

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 3KM PARA LA COMARCA DE BETULIA, EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD, CHONTALES, NICARAGUA”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Gerard Manuel
Sequeira Téllez
Carnet: 2016-0087J

Br. Sandra Sthefany
Dávila Solano
Carnet: 2015-0088J

Br. Jesner Esaú
Duarte Lumbi
Carnet: 2016-0077J

MSc. Gioconda Isabel
Juárez Romero

05 de marzo de 2026
Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por darnos la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para realizar nuestro trabajo monográfico. Y nos guio en la trayectoria desde nuestros estudios de la carrera que transcurrimos.

Agradecemos a nuestros padres **Lic. Sandra de la Cruz Téllez Reyna, Luis Salvador Sequeira Dávila. María Auxiliadora Lumbi Villega. Y Lic. Sandra Solano Duarte.**

Especialmente a **Fulgencio Duarte Acevedo QPDE), Rafael Antonio Quintanilla QPDE**, que no lograron vernos titulados y por ellos día a día damos nuestros esfuerzos.

A nuestros docentes, quienes con paciencia y compromiso compartieron sus conocimientos y nos guiaron en este proceso formativo. Especialmente a nuestra tutora **M.Sc. Gioconda Isabel Juárez Romero**. Por habernos orientado en nuestro periodo de preparación monográfica.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas conocidas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo y en nuestro crecimiento personal y profesional.

Br. Gerard Manuel Sequeira Téllez

Br. Sandra Sthefany Dávila Solano

Br. Jesne Esaú Duarte Lumbi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios y a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por su paciencia, comprensión y esfuerzo constante, que me motivaron a no rendirme y a luchar por mis metas.

Asimismo, dedico este logro a mis docentes, quienes con dedicación, compromiso y profesionalismo me brindaron sus conocimientos y me guiaron en el proceso de formación académica, dejando en mí aprendizajes que trascienden más allá de lo académico.

Extiendo también esta dedicatoria a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, me acompañaron con palabras de aliento, consejos y gestos de apoyo, los cuales se convirtieron en una fuente de fortaleza para alcanzar este objetivo. **(Br. Gerard Manuel Sequeira Téllez)**

Dedico a mi esposo, madre y a cada persona me ayudó en los diferentes caminos que recorrimos para alcanzar este logro, dedicárselos porque cada uno formo parte indirecta de este trabajo monográfico con sus consejos, con su ayuda emocional y motivadora, con su dedicación para con nosotros, ya que no tuvimos un camino fácil para nosotros ni para ustedes que tuvieron que aguantar nuestros momentos de desaliento y nos tuvieron que motivar para sacar adelante esta monografía. Hago una dedicación muy especial a aquellos familiares que ya no están presentes entre nosotros que con su luz nos ayudaron a seguir a pesar de las adversidades, dedicarles un logro que no lograron disfrutar junto a nosotros. **(Br. Sandra Sthefany Dávila Solano).**

Dedico este trabajo a mis padres, quienes, con su amor incondicional, paciencia y sacrificios me han guiado en cada paso de mi vida. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre presentes en los momentos de alegría y en los de dificultad.

También lo dedico a mi familia, que con su cariño y apoyo constante me brindaron la motivación necesaria para seguir adelante y alcanzar esta meta. Este logro es tan mío como de ustedes, pues sin su respaldo y confianza no habría sido posible.

(Br. Jesner Esaú Duarte Lumbi)

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente documento monográfico presenta el Diseño de pavimento articulado de 3km para la comarca de Betulia, en el municipio de la Libertad, Chontales, Nicaragua,

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

Este capítulo expone aspectos básicos necesarios para la elaboración del documento y del proyecto tales como: introducción, localización, objetivos y justificación.

CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL.

En este apartado se presentan las bases conceptuales del proyecto, en este nos enfocamos en presentar los estudios que son necesarios analizar para la realización del proyecto, describiendo cada tema y sub-tema que contienen los mismo, dentro de lo más importante presentado en el capítulo es el estudio de tránsito, el estudio topográfico, el estudio de suelo y el método para el diseño de pavimento articulado.

CAPITULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo se muestran los procesos y resultados obtenidos para los estudios en los que se detallan:

Estudios de tránsitos: En este apartado se hizo un estudio vehicular para determinar la cantidad de vehículo y composición de tránsito actual que circula por el tramo, se ubicó en el Estacio 2+850 del tramo a diseñar, realizando dicho aforo durante siete días empezando del lunes 2 de septiembre al Domingo 8 de septiembre del año 2024 con un tiempo de 12 horas de 6 am a 6 pm.

Los factores utilizados de acuerdo con el estudio vehicular fueron: FD (Factor Día), FS (Factor Semana), FFS (Factor Fin de Semana), FE (Factor Expansión); nos ayudaron a interpretar los valores de composición vehicular del tramo en estudio con respecto al TPDA; luego se realizaron correlaciones de los registros TPDA vs PIB (Producto Interno Bruto) y TPDA vs POB (población); con la finalidad de estimar la tasa de crecimiento para proyectar el tráfico actual, esto en un periodo de diseño y se estimó el número de repeticiones por ejes equivalentes (ESALs).

Levantamiento topográfico: Se realizó con la colaboración de un técnico en topografía, los cuales, por medio de los equipos brindados, se obtuvieron los datos del estudio, se muestra a detalles todo lo que concierne a la planimetría y altimetría del terreno, donde se identificaron las pendientes máximas y mínima con sus respectivas estaciones, se tomaron en consideración los BM, curvas y rectas importante a lo largo del tramo, con la finalidad de tener una perspectiva clara de las condiciones del terreno y poder realizar los planos finales.

Estudio geotécnico: Los análisis de los suelos se tomaron de la información proporcionada por parte de la Alcaldía Municipal de la Libertad y de la empresa MECO, en el cual se verificó el uso correcto de las normas para la determinación de la características y propiedades del suelo, se evaluó también los datos proporcionados del banco de materiales con base a la recomendación y si cumple para ser utilizado como base y subbase. Posterior se realizó el cálculo de CBR de la subrasante para ver el resultado del módulo de resiliencia.

Diseño de estructura de pavimento (determinación de espesores): 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 (P_o , P_t), desviación estándar (S_o), 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.

CONCLUSIONES: presentan de manera simplificada los resultados obtenidos en los estudios realizados.

RECOMENDACIONES: se realiza mención de los resultados derivados de los estudios empleados en la monografía, haciendo saber los mejoramientos que se puede realizar en el tramo conforme a los estudios.

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Macro localización.....	2
1.3.	Micro localización.....	3
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	Objetivo general	4
1.4.2.	Objetivos específicos	4
1.5.	Justificación.....	5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	Estudio de tránsito.....	6
2.1.1.	Tránsito	6
2.1.2.	Aforo vehicular	6
2.1.3.	Clasificación de estaciones por la categoría de vectores.....	6
2.1.4.	Clasificación vehicular.....	7
2.1.5.	Elementos de tránsito	8
2.1.6.	Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)	10
2.1.7.	Tráfico promedio diario anual (TPDA).....	10
2.1.10.	Tasa de crecimiento	12
2.1.11.	Periodo de diseño.....	13
2.1.12.	Tránsito de diseño	14
2.2.	Estudio topográfico.....	15
2.2.1.	Levantamiento topográfico	15
2.2.2.	Levantamientos topográficos planimétricos	15
2.2.3.	Levantamientos topográficos altimétricos.	16
2.2.4.	Perfiles longitudinales	16
2.2.5.	Secciones transversales	16
2.2.6.	Curvas de nivel	16
2.2.7.	Pendiente	17
2.3.	Estudio del suelo.....	17
2.3.1.	Suelo.....	17

2.3.2.	Tipos de suelo.....	17
2.3.3.	Características físico–mecánicas de los suelos.....	18
2.3.4.	Clasificación de los suelos según la AASHTO.....	18
2.3.5.	Índice de plasticidad.....	20
2.3.6.	Ensayo Proctor.....	21
2.3.7.	Ensayo de CBR.....	21
2.4.	Método para el diseño de pavimento articulado.....	21
2.4.1.	Periodo de diseño.....	21
2.4.2.	Factor direccional.....	22
2.4.3.	Factor de crecimiento por carril.....	23
2.4.4.	Elementos de la carretera.....	23
2.4.5.	Principales variables de diseño.....	25

CAPÍTULO III ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1.	Estudio de tránsito.....	29
3.1.1.	Metodología.....	29
3.1.2.	Aforo vehicular.....	30
3.1.3.	Tránsito Promedio Diario semanal (TPDS).....	33
3.1.4.	Transito promedio diario anual (TPDA).....	35
3.1.5.	Tasa de crecimiento.....	44
3.1.6.	Proyección del tránsito.....	48
3.1.6.2.	Tránsito.....	50
3.1.7.	ESAL´s.....	55
3.2.	Metodología de levantamiento topográfico.....	59
3.2.1.	Resultado y descripción obtenida sobre el levantamiento topográfico.....	60
3.2.2.	Relieve del tramo en el estudio.....	60
3.3.	Estudio de suelo.....	70
3.3.1	Ensayo realizado sobre la línea.....	70
3.4.	Diseño de estructura de pavimento.....	113
3.4.1	Metodología.....	113
3.4.2	Variables de diseño.....	113
3.4.4	Módulo Resiliente (MR).....	116
3.4.5	Coeficientes estructurales.....	116

3.4.6	Espesores de capa	121
3.4.7.	Número estructural.....	121
3.4.8.	Cálculo de los espesores.....	128
CONCLUSIONES.....		130
RECOMENDACIONES		131
BIBLIOGRAFÍA.....		132
ANEXOS		I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de ensayos.....	18
Tabla 2	Clasificación Granulométrica según AASHTO	19
Tabla 3	Periodos de diseño para diferentes tipos de carreteras.....	22
Tabla 4	Factor de distribución por dirección (FD).....	22
Tabla 5	Factor de distribución por carril (FC)	23
Tabla 6	índices de confiabilidad	27
Tabla 7	Resultado de aforo vehicular Tramo comarca Santa Rita – Comarca Betulia 32	
Tabla 8	Transito promedio diario semanal (TPDS).....	34
Tabla 9	Vector geográfico.....	36
Tabla 10	Transito promedio diario anual histórico por tipo de vehículos de la estación 715, en el departamento de Chontales	38
Tabla 11	Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre.....	39
Tabla 12	Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia	41
Tabla 13	Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura.	43
Tabla 14	Histórico de TPDA, estación	45
Tabla 15	Histórico de población estimada	46
Tabla 16	Histórico de producto interno bruto (PIB)	47
Tabla 17	Clasificación de las carreteras	49
Tabla 18	Periodos de diseño según tipo de carretera.....	49
Tabla 19	Factor de crecimiento.....	50
Tabla 20	Factor de distribución por dirección	50
Tabla 21	Factor de distribución por carril.....	51
Tabla 22	Proyección de tránsito para el año 2039.....	52
Tabla 23	Tránsito para el carril de diseño	53
Tabla 24	Consolidado de resultados para el diseño de los carriles según el tránsito de diseño	54
Tabla 25	Interpolación Factor ESAL	56
Tabla 26	ESAL de diseño	58

Tabla 27	Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales	
61		
Tabla 28	Pendiente sobre el eje del terreno	61
Tabla 29	Clasificación de ensayos ejecutados.	71
Tabla 30	Granulometría sondeo N1, muestra	72
Tabla 31	Granulometría sondeo N2	73
Tabla 32	Granulometría sondeo N3	75
Tabla 33	Granulometría sondeo N4	76
Tabla 34	Granulometría sondeo N5	78
Tabla 35	Granulometría sondeo N6	79
Tabla 36	Granulometría sondeo N7	81
Tabla 37	Granulometría sondeo N8	82
Tabla 38	Granulometría sondeo N9	84
Tabla 39	Granulometría sondeo N10	85
Tabla 40	Granulometría sondeo N11	87
Tabla 41	Granulometría sondeo N12	88
Tabla 42	Granulometría sondeo N13	90
Tabla 43	Granulometría Sondeo N14	91
Tabla 44	Granulometría sondeo N15	93
Tabla 45	Granulometría sondeo N16	94
Tabla 46	Lista de bancos de materiales explorados	100
Tabla 47	Granulometría banco de materiales N°1	100
Tabla 48	Análisis de compactación	101
Tabla 49	Cálculo de densidad seca del material	102
Tabla 50	Cálculo de densidad seca y humedad del material	102
Tabla 51	Resultado obtenido	102
Tabla 52	Granulometría banco de materiales N°2	103
Tabla 53	Análisis de compactación	104
Tabla 54	Cálculo de la densidad seca máxima del material y cálculo de la densidad seca y humedad optima del material	105
Tabla 55	Resultado obtenido	105
Tabla 56	Resumen de valores Obtenidos por los ensayos	106
Tabla 57	Requerimientos obtenidos	107

Tabla 58	De resultado de requerimiento	108
Tabla 59	Normas para cumplimientos	108
Tabla 60	CBR subrasante	109
Tabla 61	Ordenamiento para CBR.....	110
Tabla 62	Percentiles de diseño para subrasante	112
Tabla 63	Clasificación de los suelos para infraestructura de Pavimentos.	112
Tabla 64	Niveles de confiabilidad	114
Tabla 65	Desviación normal estándar, Z_r	114
Tabla 66	Desviación estándar.....	115
Tabla 67	Serviciabilidad inicial	115
Tabla 68	Serviciabilidad final	115
Tabla 69	Coeficiente de drenaje de la capa.....	117
Tabla 70	Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje	117
Tabla 71	Parámetros para la determinación de los números estructurales	121
Tabla 72	Espesores mínimos sugeridos de carpeta asfáltica y base granular 129	
Tabla 73	Espesores de pavimento articulado	130
Tabla 74	Formato para aforo vehicular	III
Tabla 75	Aforo vehicular día lunes (conteo 1).....	IV
Tabla 76	Aforo vehicular día martes (conteo 2)	V
Tabla 77	Aforo vehicular día miércoles (conteo 3).....	VI
Tabla 78	Aforo vehicular día Jueves (conteo 4).....	VII
Tabla 79	Aforo vehicular día viernes (conteo 5).....	VIII
Tabla 80	Aforo vehicular día Sábado (conteo 6).....	IX
Tabla 81	Aforo vehicular día Domingo (conteo 7).....	X
Tabla 82	Estación de mayor cobertura San Marcos – Masatepe.....	XII
Tabla 83	Factor de Equivalencia Eje Simple, $P_t = 2$	XIV
Tabla 84	Factor de Equivalencia Eje Tandem (doble), $P_t = 2$	XV

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Macro localización de comarca Betulia, municipio de La Libertad, departamento de Chontales, Nicaragua.	2
Figura 2	Micro localización	3
Figura 3	Ubicación del aforo vehicular del tramo finca Santa Rita – Comarca Betulia 31	
Figura 4	Comportamiento vehicular por día del tramo finca Santa Rita – Comarca Betulia	33
Figura 5	Composición del TPDS.....	35
Figura 6	Composición vehicular TPDA (%) del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia	40
Figura 7	Composición vehicular respecto al TPDA del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia	42
Figura 8	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 0+000 – 0+500 (Sin escala).....	67
Figura 9	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 0+500 – 1+000 (Sin escala).....	67
Figura 10	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 1+000 – 1+500 (Sin escala).....	68
Figura 11	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 1+500 – 2+000 (Sin escala).....	68
Figura 12	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 2+000 – 2+500 (Sin escala).....	69
Figura 13	Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 2+500 – 3+000 (Sin escala).....	69
Figura 14	Curva Granulométrica	72
Figura 15	Curva granulométrica.....	74
Figura 16	Curva granulométrica.....	75
Figura 17	Curva granulométrica.....	77
Figura 18	Curva granulométrica.....	78
Figura 19	Curva granulométrica.....	80
Figura 20	Curva granulométrica.....	81
Figura 21	Curva granulométrica.....	83
Figura 22	curva granulométrica.....	84

Figura 23	Curva granulométrica.....	86
Figura 24	Curva granulométrica.....	87
Figura 25	Curva granulométrica.....	89
Figura 26	Curva granulométrica.....	90
Figura 27	Curva granulométrica.....	92
Figura 28	Curva granulométrica.....	93
Figura 29	Curva granulométrica.....	95
Figura 30	Estratigrafía de los suelos (1 al 6).....	97
Figura 31	Estratigrafía de los suelos (7 al 12).....	97
Figura 32	Estratigrafía de los suelos (13 al 16).....	98
Figura 33	Ubicación de los bancos de materiales.....	99
Figura 34	Curva granulométrica.....	101
Figura 35	Curva de Compactación del suelo	103
Figura 36	Curva granulométrica.....	104
Figura 37	Curva de Compactación del suelo	106
Figura 38	Gráfico CBR de diseño	111
Figura 39	Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente	118
Figura 40	Nomograma variación en el coeficiente (a_2) de capa base granular con varios parámetros de resistencia de base.	119
Figura 41	Nomograma Variación en el Coeficiente (a_3) de Capa Sub-base Granular con Varios Parámetros de Resistencia de Sub-base.....	120
Figura 42	Procedimiento para determinar el espesor	121
Figura 43	Representación de cálculo para SN3.....	122
Figura 44	Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN3 (subbase)	123
Figura 45	Representación de cálculo para SN2.....	124
Figura 46	Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN2 (base)	125
Figura 47	Representación de cálculo para SN1.....	126
Figura 48	Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN1 (carpeta de rodamiento)	127
Figura 49	Diseño de espesores de la estructura de pavimento	131
Figura 50	Inicio del tramo. Est: 0+000.....	I

Figura 51	Inicio del tramo. Est: 0+000.....	I
Figura 52	Condición actual del tramo.....	II
Figura 53	Condición actual del tramo.....	II
Figura 54	Realización del aforo vehicular	XI
Figura 55	Realización del aforo vehicular	XI
Figura 56	Peso por eje para vehículos de carga.....	XIII
Figura 57	Levantamiento de puntos topográficos	XVI
Figura 58	Levantamiento de puntos topográficos	XVII
Figura 59	Levantamiento de puntos topográficos	XVII
Figura 60	Levantamiento de puntos topográficos	XVIII
Figura 61	. Banco de Material N°1: Gollo Ruiz (Biscocho).....	XIX
Figura 62	Banco de Material N°2: La Peña.....	XIX
Figura 63	Código QR de puntos de levantamiento topográfico.....	XX

Universidad
Nacional
De Ingeniería



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Durante todo el proceso de la historia Nicaragua ha sido un país vulnerable en lo que es la infraestructura vial, esto afecta principalmente a las zonas donde hay más auge en el transporte de la productividad, debilitando así la economía y el desarrollo del país.

A lo largo de los años la infraestructura vial del país ha sido escasamente atendida, por parte de las instituciones encargadas de llevar a cabo las debidas rehabilitaciones o ampliaciones de las carreteras ya existentes, las que con el paso del tiempo han ido colapsando y bajando sus niveles de servicio.

Este problema afecta a todo el país considerando que en muchas ciudades las carreteras no cuentan con los niveles de infraestructuras adecuados, por lo tanto, ha nacido la obligación de realizar proyectos de mejoramiento en el sector vial.

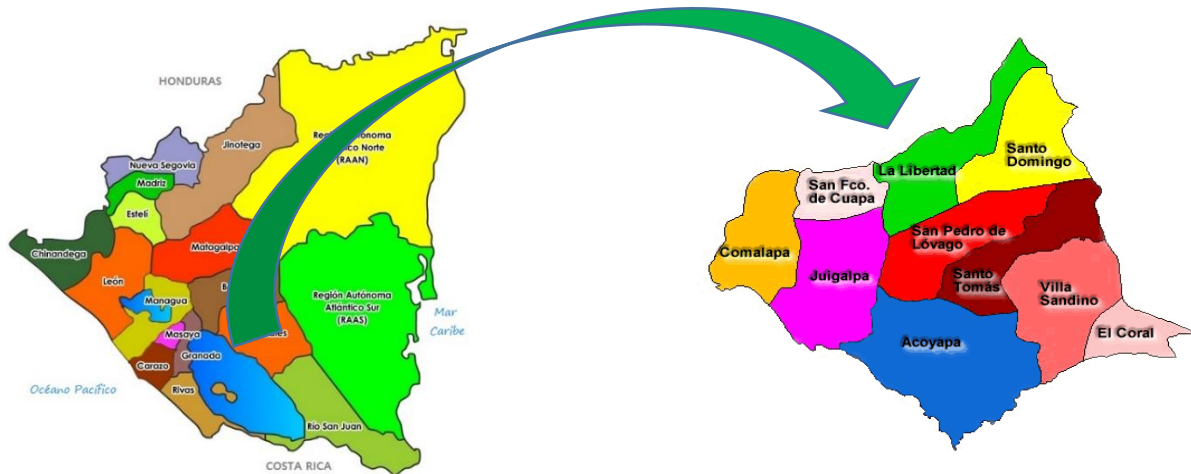
A pesar de los esfuerzos que se hacen por parte del gobierno en realizar mejoras de las condiciones de servicio de las carreteras de todos los sectores del país, se hace muy difícil proveer los presupuestos para llevar a cabo las obras planeadas.

La Libertad es un municipio del departamento de chontales este limita al norte con el municipio de Camoapa, al sur con el municipio de San Pedro de Lóvago, al este con los municipios de Santo Domingo y el Ayote y al oeste con Juigalpa y Cuapa. (ver pág. 2 y 3)

En el presente estudio se fundamenta el diseño de la estructura de pavimento articulado de 3 kilómetro de camino (por el método AASHTO -93), así también la organización cronológica de todas las actividades a llevarse a cabo. El tramo que se lleva en estudio se encuentra en la zona suroeste, en la comarca de Betulia. Algunos métodos a utilizar en este proyecto están regidos por las normas AASHTO y la SIECA, los cuales se usan en los análisis del diseño y comportamiento del pavimento.

1.2. Macro localización

Figura 1 Macro localización de comarca Betulia, municipio de La Libertad, departamento de Chontales, Nicaragua.

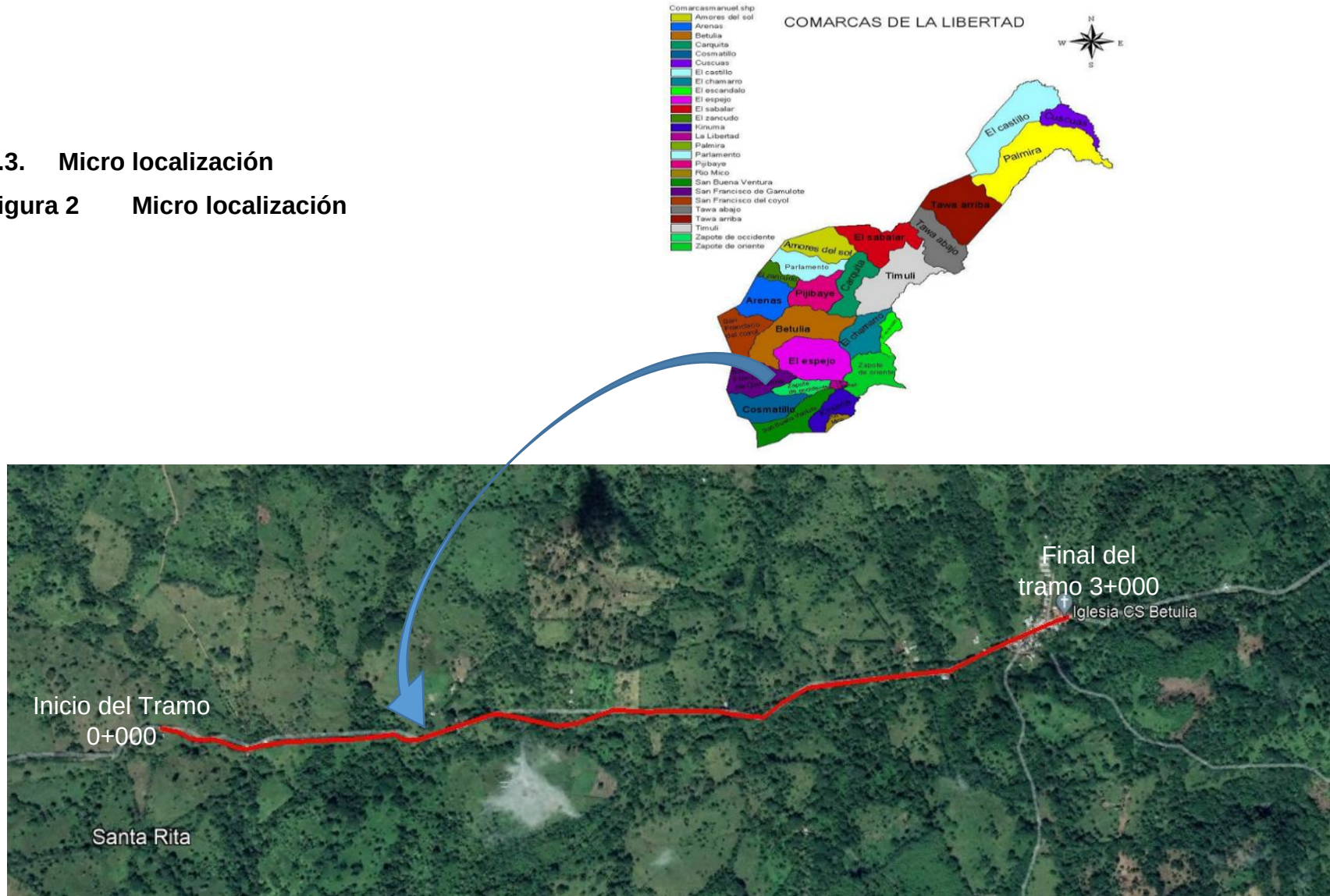


Fuente:

https://www.google.com/search?q=mapa+de+chontales+y+su+municipio&sca_esv=580956334&tbm=isch&sxsrf=AM9HkKnFcMT5jh4TaHXEFiQUGx6Cy4-pJw:1699562982467&source=Inms&sa=X&ved=2ahUKEwjCnd--5beCAxVSnWoFHZRhAEwQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1396&bih=715&dpr=1.38#imgsrc=2IYHEo0mq2n42M

1.3. Micro localización

Figura 2 Micro localización



Fuente:

<https://www.google.com/search?q=mapa+de+la+libertad+chontales+y+comarcas&tbm=isch&ved=2ahUKEwiUprCb5reCAxWHjrAFHT->

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar un pavimento articulado de 3 km para la comarca de Betulia, en el municipio de la Libertad, Chontales, Nicaragua, por el método AASHTO 93.

1.4.2. Objetivos específicos

- Efectuar un estudio de tránsito por medio de aforos, en el cual se determinará las cargas que estarán sometidas a las estructuras de pavimento articulado.
- Desarrollar un estudio topográfico mediante un levantamiento planialtimétrico con la finalidad de que se obtengan características como son los perfiles longitudinales, secciones transversales, curvas de nivel y pendientes.
- Analizar las características físicas del suelo de la línea y del banco de material más cercano, con los datos proporcionados por el área de proyecto de la alcaldía de la Libertad-Chontales.
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento que soportara las cargas de diseño, usando el método de AASHTO 93.

1.5. Justificación

Los vecinos de la comarca Betulia, en el municipio de la Libertad, Chontales, Nicaragua. Continúan teniendo los problemas de mal estado de una de las principales vías de acceso a la comarca ya que esta es la ruta que comunica a la comarca con el resto del municipio y es la calle donde más transitan personas y vehículos que van desde los municipios asía la comarca.

En la actualidad, el adoquinado ya no tiene por qué estar hecho con piedras pulidas. En muchos casos, se emplean los adoquines de hormigón. La principal ventaja de estos es su alta resistencia. Se trata de piezas perfectamente unidas que, además, filtran hasta el suelo el agua de la lluvia. Con lo cual, no se ven afectados por ningún tipo de filtración que pueda ocasionar grietas. Debido a ello, su durabilidad es muy elevada.

La construcción del proyecto mejoramiento calle central de la comarca Betulia, en el municipio de la Libertad, Chontales, Nicaragua. Estará dando solución al problema que afrontan los habitantes, de contar con la calle principal en un buen estado, brindándole a la comarca una calle de acceso en buenas condiciones en la cual puedan transportarse de manera segura y con más facilidad en cualquier época del año.

Para los habitantes de la comarca Betulia, es prioridad número uno la construcción del proyecto ya que muchos de los habitantes circulan por el lugar, y desean tener mejor seguridad para conducirse desde la comarca asía los demás municipios aledaños y generar mejores ingresos socio económicos.

El gobierno dedica fondos públicos al mejoramiento de carreteras porque estas benefician a la sociedad, ya sea a toda o bien una parte. Un buen sistema vial eleva el nivel de toda la economía proporcionando un transporte adecuado, hacen más sencillas la prestación de servicios de emergencia tales como la policía, los bomberos, atenciones médicas, servicios escolares etc.

The background of the slide is a collage of four photographs related to construction work. The top-left photo shows a worker in a white hard hat and orange safety vest kneeling on a dirt surface, working with a tool and a bag. The top-right photo shows a worker's hands in yellow gloves placing a grey stone paver onto a prepared surface. The bottom-left photo shows a close-up of a worker's hands in yellow gloves working with a tool on a paved surface. The bottom-right photo shows a worker's hands in yellow gloves working with a tool on a paved surface. The text 'CAPÍTULO II' and 'MARCO TEÓRICO' is centered over the middle of the collage.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio de tránsito

2.1.1. Tránsito

El tránsito es uno de los parámetros fundamentales para el diseño de pavimento, ya que nos dará el número de vehículos por lo tanto las cargas que soportará carretera. (Huete López, Ruiz y Agurcia 11).

Para realizar este estudio de tránsito se realizará por aforos vehiculares en la línea del proyecto donde este consiste en realizar de manera manual el conteo de los vehículos que circulan por la línea.

2.1.2. Aforo vehicular

Es una muestra de los volúmenes de tránsito para el período de tiempo en el que se realiza y tienen por objeto cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o una intersección. (Hernandez 4) y este se clasifica de la siguiente manera:

- a) Aforos manual o visual
- b) Aforos mecánicos
- c) Aforos fotográficos de movimiento

Este caso se utiliza el primer método ya que es muy práctico y este tuvieron una gran acogida dentro de la década de 1930, generando desde entonces importantes aportes dentro del área de tránsito y transporte. A través de este método es posible obtener aquellos datos que no pueden ser obtenidos por otros tipos de procedimientos; como, por ejemplo, permite clasificar a los vehículos por tipo, la distribución de movimientos, entre otros parámetros.

2.1.3. Clasificación de estaciones por la categoría de vectores

a) Estaciones de Mayor Cobertura (EMC)

Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años por razón de una mejor distribución en la logística se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, 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 períodos. (MINISTERIO DE TRÁSPORTE E INFRAESTRUCTURA 8)

b) Estaciones de Corta Duración (ECD)

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA. (MINISTERIO DE TRÁSPORTE E INFRAESTRUCTURA 8)

c) Estación de Conteo Sumaria (ECS)

Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA. Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). (MINISTERIO DE TRÁSPORTE E INFRAESTRUCTURA 8)

2.1.4. Clasificación vehicular

Al momento de realizar el conteo vehicular es de vital importancia tomar en cuenta las características de los vehículos que circulan por el camino, ya que presentan diferencias en su tipología, es por ello que el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en su Anuario de Aforos de Tráfico 2020 presenta una hoja con 17 tipos de vehículos para ser utilizada en campo. (MINISTERIO DE TRÁSPORTE E INFRAESTRUCTURA 28)

Con el propósito de simplificar el estudio de dicha clasificación se designaron en cuatro categorías principales:

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 incluye, 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 5 pasajeros), Microbuses Medianos (de 25 pasajeros), y también buses medianos y grandes.

