.3	187	54.9	74.2	150.4	12.9	89.9	76.2
Peso retenido en Tamiz N° 20 (gr)	90.4	33.3	100.5	42.8	64.6	73.8	40	89.4	50.2
Peso retenido en Tamiz N° 30 (gr)	84.84	32.8	100.9	35.6	52.3	73.1	64	70.3	42.6
Peso retenido en Tamiz N° 40 (gr)	82.72	26.5	106.4	29.5	50.3	62.9	52	65.6	40.3
Peso retenido en Tamiz N° 50 (gr)	68.44	27.6	104.2	24.1	41.3	57.6	50.3	60.3	34.1
Peso retenido en Tamiz N° 60 (gr)	39.9	21.7	37.5	20.6	29.5	27.3	27.4	49.9	36.6
Peso retenido en Tamiz N° 80 (gr)	52.5	31.1	67.6	16.7	32.5	47.8	52.9	38.5	39.9
Peso retenido en Tamiz N° 100 (gr)	34.8	13.4	29.9	20.2	21.1	23.6	26.5	29.5	30.1
Peso retenido en Tamiz N° 200 (gr)	83.6	38.3	76.3	40.3	25.4	70	66.8	40.2	40.2
Pana (gr)	16.7	4.2	7.4	7.2	2.4	6.7	5.3	2.4	5.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95

*Datos de laboratorio para granulometría SM6 – SM12*

<b>Prueba N°</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
Profundidad (m)	0 - 1.5	0- 0.29	0.29 - 1.5	0 - 1.5	0 - 1.5	0- 0.55	0.55 - 1.5	0 - 1.5	0 - 0.46	0.46 - 1.5
Peso húmedo antes de lavado (gr)	1589.6	3418.6	1538.4	1615.1	3615.8	1608.4	1577.2	1558.7	3509.9	1562.8
Peso seco antes de lavado (gr)	1410.8	3209.6	1387.2	1425.4	3386.4	1418.2	1392.4	1396.3	3341.6	1365.3
Peso seco después de lavado (gr)	1142.6	2558.0	989.6	1154.6	2846.0	1210.1	1020.5	1120.5	2789.0	1001.6
Peso retenido en Tamiz 1"	-	255.2	-	-	250.4	-	-	-	174.4	-
Peso retenido en Tamiz 3/4"	52.6	359.2	49.1	20.4	242.3	22.3	40.1	30.6	415.3	53.2
Peso retenido en Tamiz 1/2"	88.7	420.6	146.48	105.4	215.2	84.2	73.2	84.7	315.7	166.3
Peso retenido en Tamiz 3/8"	185.3	255.4	139.4	112.3	250.2	92.4	150.6	96.4	274.7	128.6
Peso retenido en Tamiz N° 4	258.3	220.7	174.6	200.2	322.4	305.4	215.4	220.6	389.9	155.3
Peso retenido en Tamiz N° 10 (gr)	179.5	301.8	102.3	169.6	315.3	201.7	180.44	152.4	287.4	138.9

Peso retenido en Tamiz N° 16 (gr)	80.3	225.4	50.3	118.4	215.4	115.35	90.2	98.3	160.6	62.5
Peso retenido en Tamiz N° 20 (gr)	69.5	100.6	46.6	87.3	189.3	72.7	77.5	88.6	118.4	55.3
Peso retenido en Tamiz N° 30 (gr)	55.8	90.4	50.3	74.2	169.4	62.1	45.2	80.4	120.6	40.1
Peso retenido en Tamiz N° 40 (gr)	35.2	77.2	41.5	69.2	150.4	50.6	33.6	74.8	111.8	36.6
Peso retenido en Tamiz N° 50 (gr)	31.9	50.1	39.2	45.3	135.4	44.2	28.6	59.8	98.4	34.2
Peso retenido en Tamiz N° 60 (gr)	25.5	39.5	34.6	36.5	100.1	35.2	15.1	44.3	85.24	31.1
Peso retenido en Tamiz N° 80 (gr)	22.6	45.6	33.5	33.1	95.3	40.2	18.6	32.1	71.2	29.2
Peso retenido en Tamiz N° 100 (gr)	25	45.8	31.5	36.4	89.4	38.9	20.1	20.1	66.4	28.1
Peso retenido en Tamiz N° 200 (gr)	30.1	60.6	45.3	38.8	100.3	39.2	30.3	32.4	88.5	35.2
Pana (gr)	2.3	10	4.9	7.5	5.3	5.6	1.6	5.2	10.3	6.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96