Vehículos pesados de carga: Son todos aquellos vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales de 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 tipos (T3S2) y (T3S3), y otros vehículos para clasificación especial, como agrícolas y de construcción.

Otros: Incluye remolques o tráiler pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal.

2.1.5. Elementos de tránsito

2.1.5.1. Volumen de tránsito

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el objetivo de obtener datos reales del movimiento tanto vehicular como peatonal sobre puntos específico dentro de una vía o carretera y en donde estos resultados son expresados en función del tiempo. El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o calzada, durante un periodo determinado (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 35)

Ecuación 1

$$Q = \frac{N}{T}$$

Dónde:

Q: Vehículos que circulan por unidad de tiempo (vehículos/período).

N: Número total de vehículos que transitan (vehículos).

T: Período definido (unidad de tiempo).

2.1.5.2. Volúmenes absolutos o totales

Dependiendo de los periodos de tiempo se presentan los siguientes volúmenes absolutos según (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 33)

- **Tráfico horario (TH)**, corresponde al número de vehículos durante una hora.
- **Tráfico diario (TD)**, corresponde al número de vehículos durante un día.
- **Tráfico semanal (TS)**, corresponde al número de vehículos durante una semana.
- **Tráfico mensual (TM)**, corresponde al número de vehículos durante un mes.
- **Tráfico anual (TA)**, corresponde al número de vehículos durante un año.
- **Tasa de flujo (q)**, corresponde al número de vehículos durante un periodo inferior a una hora (15 o 30 minutos).

Cada uno de los volúmenes se determina para el correspondiente periodo de tiempo pudiendo ser este un año, un mes, una semana, un día, una hora o menos de una hora (flujo).

2.1.5.3. Volúmenes de tránsito promedio diario

El volumen de tráfico promedio diario (TPD) se define como “la relación entre el número de vehículos que pasan en un determinado periodo (días completos igual o menor a un año y mayor a un día) y el número de días del periodo” (Cal y Mayor 184).

$$TPDS = \frac{\text{Acumulacion de conteo vehicular por tipo de vehiculo}}{\text{Cantidad de dias del aforo}}$$

Ecuación 2

2.1.6. Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

Se define como el número de vehículos que pasan por un determinado punto de una vía en un periodo de una semana continúa. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 33)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

Ecuación 3

Donde:

TS= Transito Semanal

2.1.7. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Representa el tránsito total que circulará por la carretera durante un año dividido por 365, es decir representa el volumen de tránsito promedio por día. Con los resultados obtenidos este pasará a calcular los valores del tránsito promedio diario anual para los vehículos en general (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 33).

Ecuación 4

$$TPDA = TPDS * f_{\text{Día}} * f_{\text{Sem}} * f_{\text{F. Sem.}} * f_{\text{Exp.}}$$

Dónde:

TPDS: Tránsito promedio diario semanal (12 horas)

$f_{\text{Día}}$ = Factor día

f_{Sem} = Factor semana

$f_{\text{F. sem.}}$ = Factor fin de semana

$f_{\text{Expansión}}$ = temporada

2.1.8. 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).

2.1.9. 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.

$$Factor\ Dia = 1 + \frac{Trafico\ Nocturno}{Trafico\ Diurno} \quad \textbf{Ecuación 5}$$

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).

$$Factor\ Semana = \frac{(Tlab * 5 + Tfs * 2)}{7 * Tlab} \quad \textbf{Ecuación 6}$$

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.

$$Factor\ fin\ de\ semana = \left(\frac{Tlab * 5 + Tfs * 2}{7 * Tfs} \right) \quad \textbf{Ecuación 7}$$

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).

2.1.10. 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:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \textbf{Ecuación 8}$$

Tomado de (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 14).

Donde,

TC= Tasa de crecimiento

TPDA_i = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA₀=Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

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:

$$Tf = [(TC_1 * TC_2 * ... * TC_n)^{1/n} - 1] \quad \textbf{Ecuación 9}$$

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

2.1.11. 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).

2.1.12. 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 10

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.

2.1.12.1. 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, 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 11

Tomado de (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002).

Donde:

FC= Factor de Crecimiento.

TC= Tasa de Crecimiento.

n= Período de Diseño.

2.1.12.2. 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 es 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 divida 50% en un sentido y 50% en el otro (Coronado Iturbide, 2002, pág. 28).

2.1.12.3. Factor de distribución por carril

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, en el capítulo tres, define como carril de diseño 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)

2.2. Estudio topográfico

2.2.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, y demás (MTI, Manual para la revision de diseño de pavimento).

Según (Bonilla y Villate pag 1) comenta que la “topografía sirve para la mayoría de los trabajos de ingeniera, pues la elaboración de un proyecto se hace una vez que se tenga los datos y planos topográfico que representa fielmente todos los accidentes del terreno sobre el cual se va a construir la obra”.

2.2.2. Levantamientos topográficos planimétricos

Es el conjunto de operaciones necesarias para obtener los puntos y definir la proyección sobre el plano de comparación y según (UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA 16) “es la representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por determinar dimensiones de este y se estudian los procedimientos

para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano, sin importar sus elevaciones y este representa el terreno visto desde arriba o de planta” y nos comenta (Bonilla y Villate 12) que la “planimetría considera la proyección del terreno sobre un plano horizontal y esta proyección se denomina “base productiva” y es la que se considera cuando se habla del área de un terreno”.

2.2.3. Levantamientos topográficos altimétricos.

Es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las alturas respecto al plano de comparación y según (Peralta, Cordero y Jaramillo 16) “este tiene como objetivo principal diferenciar las alturas entre los puntos situado en los terrenos (utilizando los equipos de levantamiento)” pero (Bonilla y Villate 11) que la altimetría se demuestra la diferencia de nivel existente entre los puntos de un terreno”.

2.2.4. Perfiles longitudinales

Es la representación gráfica del corte que produce en el terreno el plano vertical que contiene el eje de una obra lineal. y según (Morales 123) “estas son las elevaciones que se determinan a todo lo largo del eje (línea central) del trabajo a ejecutar. En ciertos trabajos, como para determinar la profundidad del corte.”

2.2.5. Secciones transversales

Los perfiles transversales son los tomados en sentido normal o perpendicular, al eje o alineamiento. El método para obtener una sección transversal es el mismo para obtener un perfil longitudinal y según (Morales 123) “son las elevaciones que se determinan a los puntos situados perpendicularmente a la sección longitudinal (Línea Central)”.

2.2.6. Curvas de nivel

Una curva de nivel es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones, normalmente altitud sobre el nivel del mar o profundidad, según (Bonilla y Villate 19) “se denomina curva de nivel a la línea determinada por la intersección del terreno con un plano horizontal y este punto se une puntos de igual cota.

2.2.7. Pendiente

Una pendiente es un declive en el terreno y la inclinación con respecto a la horizontal, la medición de una pendiente es expresada como un porcentaje de la tangente la cual se usa para expresar la inclinación de por ejemplo un camino sobre una elevación de un terreno (Bonilla y Villate).

2.3. Estudio del suelo

2.3.1. Suelo

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella, según (L. Garcia 1-2) “agregado de partícula minerales, a lo sumo parcialmente cementada” y que “los suelos provienen de la alteración tanto física como química de las rocas más superficiales de la corteza terrestre”.

2.3.2. Tipos de suelo

2.3.2.1. Suelos arenosos

Incapaces de retener agua. Están constituidos por minerales primarios, de tamaño comprendido entre 2 a 0.05 mm, son escasos en materia orgánica y por lo tanto poco fértiles según (Crespos 22) “la arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05mm de diámetro.

2.3.2.2. Suelos arcillosos

Compuestos por finos granos amarillentos que retienen muy bien el agua, suelen inundarse con facilidad y tienen pobre drenaje. “se da el nombre de arcilla a las partículas solida con diámetro de 0.005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua” (Crespos 22)

2.3.2.3. Suelos limosos

Suelos limosos son aquellos suelos que contienen mucho limo. El limo es un tipo de material muy fino que ha sido llevado a un lugar a través de los ríos o

arrastrado por el viento o la lluvia. “los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en cantera, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de característica plástica el diámetro de las partículas de los limos están comprendido entre los 0.05mm a 0.005mm.” (Crespos 22)

2.3.3. Características físico–mecánicas de los suelos

Son características propias de cada tipo de suelo las cuales se generalizan en: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva. (Crespos 88)

2.3.4. Clasificación de los suelos según la AASHTO

La clasificación de suelos es en el indicador de las propiedades físico-mecánicas que tienen los suelos. Según dice (Badillo 98) “para determinar la clasificación de suelo se realizará por el método de AASHTO, principalmente con el fin de obtener el índice de grupo que se compone la línea a diseñar”.

Todos los ensayos se realizarán en conformidad a lo establecido en las normas de la ASTM (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales). Y AASHTO, entre ellas: Humedad, valor de soporte (CBR), granulometría, límites de Atterberg (límite líquido e índice plástico) y densidad (proctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 1 Tipos de ensayos

Tipo de ensayo	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-88	D-422
Límite líquido de los suelos	T-89	D-423
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Classification Highway Research Board, o classification AASTHO	M-145	D-3282
CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883
Peso volumétrico		C-29
Desgaste de los ángeles en muestras de materiales para base	T-104	

Fuente: (Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos, pág. 9)

La Tabla, muestra el sistema de clasificación de la AASHTO para los tipos de suelos clasificando en grupos y subgrupos los suelos según su graduación y límites de consistencia.

Tabla 2 Clasificación Granulométrica según AASHTO

Clasificación general	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)							Suelos finos $> 35\%$ bajo 0.08 mm)			
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0.5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0.08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
** A-7-5: $IP \leq (WL - 30)$						** A-7-6: $IP > (WL - 30)$					
Si el suelo es NP $\rightarrow IG < 0 \rightarrow IG = 0$											

Fuente: (Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos, pág. 41)

Este método clasifica, de acuerdo con su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en 7 grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz N° 200(0.075mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los grupos A-1, A-2, A-3, y los sub-grupos que corresponden.

En cambio, los suelos finos limo-arcillosos que contienen más de 35% de materiales finos que pasa el tamiz N° 200(0.075mm), constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7, y correspondientes sub-grupos, se puede evaluar la calidad del suelo a través del índice de grupo los suelos que tienen similar comportamiento se encuentran en el mismo grupo y están representados por un determinado índice.

2.3.4.1. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes

estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido (Crespos 81).

2.3.4.2. Límite líquido

El límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo. “este se define como el contenido de humedad expresando en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido a plástico, pero de acuerdo con esta definición los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al refuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25 g/cm^2 ” (Crespos 96).

2.3.4.3. Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente, según “se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico” (Crespos 77).

2.3.5. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por definición, es la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico y según el concepto de “se denomina índice de plasticidad o índice plástico (I.P) a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico e indica el margen de humedad dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.” (Crespos 78)

2.3.6. Ensayo Proctor

El ensayo Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

Es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Estándar", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos se encuentra en la energía utilizada, la cual se modifica según el caso variando el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas (Crespos 102).

2.3.7. Ensayo de CBR

El ensayo CBR mide la resistencia del suelo a la penetración de un pistón de 1935mm² (3 pulg²) de área de una probeta de 15cm (6 pulg) de diámetro y 12.5 cm (5 pulg) de altura, con una velocidad de 1.27mm/min (0.05 pulg/min). La fuerza requerida para forzar el pistón dentro del suelo se mide a determinación de intervalos de penetración. Estas fuerzas se comparan con las necesarias para producir iguales penetraciones en unas muestras patrón que es una piedra bien graduada. (AASHTO-93 64)

El CBR es, por definición:

Ecuación 12

$$CBR = \frac{\text{Carga que produce una penetración } n \text{ de 2.5mm en el suelo}}{\text{Carga que produce una penetración } n \text{ de 2.5mm en la muestra patrón}}$$

2.4. Método para el diseño de pavimento articulado

2.4.1. Periodo de diseño

Se definirá como el tiempo elegido al iniciar el diseño, este dependerá de la proyección de tránsito, con el cual se determinarán las alternativas para los periodos de diseño y los diferentes funcionamientos que tendrá la vía según la

norma Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométricos de Carreteras (SIECA, Normas para el diseño geometrico de las carreteras regionales 3).

Tabla 3 Periodos de diseño para diferentes tipos de carreteras

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

Fuente. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales (SIECA) 2002 (Capitulo 7 Pag.3)2

2.4.2.Factor direccional

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento Cap 3- 29)

Tabla 4 Factor de distribución por dirección (FD)

Número de Carriles en ambas direcciones	Porcentaje de Distribución
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente. SIECA 2002, Referencia: guía de diseño de pavimentos AASHTO (Capitulo 3 Pag.29)

2.4.3. Factor de crecimiento por carril

Se define por carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. para un cambio de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 3 - 28).

Tabla 5 Factor de distribución por carril (FC)

Número de Carriles en una sola dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente. SIECA 2002, Referencia: guía de diseño de pavimentos AASHTO (Capítulo 3 Pag.29)

2.4.4. Elementos de la carretera

2.4.4.1. Adoquines

Los bloques o adoquines son elemento construido con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas aquellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 cm de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además, sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base. (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 5-25)

2.4.4.2. Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendiente especificadas en los planos finales de diseños. (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 5 - 4)

2.4.4.3. Subbase

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, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 5 - 4).

2.4.4.4. 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 esta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. La base especificada son las siguientes:

a) Base granular

Material constituido por piedras de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser calificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 5 - 4).

b) Compactación

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada.

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 cm, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que estas no sean mayores de 20 ni menores de 10 cm. Además, se tiene que humedecer la superficie en tres capas, para conseguir una mejor adhesión entre estas y así evitar deslizamiento. (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 5 - 5)

2.4.5. Principales variables de diseño

2.4.5.1. El índice de serviciabilidad

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene este de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se clasifica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto) (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 7-3)

Según (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento cap 7 - 4) Para el diseño de pavimento debe de asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, al final o terminal va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomienda por experiencia son:

Serviciabilidad Inicial

Po=4.5 para pavimento rígidos

Po=4.5 para pavimento Flexibles

Serviciabilidad final

Pt=2.5 o más para caminos principales

Pt=2.0 para caminos de tránsito menor

2.4.5.2. Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

Determina la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carreta, originada por el deterioro del pavimento. Por tanto:

Estas se obtendrán con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Ecuación 13

2.4.5.3. ESAL'S (Wt18)

Es la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes haciendo uso del factor de equivalencia de carga acumulado durante el periodo de diseño (8.2 ton) y según la "Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito" (AASHTO-93 22)

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 14

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

2.4.5.4. Confiabilidad (R)

Este Valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. (AASHTO-93 136)

Tabla 6 índices de confiabilidad

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 – 90	75 - 99
Colectoras	80 – 95	75 - 95
Locales	50 – 80	50 - 80

Fuente. Libro de diseño de pavimento ASSHTO (Pág. 137).

2.4.5.5. Módulo de Resiliencia de la subrasante (Mr.)

En el método de AASHTO (1986 y 1993), el módulo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoces a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimento flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor K) para el diseño de pavimento rígidos (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento Cap 4 - 9).

Conveniente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (MR) con el CBR, el valor R y el índice de suelo. (SIECA, Manual centro americano para diseño de pavimento Cap 4 -10) Se han dado correlaciones para encontrar el valor del módulo de resiliencia (Mr) como la siguiente relación:

Ecuación 15

$$Mr = B * CBR$$

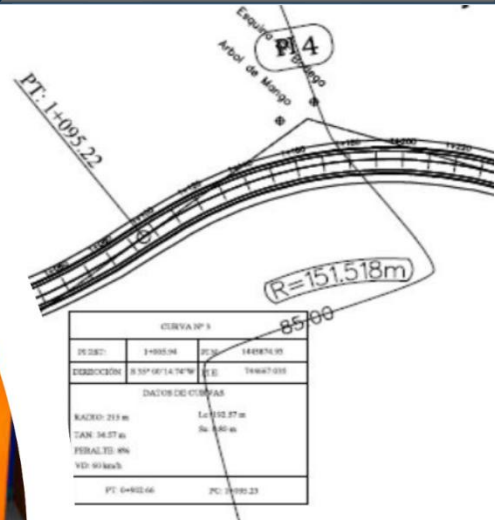
Este valor está desarrollando si el CBR < 10%, en donde B = 1500 pero ese valor puede variar entre 750 y 3000 para un Mr en PSI.

Con respecto al valor R (resistencia) de Hveem se tiene:

Ecuación 16

$$Mr = A + B * R$$

Si R<20, A vale 1000, B vale 555, pero A puede variar entre 772 y 1155 y B entre 369 y 555.



CAPÍTULO III ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Estudio de tránsito

Los estudios de tránsito es uno de los elementos más importantes en los diseños de carretera, al realizar este estudio los resultados que obtuvimos es la condición actual que presenta el tramo a diseñar.

El tránsito es el requisito primordial en los diseños de vía ya que con estos podemos proyectar a futuro el rodamiento de las vías a construir y así determinar la carga que sufrirá.

Este estudio se demostrará los resultados obtenidos en este estudio realizado en el tramo comarca Santa Rita – comarca Betulia mediante lo establecido por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI). Se utilizará el anuario 2020 para recopilar datos que se utilizará en nuestro estudio.

3.1.1. Metodología

Para este estudio se tomará en cuenta las recomendaciones dadas por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI), la cual se detalla a continuación:

se seleccionará un punto en específico dentro del tramo para anotar la cantidad de vehículo que circulan, durante los siete días de la semana durante doce horas de conteo.

Una vez obtenido los valores del aforo realizaremos los cálculos del estudio para conocer los tránsito promedio establecido por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI).

Para los cálculos de los tránsito promedio, se determinará la tasa de crecimiento con el cual diseñaremos la estructura de pavimento articulado, tomando datos como producto interno bruto (PIB) y población (POB).

Con el aforo conoceremos los pesos por eje de carga para la determinación del cálculo de ESAL para el diseño de la estructura de pavimento.

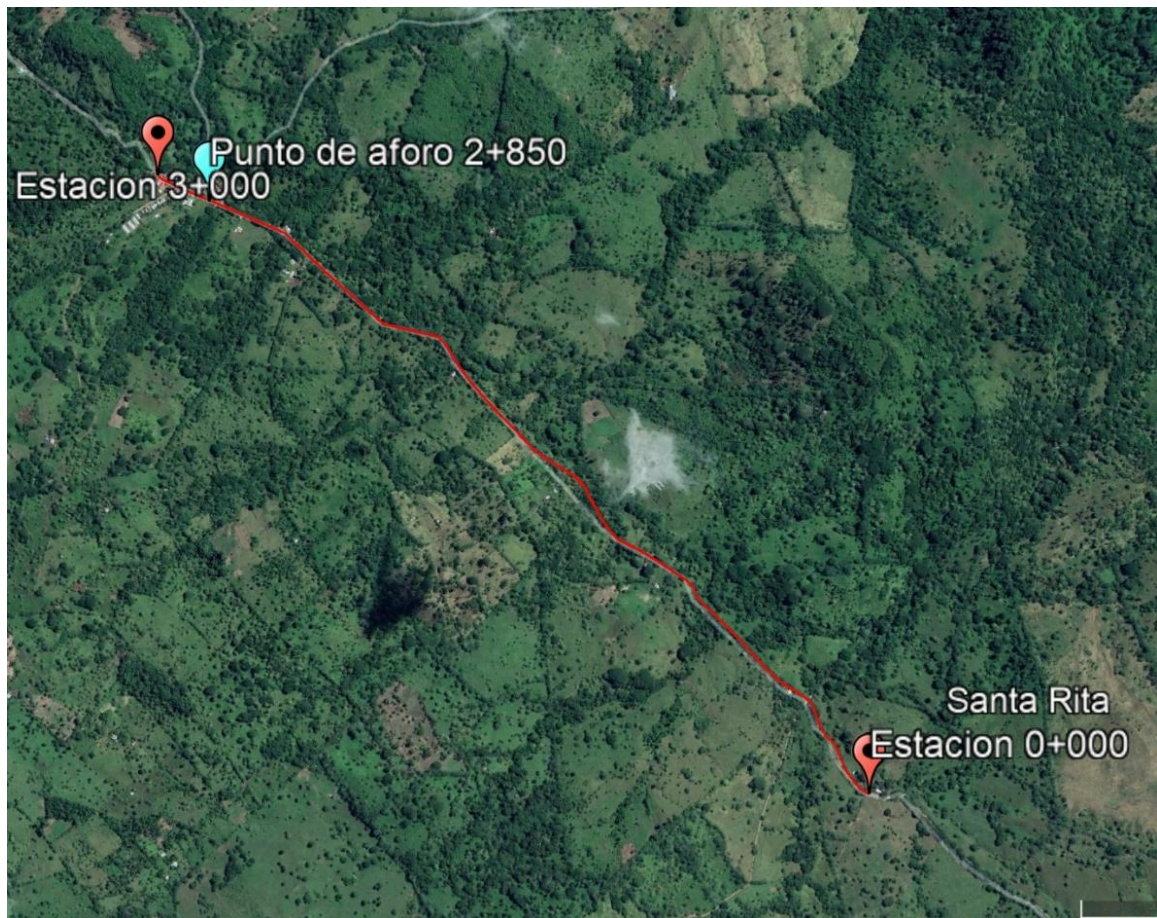
3.1.2. Aforo vehicular

Para la determinación de la estación de conteo vehicular, se sometieron los siguientes criterios de aforo vehicular:

- **Accesibilidad:** La estación se ubicó en un punto de fácil acceso para la instalación y levantamiento del aforo vehicular, específicamente en la entrada de la comarca de Betulia.
- **Relevancia en el flujo vehicular:** La estación está situada en una vía que es representativa del tránsito general de la zona. El cual incluye la arteria principal del tramo e intersecciones cercanas a nodos de conexión entre diferentes rutas.
- **Seguridad vial:** La ubicación garantiza que el aforo se realice sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios del tramo y operadores del aforo. Se debe evitar la instalación en zonas de alto riesgo de accidentes.
- **Condiciones de visibilidad:** El lugar seleccionado debe permitir la visibilidad adecuada para la observación del tráfico sin interferir con la seguridad o el comportamiento natural del flujo vehicular.
- **Condiciones ambientales:** La estación se sitúa en un área que no es susceptible a interrupciones causadas por factores ambientales extremos como inundaciones, derrumbes o condiciones climáticas extremas que pueda afectar a los operadores del aforo vehicular.

Para determinar la cantidad de vehículo y composición de tránsito actual que circula por el tramo, nos ubicamos en la Estacio 2+850 del tramo a diseñar, realizando dicho aforo durante siete días empezando del lunes 2 de septiembre al Domingo 8 de septiembre del año 2024, con un tiempo de 12 horas de 6 am a 6 pm. El conteo se realizó en ambos sentidos de la vía utilizando el formato de aforo proporcionado por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI).

**Figura 3 Ubicación del aforo vehicular del tramo finca Santa Rita –
Comarca Betulia**



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de este aforo realizado en el tramo se han resumido en la tabla 7; los volúmenes vehiculares por día se muestran en las tablas 75, 76, 77, 78, 79, 80 y 81. (Ver anexos, págs. IV, V, VI, VII, VIII, IX y X). También se muestra en los anexos pág. III, el formato utilizado para llevar a cabo el aforo vehicular.

En la siguiente tabla 7, se presentan los resultados del aforo vehicular obtenido en el tramo en estudio seleccionado.

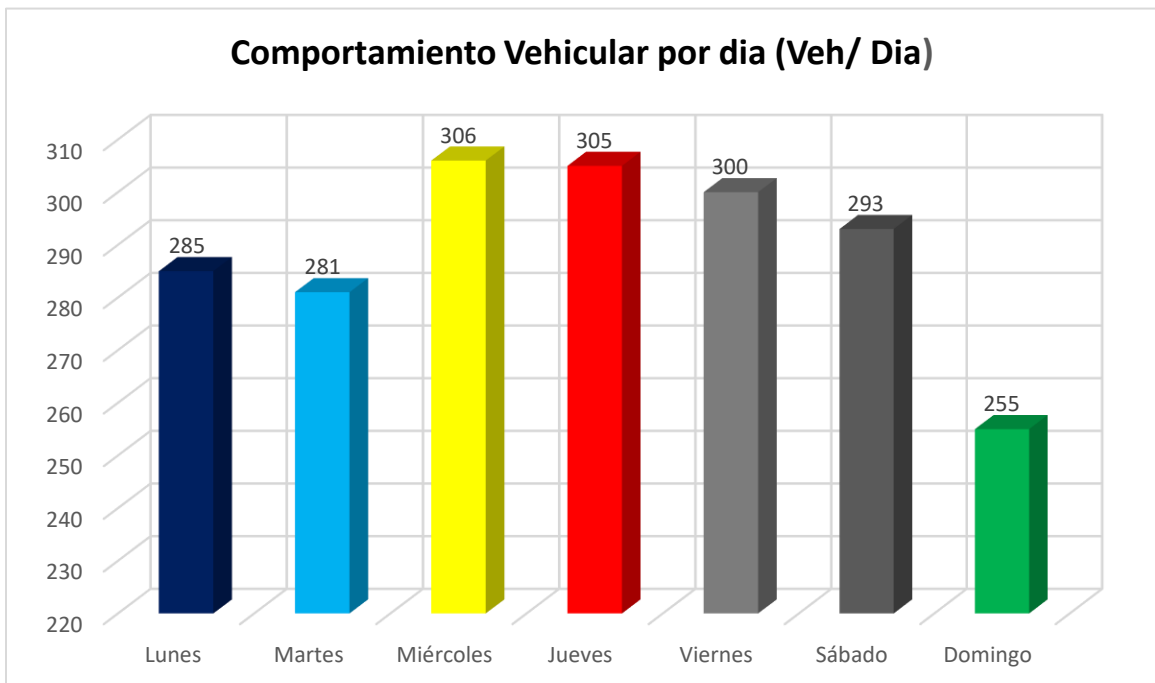
Tabla 7 Resultado de aforo vehicular Tramo comarca Santa Rita – Comarca Betulia

Ubicación:	Est: 2+850	Sentido :	Ambos sentidos					EMC:	1802 San Marcos - Masatepe				
Tramo:	Finca Santa Rita - Comarca Betulia								ECD:	715 Emp. Betulia-La Libertad			
Fecha	Día	Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Total Veh 12 hrs	
		Moto	Auto s	Jeep	Camionet a	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh.Cons t		
													
2/9/2024	Lunes	103	0	5	31	0	12	31	97	6	0	285	
3/9/2024	Martes	94	0	1	24	0	6	26	101	0	0	252	
4/9/2024	Miércoles	86	0	5	52	0	4	29	130	0	0	306	
5/9/2024	Jueves	100	0	4	32	0	4	52	113	0	0	305	
6/9/2024	Viernes	101	0	2	44	0	3	36	114	0	0	300	
7/9/2024	Sábado	83	0	4	34	0	8	38	126	0	0	293	
8/9/2024	Domingo	66	0	0	30	0	9	41	103	6	0	255	
Total/Veh.		633	0	21	247	0	46	253	784	12	0	1996	
Total		901						1095					1996
Veh /12 hr %		31.7 1%	0.00 %	1.05%	12.37%	0.00%	2.30 %	12.68%	39.28 %	0.60%	0.00%	100.00%	
Porcentaje Vehicular		% de Vehículo Liviano			45.14%		% de Vehículo pesado			54.86%		100.00%	

Fuente: Elaboración propia

Con este resultado se mostrará el comportamiento vehicular por día del aforo realizado, en la tabla 7. Observamos que los miércoles y jueves son lo que presenta mayor volumen de tránsito y que el domingo circula menos vehículo en la comarca.

Figura 4 Comportamiento vehicular por día del tramo finca Santa Rita – Comarca Betulia



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Tránsito Promedio Diario semanal (TPDS)

Es el número total de los vehículos que circulan durante una semana dividido entre los 7 días que contiene la semana. En la tabla 8 se presentará los resultados obtenidos de acuerdo de los datos obtenido en campo. A manera de ejemplo se muestra el cálculo del TPDS para los camiones de un eje (C2), camiones de cargas.

$$TPDS = \frac{97 + 101 + 130 + 113 + 114 + 126 + 103}{7} = 112 \text{ Veh/día}$$

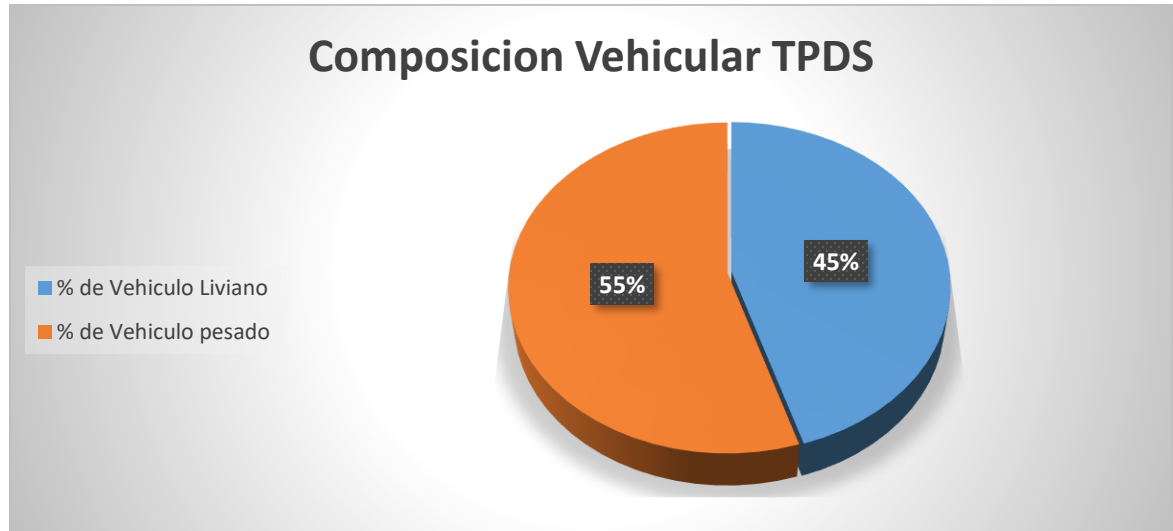
Tabla 8 Transito promedio diario semanal (TPDS)

Descripción	Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr.	Total
	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3		
TPDS	91	0	3	36	0	7	37	112	2	0	288
Total	137						151				288
Porcentaje	31.60%	0.00%	1.04%	12.50%	0.00%	2.43%	12.85%	38.89%	0.69%	0.00%	100.00%
	% de Vehículo Liviano			45.14%			% de Vehículo pesado			54.86%	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

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

Figura 5 Composición del TPDS



Fuente: Elaboración Propia

3.1.4. Transito promedio diario anual (TPDA)

Para la elaboración del TPDA según planteada por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI) el cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA), consiste en identificar los vectores de correspondencia a utilizar, así como la clasificación y dependencia de las estaciones por categoría de vectores, así como la disposición de los factores de ajuste.