*Datos de laboratorio para granulometría BM1 – BM2*

<b>Prueba N°</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
Profundidad (m)	-	-
Peso húmedo antes de lavado (gr)	3598	3458
Peso seco antes de lavado (gr)	3513.4	3395
Peso seco después de lavado (gr)	3374.1	3089
Peso retenido en Tamiz 1"	581	320.4
Peso retenido en Tamiz 3/4"	269.4	215.8
Peso retenido en Tamiz 1/2"	752.8	498.9
Peso retenido en Tamiz 3/8"	332.2	436
Peso retenido en Tamiz N° 4	706.8	753
Peso retenido en Tamiz N° 10 (gr)	424.7	456.8
Peso retenido en Tamiz N° 16 (gr)	125.4	134.7
Peso retenido en Tamiz N° 20 (gr)	37.8	50.9
Peso retenido en Tamiz N° 30 (gr)	34.5	56.9
Peso retenido en Tamiz N° 40 (gr)	22.3	36.8
Peso retenido en Tamiz N° 50 (gr)	21.7	25.9
Peso retenido en Tamiz N° 60 (gr)	9.7	22.4
Peso retenido en Tamiz N° 80 (gr)	17.7	23.6
Peso retenido en Tamiz N° 100 (gr)	8.6	20.7
Peso retenido en Tamiz N° 200 (gr)	27	30.5
Pana (gr)	2.6	5.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97

Datos de laboratorio para límite líquido SM1 – SM5

<b>Prueba N° 1</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
N° de golpes	27	30	31	29	34	33	32	34	35
Tara N°	001	021	013	017	001	021	007	011	013
Peso de tara (gr)	20.03	19.79	19.92	19.97	20.05	19.98	19.98	19.95	19.94
Peso húmedo + peso tara (gr)	29.04	28.15	29.15	29.08	27.99	28.15	28.41	28.42	28.88
Peso seco + peso tara (gr)	26.49	25.91	26.39	26.28	25.79	25.72	25.89	26.19	26.39
<b>Prueba N° 2</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
N° de golpes	25	29	25	24	26	26	27	24	24
Tara N°	022	015	006	010	022	015	027	004	006
Peso de tara (gr)	19.89	20.02	20	20.03	19.89	20.02	19.89	19.95	19.9
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.78	27.04	26.89	26.94	26.15	25.98	26.35	26.45	27.01
Peso seco + peso tara (gr)	24.09	25.04	24.75	24.74	24.36	24.15	24.39	24.69	24.99
<b>Prueba N° 3</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
N° de golpes	18	17	18	16	17	19	20	18	18
Tara N°	020	003	033	028	020	003	036	005	033
Peso de tara (gr)	19.93	19.92	19.94	19.93	19.93	19.92	20.02	20.01	19.9
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.46	26.45	26.15	26.42	25.98	27.15	27.22	26.87	25.81
Peso seco + peso tara (gr)	23.85	24.54	24.15	24.31	24.2	24.85	24.96	24.92	24.07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98