Al realizar una evaluación de tránsito en una carretera determinada, debemos tomar en cuenta la localización geográfica dentro de la red vial, con el objetivo de conocer el incremento del flujo vehicular de la carretera proyectada.

Para el cálculo del TPDA seguimos la formula reflejada en el inciso 2.1.6 donde refleja la aplicación, formula y significado de cada uno de los ítems.

3.1.4.1. Identificación de vectores de correspondencia

Para las estaciones al realizar un aforo este se identifica sus vectores con incidencia y rangos de variaciones en la característica del tráfico:

- Vectores geografico – R
- Volumen Total del Trafico – V

En la table 9 logramos observar la clasificación del vector geográfico para el tramo de estudio donde este le pertenece al vector R3, mostrando que se encuentra en la región central Norte, que es del departamento de Chontales

Tabla 9 Vector geográfico

Regiones por Código y departamento				
Nº	Vector	Código	Nombre de Region	Departamentos
1	R1	PS	Pacifico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	R2	PN	Pacifico Norte	Leon, Chinandega, Managua
3	R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
4	R4	AS	Atlántico Sur	Region Autonoma del Caribe Sur (RACS), Rio San Juan
5	R5	AN	Atlántico Norte	Region Autonoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, Pag. 7)

Según lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020), 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. 32).

3.1.4.2. Estación de conteo

Para la selección de la estación con la cual se utilizó en la determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA), se ubica geográficamente, el cual la más cercana es la estación 715 Emp.Betulia – La Libertad dado que, se encuentra en el tramo en estudio.

La estación elegida cercano al tramo correspondiente tiene similitud a la característica económica social del tramo en estudio, Sin embargo, los porcentajes de composición vehicular de esta estación corresponden a un 97% de vehículos livianos y un 3% de vehículos pesados, los cuales no son similares a los obtenidos en el aforo que se muestra en la figura 5 (Pág. 35).

Debido a varios factores., actualmente está la construcción del tramo carretero que va de Cuapa a la Libertad, también el tramo en estudio conecta con las minas La Libertad.

Es preciso señalar que la estación 715 Emp.Betulia – La Libertad, presenta características económicas y sociales. Y se clasifican como estación de conteo sumaria y pertenecen a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe (ver anexos, tabla 82, pág. XII).

Tabla 10 Transito promedio diario anual histórico por tipo de vehículos de la estación 715, en el departamento de Chontales

N°	Código	Est.	Tipo	Tramo	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	Mc bus	Mn bus	Bus	Liv 2-5	C2	C3	tx -SX<=4e	tx -SX>=5e	cx -rX<=4e	cx -rX>=5e	V.A	V.C	otros	TPDA							
166	NIC - 23 B	715	ECD	Emp.Betulia - La Libertad	2015	566	141	39	511	16	6	25	32	14	3	7				2				1,362						
					2014	346	173	73	363	9	1	29	95	83	4		36				5		4	1,223						
					2013	296	147	82	326	5		31	75	85	8		20						1	1,076						
					2011	231	55	53	237	1	1	19	60	68	3		6								734					
					2010	102	14	48	136	4		23	37	46	3		9									422				
					2007	16	1	12	49			13	11	17	3											121				
					2003	25	2	37	148	5	4	36	21	57	9											348				
					2002	24	1	26	137	137		33	23	65	8									13	337					
					1999	5	3	14	95	95	1	23	24	51	5											234				
					1997	5	15	15	62	62	3	13	8	25	2	1	1						1			152				
					EMC:1802																									
					Tasa crecimien to	2020	496	192	35	338	13	1	33	63	50	15		39									1,275			
										1061						47			167											
										1075						167														
										Liv. 97%						Pesado 3%														

Fuente: Anuario de aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 169)

3.1.4.3. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), fue calculado utilizando la ecuación 4 (ver pág. 10), la cual toma en consideración el factor día, el factor semana, el factor fin de semana y el factor de expansión, que se encuentran en el anuario de aforos de tráfico del MTI (2020).

A continuación, en la tabla 11, 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 del mes de septiembre, los valores correspondientes pertenecen al tercer cuatrimestre del año (conteo 3).

Tabla 11 Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre.

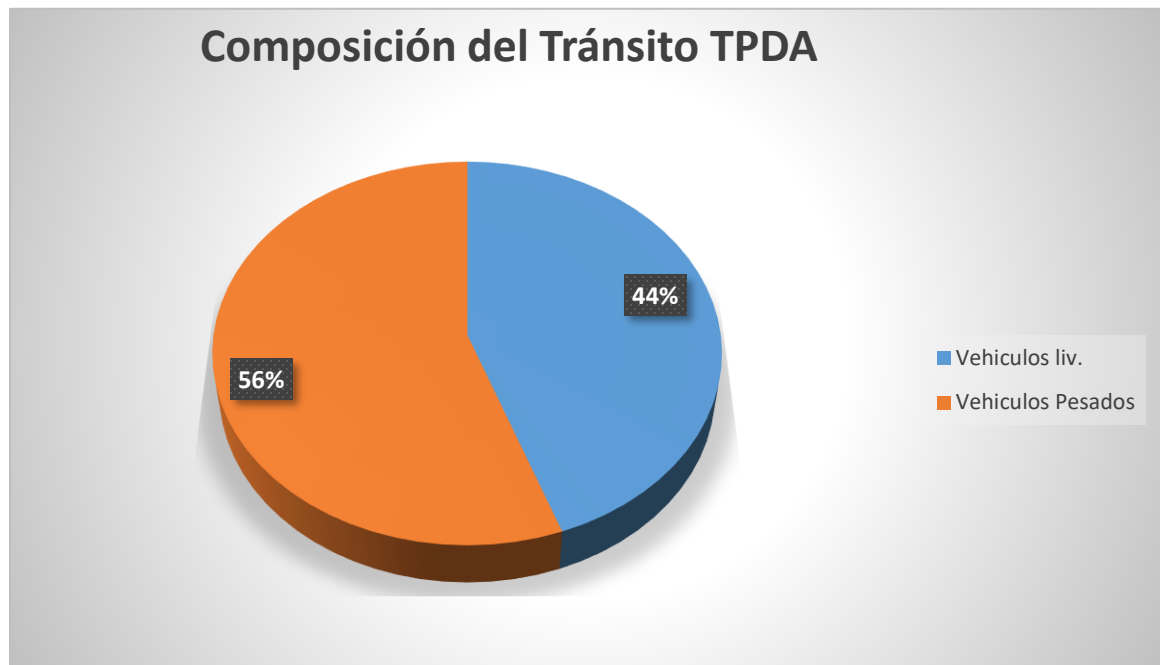
Descripción	Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado
	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	
Factor Día	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.43	1.23	1.31	1.18	1
Factor Semana	0.94	1.03	1.08	1.01	0.95	0.9	0.9	0.86	0.89	1
Factor Fin de Semana	1.19	0.93	0.84	0.97	1.17	1.37	1.36	1.74	1.46	1
Factor Expansión TPDA	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 12 (ver pág. 41), expresando un valor general de TPDA de 345 VPD (vehículos por día).

Con los resultados obtenidos en la tabla 12, se determinó de forma porcentual la composición vehicular, la cual se compone de la siguiente manera: de los 345 VPD, el 44% corresponde a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, micro bus) y el 56%, representa los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3, vehículo de construcción), observe figura 6.

Figura 6 Composición vehicular TPDA (%) del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia



Fuente: Elaboración Propia

La composición de Transito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo en estudio, fue calculado tomando en consideración el factor día y el factor de expansión. Equivaliendo con los porcentajes de los vehículos liviano y pesados, el cual presenta un 44% de vehículo liviano y un 56% de vehículo pesado ver tabla 12, pág. 41

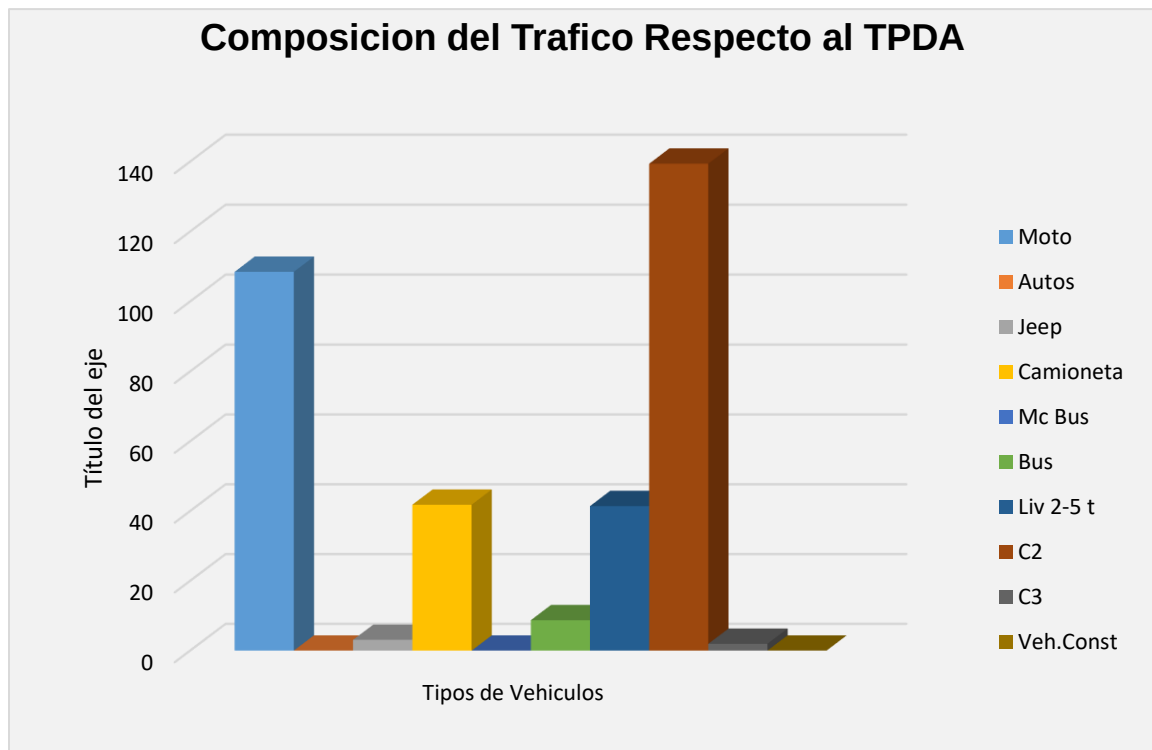
Tabla 12 Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia

Ubicación:	Est: 2+850			Sentido:	Ambos sentidos				EMC:	1802 San Marcos - Masatepe	
Tramo:	Finca Santa Rita - Comarca Betulia								ECD:	715 Emp. Betulia- La Libertad	
Descripción	Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Total Veh 12 hrs
	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh.Constr	
											
TPDS	91	0	3	36	0	7	37	112	2	0	288
Factor Día	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.43	1.23	1.31	1.18	1	
Factor Expansión	0.87	0.89	0.83	0.9	0.84	0.87	0.91	0.95	0.82	1	
TPDA	108	0	3	42	0	9	41	139	2	0	345
%TPDA	31	0	1	12	0	3	12	40	1	0	100%
TOTAL	Vehículos liv.					Vehículos Pesados					
	153					191					
	44%					56%					100%

Fuente: Elaboración Propia

La figura 7, refleja que la mayor incidencia que presenta la proyección del TPDA, son las motocicletas, con una cantidad de 108, seguido por las camionetas con 42, en tercer lugar, se encuentran los buses con la cantidad de 9, vehículos Liv 2-5t con la cantidad de 41 que corresponde, y, por último, los vehículos C2 con la cantidad de 139 que corresponde a los vehículos de carga a como se explica en la tabla 12. (ver pág.41).

Figura 7 Composición vehicular respecto al TPDA del tramo finca Santa Rita - Comarca Betulia



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13, se puede observar que existe una 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 Finca Santa Rita - Comarca Betulia cuyos porcentajes son de 44% para vehículos livianos y 56% para vehículos pesados (ver pág. 43).

Tabla 13 Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura.

Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura								
N°	Est.	Nombre de Tramo	TPDA	Total, Pesado	ΣTx-Sx y Cx-Rx	% de liviano	% de pesado	% Tx Sx y Cx-Rx veh de carga
1	101B	Zona Franca - La Garita	24523	5291	956	78.3%	21.6%	18.1%
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10585	2614	934	75.0%	24.7%	35.7%
3	200	Entrada INCAE - El Crucero	9403	1183	283	87.3%	12.6%	23.9%
4	1802	San Marcos - Masatepe	9392	830	69	91.1%	8.8%	8.3%
5	401	Masaya - Granada	8882	1074	69	87.8%	12.1%	6.4%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7877	1797	463	77.0%	22.8%	25.8%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6270	1459	200	76.5%	23.3%	13.7%
8	2803	Nagarote- La Paz Centro	6058	2227	1106	62.8%	36.8%	49.7%
9	2404	Chinandega - Corinto	5471	1754	1110	67.7%	32.1%	63.3%
10	2400	Chinandega (Rotonda) - Ranchería	4019	686	166	81.1%	17.1%	24.2%
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pag.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, las condiciones socioeconómicas, es decir, el producto interno bruto (PIB) y el crecimiento de la población en la zona (POB). Para la realización de proyecciones de crecimiento del tránsito se analizaron diferentes tasas de crecimiento, donde se utilizó la ecuación 8 (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 (Finca Santa Rita - Comarca Betulia), la cual es la Estación de Conteo Sumaria 715 Emp. Betulia-La Libertad, dicho registro histórico, se presenta en la versión del anuario estadístico del MTI (2020). (Ver tabla10, pág.38).

A manera de ejemplo, utilizando la ecuación 8, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento para el periodo 2002-2003:

$$TC = \left[\left(\frac{348}{337} \right)^{1/(2003-2002)} - 1 \right] * 100 = 3.26\%$$

Debido a los resultados arrojado por la ecuación que describe anteriormente, se toma el único valor que no supera y no infiere a la tasa de crecimiento de mayor cobertura del tramo en estudio.

Los resultados se muestran en la tabla 14, obteniéndose una tasa de crecimiento final de TPDA histórico de 3.26%.

Tabla 14 Histórico de TPDA, estación

AÑO	TPDA	TC
1997	152	
1999	234	24.08%
2002	337	12.93%
2003	348	3.26%
2007	121	-23.21%
2010	422	51.65%
2011	734	73.93%
2013	1076	21.08%
2014	1223	13.66%
2015	1362	11.37%
2020	1275	-1.31%
TC TPDA		3.26%

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 169)

Basados en estos datos, se tomaron como criterios de exclusión los valores negativos, y las tasas que exceden 10% los valores máximos de referencia de estaciones de Mayor Cobertura acorde a los anuarios estadísticos.

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 2006 hasta el 2022. A continuación, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, utilizando la ecuación 8.

$$TC = \left[\left(\frac{5,595,541}{5,522,606} \right)^{1/(2006-2007)} - 1 \right] * 100 = 1.32\%$$

Los resultados se muestran en la tabla 15, obteniéndose una tasa de crecimiento promedio poblacional de 1.32%.

Tabla 15 Histórico de población estimada

AÑO	POB	Tasa de crecimiento
2006	5,522,606	
2007	5,595,541	1.32%
2008	5,668,876	1.31%
2009	5,742,310	1.30%
2010	5,815,524	1.27%
2011	5,996,619	3.11%
2012	6,071,045	1.24%
2013	6,134,270	1.04%
2014	6,198,154	1.04%
2015	6,262,703	1.04%
2016	6,327,927	1.04%
2017	6,393,824	1.04%
2018	6,460,411	1.04%
2019	6,527,691	1.04%
2020	6,595,674	1.04%
2021	6,664,364	1.04%
2022	6,733,763	1.04%
Total, POB	104,711,302	
TF		1.25%

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 8:

$$TC = \left[\left[\left(\frac{124,870.3}{118,837.7} \right)^{1/(2006-2007)} \right] - 1 \right] * 100 = 5.08\%$$

Tabla 16 Histórico de producto interno bruto (PIB)

AÑO	PIB	Tasa de crecimiento
2006	118,837.70	
2007	124,870.30	5.08%
2008	129,160.50	3.44%
2009	124,907.70	-3.29%
2010	130,416.30	4.41%
2011	138,654.20	6.32%
2012	147,661.40	6.50%
2013	154,936.80	4.93%
2014	162,351.30	4.79%
2015	170,131.60	4.79%
2016	177,894.90	4.56%
2017	186,133.60	4.63%
2018	179,873.30	-3.36%
2019	174,662.60	-2.90%
2020	171,577.60	-1.77%
2021	189,331.10	10.35%
2022	196,432.50	3.75%
Total, PIB	2,677,833.40	
TF		4.83%

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

3.1.5.4. Selección de la tasa de crecimiento

La Tasa Anual de Crecimiento (TAC) fue obtenida realizando un promedio de las tasas de crecimiento estudiadas: crecimiento vehicular, poblacional y económico. Cabe aclarar que estos parámetros varían con el tiempo y dependen de factores externos.

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

Ecuación 17

$$TC = \frac{3.26\% + 4.83\% + 1.25\%}{3} = 3.12\%$$

La tasa de crecimiento vehicular a implementar en el tramo en estudio es de 3.12%.

3.1.6. Proyección del tránsito

3.1.6.1. Periodo de diseño

De acuerdo con las características del tramo y al volumen actual de tránsito que circula por él, la carretera en estudio se puede clasificar de acuerdo con su función vial como local rural (ya que se encuentra en la zona rural del municipio de La Libertad, y presenta un TPDA de 345 VPD), por lo tanto, se eligió el valor medio de 10 años como período de diseño, de acuerdo con lo planteado por la SIECA (2011). (Ver tabla 17 y 18 Pág.49)

Tabla 17 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 18 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	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2011 (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 con la tasa de crecimiento vehicular se obtuvo utilizando la ecuación 11 (ver pág.14), cuyo resultado se muestra en la tabla n°14.

A continuación, se muestra el cálculo del factor de crecimiento en función de la tasa de crecimiento:

$$FC = \left[\frac{(1 + 0.0312)^{10} - 1}{0.0312} \right] = 11.53$$

Tabla 19 Factor de crecimiento

TC	3.12%
Factor de Crecimiento	11.53

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 con el 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 20.

Tabla 20 Factor de distribución por dirección

No. De carriles en ambas direcciones	LD
2	50=0.5
4	45=0.45
6 o más	40=0.4

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 21, se presenta el factor de distribución por carril seleccionado para el tramo Finca Santa Rita - Comarca Betulia, a partir del número de carriles en una sola dirección, que para este caso tiene un valor de 1.

Tabla 21 Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	LC
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).

3.1.6.2.4. Tránsito proyectado para el año 2034

Para el tránsito proyectado a 10 años, se usa la ecuación 18, la cual toma en cuenta el tránsito actual del 2024, su tasa de crecimiento de 3.12% y el periodo de diseño de 10 años.

$$T_n = T_o * (1 + i)^n$$

Ecuación 18

Donde:

T_n: Tránsito proyectado al año n

T_o: Tránsito inicial en el año n

i: Tasa de crecimiento anual en %

n: Número de año en el periodo de diseño

Sustituyendo a manera de ejemplo en la ecuación obtenemos:

$$T_n = 108 * (1 + 0.0312)^{10} = 147$$

Tabla 22 Proyección de tránsito para el año 2039

			N	10
Tipo de vehículo	TPDA 2024	Tc	N	TPDA 2034
Motos	108	0.031	10	147
Autos	0	0.031	10	0
Jeep/Suv	3	0.031	10	4
Camioneta	42	0.031	10	57
Mc Bus	0	0.031	10	0
Bus	9	0.031	10	12
Liv 2-5 t	41	0.031	10	56
C2>4 ton	139	0.031	10	189
C3	2	0.031	10	3
Veh.Const	0	0.031	10	0
TOTAL				469

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.2.5. Tránsito de diseño

El factor direccional es de 50% equivalente a 0.5, debido a que la vía a diseñar será de 2 carriles, en el caso del factor carril este será escogido de 100%, ya que solo habrá un carril destinado por cada dirección.

$$TD = TPDAo * FC * FD * LC$$

Ecuación 19

Donde:

TPDAo = Transito Promedio Diario Anual del año cero.

FC= Factor de crecimiento

FD= Factor de distribución por carril

Sustituyendo a manera de ejemplo en la ecuación obtenemos:

$$TD = 108 * 4,207 * 0.5 * 1 = 228,134.98$$

En la siguiente tabla se muestra el tránsito de diseño por tipo de vehículo aplicando la ecuación anterior.

Tabla 23 Tránsito para el carril de diseño

				FC	365
Tipo de vehículo	TPDA 2024	FC	FD	LC	Tránsito para el carril de diseño
Motos	108	4,207	0.5	1	228,134.98
Autos	0	4,207	0.5	1	0.00
Jeep/Suv	3	4,207	0.5	1	6,494.29
Camioneta	42	4,207	0.5	1	87,911.44
Mc Bus	0	4,207	0.5	1	0.00
Bus	9	4,207	0.5	1	18,317.41
Liv 2-5 t	41	4,207	0.5	1	87,108.17
C2>4 ton	139	4,207	0.5	1	293,172.75
C3	2	4,207	0.5	1	4,070.39
Veh.Const	0	4,207	0.5	1	0.00
Tránsito de diseño para el tramo					725,209.43
					7.25E+05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Consolidado de resultados para el diseño de los carriles según el tránsito de diseño

En la tabla 24, se muestran la proyección de tránsito para un periodo de diseño de 10 años (2034), calculado a partir de la ecuación 10, pág. 14 y tomando en cuenta los factores definidos anteriormente, donde se obtuvo un total de 725,209.43 vehículos para el tránsito de diseño tabla 23 pág. 53.

Ubicación:	Est: 2+850			Sentido:	Ambos sentidos				EMC:	1802 San Marcos - Masatepe	
Tramo:	Finca Santa Rita - Comarca Betulia								ECD:	715 EMP. Betulia-La Libertad	
Descripción	Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Total, Veh
	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	Veh.Const	
											
	vehículos Liv.					vehículos Pesados					
TPDA proyectado	147	0	4	57	0	12	56	189	3	0	469
Tránsito de Diseño	228,135	0	6,494	87,911	0	18,317	87,108	293,173	4,070	0	725,209.43

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. ESAL's

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.

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).

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.

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

En la tabla 25, pág. 56, 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 el método de interpolación con la siguiente ecuación.

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

$$y = \frac{0.0004 + 0.0003}{2} = 0.00038$$

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

Tabla 25 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 14.

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 23,892 demostrándose a continuación el resultado:

$$ESAL_1 = 18,317 \times 0.1395 = 2,555 \text{ PSI} \quad ESAL_2 = 18,317 \times 2.35 = 43,046 \text{ PSI}$$

$$ESAL (W18) = 2,555 \text{ PSI} + 43,046 \text{ PSI} = 45,601 \text{ PSI}$$

El ESAL de diseño para bus, es de 45,601 PSI.

En la Tabla 24, se presenta el ESAL total de 867,609 PSI, obtenido para el tramo Finca Santa Rita – Comarca Betulia Las Ánimas, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 KIPS, siendo esto acumulado en un periodo de diseño de 10 años. Las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento.

Tabla 26 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
vehículo de pasajero	Autos	0	2.2	simple	0.00038	0	0
			2.2	simple	0.00038	0	
	Jeep	8,471	2.2	simple	0.00038	2	5
			2.2	simple	0.00038	2	
	Camioneta	11,4667	2.2	simple	0.00038	33	367
			4.4	simple	0.0038	334	
	Mc Bus	0	4.4	simple	0.0038	0	0
			8.8	simple	0.0576	0	
	Bus	23,892	11	simple	0.1395	2,555	45,601
			22	simple	2.35	43,046	
vehículo de carga	Liv 2-5t	11,3619	8.8	simple	0.0576	5,017	85,383
			17.6	simple	0.9226	80,366	
	C2	382,398	11	simple	0.1395	40,898	729,854
			22	simple	2.35	688,956	
	C3	5,309	11	simple	0.1395	568	6,399
			36.3	Doble	1.4325	5,831	
ESAL DE DISEÑO							867,609

Fuente: Elaboración propia

3.2. Metodología de levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del tramo comprende el conjunto de actividades técnicas destinadas a obtener la representación planialtimétrica precisa del terreno existente a lo largo del eje del proyecto. Este proceso inicia con el reconocimiento del área y la definición del alineamiento del tramo, seguido del establecimiento de puntos de control y referencias altimétricas debidamente georreferenciadas.

Posteriormente, se realiza la medición de distancias, ángulos y cotas mediante el equipo topográfico “estación total”. Obteniendo ayuda también de herramientas y materiales como machete, mazo o martillo, alicate y clavos de acero de una pulgada. Con la información recopilada se elaboran los perfiles longitudinales, secciones transversales, curvas de nivel y pendientes, elementos fundamentales para el diseño geométrico y la planificación de las obras.

Cabe destacar que el estudio topográfico se realizó con la finalidad de obtener una simulación representativa del comportamiento característico del terreno, aplicando los procedimientos del levantamiento previamente descritos. No obstante, la información generada debe considerarse como una referencia técnica aproximada de las condiciones del tramo, ya que pueden presentarse variaciones naturales del terreno que solo podrán confirmarse mediante un levantamiento definitivo previo a la ejecución de la obra.

Los resultados del levantamiento topográfico constituyen la base técnica para el diseño, cuantificación y ejecución del proyecto, asegurando la correcta adaptación de la obra a las condiciones reales del terreno y minimizando errores durante la etapa constructiva.

El levantamiento se realizó el día 18 de noviembre al 25 de noviembre entrando desde las 6 am hasta 4 pm donde el punto de inicio fue del puente de la comunidad de Betulia como estación 0+000 hasta el portón de finca santa Rita con la estación 3+000.

3.2.1. Resultado y descripción obtenida sobre el levantamiento topográfico

Los resultados más relevantes de este estudio se encuentran derivada del levantamiento topográfico, la cual está a disposición mediante un código QR que facilita el acceso a la totalidad de los puntos levantados a lo largo del tramo analizado (ver anexos pág. XX figura 63).

La información recopilada se procesó utilizando el software AutoCAD Civil 3D, herramienta que permitió la elaboración de las curvas de nivel correspondientes al eje del proyecto. A partir de estas, se definieron los alineamientos necesarios para la construcción de los perfiles longitudinales, incorporando los datos de elevación obtenidos en campo.

Posteriormente, se efectuaron los cálculos de las pendientes del terreno, lo que permite establecer su clasificación, aportando información relevante para el análisis y comprensión de las características topográficas del área de estudio.

3.2.2. Relieve del tramo en el estudio

Las formas de relieve, básicamente se pueden clasificar en formaciones montañosas, llanuras y depresiones, y su génesis y evolución responden a la acción del clima, los procesos geológicos internos y externos y las acciones antrópicas.

Las curvas de nivel o isohipsas son líneas que unen puntos de la superficie topográfica que presentan la misma altitud. O lo que es igual, la intersección de la superficie topográfica, con los planos horizontales que se logra observar en las siguientes figuras 8,9,10,11,12 y 13 de los perfiles longitudinales donde este se inicia del tramo 0+000 que es el pueblo de Betulia hasta la estación 3+000 que finaliza en la finca santa Rita.

En ese estudio se realizará la clasificación de acuerdo con la pendiente generada por el programa Civil 3d una vez ingresado y creado el perfil longitudinal y para conocer ese valor utilizaremos la tabla N°27

Tabla 27 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

Tipo de terreno	Rango de pendiente P (P)
Llano o plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 < P \leq 15$
Montañoso	$15 < P \geq 30$

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Ecuación 21, que se utilizara para el cálculo de pendientes en el terreno estudiado y con esto poder determinar el tipo de terreno tomando en cuenta los criterios del Manual Centroamericano para el Diseño de Carreteras, SIECA 2011 pág. 116.

$$m = \frac{Elv\ 2 - Elv1}{DH} * 100\% \quad \textbf{Ecuación 21}$$

para realizar los cálculos de todas las pendientes el valor de DH será de 20 metros. las elevaciones se tomarán de acuerdo con el perfil longitudinal creado donde los resultados obtenidos estarán en el siguiente cuadro.

Tabla 28 Pendiente sobre el eje del terreno

Pendiente sobre el eje del terreno							
Estacion		Elevación		DH (m)	Pendiente		Tipo de terreno
Inicio	Fin	Inicio	Fin				
0+000	0+020	222.5	221.85	20	-3.25%	Bajada	plano
0+020	0+040	221.85	220.66	20	-5.95%	Bajada	plano
0+040	0+060	220.66	218.39	20	-11.35%	Bajada	plano
0+060	0+080	218.39	215.77	20	-13.10%	Bajada	plano
0+080	0+100	215.77	214.91	20	-4.30%	Bajada	plano
0+100	0+120	214.91	213.67	20	-6.20%	Bajada	plano
0+120	0+140	213.67	212.25	20	-7.10%	Bajada	plano
0+140	0+160	212.25	209.71	20	-12.70%	Bajada	Plano
0+160	0+180	209.71	209.56	20	-0.75%	Bajada	Plano
0+180	0+200	209.56	210.31	20	3.75%	Bajada	Plano
0+200	0+220	210.31	212.89	20	12.90%	Subida	ondulado
0+220	0+240	212.89	215.87	20	14.90%	Subida	ondulado
0+240	0+260	215.87	218.51	20	13.20%	Subida	ondulado
0+260	0+280	218.51	220.51	20	10.00%	Subida	ondulado
0+280	0+300	220.51	221.17	20	3.30%	Subida	Plano

Pendiente sobre el eje del terreno							
Estacion		Elevación		DH (m)	Pendiente		Tipo de terreno
Inicio	Fin	Inicio	Fin				
0+300	0+320	220.7	220.37	20	-1.65%	Bajada	Plano
0+320	0+340	220.37	220.04	20	-1.65%	Bajada	Plano
0+340	0+360	220.04	219.3	20	-3.70%	Bajada	plano
0+360	0+380	219.3	218.25	20	-5.25%	Bajada	plano
0+380	0+400	218.25	217.36	20	-4.45%	Bajada	plano
0+400	0+420	217.36	216.81	20	-2.75%	Bajada	plano
0+420	0+440	216.81	216.59	20	-1.10%	Bajada	plano
0+440	0+460	216.59	216.71	20	0.60%	Subida	plano
0+460	0+480	216.71	216.7	20	-0.05%	Bajada	plano
0+480	0+500	216.7	216.73	20	0.15%	Subida	plano
0+500	0+520	216.73	216.77	20	0.20%	Subida	plano
0+520	0+540	216.77	216.71	20	-0.30%	Bajada	plano
0+540	0+560	216.71	216.49	20	-1.10%	Bajada	plano
0+560	0+580	216.49	216.48	20	-0.05%	Bajada	plano
0+580	0+600	216.48	216.28	20	-1.00%	Bajada	plano
0+600	0+620	216.28	216.1	20	-0.90%	Bajada	plano
0+620	0+640	216.1	215.61	20	-2.45%	Bajada	plano
0+640	0+660	215.61	215.01	20	-3.00%	Bajada	plano
0+660	0+680	215.01	214.16	20	-4.25%	Bajada	plano
0+680	0+700	214.16	212.14	20	-10.10%	Bajada	plano
0+700	0+720	212.14	209.6	20	-12.70%	Bajada	plano
0+720	0+740	209.6	206.6	20	-15.00%	Bajada	plano
0+740	0+760	206.6	206.31	20	-1.45%	Bajada	plano
0+760	0+780	206.31	205.92	20	-1.95%	Bajada	plano
0+780	0+800	205.92	207.93	20	10.05%	Subida	ondulado
0+800	0+820	207.93	211.12	20	15.95%	Subida	montañoso
0+820	0+840	211.12	213.58	20	12.30%	Subida	ondulado
0+840	0+860	213.58	215.83	20	11.25%	Subida	ondulado
0+860	0+880	215.83	217.66	20	9.15%	Subida	ondulado
0+880	0+900	217.66	218.12	20	2.30%	Subida	plano
0+900	0+920	218.12	217.63	20	-2.45%	Bajada	plano
0+920	0+940	217.63	216.82	20	-4.05%	Bajada	plano
0+940	0+960	216.82	215.98	20	-4.20%	Bajada	plano
0+960	0+980	215.98	215.24	20	-3.70%	Bajada	plano
0+980	1+000	215.24	213.52	20	-8.60%	Bajada	plano
1+000	1+020	213.52	206.92	20	-33.00%	Bajada	plano
1+020	1+040	206.92	205.89	20	-5.15%	Bajada	plano
1+040	1+060	205.89	208.26	20	11.85%	Subida	ondulado
1+060	1+080	208.26	211.58	20	16.60%	Subida	montañoso

Pendiente sobre el eje del terreno							
Estacion		Elevación		DH (m)	Pendiente		Tipo de terreno
Inicio	Fin	Inicio	Fin				
1+080	1+100	211.58	214.37	20	13.95%	Subida	ondulado
1+100	1+120	214.37	215.96	20	7.95%	Subida	ondulado
1+120	1+140	215.96	216.83	20	4.35%	Subida	plano
1+140	1+160	216.83	214.22	20	-13.05%	Bajada	plano
1+160	1+180	214.22	211.96	20	-11.30%	Bajada	plano
1+180	1+200	211.96	207.79	20	-20.85%	Bajada	plano
1+200	1+220	207.79	206.71	20	-5.40%	Bajada	plano
1+220	1+240	206.71	207.29	20	2.90%	Subida	plano
1+240	1+260	207.29	207.4	20	0.55%	Subida	plano
1+260	1+280	207.4	206.71	20	-3.45%	bajada	plano
1+280	1+300	206.71	206.32	20	-1.95%	bajada	plano
1+300	1+320	206.32	206.27	20	-0.25%	Bajada	plano
1+320	1+340	206.27	207.33	20	5.30%	Subida	plano
1+340	1+360	207.33	207.36	20	0.15%	Subida	plano
1+360	1+380	207.36	207.63	20	1.35%	Subida	plano
1+380	1+400	207.63	207.95	20	1.60%	Subida	plano
1+400	1+420	207.95	208.29	20	1.70%	Subida	plano
1+420	1+440	208.29	209.46	20	5.85%	Subida	ondulado
1+440	1+460	209.46	211.7	20	11.20%	Subida	ondulado
1+460	1+480	211.7	214.58	20	14.40%	Subida	ondulado
1+480	1+500	214.58	215.4	20	4.10%	Subida	plano
1+500	1+520	215.4	216.13	20	3.65%	Subida	plano
1+520	1+540	216.13	215.61	20	-2.60%	Bajada	plano
1+540	1+560	215.61	214.66	20	-4.75%	Bajada	plano
1+560	1+580	214.66	213.43	20	-6.15%	Bajada	plano
1+580	1+600	213.43	211.75	20	-8.40%	Bajada	plano
1+600	1+620	211.75	210.75	20	-5.00%	Bajada	plano
1+620	1+640	210.75	210.2	20	-2.75%	Bajada	plano
1+640	1+660	210.2	209.82	20	-1.90%	Bajada	plano
1+660	1+680	209.82	209.25	20	-2.85%	Bajada	plano
1+680	1+700	209.25	208.54	20	-3.55%	Bajada	plano
1+700	1+720	208.54	207.66	20	-4.40%	Bajada	plano
1+720	1+740	207.66	206.02	20	-8.20%	Bajada	plano
1+740	1+760	206.02	203.33	20	-13.45%	Bajada	plano
1+760	1+780	203.33	200.79	20	-12.70%	Bajada	plano
1+780	1+800	200.79	200.06	20	-3.65%	Bajada	plano
1+800	1+820	200.06	200.5	20	2.20%	Subida	plano
1+820	1+840	200.5	202.88	20	11.90%	Subida	ondulado
1+840	1+860	202.88	206.28	20	17.00%	Subida	ondulado

Pendiente sobre el eje del terreno							
Estacion		Elevación		DH (m)	Pendiente		Tipo de terreno
Inicio	Fin	Inicio	Fin				
1+860	1+880	209.56	211.48	20	9.60%	Subida	ondulado
1+880	1+900	211.48	211.93	20	2.25%	Subida	plano
1+900	1+920	211.93	210.44	20	-7.45%	Bajada	plano
1+920	1+940	210.44	207.55	20	-14.45%	Bajada	plano
1+940	1+960	207.55	204.7	20	-14.25%	Bajada	plano
1+960	1+980	204.7	204.89	20	0.95%	Subida	plano
1+980	2+000	204.89	205.25	20	1.80%	Subida	plano
2+000	2+020	205.25	205.46	20	1.05%	Subida	plano
2+020	2+040	205.46	206.33	20	4.35%	Subida	Plano
2+040	2+060	206.33	205.94	20	-1.95%	Bajada	plano
2+060	2+080	205.94	205.61	20	-1.65%	Bajada	plano
2+080	2+100	205.61	205.62	20	0.05%	Subida	plano
2+100	2+120	205.62	206.24	20	3.10%	Subida	plano
2+120	2+140	206.24	206.4	20	0.80%	Subida	plano
2+140	2+160	206.4	206.28	20	-0.60%	Bajada	plano
2+160	2+180	206.28	206.07	20	-1.05%	Bajada	plano
2+180	2+200	206.07	205.89	20	-0.90%	Bajada	plano
2+200	2+220	205.89	205.63	20	-1.30%	Bajada	plano
2+220	2+240	205.63	205.69	20	0.30%	Subida	plano
2+240	2+260	205.69	205.46	20	-1.15%	Bajada	plano
2+260	2+280	205.46	205.42	20	-0.20%	Bajada	plano
2+280	2+300	205.42	205.01	20	-2.05%	Bajada	plano
2+300	2+320	205.01	204.5	20	-2.55%	Bajada	plano
2+320	2+340	204.5	203.13	20	-6.85%	Bajada	plano
2+340	2+360	203.13	201.18	20	-9.75%	Bajada	plano
2+360	2+380	201.18	199.18	20	-10.00%	Bajada	plano
2+380	2+400	199.18	197.95	20	-6.15%	Bajada	plano
2+400	2+420	197.95	197.2	20	-3.75%	Bajada	plano
2+420	2+440	197.2	197.32	20	0.60%	Subida	plano
2+440	2+460	197.32	198.33	20	5.05%	Subida	ondulado
2+460	2+480	198.33	200.35	20	10.10%	Subida	ondulado
2+480	2+500	200.35	200.55	20	1.00%	Subida	plano
2+500	2+520	200.55	200.83	20	1.40%	Subida	plano
2+520	2+540	200.83	199.8	20	-5.15%	Bajada	plano
2+540	2+560	199.8	199.08	20	-3.60%	Bajada	plano
2+560	2+580	199.08	199.27	20	0.95%	Subida	plano
2+580	2+600	199.27	199.65	20	1.90%	Subida	plano
2+600	2+620	199.65	200.25	20	3.00%	Subida	plano
2+620	2+640	200.25	200.85	20	3.00%	Subida	plano

Pendiente sobre el eje del terreno							
Estacion		Elevación		DH (m)	Pendiente		Tipo de terreno
Inicio	Fin	Inicio	Fin				
2+640	2+660	200.85	201.51	20	3.30%	Subida	plano
2+660	2+680	201.51	202.07	20	2.80%	Subida	plano
2+680	2+700	202.07	202.68	20	3.05%	Subida	plano
2+700	2+720	202.68	203.24	20	2.80%	Subida	plano
2+720	2+740	203.24	203.68	20	2.20%	Subida	plano
2+740	2+760	203.68	203.71	20	0.15%	Subida	plano
2+760	2+780	203.71	203.02	20	-3.45%	Bajada	plano
2+780	2+800	203.02	202.12	20	-4.50%	Bajada	plano
2+800	2+820	202.12	200.57	20	-7.75%	Bajada	plano
2+820	2+840	200.57	200.24	20	-1.65%	Bajada	plano
2+840	2+860	200.24	201.08	20	4.20%	Subida	plano
2+860	2+880	201.08	201	20	-0.40%	Bajada	plano
2+880	2+900	201.3	201.35	20	0.25%	Subida	plano
2+900	2+920	201.35	201.38	20	0.15%	subida	plano
2+920	2+940	201.38	201.42	20	0.20%	Subida	plano
2+940	2+960	201.42	201.5	20	0.40%	Subida	plano
2+960	2+980	201.5	201.58	20	0.40%	Subida	plano
2+980	3+000	201.58	201.65	20	0.35%	Subida	plano

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo presentado en la tabla 28 se identifican tramos que presentan pendientes longitudinales de magnitud significativa, tanto con gradiente positivo como negativo, lo cual evidencia variaciones altimétricas importantes a lo largo del eje en estudio. En particular, entre las estaciones 0+220 y 0+240 se registra una pendiente longitudinal de 14.90 %, correspondiente a un tramo en ascenso; mientras que entre las estaciones 0+720 y 0+740 se presenta una pendiente de -15.00 %, asociada a un tramo en descenso. De forma similar, se observan pendientes relevantes en los tramos comprendidos entre las estaciones 0+800 y 0+820, así como entre 1+060 y 1+080.

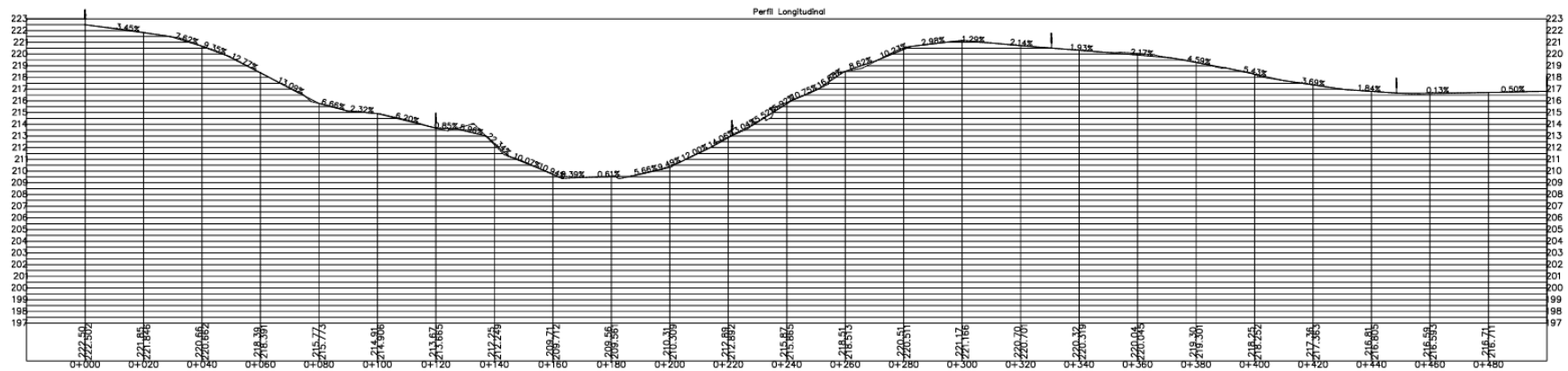
Adicionalmente, el tramo comprendido entre las estaciones 0+180 y 1+200 presenta una pendiente longitudinal de -20.85 %, y el tramo entre las estaciones 1+840 y 1+860 una pendiente de 17.00 %, valores que corresponden a condiciones topográficas de mayor complejidad. Conforme a los criterios de clasificación de pendientes, los tramos con pendientes menores o iguales al 5 %

se clasifican como terreno plano o llano; aquellos con pendientes entre el 5 % y el 15 % corresponden a terreno ondulado; y los tramos con pendientes comprendidas entre el 15 % y el 30 % se consideran característicos de terreno montañoso.

Aunque dichas pendientes se encuentran detalladas individualmente en el cuadro de resultados por estación, el análisis estadístico global indica que aproximadamente el 75 % de los tramos evaluados presenta pendientes bajas, predominando la condición de terreno plano o llano a lo largo del eje del proyecto.

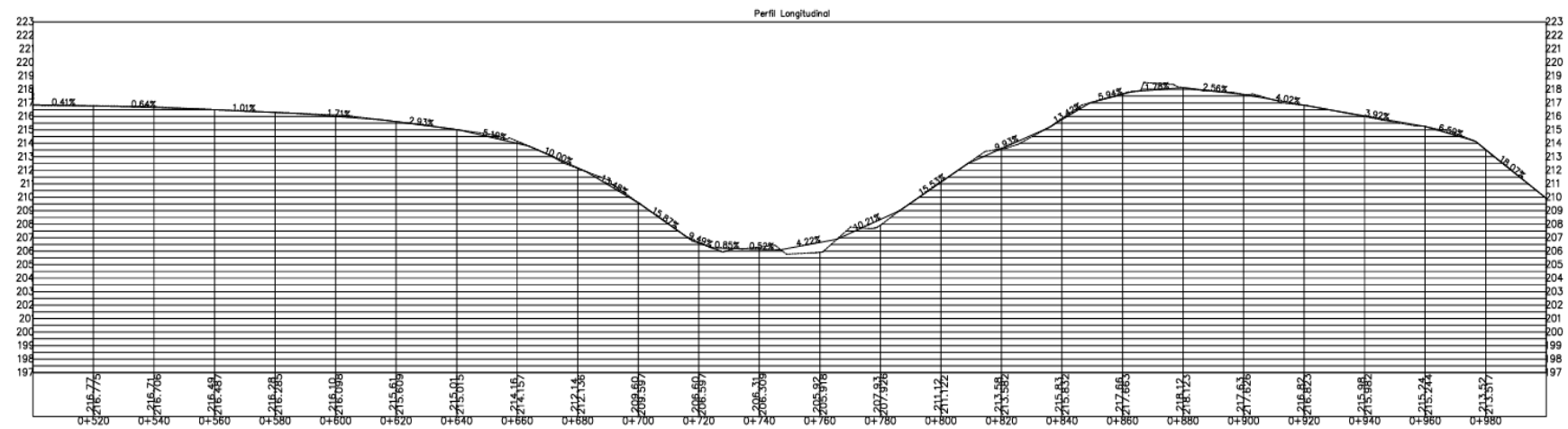
A continuación, se muestra en las figuras 8 , 9, 10, 11, 12 y 13 siguientes las composiciones de los tramos del eje en estudio según su perfil, el cual se utilizaron para los cálculos de pendiente establecido.

Figura 8 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 0+000 – 0+500 (Sin escala).



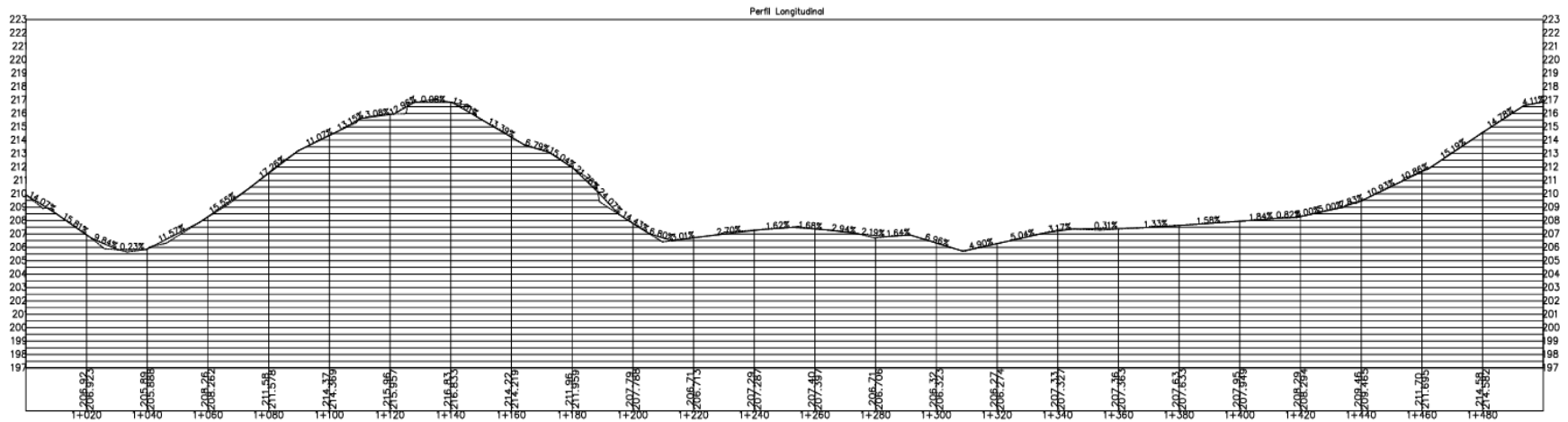
Fuente: Elaboración propia

Figura 9 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 0+500 – 1+000 (Sin escala).



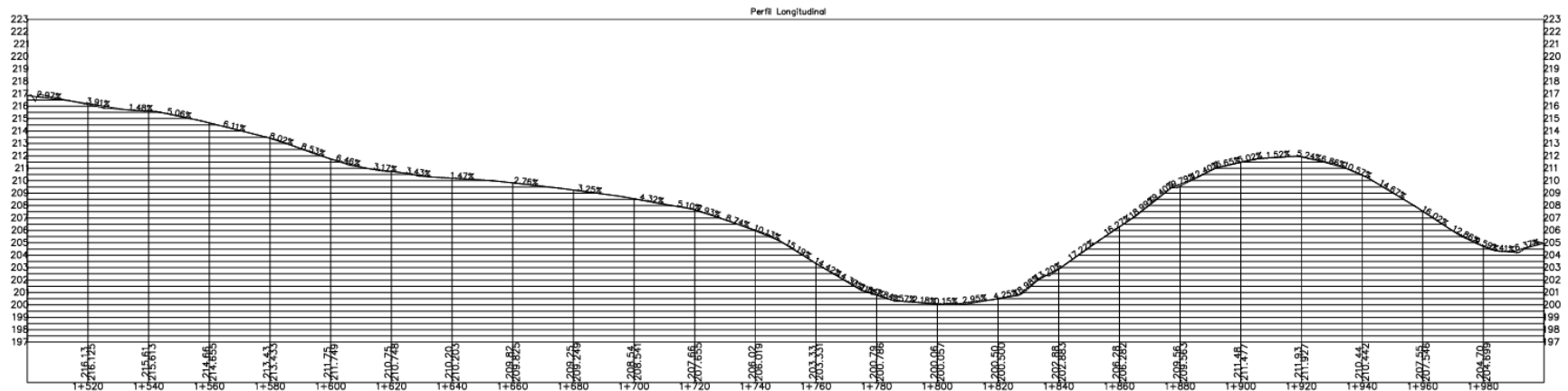
Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 1+000 – 1+500 (Sin escala).



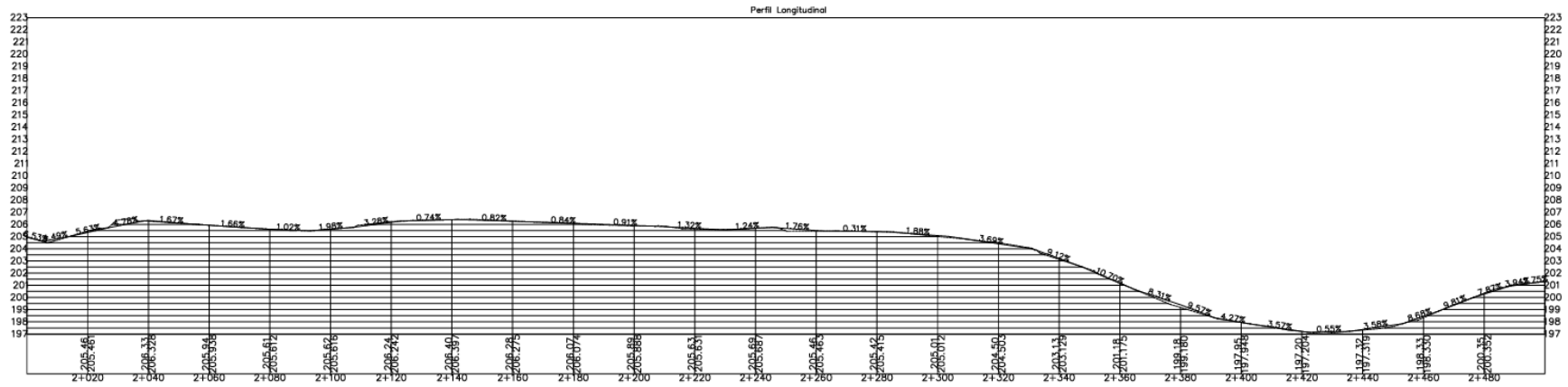
Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 1+500 – 2+000 (Sin escala).



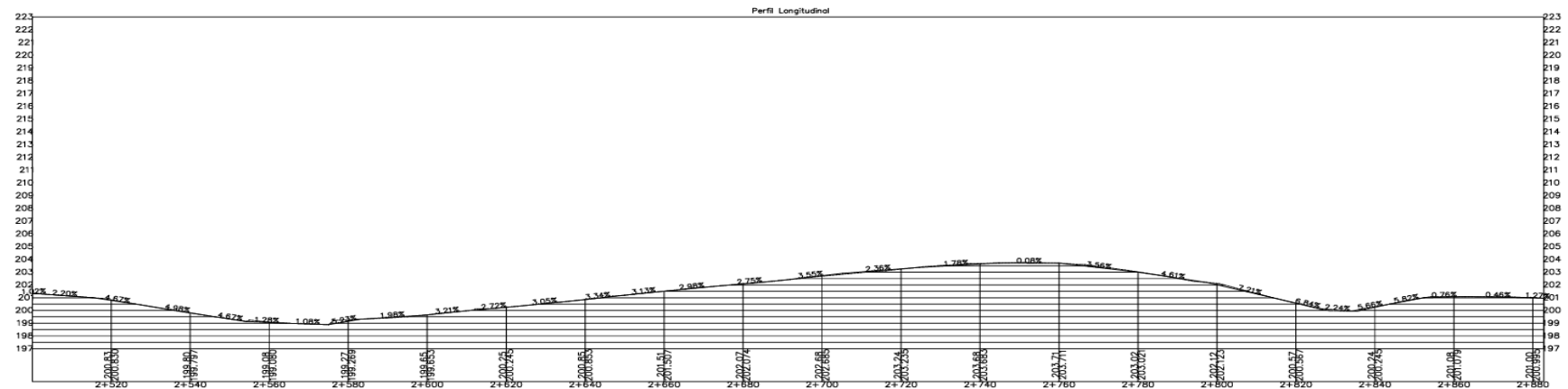
Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 2+000 – 2+500 (Sin escala).



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Perfil del terreno natural del Betulia – finca santa Rita. 2+500 – 3+000 (Sin escala).



Fuente: Elaboración propia

3.3. Estudio de suelo

Se define en ingeniería como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El suelo contiene una amplia variedad de material tales como la grava, arena, mezclas arcillosas, limos, entre otros.

Conocer el tipo de suelo es un parámetro indispensable para el diseño de una estructura de pavimento de calidad, ante esto es necesario realizar un estudio de suelos que haga posible determinar las características físico-mecánicas del terreno en donde se construirá la vía de comunicación terrestre.

Debido a que es común encontrar suelos que no son completamente adecuados, esto por no presentar las características deseadas para el diseño de la estructura de pavimento, es necesario localizar los bancos de materiales más cercanos a la zona del proyecto, y, por lo tanto, hacer los estudios correspondientes para determinar cuál puede adaptarse mejor al suelo existente en el tramo, logrando de tal manera modificar sus propiedades para que sea capaz de cumplir con los requerimientos esperados.

En este acápite, se realiza el análisis del estudio de suelo de los resultados obtenidos por la empresa MECO S.A realizado en el tramo Finca Santa Rita - Comarca Betulia; mediante la aplicación de la normativa NIC – 2019.

Cabe destacar que cada resultado obtenido por el estudio de suelo se identificara el tipo de material existente sobre la línea de acuerdo con los indicadores que se utilizaron en el ensayo.

3.3.1 Ensayo realizado sobre la línea.

Ensayos aplicados en las muestras de suelos de sondeos de línea y de Bancos de Préstamo realizado por la empresa MECO.

Tabla 29 Clasificación de ensayos ejecutados.

Ensayos ejecutados	Procedimiento
Contenidos de partículas menores de 0.075 mm (Por lavado)	AASHTO T 11
Análisis granulométrico de partículas finas y gruesas	AASHTO T 27
Límite Líquido de los suelos	AASHTO T 89
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos	AASHTO T 90
Clasificación desde el punto de vista de vías terrestres	AASHTO M 145
Relación Soporte de California	AASHTO T 193

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

De acuerdo con la información suministrada por la empresa constructora MECO, se ejecutaron prospecciones cada 200 metros sobre el eje central del tramo en estudio, alcanzando una profundidad de 1.50 m. En total, se realizaron 16 sondeos distribuidos desde la estación 3+000 hasta la 0+000.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos, describiendo la clasificación de los materiales según la normativa AASHTO M145 a partir de los análisis granulométricos y de plasticidad correspondientes.

a) Estación 3+000

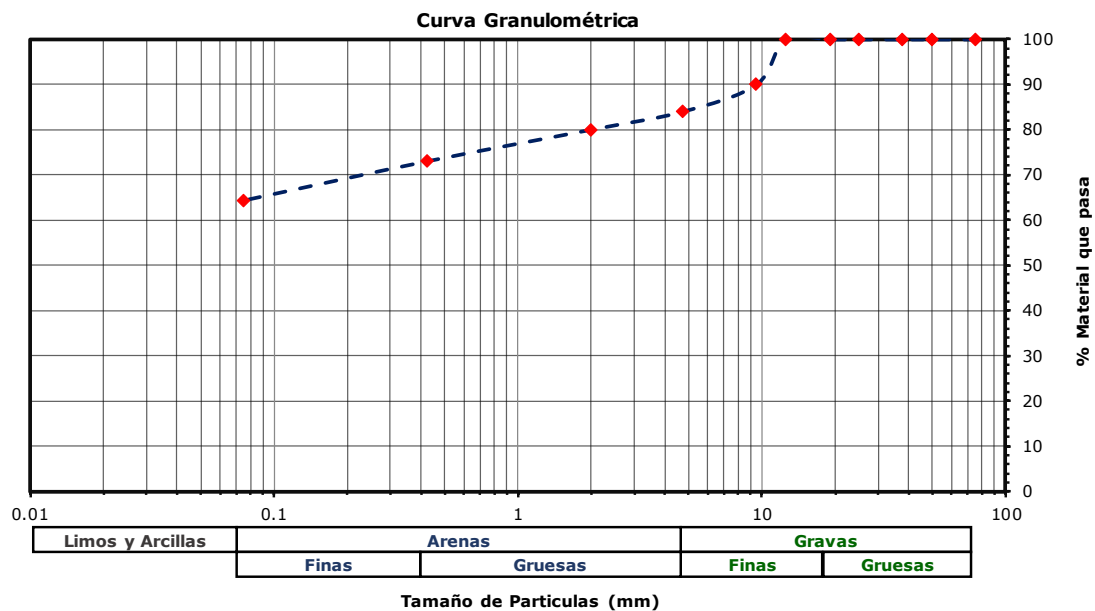
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 30 Granulometría sondeo N°1

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	0.0
1 1/2"	37.5	0.0
1"	25.0	0.0
3/4"	19.0	0.0
1/2"	12.5	0.0
3/8"	9.5	10.2
No. 4	4.75	6.3
No. 10	2.00	3.2
No. 40	0.425	7.4
No. 200	0.075	8.7
Fondo	-	64.3

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 14 Curva Granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 3+000 detallado en la tabla 30 y en la figura 14.

Según el sistema de clasificación AASHTO M145, el material analizado se categoriza como A-4 (6), lo que lo define como un suelo limoso de plasticidad moderada. Los ensayos de laboratorio realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron un Límite Líquido de 31%, un Límite Plástico de 22% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (6) sugiere que, debido a su naturaleza limo-arcillosa, el suelo presenta un desempeño de regular a pobre como subrasante, siendo sensible a cambios de humedad.

b) Estación 2+800

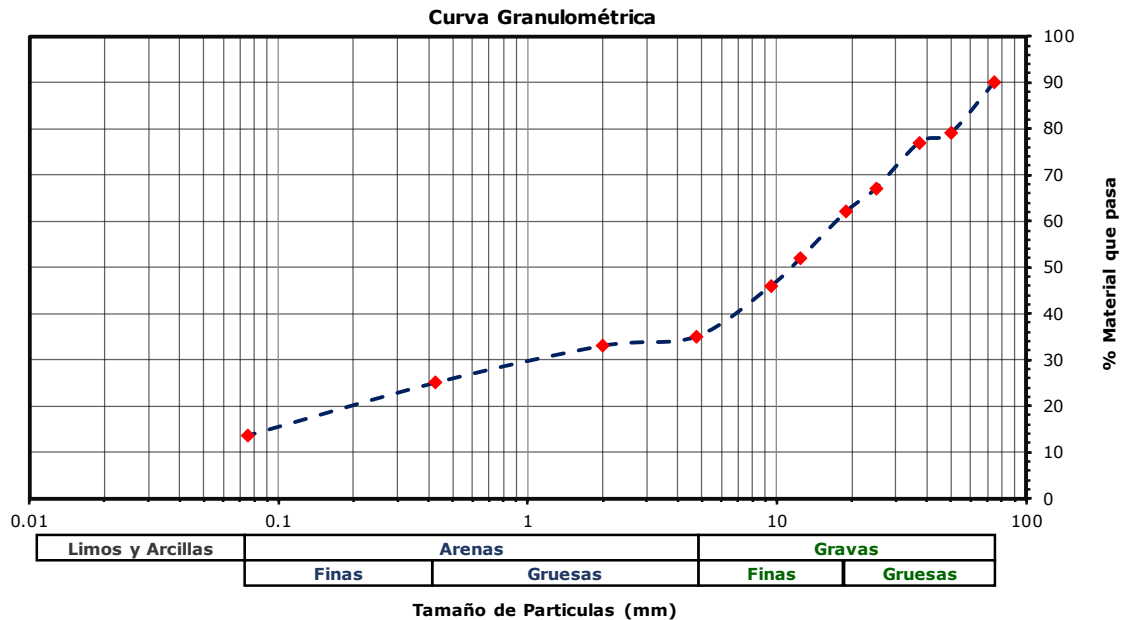
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 31 Granulometría sondeo N°2

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	10.3
2"	50	10.4
1 1/2"	37.5	2.7
1"	25.0	9.4
3/4"	19.0	5.4
1/2"	12.5	9.7
3/8"	9.5	6.0
No. 4	4.75	10.8
No. 10	2.00	2.0
No. 40	0.425	8.0
No. 200	0.075	11.6
Fondo	-	13.6

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 15 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 2+800 detallado en la tabla 31 y en la figura 15.