*Datos de laboratorio para límite líquido SM6 – SM12*

<b>Prueba N° 1</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
N° de golpes	33	30	34	29	32	35	32	33	34	31
Tara N°	17	001	021	007	011	013	017	001	021	007
Peso de tara (gr)	19.97	20.03	19.98	19.98	19.95	19.92	19.97	20.03	19.98	19.98
Peso húmedo + peso tara (gr)	30.06	29.48	28.15	27.66	28.44	29.1	28.15	29.06	28.94	29.14
Peso seco + peso tara (gr)	26.99	26.8	25.79	25.55	26.19	26.59	25.67	26.59	26.64	26.49
<b>Prueba N° 2</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
N° de golpes	28	25	28	22	26	29	25	25	28	24
Tara N°	010	022	015	027	004	006	010	022	015	027
Peso de tara (gr)	20.03	19.89	20.02	19.89	19.95	20	20.03	19.89	20.02	19.89
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.88	26.16	26.46	26.58	28.01	27.94	25.4	27.1	28.4	26.14
Peso seco + peso tara (gr)	24.06	24.3	24.53	24.6	25.8	25.71	23.72	25.07	26.16	24.29
<b>Prueba N° 3</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
N° de golpes	20	19	20	16	18	19	17	17	19	16
Tara N°	028	020	003	036	005	033	028	020	003	036
Peso de tara (gr)	19.93	19.93	19.92	20.02	20.01	19.94	19.93	19.93	19.92	20.02
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.84	25.79	26.16	26.22	26.43	25.69	27.15	26.77	27.12	26.08
Peso seco + peso tara (gr)	23.95	24.02	24.24	24.36	24.62	24.01	24.84	24.77	25.1	24.23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99

*Datos de laboratorio para límite líquido BM1 – BM2*

<b>Prueba N° 1</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
N° de golpes	33	33
Tara N°	007	011
Peso de tara (gr)	18.88	18.84
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.58	25.56
Peso seco + peso tara (gr)	24.33	24.29
<b>Prueba N° 2</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
N° de golpes	27	26
Tara N°	027	004
Peso de tara (gr)	18.89	18.85
Peso húmedo + peso tara (gr)	26.74	26.7
Peso seco + peso tara (gr)	25.2	25.14
<b>Prueba N° 3</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
N° de golpes	18	19
Tara N°	036	005
Peso de tara (gr)	19.02	19.01
Peso húmedo + peso tara (gr)	28.89	28.92
Peso seco + peso tara (gr)	26.88	26.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100

*Datos de laboratorio para límite plástico SM1 – SM5*

<b>Prueba N° 1</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
Tara N°	032	012	028	026	032	012	034	031	028
Peso de tara (gr)	19.98	20.00	19.47	20.02	19.98	20.23	19.95	19.93	19.92
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.35	26.15	25.38	25.96	26.15	26.07	25.35	25.28	25.07
Peso seco + peso tara (gr)	24.22	25.03	24.17	24.74	24.85	24.85	24.22	24.23	24.12
<b>Prueba N° 2</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
Tara N°	002	019	016	030	002	019	025	018	016
Peso de tara (gr)	20.04	20.00	19.34	19.9	20.04	19.99	20.01	20	19.94
Peso húmedo + peso tara (gr)	26.08	25.44	26.76	25.77	26.04	25.69	25.15	25.09	25.31
Peso seco + peso tara (gr)	24.83	24.42	24.91	24.56	24.79	24.57	24.06	24.09	24.31
<b>Prueba N° 3</b>	<b>S1-1</b>	<b>S1-2</b>	<b>S2-1</b>	<b>S2-2</b>	<b>S3-1</b>	<b>S3-2</b>	<b>S4-1</b>	<b>S5-1</b>	<b>S5-2</b>
Tara N°	009	035	014	031	009	035	008	024	014
Peso de tara (gr)	19.98	19.91	19.31	19.93	19.98	19.9	19.9	19.99	19.9
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.47	25.98	25.56	25.31	26.15	25.02	26.31	25.17	25.14
Peso seco + peso tara (gr)	24.36	24.83	24.32	24.2	24.83	24.06	24.96	24.15	24.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101