Conforme a la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 36%, un Límite Plástico de 27% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) ratifica la alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica del material.

c) Estación 2+600

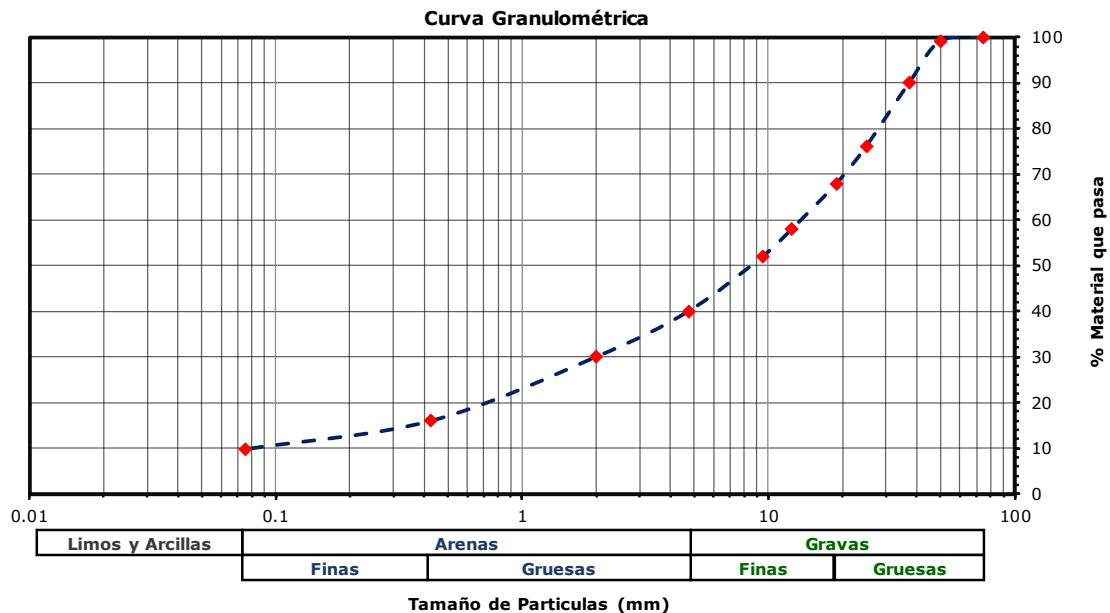
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 32 Granulometría sondeo N°3

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	0.9
1 1/2"	37.5	8.9
1"	25.0	14.4
3/4"	19.0	8.1
1/2"	12.5	9.5
3/8"	9.5	6.2
No. 4	4.75	12.0
No. 10	2.00	10.0
No. 40	0.425	14.3
No. 200	0.075	5.9
Fondo	-	9.8

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 16 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 2+600 detallado en la tabla 32 y en la figura 16.

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-6 (0), identificándose como un material granular compuesto por una mezcla de grava y arena arcillosa. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron un Límite Líquido de 32%, un Límite Plástico de 15% y un Índice de Plasticidad de 17%. El Índice de Grupo (0) confirma que, a pesar de la plasticidad de sus finos, el material posee una calidad de excelente a buena para su uso en subrasantes.

d) Estación 2+400

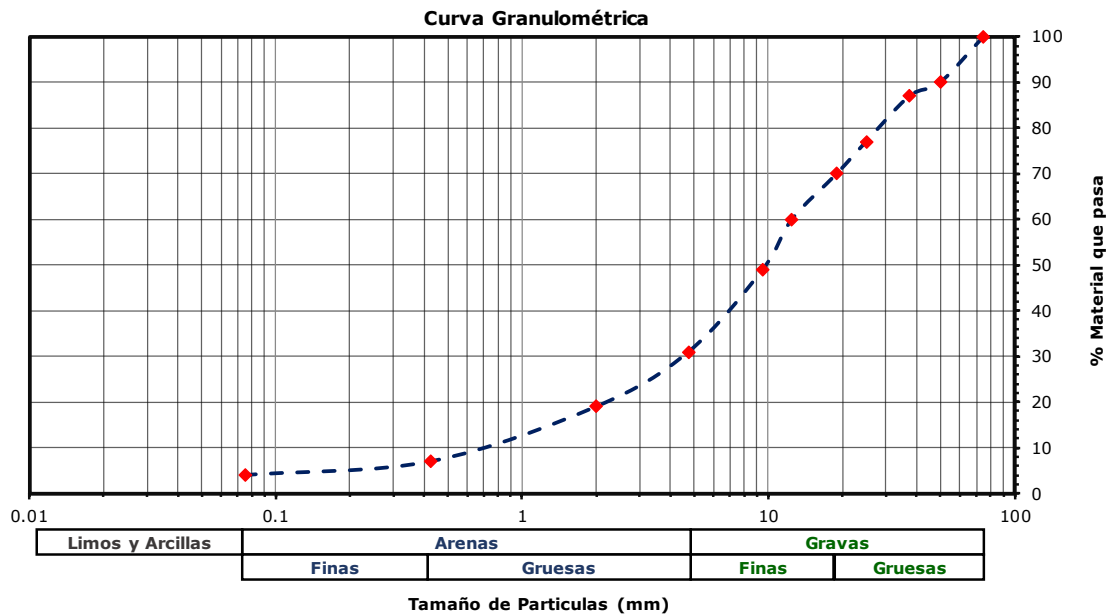
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 33 Granulometría sondeo N°4

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	10.4
1 1/2"	37.5	2.8
1"	25.0	10.3
3/4"	19.0	6.7
1/2"	12.5	10.3
3/8"	9.5	10.1
No. 4	4.75	18.0
No. 10	2.00	12.7
No. 40	0.425	12.0
No. 200	0.075	2.8
Fondo	-	4.0

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 17 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 2+400 detallado en la tabla 33 y en la figura 17.

De acuerdo con la normativa AASHTO M145, el suelo analizado se clasifica como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos de consistencia realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 24%, un Límite Plástico de 15% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) confirma que el material posee una alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica.

e) Estación 2+200

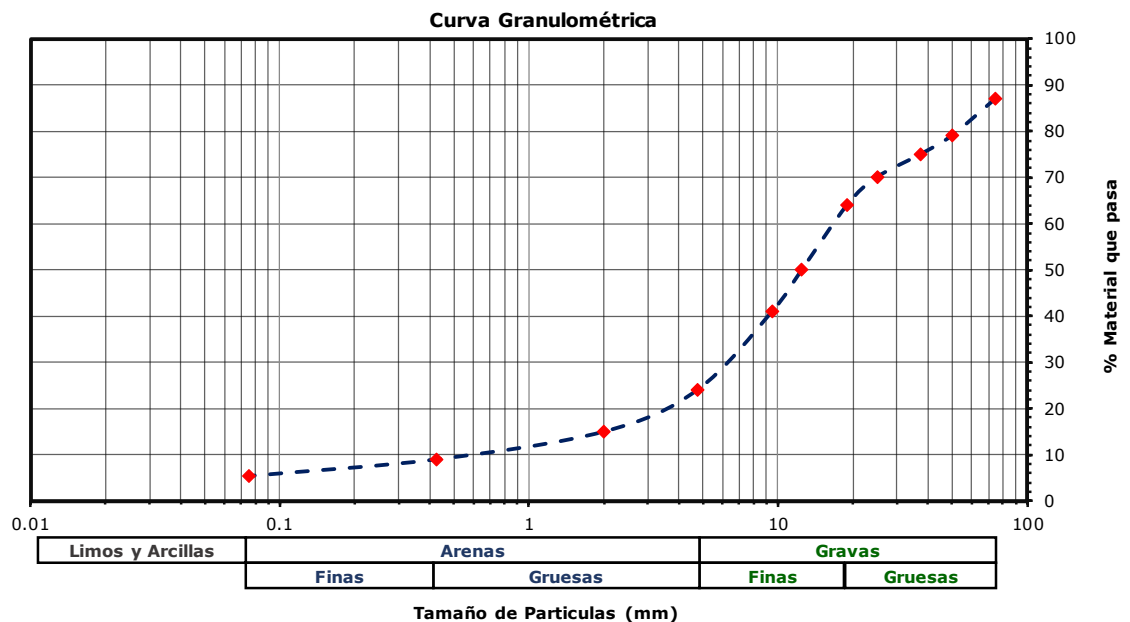
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 34 Granulometría sondeo N°5

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	12.6
2"	50	8.2
1 1/2"	37.5	3.7
1"	25.0	5.8
3/4"	19.0	5.9
1/2"	12.5	13.6
3/8"	9.5	9.2
No. 4	4.75	17.3
No. 10	2.00	8.8
No. 40	0.425	6.0
No. 200	0.075	3.4
Fondo	-	5.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 18 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 2+200 detallado en la tabla 34 y en la figura 18.

El resultado de este sondeo según AASHTOO M145 fue de un tipo de suelo A-2-4 (0), el cual es un material de suelo granular de baja plasticidad, donde su límites líquido, plástico e índice plástico según AASHTOO 89 Y 90 son los siguientes datos. El límite líquido es de 24, el límite plástico fue de 15 y el índice plástico es de 9.

f) Estación 2+000

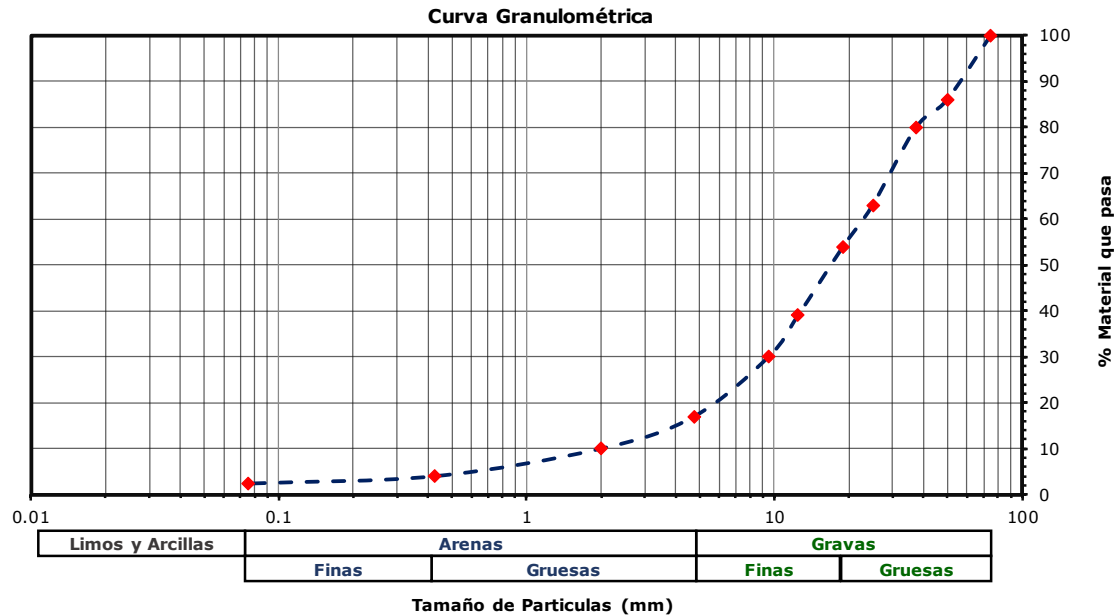
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 35 Granulometría sondeo N°6

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	14.4
1 1/2"	37.5	5.1
1"	25.0	17.7
3/4"	19.0	8.6
1/2"	12.5	15.4
3/8"	9.5	8.3
No. 4	4.75	13.3
No. 10	2.00	7.4
No. 40	0.425	5.4
No. 200	0.075	2.0
Fondo	-	2.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 19 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 2+000 detallado en la tabla 35 y en la figura 19.

Conforme a la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 29%, un Límite Plástico de 20% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) ratifica la alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica del material.

g) Estación 1+800

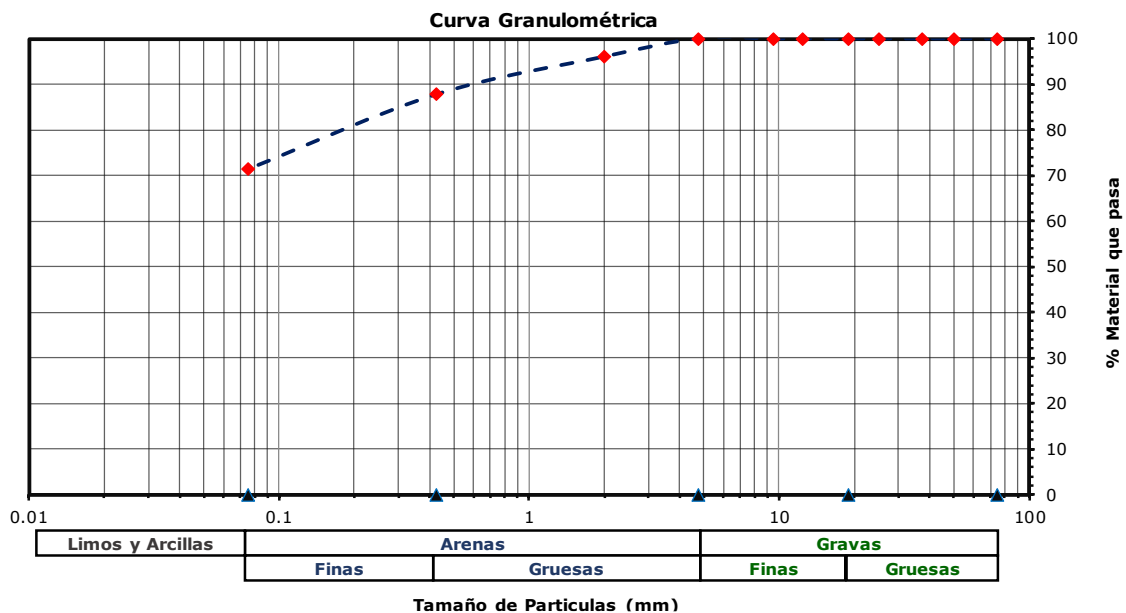
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 36 Granulometría sondeo N°7

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	0.0
1 1/2"	37.5	0.0
1"	25.0	0.0
3/4"	19.0	0.0
1/2"	12.5	0.0
3/8"	9.5	0.0
No. 4	4.75	0.0
No. 10	2.00	4.0
No. 40	0.425	8.3
No. 200	0.075	16.3
Fondo	-	71.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 20 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 1+800 detallado en la tabla 36 y en la figura 20.

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-4 (7), lo que lo define como un material limoso con un desempeño de regular a pobre para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 28%, un Límite Plástico de 20% y un Índice de Plasticidad de 8%. El Índice de Grupo (7) indica que el suelo es susceptible a la humedad y requiere una evaluación cuidadosa para su uso en pavimentos.

h) Estación 1+600

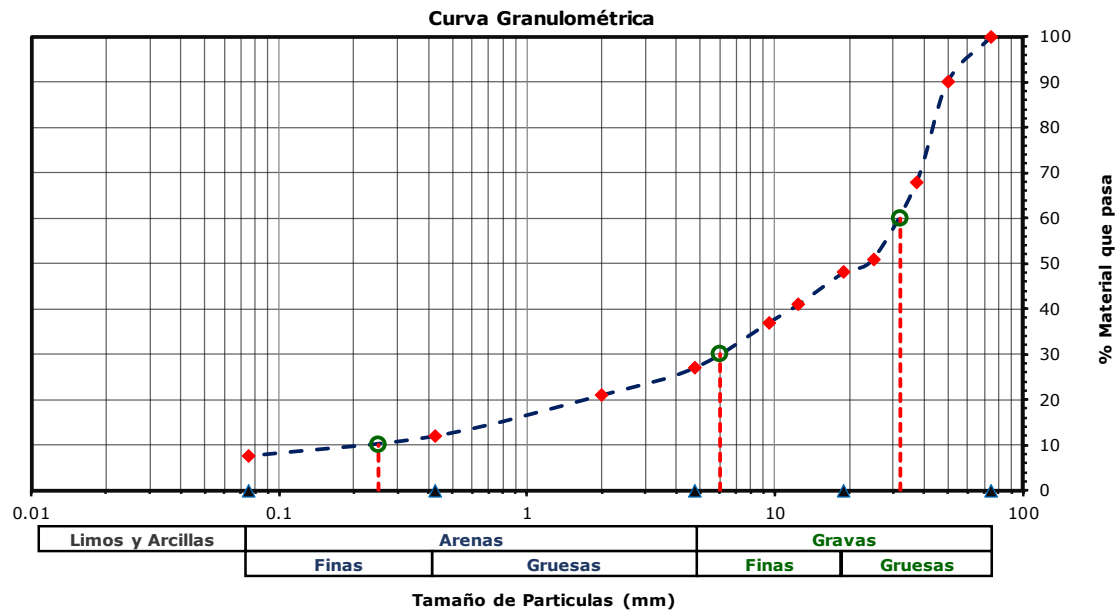
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 37 Granulometría sondeo N°8

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	10.3
1 1/2"	37.5	21.3
1"	25.0	17.4
3/4"	19.0	3.3
1/2"	12.5	7.3
3/8"	9.5	3.9
No. 4	4.75	10.0
No. 10	2.00	5.7
No. 40	0.425	9.0
No. 200	0.075	4.4
Fondo	-	7.6

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 21 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 1+600 detallado en la tabla 37 y en la figura 21.

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-6 (0), identificándose como un material granular compuesto por una mezcla de grava y arena arcillosa. Los ensayos de laboratorio realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron los siguientes resultados: Límite Líquido de 34%, Límite Plástico de 22% e Índice de Plasticidad de 12%. El Índice de Grupo (0) confirma que el material posee una excelente capacidad de soporte para su uso en capas de pavimento.

i) Estación 1+400

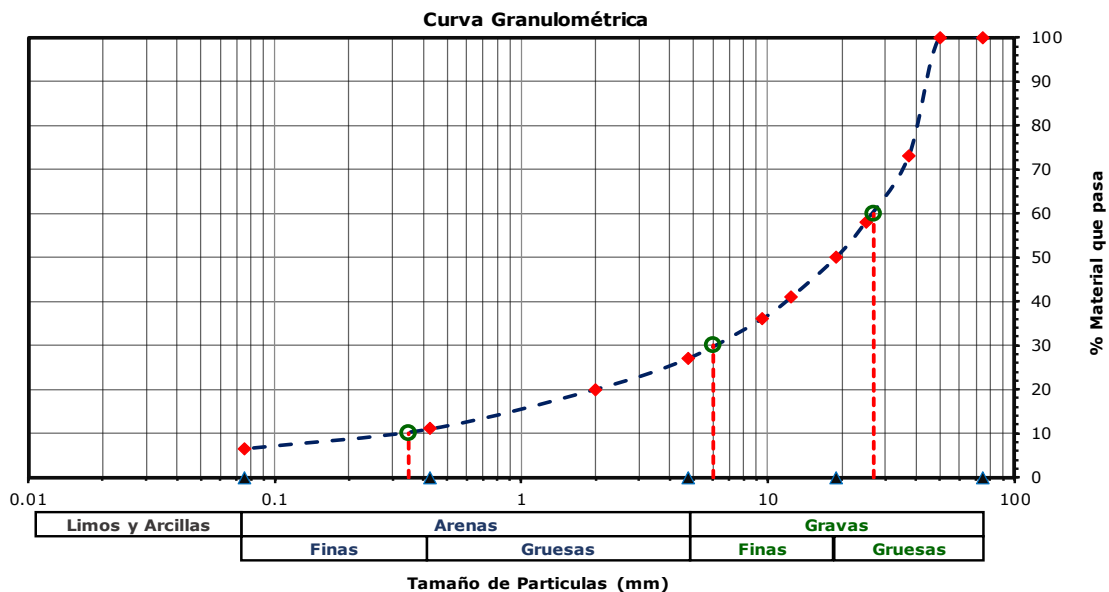
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 38 Granulometría sondeo N°9

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	0.0
1 1/2"	37.5	26.8
1"	25.0	15.1
3/4"	19.0	7.8
1/2"	12.5	9.3
3/8"	9.5	4.7
No. 4	4.75	9.8
No. 10	2.00	6.9
No. 40	0.425	8.9
No. 200	0.075	4.2
Fondo	-	6.5

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 22 curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 1+400 detallado en la tabla 38 y en la figura 22.

Conforme a la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 31%, un Límite Plástico de 22% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) ratifica la alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica del material.

j) Estación 1+200

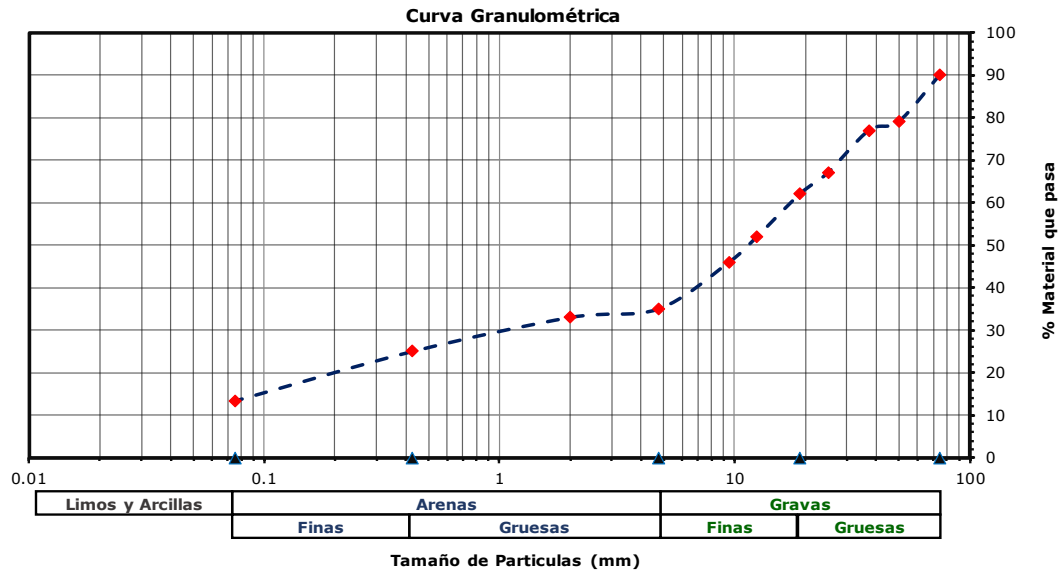
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 39 Granulometría sondeo N°10

Tamices		Porcentaje
	mm	Retenido
3"	75	10.3
2"	50	10.4
1 1/2"	37.5	2.7
1"	25.0	9.5
3/4"	19.0	5.4
1/2"	12.5	9.8
3/8"	9.5	6.0
No. 4	4.75	10.9
No. 10	2.00	2.1
No. 40	0.425	8.0
No. 200	0.075	11.6
Fondo	-	13.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 23 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 1+200 detallado en la tabla 39. y en la figura 23.

Con base en la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), lo que lo define como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 36%, un Límite Plástico de 27% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) confirma que el material posee una alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica.

k) Estación 1+000

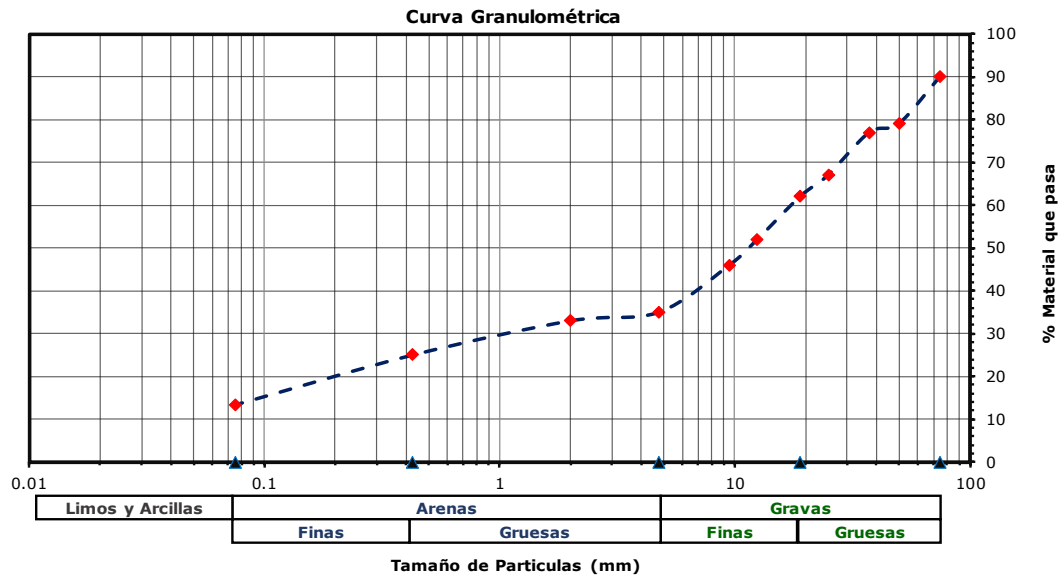
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 40 Granulometría sondeo N°11

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	10.3
2"	50	10.4
1 1/2"	37.5	2.7
1"	25.0	9.5
3/4"	19.0	5.4
1/2"	12.5	9.8
3/8"	9.5	6.0
No. 4	4.75	10.9
No. 10	2.00	2.1
No. 40	0.425	8.0
No. 200	0.075	11.6
Fondo	-	13.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 24 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 1+000 detallado en el cuadro 40 y en la figura 24.

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 36%, un Límite Plástico de 27% y un Índice de Plasticidad de 9%. Al presentar un Índice de Grupo de 0, el material garantiza una alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica para el proyecto.

I) Estación 0+800

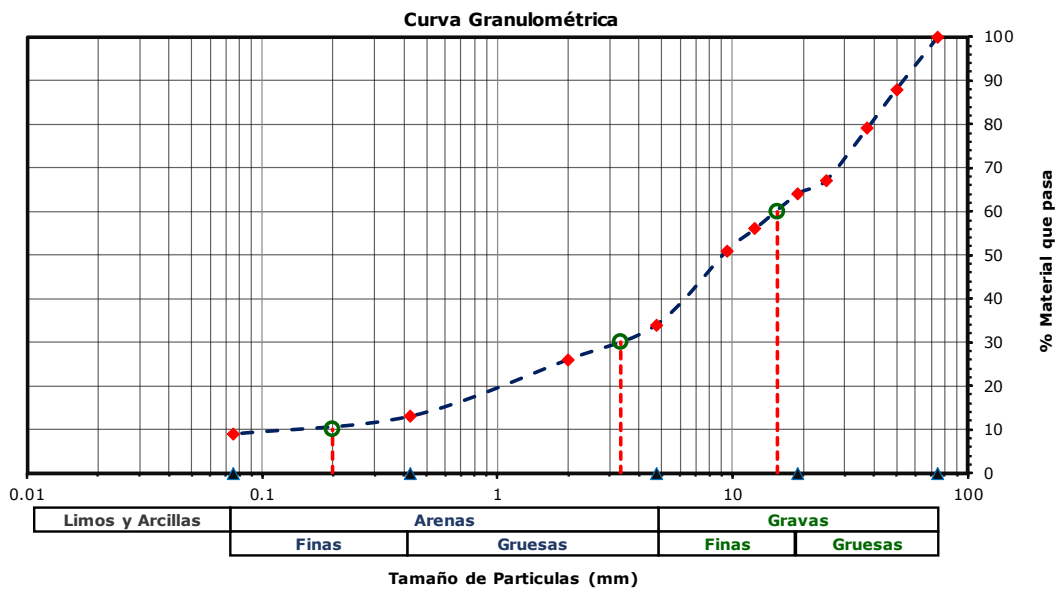
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 41 Granulometría sondeo N°12

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	12.2
1 1/2"	37.5	8.7
1"	25.0	12.4
3/4"	19.0	2.8
1/2"	12.5	7.5
3/8"	9.5	5.5
No. 4	4.75	17.4
No. 10	2.00	7.4
No. 40	0.425	13.1
No. 200	0.075	4.1
Fondo	-	8.9

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 25 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 3+000 detallado en la tabla 41 y en la figura 25.