*Datos de laboratorio para límite plástico SM6 – SM12*

<b>Prueba N° 1</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
Tara N°	026	032	012	034	031	028	026	032	012	034
Peso de tara (gr)	20.02	19.98	20.01	19.95	19.93	19.93	20.02	19.98	20.01	19.95
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.1	25.14	26.06	25.84	27.14	26.18	25.9	25.48	26.1	26.69
Peso seco + peso tara (gr)	23.9	24.09	24.71	24.51	25.68	24.74	24.61	24.22	24.72	25.22
<b>Prueba N° 2</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
Tara N°	016	002	019	025	018	016	030	002	019	025
Peso de tara (gr)	19.94	20.04	19.99	20.01	20	19.94	19.9	20.04	19.99	20.01
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.08	25.22	25.49	26.14	26.08	25.1	27.15	26.46	26.08	25.99
Peso seco + peso tara (gr)	23.88	24.18	24.28	24.75	24.85	23.89	25.53	24.99	24.68	24.69
<b>Prueba N° 3</b>	<b>S6-1</b>	<b>S7-1</b>	<b>S7-2</b>	<b>S8-1</b>	<b>S9-1</b>	<b>S10-1</b>	<b>S10-2</b>	<b>S11-1</b>	<b>S12-1</b>	<b>S12-2</b>
Tara N°	031	009	035	008	024	014	031	009	035	008
Peso de tara (gr)	19.93	19.98	19.9	19.9	19.99	19.89	19.93	19.98	19.9	19.9
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.81	25.2	25.64	26.01	25.32	24.99	26.04	25.08	25.19	25.84
Peso seco + peso tara (gr)	24.42	24.15	24.36	24.66	24.23	23.81	24.68	23.89	23.99	24.58

Fuente: Elaboración propia.

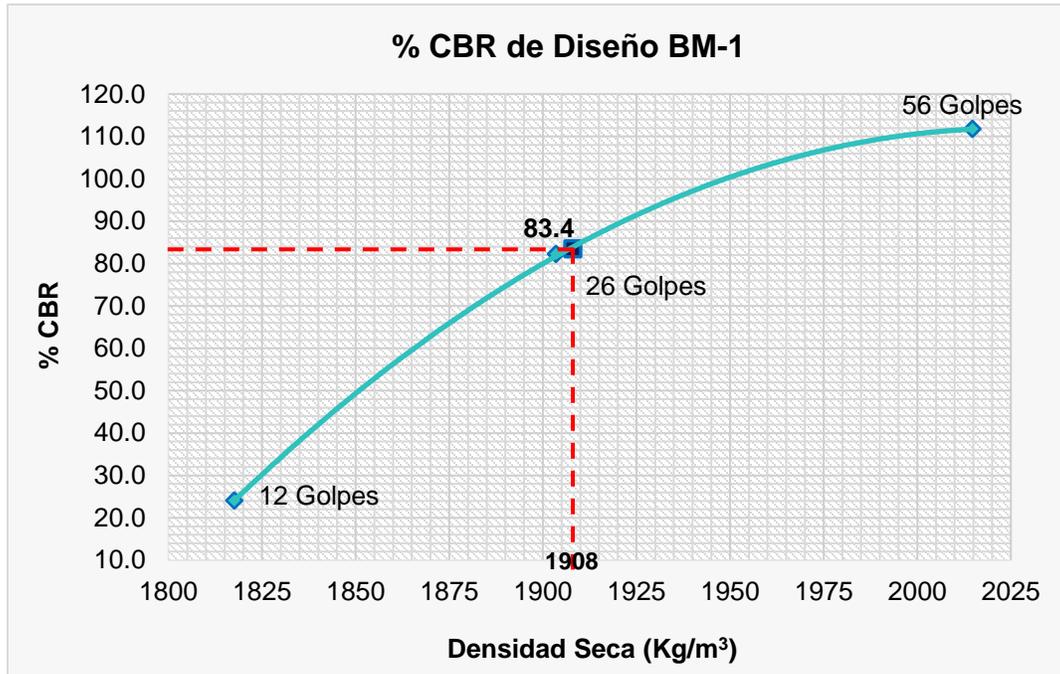
Tabla 102

*Datos de laboratorio para límite plástico BM1 – BM2*

<b>Prueba N° 1</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
Tara N°	034	031
Peso de tara (gr)	18.95	18.93
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.11	25.13
Peso seco + peso tara (gr)	24.17	24.21
<b>Prueba N° 2</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
Tara N°	025	018
Peso de tara (gr)	18.9	18.88
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.1	25.2
Peso seco + peso tara (gr)	24.12	24.18
<b>Prueba N° 3</b>	<b>BM-1</b>	<b>BM-2</b>
Tara N°	008	024
Peso de tara (gr)	18.9	18.9
Peso húmedo + peso tara (gr)	25.1	25.14
Peso seco + peso tara (gr)	23.99	23.98