Según la clasificación AASHTO M145, el material se define como un suelo tipo A-2-4 (0), caracterizado como un suelo granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos de laboratorio, bajo las normas AASHTO T 89 y T 90, arrojaron un Límite Líquido de 30%, un Límite Plástico de 22% y un Índice de Plasticidad de 8%. El Índice de Grupo (0) ratifica la alta estabilidad y capacidad de soporte del material analizado.

m) Estación 0+600

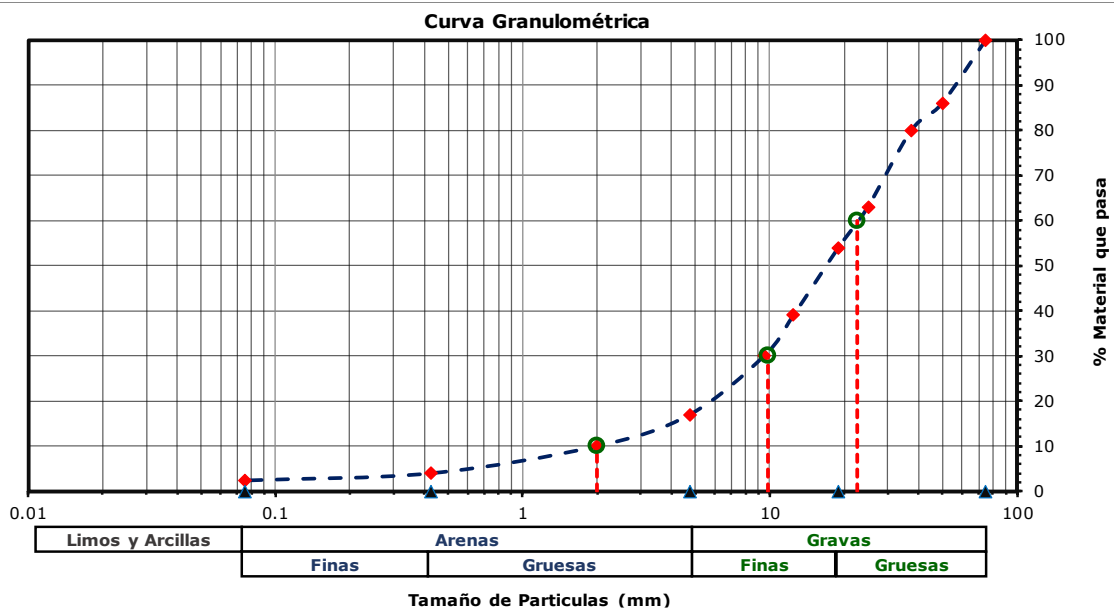
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 42 Granulometría sondeo N°13

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	14.4
1 1/2"	37.5	5.1
1"	25.0	17.7
3/4"	19.0	8.6
1/2"	12.5	15.4
3/8"	9.5	8.3
No. 4	4.75	13.3
No. 10	2.00	7.4
No. 40	0.425	5.4
No. 200	0.075	2.0
Fondo	-	2.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 26 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 3+000 detallado en la tabla 42 y en la figura 26

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), lo que lo define como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para capas de pavimentación. Los ensayos de laboratorio realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 29%, un Límite Plástico de 20% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) confirma que el material posee una alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica.

n) Estación 0+400

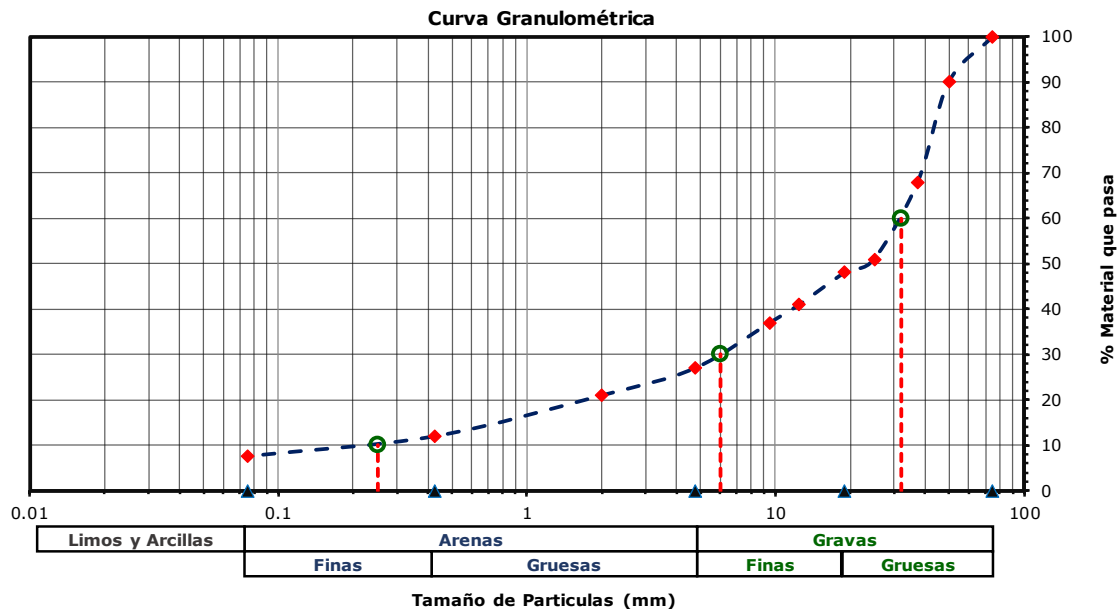
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 43 Granulometría Sondeo N°14

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	10.3
1 1/2"	37.5	21.3
1"	25.0	17.4
3/4"	19.0	3.3
1/2"	12.5	7.3
3/8"	9.5	3.9
No. 4	4.75	10.0
No. 10	2.00	5.7
No. 40	0.425	9.0
No. 200	0.075	4.4
Fondo	-	7.6

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 27 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 3+000 detallado en la tabla 43 y en la figura 27.

Conforme a la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-6 (0), identificándose como un material granular con presencia de finos arcillosos. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron un Límite Líquido de 34%, un Límite Plástico de 22% y un Índice de Plasticidad de 12%. A pesar del componente arcilloso, su Índice de Grupo (0) indica que el material mantiene una calidad de buena a excelente para su uso como subrasante.

o) Estación 0+200

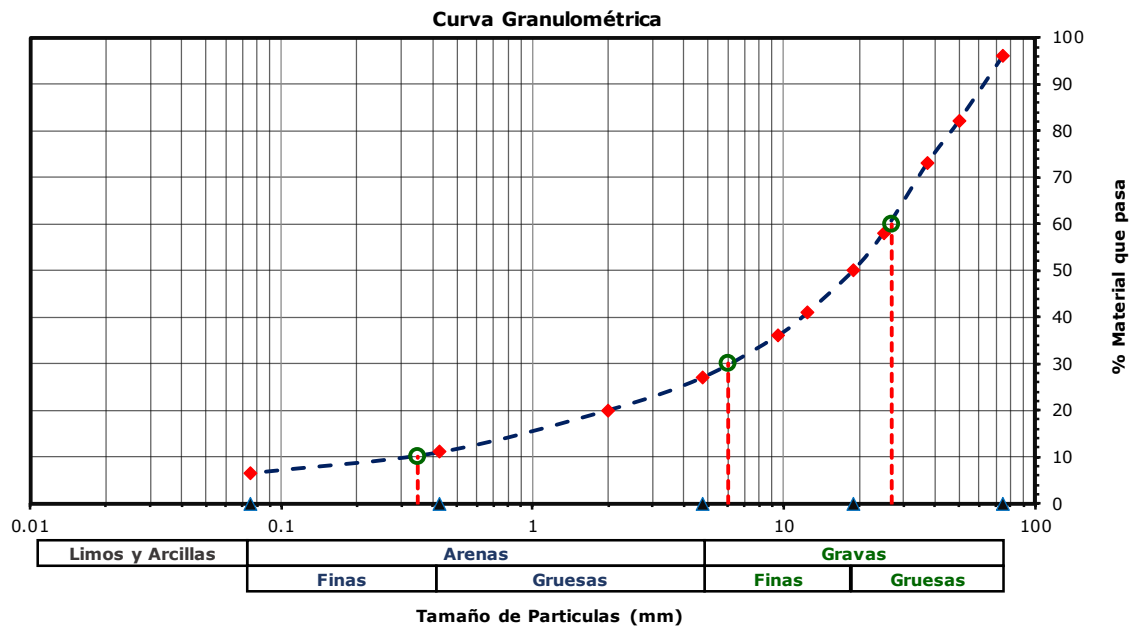
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 44 Granulometría sondeo N°15

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	4.5
2"	50	13.6
1 1/2"	37.5	8.8
1"	25.0	15.1
3/4"	19.0	7.8
1/2"	12.5	9.3
3/8"	9.5	4.7
No. 4	4.75	9.8
No. 10	2.00	6.9
No. 40	0.425	8.9
No. 200	0.075	4.2
Fondo	-	6.5

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 28 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 0+200 detallado en la tabla 44 y en la figura 28.

Con base en la normativa AASHTO M145, el suelo se clasifica como A-2-4 (0), lo que corresponde a un material granular de baja plasticidad con excelente desempeño para capas de pavimento. Según los ensayos AASHTO T 89 y T 90, los resultados obtenidos fueron: Límite Líquido de 31%, Límite Plástico de 22% e Índice de Plasticidad de 9%. Estos valores, junto al Índice de Grupo de 0, ratifican la alta calidad y estabilidad del suelo analizado.

p) Estación 0+000

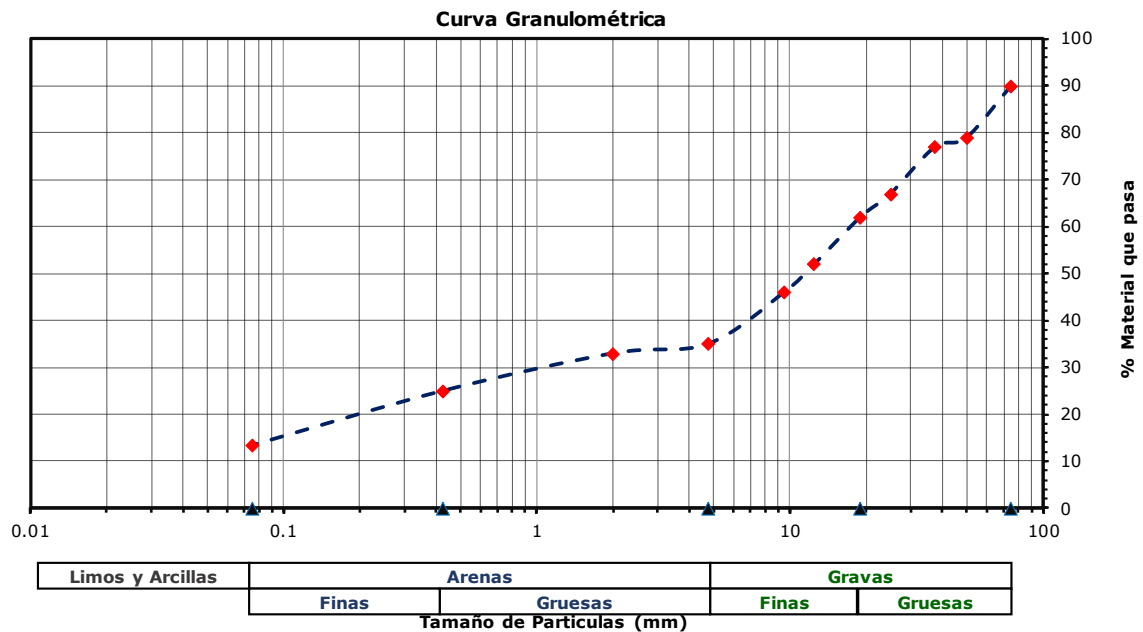
Valores según el análisis de contenido de partículas y su análisis granulométrico AASHTOO T11 Y T27

Tabla 45 Granulometría sondeo N°16

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	10.3
2"	50	10.4
1 1/2"	37.5	2.7
1"	25.0	9.5
3/4"	19.0	5.4
1/2"	12.5	9.8
3/8"	9.5	6.0
No. 4	4.75	10.9
No. 10	2.00	2.1
No. 40	0.425	8.0
No. 200	0.075	11.6
Fondo	-	13.4

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO

Figura 29 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

A continuación, se explica los resultados obtenidos de la estación 0+000 detallado en la tabla 45 y en la figura 29.

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0), definiéndose como un material granular de baja plasticidad con excelente aptitud para subrasantes. Los ensayos de laboratorio realizados bajo las normativas AASHTO T 89 y T 90 determinaron un Límite Líquido de 29%, un Límite Plástico de 20% y un Índice de Plasticidad de 9%. El Índice de Grupo (0) confirma que el material posee una alta capacidad de soporte y estabilidad mecánica bajo cargas vehiculares.

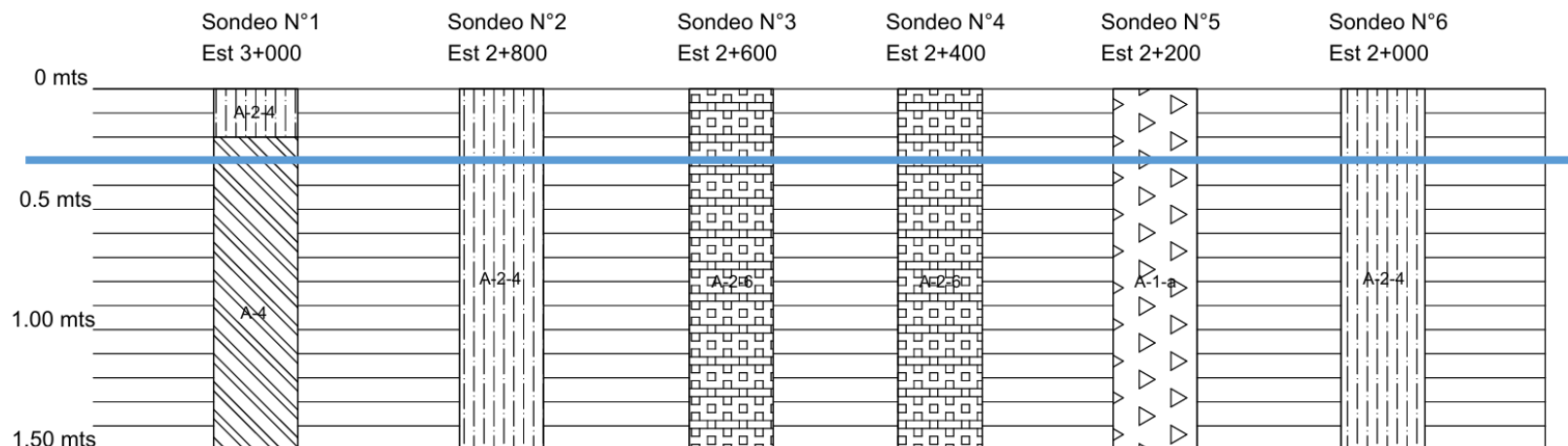
Los resultados granulométricos muestran predominio de materiales granulares, con mínimos porcentajes de limos y arcillas, lo que hace materiales con buen drenaje natural y con buena capacidad de carga. Los límites Líquidos no sobrepasan el 50%, por lo que se consideran materiales de mediana a baja plasticidad, lo que los hace menos susceptibles a cambios volumétricos y asentamientos por cargas.

Estratigrafía de suelo

Basándose en los resultados de la granulometría de las muestras ensayadas por parte de la empresa MECO y de los límites de consistencias, los suelos en estudio se clasificaron, según AASHTO M-145.

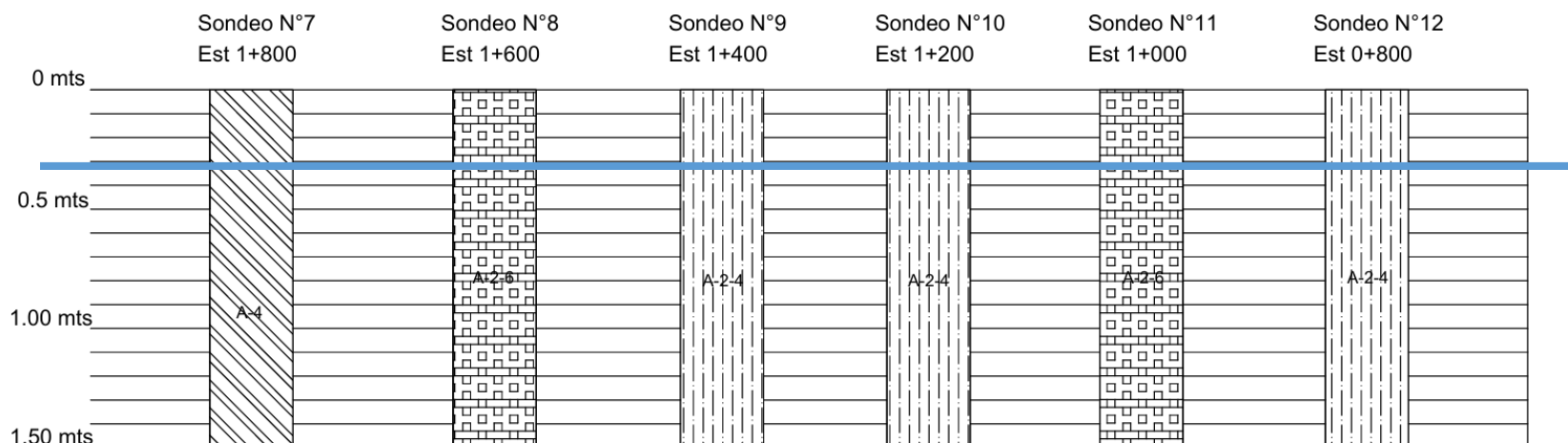
Los datos obtenidos de acuerdo con los resultados en el análisis de los suelos en los sondeos de línea son de dos tipos, de carácter granular que corresponden a los tipos más predominante A-2-4 y A-2-6 “grava y arena arcillosa o limosa” (según el sistema de clasificación de suelos por el método AASHTO), los cuales son los más frecuentes en el sitio de estudio. La clasificación de las muestras se ven representadas en el perfil estratigráfico mostrado en las figuras 30,31y 32 de la página 97 y 98 como se muestra a continuación:

Figura 30 Estratigrafía de los suelos (1 al 6)



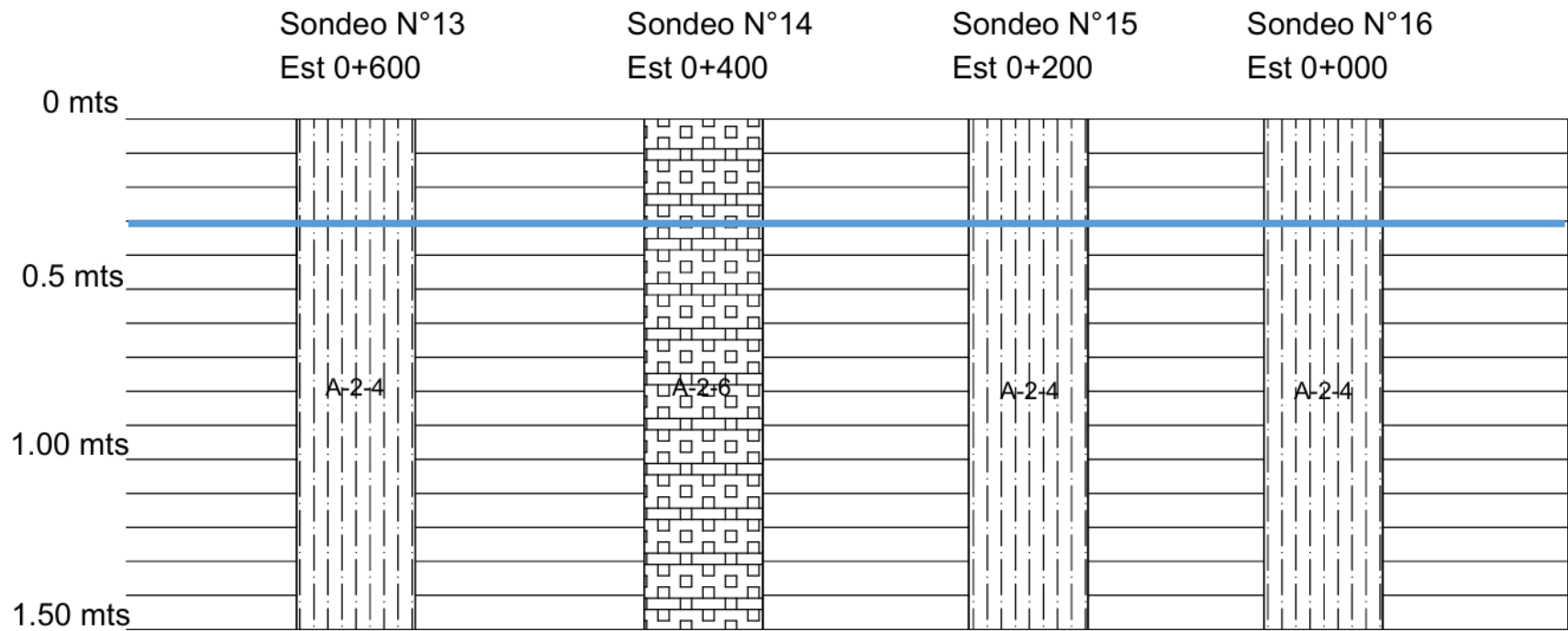
Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 31 Estratigrafía de los suelos (7 al 12)



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 32 Estratigrafía de los suelos (13 al 16)

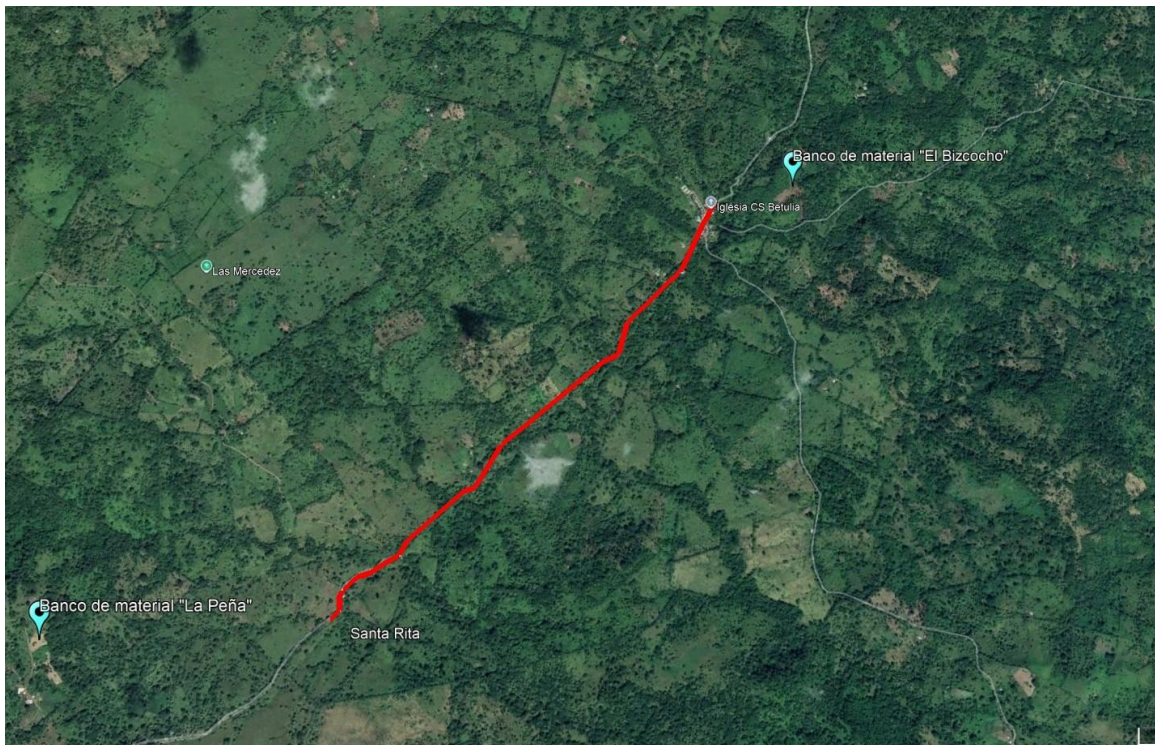


Fuente: elaborado por Laboratorio de suelo de empresa MECO S,A

3.3.2. Análisis de resultados de estudio de suelo de los bancos de materiales.

Para el suministro de materiales, se han identificado dos fuentes de préstamo próximas al eje del proyecto: el banco 'El Bizcocho', ubicado a 0.4 km de la estación 0+000, y el banco 'La Peña', situado a 1.4 km de la estación 3+000. Ambos materiales serán evaluados mediante ensayos de granulometría (AASHTO T11 y T27), límites de consistencia (T89 y T90) y clasificación de suelos (M145). Asimismo, se realizarán pruebas de compactación para determinar sus densidades seca y húmeda, parámetros esenciales para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para la obra.

Figura 33 Ubicación de los bancos de materiales



<https://earth.google.com/web/@12.31618585,85.2286072,375.31079877a,6771.73059925d,35y,13.60882327h,0.14048908t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExX1N4d0VYQjBDZEZldjVYTfUfUHJPZGY>

Tabla 46 Lista de bancos de materiales explorados

Nombre	Estación	Banda	Coordenadas	Dist. LC	Tipo
Gollo Ruiz (Biscocho)	Km 31+600	Derecha	12°19'26"N 85°13'09"W	400 m	Base
La peña	Km 26+400	Izquierda	12°18'26"N 85°14'18"W	1.400 m	Subbase

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.

Como se puede observar en la tabla 46 se describe cada ubicación de los bancos de materiales que realizaron el estudio donde el primer banco esta propuesto como base y el segundo como subbase. La empresa MECO S.A realizo sondeo a los dos bancos de materiales para la realización de los ensayos explicados anteriormente en la página 71, donde a continuación veremos los datos obtenidos de los ensayos realizado en cada uno de los bancos.

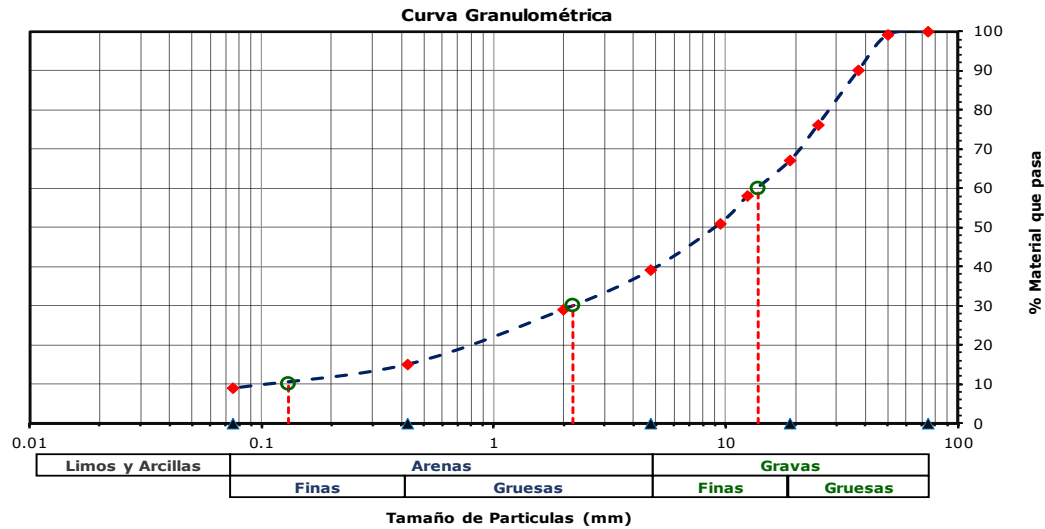
Banco de material Gollo Ruiz

Tabla 47 Granulometría banco de materiales N°1

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	0.9
1 1/2"	37.5	9.0
1"	25.0	14.6
3/4"	19.0	8.2
1/2"	12.5	9.6
3/8"	9.5	6.3
No. 4	4.75	12.1
No. 10	2.00	10.1
No. 40	0.425	14.5
No. 200	0.075	5.9
Fondo	-	8.9

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 34 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Según la norma AASHTO M145, el suelo analizado se clasifica como A-2-6 (0), lo que lo define como un material granular (gravas o arenas arcillosas) con un comportamiento de subrasante de excelente a buena calidad. Los ensayos de consistencia realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron un Límite Líquido de 23.2%, un Límite Plástico de 22% y un Índice de Plasticidad de 1.2 (aunque el reporte indica un IP de 4.78). Un Índice de Grupo de 0 confirma que, a pesar de su contenido arcilloso, el suelo posee una alta estabilidad mecánica para pavimentación.

Tabla 48 Análisis de compactación

Fracción de la Muestra		Porcentaje	No. Pana	M. Hum. (gr)	M. Seca (gr)	Humedad	Mat. Seco (gr)	Mat. Hum (gr)
Grueso	3/4" - No. 4	61	A-1	396.8	384.8	3.1	3,660	3,774
Fino	Pasa No. 4	39	A-2	490.0	463.8	5.6	2,340	2,472
Humedad Ponderada:						4.1	Total:	6,246

Mat. Seco Propuesto (gr)	6,0 00	Masa del Molde (gr):	6,4 87	Volumen del Molde (cm3):	2,086 .7
% Agua a agregar	2.0				

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 49 Cálculo de densidad seca del material

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA MAXIMA DEL MATERIAL						
Punto:	1	2	3	4	5	6
Cantidad de agua a agregar (ml)	120	240	360	480	600	720
Masa del Molde Mas Material Húmedo (gr)	10,294	10,634	11,166	11,185		
Masa del Material Húmedo (gr)	3,807	4,147	4,679	4,698		
Densidad Húmeda del Material (kg/m3)	1,824	1,987	2,242	2,251		
Densidad Seca del Material (Kg/m3)	1,745	1,861	2,061	2,019		

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 50 Cálculo de densidad seca y humedad del material

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA Y HUMEDAD OPTIMA DEL MATERIAL						
ID Recipiente para humedad	M-5	M-1	M-3	M-2		
Masa de la muestra húmeda (gr)	213.6	298.0	300.0	336.0		
Masa de la muestra seca (gr)	204.3	279.0	275.7	301.3		
Masa del Agua (gr)	9.3	19.0	24.3	34.7		
humedad de la muestra (gr)	4.6	6.8	8.8	11.5		

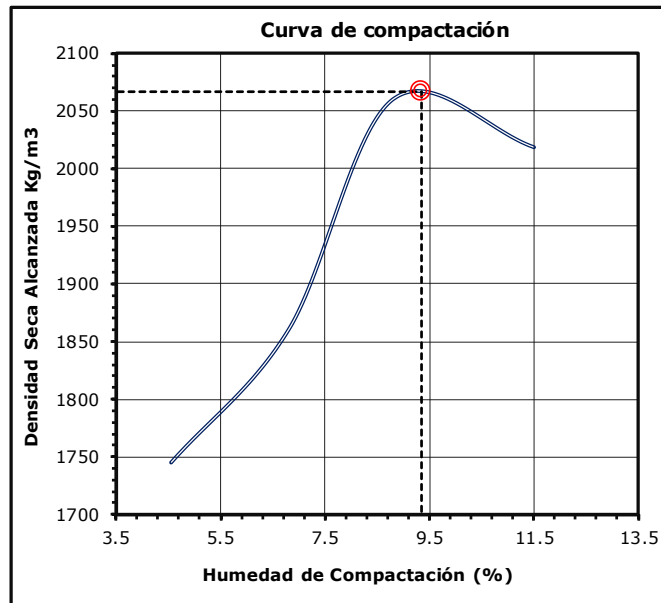
Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 51 Resultado obtenido

Clasificación del Material:	A-2-6 (0)
L.L. (%)	23.2
L.P. (%)	22
I.P. (%)	1.2
Y Seca Maxima del Material (kg/m3)	2,061
Húmedad Óptima del Material (%)	8.8

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 35 Curva de Compactación del suelo



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

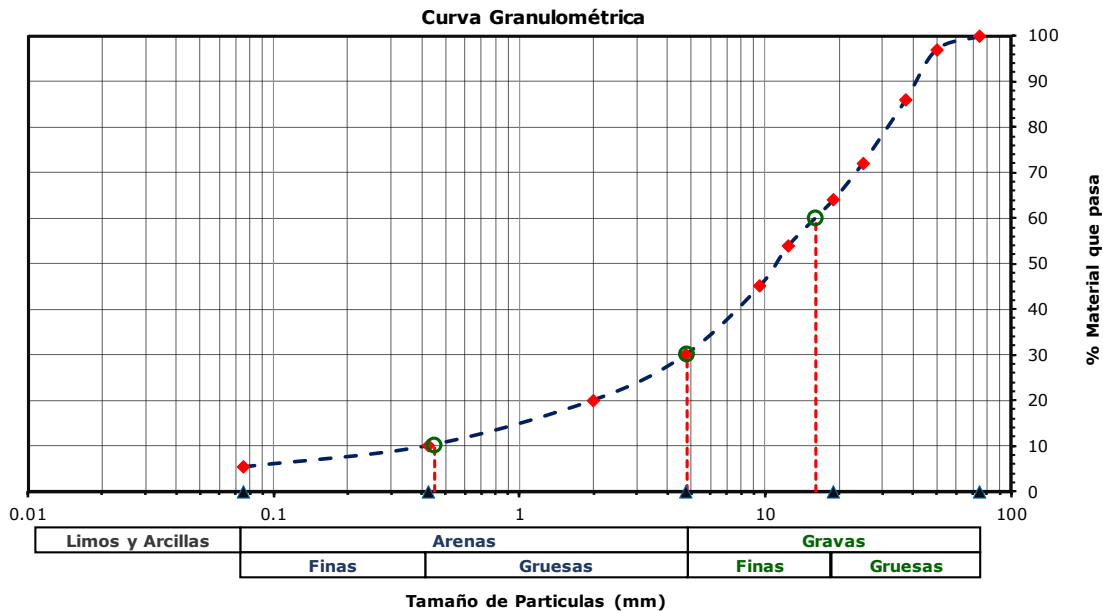
Banco de material la peña

Tabla 52 Granulometría banco de materiales N°2

Tamices		Porcentaje
Pulgadas	mm	Retenido
3"	75	0.0
2"	50	3.2
1 1/2"	37.5	10.6
1"	25.0	13.9
3/4"	19.0	8.2
1/2"	12.5	10.4
3/8"	9.5	8.6
No. 4	4.75	14.8
No. 10	2.00	10.0
No. 40	0.425	10.5
No. 200	0.075	4.3

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 36 Curva granulométrica



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

De acuerdo con la clasificación AASHTO M145, el suelo analizado se categoriza como A-2-4 (0). Este resultado lo define como un material granular de excelente calidad para subrasantes, caracterizado por su baja plasticidad. Los ensayos realizados bajo las normas AASHTO T 89 y T 90 arrojaron un Límite Líquido de 23.47%, un Límite Plástico de 21% y un Índice de Plasticidad de 2.47 (redondeado a 5 según el reporte), valores que confirman su estabilidad y adecuada capacidad de soporte.