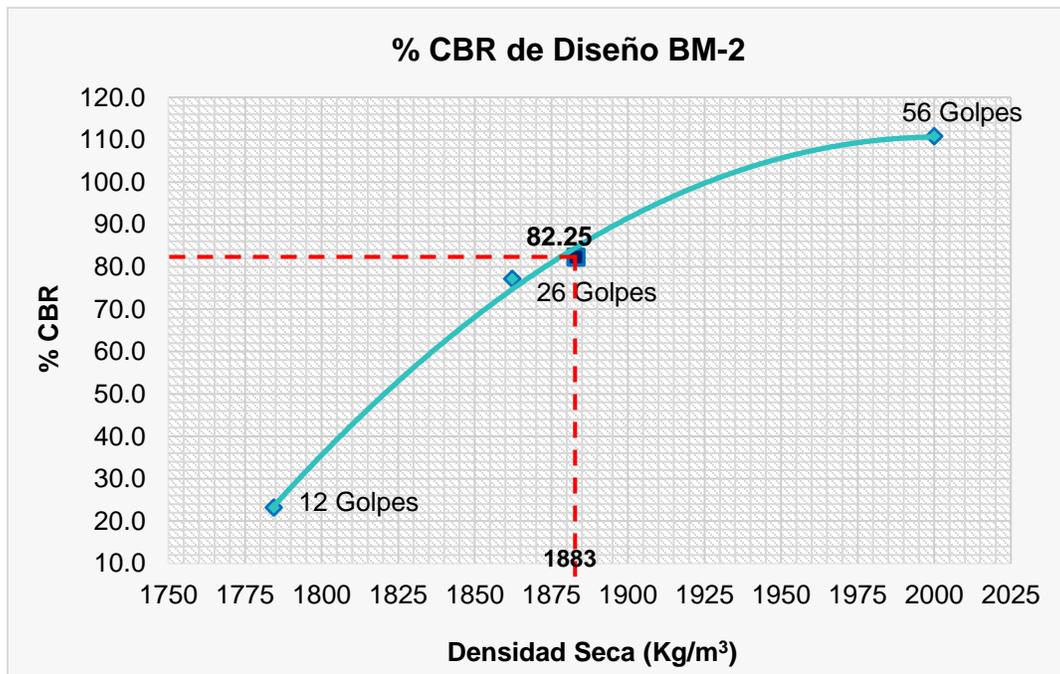
Fuente: Elaboración propia.

Figura 57 Ensayo de CBR BM-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58 Ensayo de CBR BM-2



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103

Coeficiente de permeabilidad,  $k$

	100	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	
<b>Drenaje</b>	<b>Bueno</b>						<b>Pobre</b>			<b>Prácticamente impermeable</b>			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada.						Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición		
					Suelos "impermeables" modificados por la vegetación o la descomposición.								
Determinación directa de $k$	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastantes exactos.												
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.												

Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.
		Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica solo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.		Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia.

Fuente: (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 198).

**Figura 59 Comprobación de SN3**

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 13243.58 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 = 270218**  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 2.06**

Calcular Salir

Fuente: Software AASHTO – 93.

**Figura 60 Comprobación de SN2**

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 18400 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

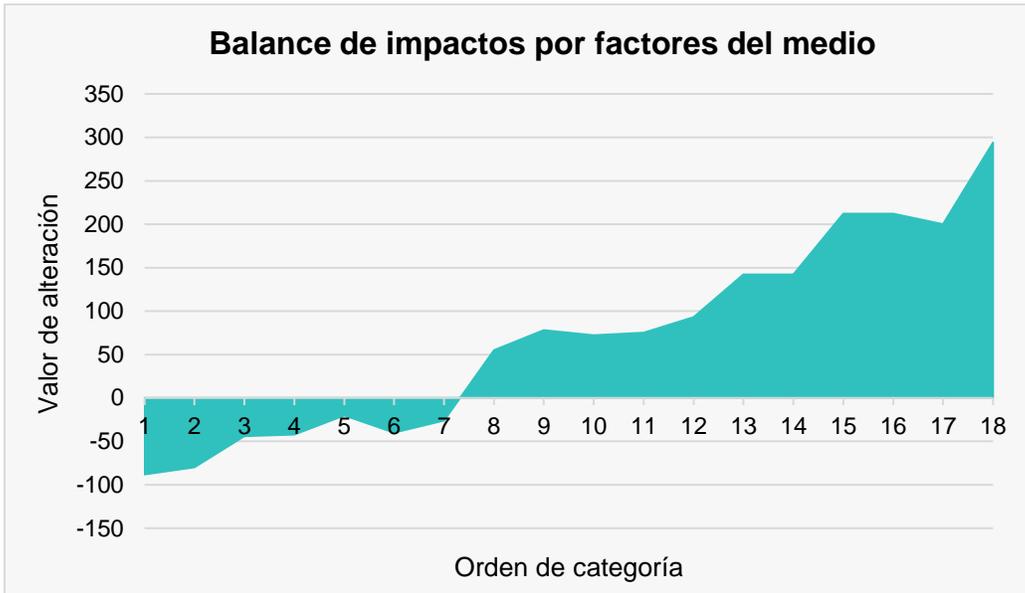
Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 = 270218**  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 1.82**

Calcular Salir

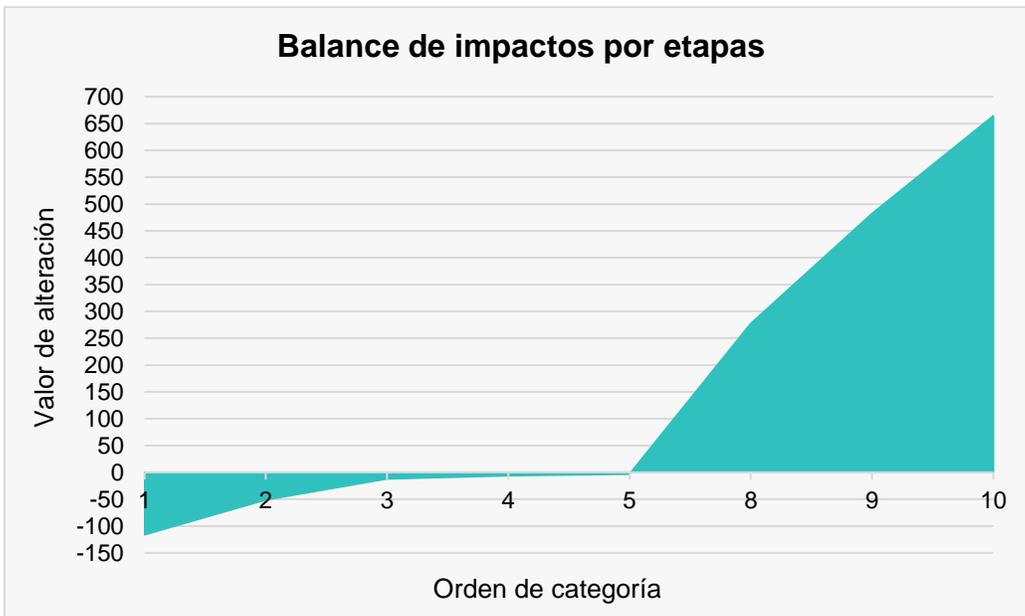
Fuente: Software AASHTO – 93.

**Figura 61 Balance de impactos por factores del medio**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 62 Balance de impactos por etapas**



Fuente: Elaboración propia.