Tabla 53 Análisis de compactación

Fracción de la Muestra		Porcentaje	No. Pana	M. Hum. (gr)	M. Seca (gr)	Humedad	Mat. Seco (gr)	Mat. Hum (gr)
Grueso	3/4" - No. 4	70	T-1	290.0	277.8	4.4	3,500	3,654
Fino	Pasa No. 4	30	T-2	350.0	315.1	11.1	1,500	1,666
				Humedad Ponderada:		6.4	Total:	5,320

Mat. Seco Propuesto (gr)	5,0 00	Masa del Molde (gr):	6,4 87	Volumen del Molde (cm3):	2,10 5.0
% Agua a agregar	2.0				

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 54 Cálculo de la densidad seca máxima del material y cálculo de la densidad seca y humedad óptima del material

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA MAXIMA DEL MATERIAL						
Punto:	1	2	3	4	5	6
Cantidad de agua a agregar (ml)	100	200	300	400	500	600
Masa del Molde Mas Material Húmedo (gr)	10,693	10,990	11,158	11,130		
Masa del Material Húmedo (gr)	4,206	4,503	4,671	4,643		
Densidad Húmeda del Material (kg/m3)	1,998	2,139	2,219	2,206		
Densidad Seca del Material (Kg/m3)	1,847	1,940	1,978	1,933		

CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA Y HUMEDAD OPTIMA DEL MATERIAL						
ID Recipiente para humedad	A-1	#1	T-1	B-2		
Masa de la muestra húmeda (gr)	290.0	300.0	350.0	380.0		
Masa de la muestra seca (gr)	268.0	272.0	312.0	333.0		
Masa del Agua (gr)	22.0	28.0	38.0	47.0		
Húmedad de la muestra (gr)	8.2	10.3	12.2	14.1		

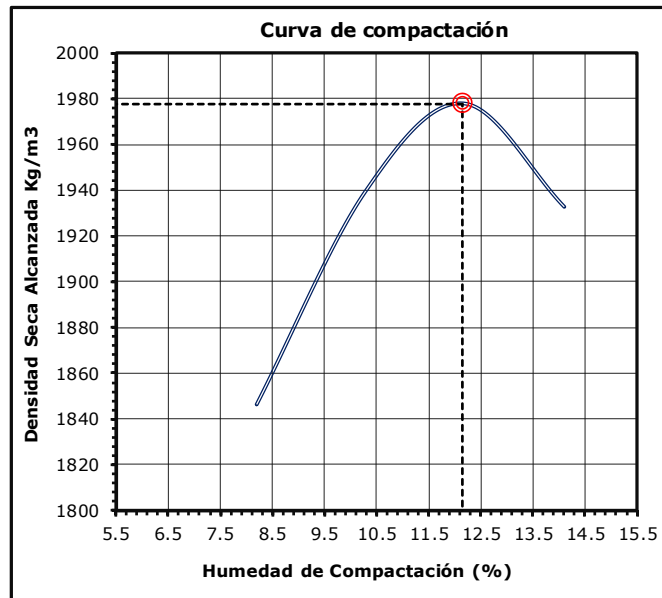
Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 55 Resultado obtenido

Clasificación del Material:	A-2-4 (0)
L.L. (%)	23.47
L.P. (%)	21
I.P. (%)	2.47
Y Seca Maxima del Material (kg/m3)	1,978
Húmedad Óptima del Material (%)	12.2

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Figura 37 Curva de Compactación del suelo



Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Se elaborará un consolidado de los resultados obtenidos a partir de cada uno de los ensayos realizados por el laboratorio de la empresa MECO S.A., con el propósito de analizar de manera integral el comportamiento y las características de los bancos de materiales evaluados. Dichos resultados permitirán valorar el grado de cumplimiento de las condiciones técnicas establecidas, sirviendo como base para la interpretación y discusión de los parámetros obtenidos. A continuación, se presentan los valores resultantes del análisis correspondiente:

Tabla 56 Resumen de valores Obtenidos por los ensayos

Resultado obtenido por los ensayos de suelos										
Banco De Materiales	Densidad Máxima Kg/m3	Humedad Optima %	Clasificación de suelos	Distribución de partículas						C. B. R %
			AASHTO O M 145	% de Grava	% de Arena	% de Arcilla	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
Banco N°1	2,061	8.8	A-2-6 (0)	48.60	42.60	8.90	23.2	22	1.2	91
Banco N°2	1,978	12.2	A-2-4 (0)	54.90	39.60	5.30	23.47	21	2.47	99

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Los materiales de los bancos presentan similitudes entre sí, siendo el material del Banco N°1 inferior en el punto del CBR al Banco N°2, 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, y A-2-6 correspondiente a gravas y arenas limosas. Los cuales pueden ser usados en la base y subbase de la estructura de pavimento.

Los ensayos de CBR para los bancos de materiales con suelo A-2-4 (0) al 95% son de 99% y con suelo A-2-6 (0) al 95% es de 91% los cuales cumplen las condiciones establecidas según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (Norma NIC 2019, TOMO II) en los cuales son los siguientes puntos para cumplir.

Tabla 57 Requerimientos obtenidos

Ensayo	Limite liquido	Índice de plasticidad		CBR	
Norma	AASHTOO T89	AASHTOO T 90		AASHTOO T 190	
Requerimiento	25 Max	Sub-Base	Base	Sub-Base	Base
		6 Max	0 Max	30% Min	80% Min

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Se realiza el ingreso, ordenamiento y análisis de los datos obtenidos, con el objetivo de determinar si los resultados cumplen con los requerimientos establecidos por la Norma NIC 2019. Este procedimiento permitirá comparar los valores obtenidos en los ensayos con los parámetros normativos vigentes, sirviendo como base para la evaluación técnica y la validación de los materiales estudiados.

Tabla 58 De resultado de requerimiento

Ensayo	Limite liquido	Índice de plasticidad		CBR	
Norma	AASHTOO T89	AASHTOO T 90		AASHTOO T 190	
Requerimiento	25 Max	Sub-Base	Base	Sub-Base	Base
		6 Max	0 Max	30% Min	80% Min
Banco de materiales N°1	23.2	1.2		91	
Banco de materiales N°2	23.47	2.47		99	

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se evidencia que los bancos de materiales evaluados cumplen con los requerimientos establecidos en la Norma NIC-19. En virtud de ello, se seleccionan los bancos de materiales 1 y 2, los cuales presentan condiciones técnicas favorables y una alta utilidad para el proyecto, considerando especialmente su proximidad y las distancias a los tramos en estudio, lo que garantiza su viabilidad técnica y operativa.

CBR de diseño

Para la determinación del CBR de diseño, se realiza el registro y análisis de los valores de CBR proporcionados por la empresa MECO S.A. correspondientes al tramo en estudio. Este análisis permitirá evaluar la conformidad de los materiales con las especificaciones técnicas para terraplén y subrasante establecidas en la Norma NIC 2019, constituyendo una base técnica para la selección y validación del material adecuado para el proyecto.

Tabla 59 Normas para cumplimientos

Ensayo		Limite liquido	Índice Plástico	CBR
Norma		AASHTO T 89	AASHTO T 90	AASHTO T 190
Requerimiento	Terraplén	40 máx.	25 máx.	5 min
	Subrasante	30 máx.	10 máx.	15 min

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Tabla 60 CBR subrasante

Localización de Muestra			Clasificación	Ensayo AASHTO T 193
Sondeo	Muestra	Prof.		Grado de Compactación 95(%)
No.	No.	m	AASHTO M 145	
1	2	1.5	A-4 (6)	53
2	1	1.5	A-2-4 (0)	22
3	4	1.5	A-2-6 (0)	99
4	3	0.4	A-2-6 (0)	109
5	2	1.5	A-2-4 (0)	192
6	1	1.5	A-2-4 (0)	143
7	4	1.5	A-4 (7)	70
8	2	0.7	A-2-6 (0)	70
9	3	1.5	A-2-4 (0)	53
10	1	0.2	A-2-4 (0)	22
11	1	1.5	A-2-6 (0)	99
12	2	0.3	A-2-4 (0)	70
13	4	1.5	A-2-4 (0)	158
14	3	0.8	A-2-6 (0)	69
15	2	1.5	A-2-4 (0)	53
16	1	1.5	A-2-4 (0)	22

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Los valores de CBR obtenidos fueron acumulados con el fin de determinar el CBR de diseño de la subrasante, considerando el tipo de suelo existente en el tramo en estudio. Posteriormente, dichos valores se ordenan de menor a mayor, determinándose el número y el porcentaje de valores iguales o superiores a cada uno de ellos, tal como se presenta en la tabla 61, página 108.

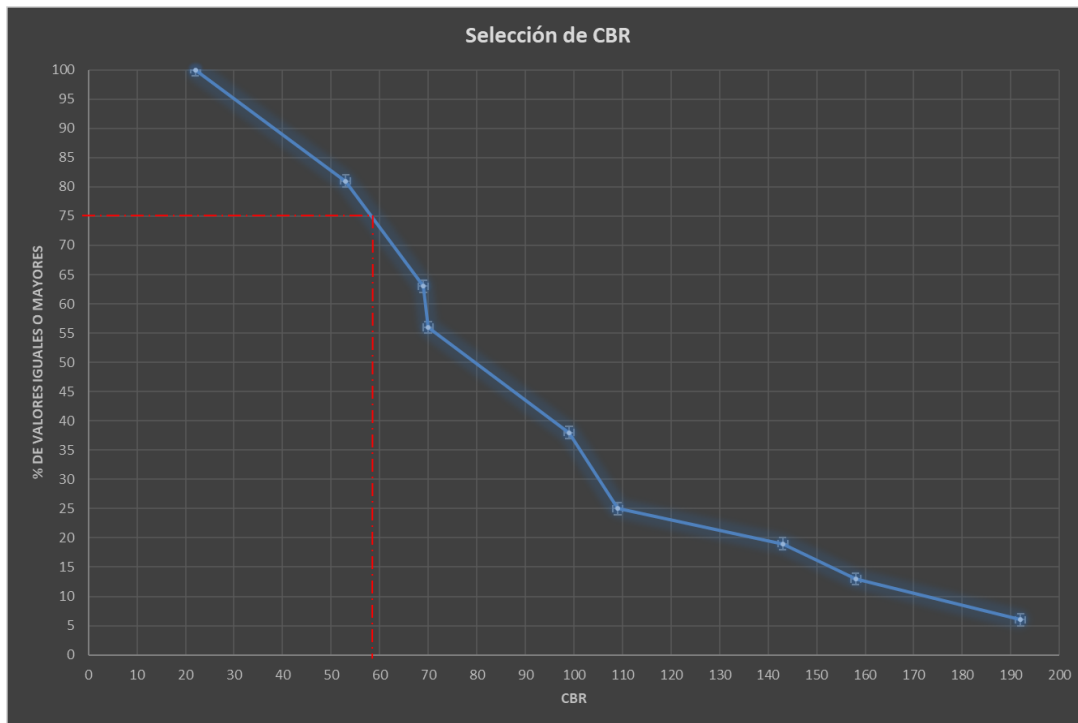
Tabla 61 Ordenamiento para CBR

CBR 95	No de valores iguales o Mayores	% de valores iguales y mayores
22	16	100
53	13	81
69	10	63
70	9	56
99	6	38
109	4	25
143	3	19
158	2	13
192	1	6

Fuente: Información proporcionada por el laboratorio de la empresa MECO S.A

Del análisis de los resultados obtenidos de la tabla 61, se determinó que no es factible aplicar un análisis estadístico por frecuencia, debido a la dispersión y a la no repetitividad de los valores de CBR registrados. En consecuencia, se adoptó el método de ordenamiento individual de los datos, permitiendo una correcta interpretación de los resultados y su adecuada incorporación en el gráfico de diseño estructural correspondiente.

Figura 38 Gráfico 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 **58%**.

Como vamos a realizar el método

Se ingresarán los valores proporcionados por la empresa realizando un cuadro de resultado sobre la línea donde este se ordenará 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 creará 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.

El valor del CBR de la subrasante es uno de los datos requerido para determinar el módulo resiliencia MR donde este sirve para el diseño de la estructura de pavimento

La nomenclatura brindada según los datos proporcionado sobre la línea predomina el valor A-2-4 grava y arena limosa y el A-2-6 grava y arena arcillosa.

El criterio que utilizaremos para determinar el valor percentil para el diseño de la subrasante ocuparemos el valor obtenido por el ESAL del estudio de tránsito realizado esto está de acuerdo con el siguiente cuadro proporcionado.

Tabla 62 Percentiles de diseño para subrasante

Nivel de Tránsito	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60%
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL	75%
> de 1,000,000 ESAL	87.5%

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

Para este punto en particular el ESAL de diseño del trabajo monográfico es de 867,609 PSI, por tanto, el rango que utilizaremos es del 75%. Cada dato que se ingreso es de los datos proporcionado por la empresa MECO S.A sobre la línea en estudio.

Tabla 63 Clasificación de los suelos para infraestructura de Pavimentos.

CBR%	Clasificación
0-5	Sub Rasante Muy Mala
5-10	Sub Rasante Mala
11-20	Sub Rasante Regular a Buena
21-30	Sub Rasante Muy Buena
31-50	Sub-Base Buena
51-80	Base Buena
81-100	Base Muy Buena

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto.

Como se puede notar el valor obtenido de CBR de Diseño, esta entre el rango de 51-80 calificada como una base buena según el Manual del Instituto del Asfalto

en el cual indica que cumple este tipo de material para la aplicación de la subrasante en el tramo de estudio.

Hay que destacar que el material a utilizar de en el diseño de la base pertenece al banco de materiales Gollo Ruiz con $\text{CBR} > 90\%$ y si es requerido en el diseño Subbase hacer uso del material, del banco de material Las Peña con $\text{CBR} > 90\%$.

3.4. Diseño de estructura de pavimento

En el desarrollo de este acápite, se muestran los resultados referentes al diseño de pavimento articulado del tramo Finca Santa Rita - Comarca Betulia. 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 proporcionados).

3.4.1 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 con el 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.

3.4.2 Variables de diseño

3.4.2.1 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 con el grado funcional, mostrado en la tabla 64, pág.112

Tabla 64 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
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

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

El valor de confiabilidad (R) utilizado es de 50%, ya que se trata de una carretera locales 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 65.

Tabla 65 Desviación normal estándar, Zr

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

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

3.4.2.2 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 66, y para el caso en estudio, se seleccionó un valor de 0.40.

Tabla 66 Desviación estándar

Condición	S_o
Pavimentos flexibles	0.4 – 0.5
Construcción nueva	0.35 – 0.4
Sobre – capas	0.5

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

3.4.3 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 67 se seleccionó un valor de serviciabilidad inicial de 4.2 y de la tabla 68 se tomó un índice de serviciabilidad final de 2, pues el tramo en estudio se trata de un camino de tránsito menor.

Tabla 67 Serviciabilidad inicial

Elementos	Índice de Serviciabilidad inicial (P_o)
Pavimento Rígido	4.5
Pavimento Flexible	4.2

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

Tabla 68 Serviciabilidad final

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

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

La pérdida por serviciabilidad se puede determinar mediante la ecuación 22, dando como resultado un valor de pérdida total en el índice de serviciabilidad igual a 2.2.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Ecuación 22

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

3.4.4 Módulo Resiliente (MR)

Este ensayo fue desarrollado con el objetivo de caracterizar las propiedades de los suelos bajo cargas dinámicas de las ruedas de los vehículos. Este se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por ese motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos.

La guía de la AASTHO-93 establece la correlación para calcularlo a partir del dato de CBR, por lo tanto, se establecen las siguientes ecuaciones de que permiten calcular el MR de la subrasante.

- Para materiales de subrasante con CBR igual o menor al 10%.

$$MR = 1,500 * CBR$$

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

$$MR = 4,326 * Ln(CBR) + 241$$

En la gráfica de CBR de diseño de la subrasante se determinó que el valor de este es de 23 por lo tanto el cálculo de MR será el siguiente:

$$MR = 4,326 * Ln(58) + 241$$

$$MR = 17806.47 \text{ PSI}$$

3.4.5 Coeficientes estructurales

3.4.5.1 Coeficiente de drenaje

En el capítulo siete de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, la (AASTHO-93) sugiere los coeficientes de drenaje para el cálculo de los espesores de diseño, los cuales se presentan en las tablas 69 y 70.

Para el caso en estudio, se seleccionó como coeficiente de drenaje m_2 y m_3 un valor de 1, ya que se estima que la calidad del drenaje es buena.

Tabla 69 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 70 Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje

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

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

3.4.5.2 Coeficiente de capa

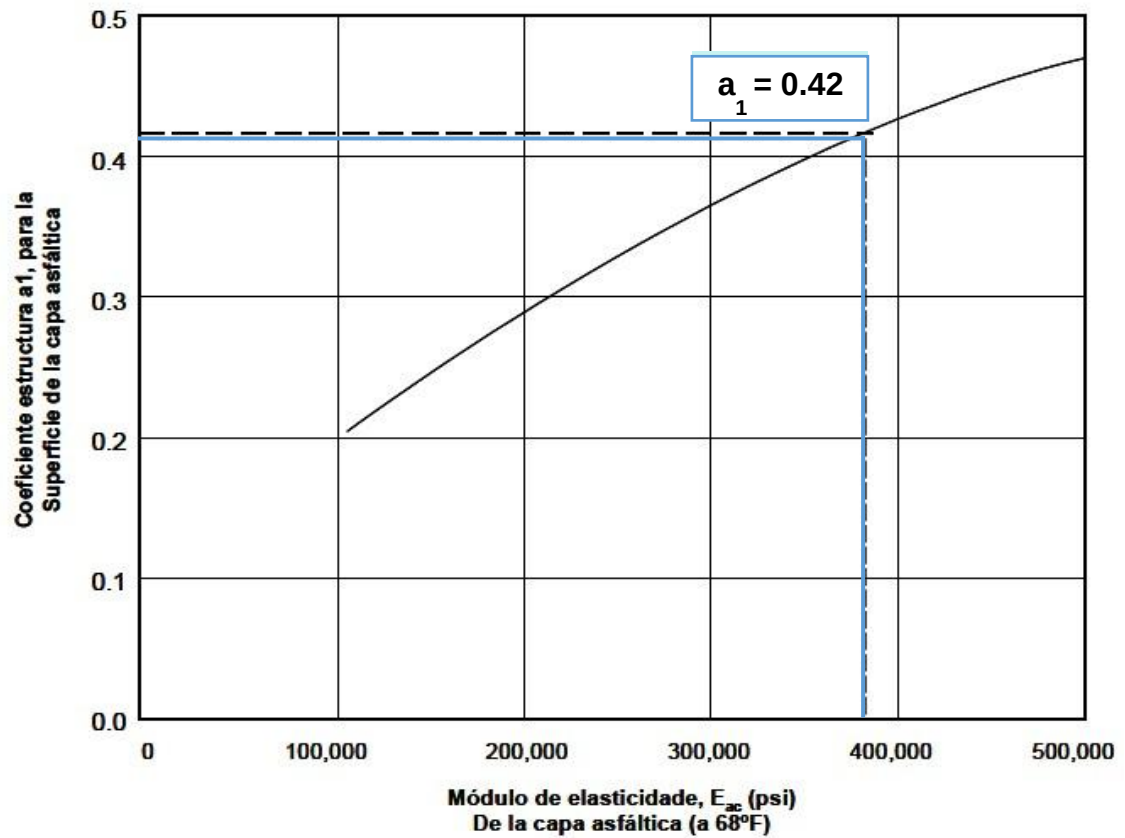
La AASHTO 93 designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto en PSI, y considerando el adoquín como pavimento articulado.

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.

Con ayuda del nomograma mostrado en la figura 10, se determinó el valor $a_1 = 0.42$, el cual se estima a través de módulo de elasticidad de la capa asfáltica a

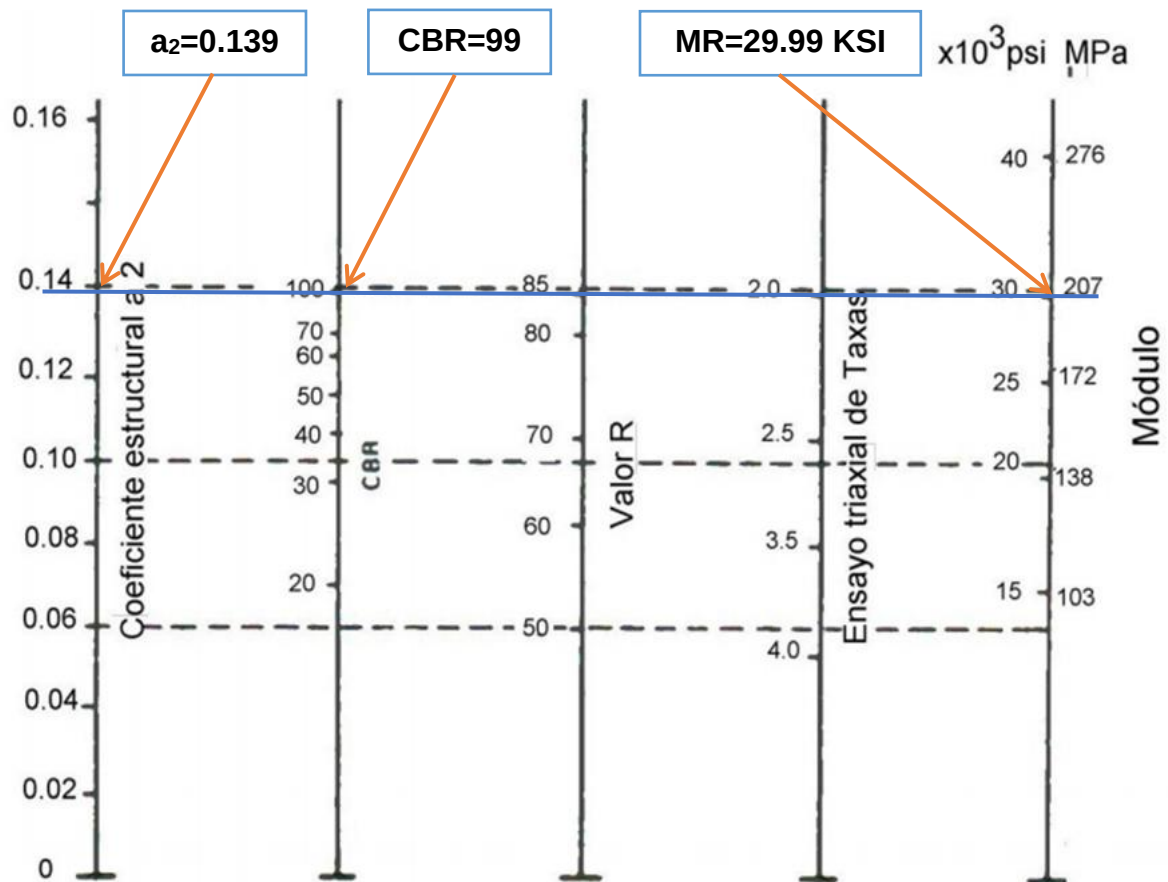
Figura 39 Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 111.

Figura 40 Nomograma variación en el coeficiente (a_2) de capa base granular con varios parámetros de resistencia de base.

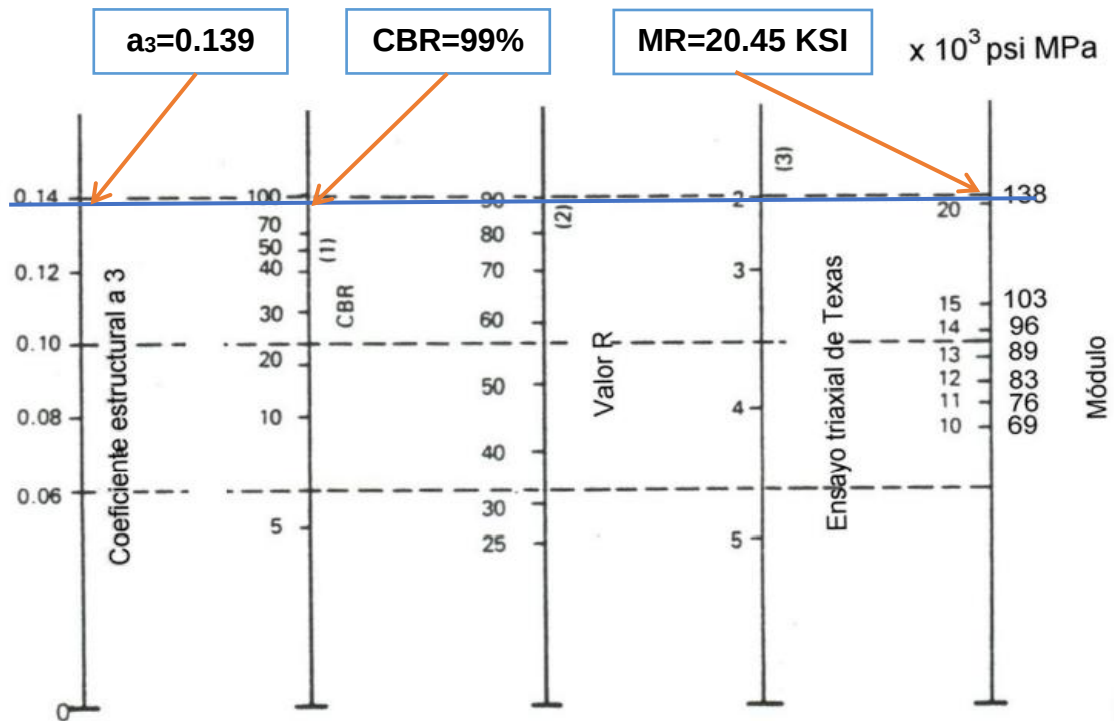
En referencia a las características del suelo (CBR del banco de materiales #2), la determinación del coeficiente a_2 se realizó en base a la aplicación del nomograma mostrado en la figura 40, pág. 119; obteniéndose un valor de $a_2 = 0.139$. Asimismo, se determinó el valor del módulo resiliente para la base, el cual es de 29,999 PSI $\approx$ 29.99 KSI.



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

Figura 41 Nomograma Variación en el Coeficiente (a_3) de Capa Sub-base Granular con Varios Parámetros de Resistencia de Sub-base

Para determinar el coeficiente a_3 , se utilizó del nomograma mostrado en la figura 41, pág. 120. Al trazar la línea sobre el valor CBR del banco de materia #2 para la subbase, se obtiene un resultado $a_3 = 0.139$ y un módulo de resiliencia de 20,450PSI $\approx$ 20.45 KSI.

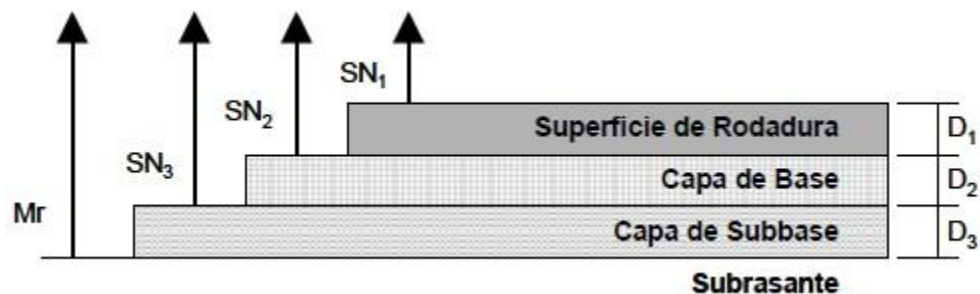


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 118.

3.4.6 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 13 y se explica a continuación:

Figura 42 Procedimiento para determinar el espesor



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

3.4.7. Número estructural

Para la determinación de los números estructurales SN_1 , SN_2 y SN_3 se utilizaron los datos mostrados en la tabla 71.

Tabla 71 Parámetros para la determinación de los números estructurales

Parámetro	Valor utilizado	
Confiabilidad (R)	50.00%	
Desviación estándar Normal (Zr)	0.00	
Periodo de diseño	10 años	
Cond. Para Desviación Estándar (So)	0.45	
ESAL de diseño (W18)	867,609 PSI	
Módulo de resiliencia subrasante (KSI, PSI)	17.80	17806.47 PSI
Módulo de resiliencia de base (KSI, PSI)	29.99	29,999.00
Módulo de resiliencia de subbase (KSI, PSI)	20.45	20,450.00
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.2	

Fuente: Elaboración propia.

Usando el ábaco de la figura 43, se obtuvo el número estructural de la subbase SN3 =1.93 utilizando el MR = 17,806.47PSI correspondiente a subrasante.

Figura 43 Representación de cálculo para SN3

So	ΔPSI:
0.45	2.2
Confiabilidad:	Mr (lb/pulg2):
50%	17806.47
Zr:	Calcular
0	Calcular
W18:	SN:
867609	1.93

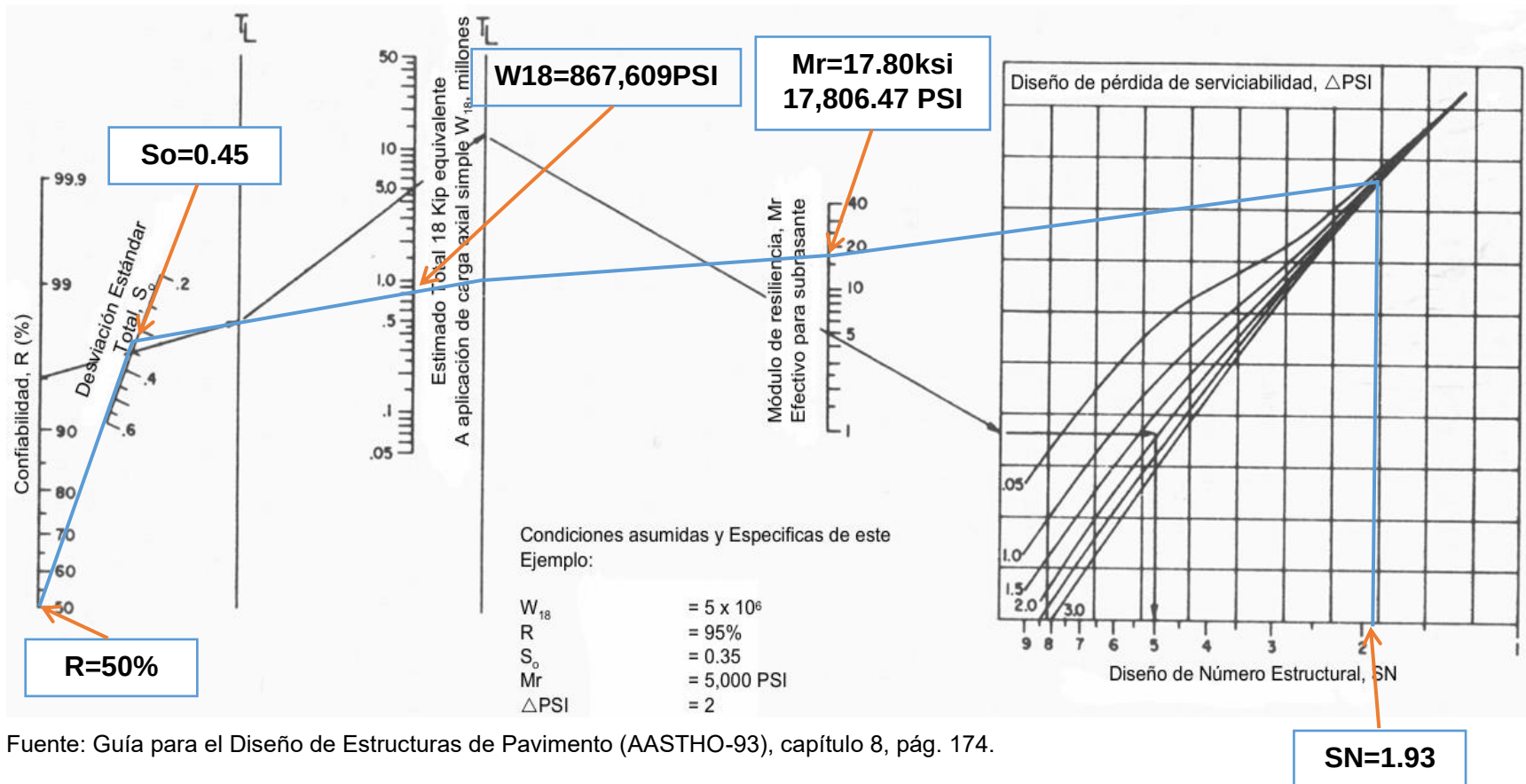
Fundamento teórico

La ecuación a resolver es la que vemos aquí abajo. En ella, no podemos despejar el valor de SN, por lo que se requiere un método iterativo para encontrar el valor de SN que satisface la igualdad.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 44 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 $SN_2=1.83$, se utilizó el ábaco con el $MR = 20,450.00$ PSI de la subbase como se muestra en la figura 46, pág 124.

Figura 45 Representación de cálculo para SN_2

So	ΔPSI :
0.45	2.2
Confiabilidad:	Mr (lb/pulg2):
50%	20450
Zr:	Calcular
0	Calcular
W18:	SN:
867609	1.83

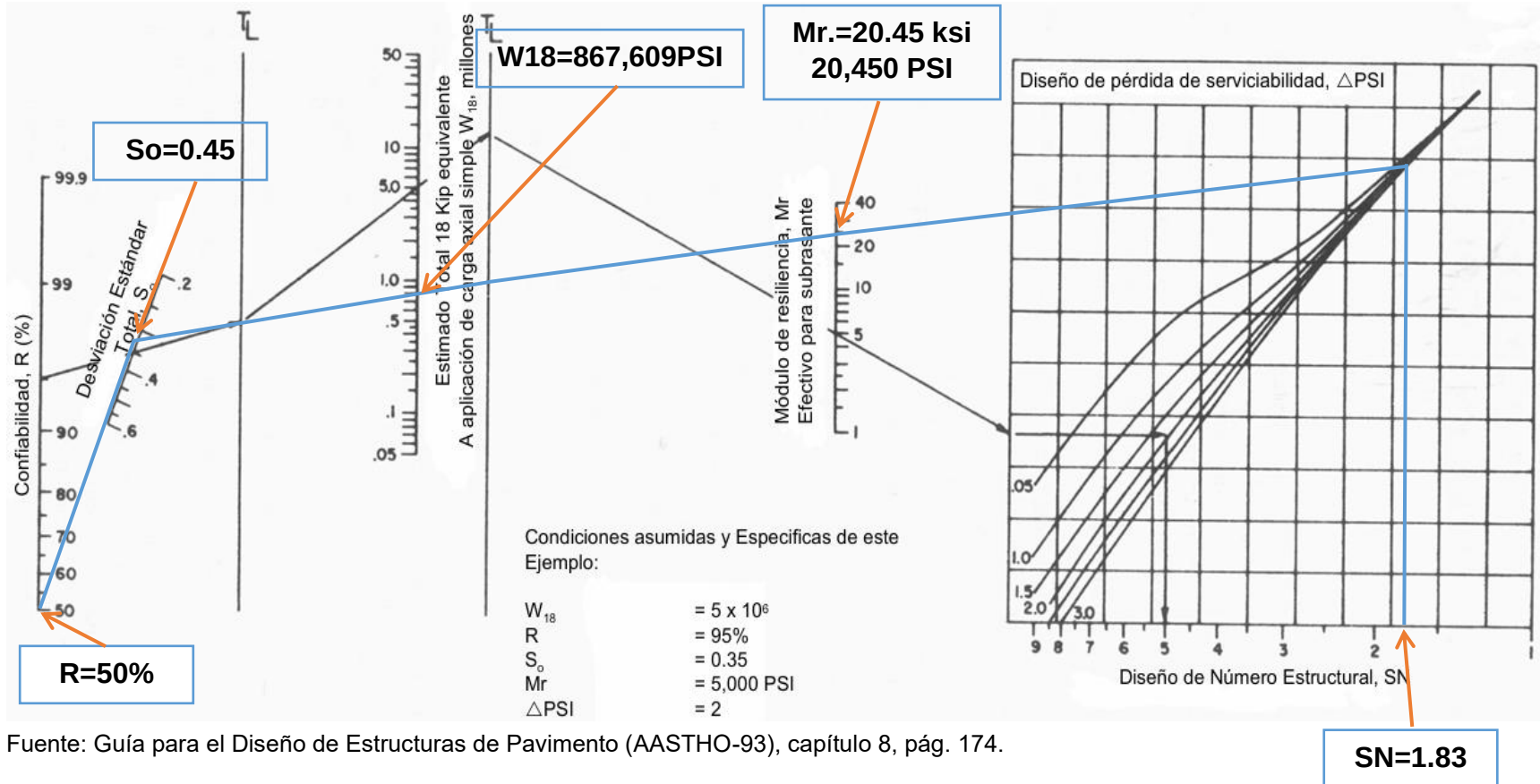
Fundamento teórico

La ecuación a resolver es la que vemos aquí abajo. En ella, no podemos despejar el valor de SN, por lo que se requiere un método iterativo para encontrar el valor de SN que satisface la igualdad.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 46 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN2 (base)



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

Y, por último, en la figura 48, se observa el ábaco con el número estructural de la carpeta de rodamiento $SN_1=1.57$, el cual se determinó reemplazando el módulo resiliente de la subrasante por el de la capa que está inmediatamente abajo, es decir la base ($MR = 29999.00\text{PSI}$).

Figura 47 Representación de cálculo para SN_1

So	0.45	ΔPSI :	2.2
Confiabilidad:	50%	Mr (lb/pulg2):	29999
Zr:	0	Calcular	Calcular
W18:	867609	SN:	1.57

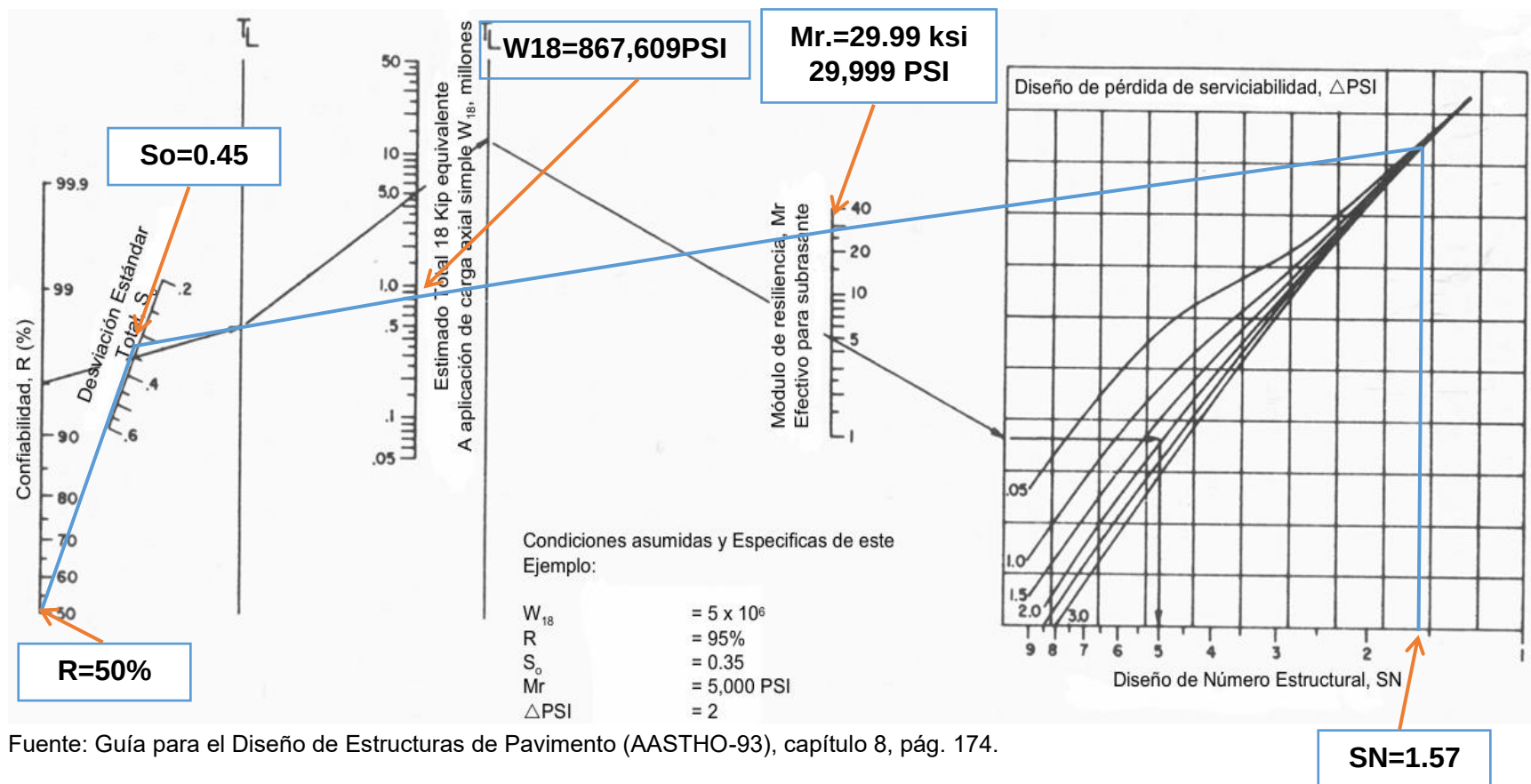
Fundamento teórico

La ecuación a resolver es la que vemos aquí abajo. En ella, no podemos despejar el valor de SN, por lo que se requiere un método iterativo para encontrar el valor de SN que satisface la igualdad.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN1 (carpeta de rodamiento)



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 Software de la AASTHO 93, coincidiendo los valores con los presentados en los ábacos anteriores.

3.4.8. Cálculo de los espesores

Con los valores de los coeficientes encontrados a_1 , a_2 , a_3 , el coeficiente de drenaje para base y subbase, el módulo de resiliencia, y los números estructurales SN1 y SN2, se procedió al cálculo de los espesores de cada capa como se muestra a continuación:

3.4.8.1. 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 nuevamente el valor del número estructural, SN1:

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Ecuación 23

Tomado de (AASTHO-93, 2001)

$$SN_1 = 0.42 * 4 = 1.68$$

3.4.8.2. Base

Conociendo el valor de SN1 y el SN2 obtenido del ábaco, así como el valor de a_2 y m_2 , se procede a aplicar la ecuación 24 para determinar el espesor del base detallado a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2}$$

Ecuación 24

Tomado de (AASTHO-93, 2001)

$$D_2 = \frac{1.91 - 1.68}{0.139 \times 1} = 1.65$$

Con base en los resultados obtenidos y conforme a las recomendaciones establecidas por la metodología AASHTO, el valor del parámetro D_2 cumple con el espesor mínimo requerido. Sin embargo, el valor de los ESAL's de diseño resulta considerablemente elevado en relación con el espesor inicialmente propuesto para la base granular (ver tabla 72, pág. 129). Por tal motivo, se adoptó un valor de $D_2 = 6$ con el fin de recalcular el Número Estructural parcial SN_2 , mediante la aplicación de la Ecuación (25).

Tabla 72 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
150,000 - 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	3	6
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

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

$$SN_2 = a_2 m_2 D_2$$

Ecuación 25

Tomado de (AASHTO-93, 2001)

$$SN_2 = 0.139 * 1 * 6 = 0.84$$

3.4.8.3. Subbase

Finalmente, para la subbase el espesor se determina empleando la ecuación 25 que toma en cuenta los valores de SN_1 y SN_2 calculados anteriormente, así como los coeficientes a_3 y m_3 .

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

Tomado de (AASHTO-93, 2001)

$$D_3 \geq \frac{2.22 - (1.65 + 0.84)}{0.139 \times 1} = -1.94$$

Como el resultado es mínimo, no se empleará sub-base para la estructura de pavimento articulado, ya que, de acuerdo con 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 = 2.52, realizando una sumatoria de los SN corregidos para lo cual se aplicó la ecuación 26.

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{req} \quad \textbf{Ecuación 26}$$

Tomado de (AASHTO-93, 2001)

$$1.68 + 0.84 \geq 2.22$$

$$= 2.52 \geq 2.22 \therefore \text{Cumple}$$

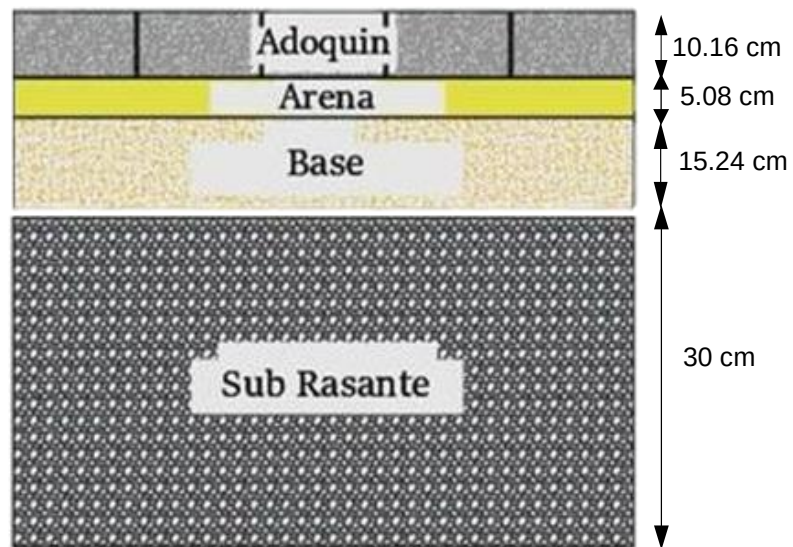
Luego de realizar estos procedimientos se ha llegado al diseño definitivo de los espesores, mostrados en la tabla 73 y figura 49.

Tabla 73 Espesores de pavimento articulado

Capa	Espesor	
	Pulgadas	cm
Carpeta de rodamiento	4	10.16
Colchón de arena estándar	2	5.08
Base Granular	6	15.24
Espesor total	12	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49 Diseño de espesores de la estructura de pavimento



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El **diseño del pavimento articulado de 3 km para la comarca de Betulia, en el municipio de La Libertad, Chontales**, constituye una propuesta técnica y socialmente viable para mejorar las condiciones de accesibilidad, conectividad y desarrollo comunitario. A lo largo del estudio, se analizaron los factores geotécnicos, estructurales y de tránsito que determinan la selección de materiales, espesores de capas y métodos constructivos adecuados a las características del sitio.

- El estudio de tránsito realizado mediante aforos permitió identificar el volumen y la composición vehicular del tramo en estudio, lo cual facilitó la determinación de las cargas de diseño que actuarán sobre la estructura del pavimento articulado durante su vida útil.
- El levantamiento topográfico planialtimétrico proporcionó información precisa sobre la geometría del terreno, permitiendo definir adecuadamente los perfiles longitudinales, secciones transversales, curvas de nivel y pendientes, aspectos fundamentales para el correcto diseño geométrico y el adecuado drenaje del pavimento en una ejecución futura.
- El análisis de las características físicas del suelo de la línea del proyecto y del banco de material cercano evidenció que los materiales disponibles cumplen con los requisitos técnicos necesarios para su utilización en la estructura del pavimento, según los parámetros proporcionados por el área de proyectos de la Alcaldía de La Libertad, Chontales.
- Con la aplicación del método de diseño AASHTO 1993 se logró determinar de manera técnica y fundamentada los espesores de la estructura del pavimento, garantizando que esta sea capaz de soportar adecuadamente las cargas de diseño previstas durante su vida útil. El procedimiento permitió integrar las variables de tránsito, capacidad estructural y condiciones del material, asegurando un diseño eficiente y conforme a los criterios normativos vigentes. En consecuencia, los espesores obtenidos proporcionan un nivel adecuado de servicio, durabilidad y seguridad estructural para el pavimento proyectado.

RECOMENDACIONES

Para situar las recomendaciones, se estableció en base al estudio y al levantamiento realizado en los tramos analizados. El cual se llegó a las siguientes recomendaciones:

- ✓ Control de calidad en materiales: Asegurar que los adoquines, arena de sello, base y subbase cumplan con las especificaciones técnicas establecidas por normas nacionales e internacionales, con el fin de prolongar la vida útil del pavimento.
- ✓ Drenaje eficiente: Diseñar y construir un sistema de drenaje longitudinal y transversal que evite la acumulación de agua en la estructura, ya que la humedad es uno de los factores que más afecta la durabilidad del pavimento articulado.
- ✓ Dar mantenimiento a todas las obras de drenaje construidas en la zona estudiada.
- ✓ Mantenimiento preventivo: Implementar un plan de mantenimiento periódico, incluyendo limpieza de juntas, reposición de arena y control de vegetación, lo que permitirá conservar la capacidad estructural y funcional del pavimento.
- ✓ Capacitación de mano de obra local: Promover la participación de la comunidad en la ejecución y mantenimiento del proyecto, brindando capacitaciones técnicas que aseguren una correcta colocación de los adoquines y fomenten la sostenibilidad del mismo.
- ✓ Monitoreo post-construcción: Realizar evaluaciones periódicas del comportamiento del pavimento bajo condiciones reales de carga y clima, con el fin de generar información útil para futuros proyectos en el municipio y en la región.
- ✓ Enfoque sostenible: Favorecer el uso de materiales locales y prácticas constructivas amigables con el medio ambiente, lo cual contribuye al desarrollo económico de la comarca y a la reducción de costos.
- ✓ Realizar mejoramiento que contribuyan a las subrasantes estabilizarla para futuras obras lineal.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO-93. *Diseño de de pavimentos*. 2002.
<https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-de-pavimentos-sieca1.pdf>.
- Badillo, Juarez. *Fundamento de la mecánica de suelos*. s.f.
- Bonilla, Alvaro torrez nieto y Eduardo Villate. *topografía*. Bogota: norma, 1968.
- Cal y Mayor, R. *Ingeniería de Transito "Fundamento y Aplicaciones"*. Mexico: Df: Alfaomega, 2008.
- Crespos, Carlos. *Mecánica de suelo y Cimentación*. Monterrey, Mexico, 1980.
<https://books.google.com.pe/books?id=Db2SQbBHVPQC&printsec=copyri ght#v=onepage&q&f=false>.
- Fonseca, Alfonso Montejo. *Estabilización de suelo*. 2018.
<<https://www.librosyeditores.com/ingenieria-civil/48645-estabilizacion-de-suelos-9789587628784.html>>.
- Garcia, L.B. *manual de Carretera, construcción y mantenimiento*. 2007.
- Garcia, luis bañón blazquez y Jose f. Bevia. *manual de carreteras de construcción y mantenimiento*. 2010.
- Gutiérrez Lázares, Wilfredo. *Mecánica de suelo aplicada a vías de transporte*. Marcombo, s.f. <https://www.todostuslibros.com/libros/mecanica-de-suelos-aplicada-a-vias-de-transporte_978-84-267-3368-9>.
- Hernandez, Break. «Aforo vehicular.» 2021.
- Huete López, Alex Lorenzo, Julio Eduardo Ruiz y Luis Fernando Agurcia. «“DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 6.00 KM, TRAMO CARRETERO EL JÍCARO – MURRA, DEPARTAMENTO DE NUEVA SEGOVIA.» 2022. “DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 6.00 KM, TRAMO CARRETERO EL JÍCARO – MURRA, DEPARTAMENTO DE NUEVA SEGOVIA.”
<https://ribuni.uni.edu.ni/5021/1/16331.pdf>. 16 de 09 de 2025.
<<https://ribuni.uni.edu.ni/5021/1/16331.pdf>>.
- Joseph, Browies. *manual de laboratorio de suelo en ingeniería civil*. 1981.
- Mapa de Nicaragua, Chontales, La Libertad Betulia. Juigalpa:
<https://ministeriopublico.gob.ni/mapa-de-fiscalias/>, s.f.
<<https://ministeriopublico.gob.ni/mapa-de-fiscalias/>>.

MINISTERIO DE TRÁSPORTE E INFRAESTRUCTURA. «ANUARIOS DE AFOROS DE TRÁFICO DEL AÑO 2020.» 2020. *ANUARIOS DE AFOROS DE TRÁFICO DEL AÑO 2020*.
<https://biblioteca.mti.gob.ni:8080/docushare/dsweb/Get/DocumentosTecnicos-590/Anuario%20de%20Aforos%20de%20Tr%C3%A1fico%202020.pdf>. 20 de 10 de 2025.

Morales, Ing. Wiliam R. Gamez. *Topografía General* . 2010.

MTI. «Anuario de aforo de trafico 2018.» s.f.

—. *Manual para la revision de diseño de pavimento*. 2008.

Navarro, S. j. *Diseño y calculo geometrico viales* . 2019.

navarro, Sj. *Manual de Pavimento* . Managua, Nicaragua , 2002.

Officials, The american Asociation of state highway and transportation. *Diseño de pavimento por el metodo de AASHTO-93 version en español*. 1993.

Peralta, Jaima, Manuel Cordero y Julio Jaramillo. *Libro de topografia I*. Alicante, 2020. https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2020/04/demo_TOPOGRAFIA-1.pdf.

rubio, juan pablo. *Manual de practica de laboratorio de mecanica de suelo* . 2022.

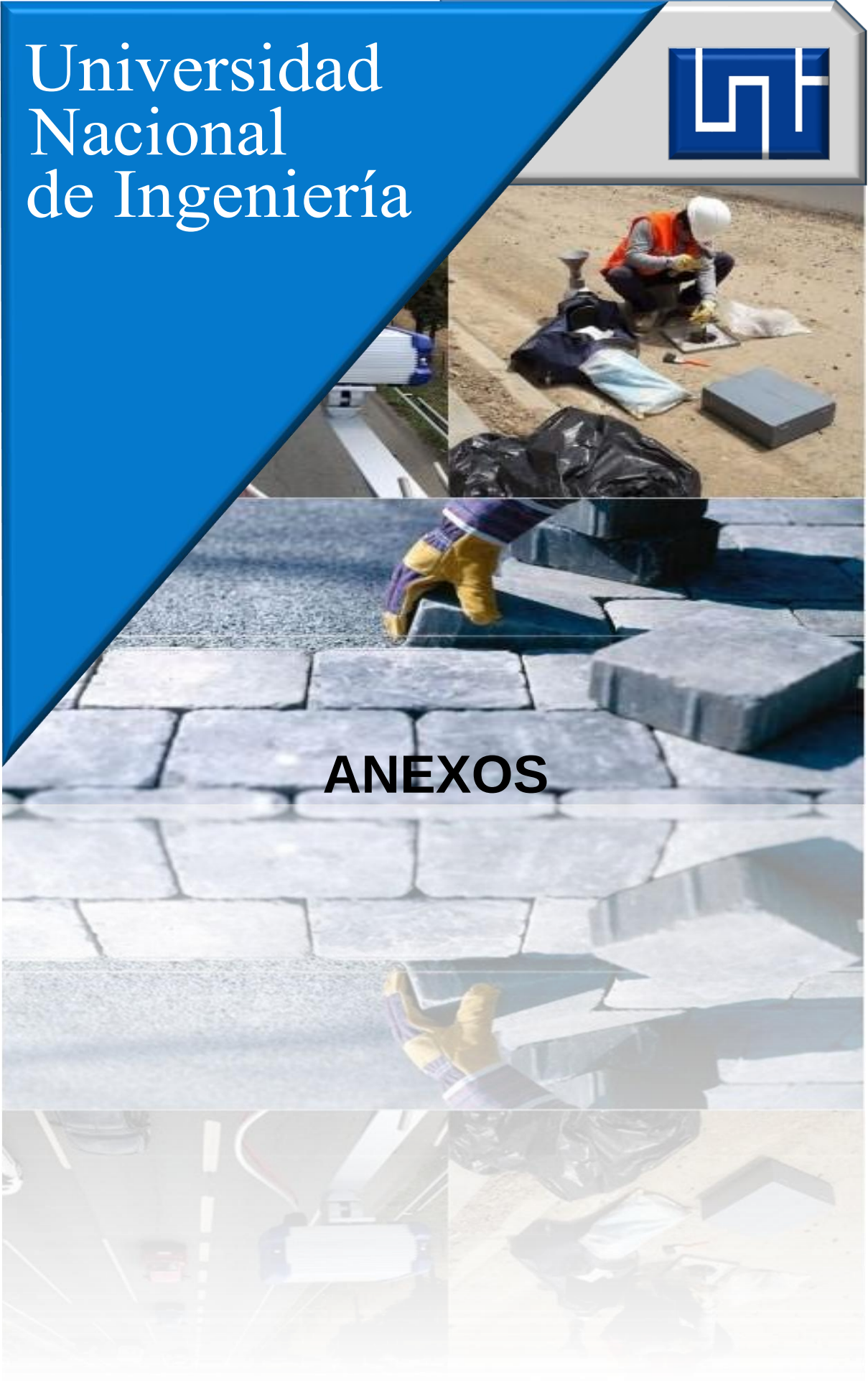
SIECA. «Manual centro americano para diseño de pavimento .» 2002.

—. *Normas para el diseño geometrico de las carreteras regionales* . 2004.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. *Libro de Ingenieria de Transito*. Managua , 2017. <https://es.scribd.com/document/694144899/Libro-Ingenieria-de-Transito-Actividades-de-Trabajo>.

Varios. *Diseño geometrico de vias*. Universidad Distrital de Francisco José de Caldas, 2012. <<https://www.librosyeditores.com/ingenieria/7480-diseno-geometrico-de-vias--9789588782232.html>>.

Web, significados. <https://significadosweb.com/concepto-de-aforo-vehicular-definicion-y-que-es/>. 2020.

A collage of four images related to construction and engineering. The top-left image shows a worker in a white hard hat and orange safety vest kneeling on a dirt surface, working with tools and materials. The top-right image shows a close-up of a worker's hands wearing yellow gloves, placing a large, rectangular stone block onto a paved surface. The bottom-left image shows a close-up of a worker's hands wearing yellow gloves, holding a large, rectangular stone block. The bottom-right image shows a close-up of a worker's hands wearing yellow gloves, holding a large, rectangular stone block. The word "ANEXOS" is centered over the collage.

ANEXOS

Figura 50 Inicio del tramo. Est: 0+000



Fuente: Elaboración propia

Figura 51 Inicio del tramo. Est: 0+000



Fuente: Elaboración propia

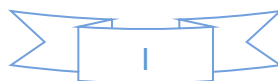


Figura 52 Condición actual del tramo



Fuente: Elaboración propia

Figura 53 Condición actual del tramo



Fuente: Elaboración propia

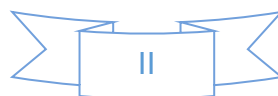


Tabla 74 Formato para aforo vehicular

Tramo:										Est:		
Sentido:		Ambos Sentidos								Fec ha:		
Hora		Vehiculo Pasajeros						Vehiculos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
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 75 Aforo vehicular día lunes (conteo 1)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia							Est:			
Sentido:		Ambos Sentidos							Fec ha:	2/9/2024		
Hora		Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
06:00	07:00	12	0	1	4	0	2	1		1	0	21
07:00	08:00	10	0	0	0	0	3	2	1	0	0	16
08:00	09:00	5	0	1	4	0	0	5	10	1	0	26
09:00	10:00	6	0	0	0	0	0	4	14	0	0	24
10:00	11:00	4	0	0	0	0	0	2	11	1	0	18
11:00	12:00	14	0	1	1	0	2	2	10	0	0	30
12:00	01:00	9	0	0	2	0	0	0	4	0	0	15
01:00	02:00	15	0	1	4	0	2	8	10	2	0	42
02:00	03:00	4	0	0	6	0	0	4	13	0	0	27
03:00	04:00	7	0	1	5	0	0	0	14	0	0	27
04:00	05:00	11	0	0	5	0	0	3	8	1	0	28
05:00	06:00	6	0	0	0	0	3	0	2	0	0	11
Volumen (12 horas diurnas)		103	0	5	31	0	12	31	97	6	0	285

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76 Aforo vehicular día marte (conteo 2)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia						Est:				
Sentido:		Ambos Sentidos						Fec ha:	3/9/2024			
Hora		Vehiculo Pasajeros						Vehiculos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
07:00	08:00	7	0	0	0	0	3	0	1	0	0	11
08:00	09:00	6	0	1	3	0	0	6	14	0	0	30
09:00	10:00	7	0	0	0	0	0	4	14	0	0	25
10:00	11:00	5	0	0	0	0	0	1	13	0	0	19
11:00	12:00	16	0	0	1	0	0	4	12	0	0	33
12:00	01:00	11	0	0	2	0	0	0	2	0	0	15
01:00	02:00	13	0	0	4	0	0	4	12	0	0	33
02:00	03:00	2	0	0	5	0	0	5	15	0	0	27
03:00	04:00	8	0	0	4	0	0	0	11	0	0	23
04:00	05:00	12	0	0	5	0	0	2	6	0	0	25
05:00	06:00	7	0	0	0	0	3	0	1	0	0	11
Volumen (12 horas diurnas)		94	0	1	24	0	6	26	101	0	0	252

Fuente: Elaboración propia

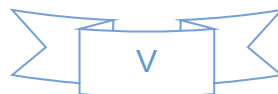


Tabla 77 Aforo vehicular día miercoles (conteo 3)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia							Est:			
Sentido:		Ambos Sentidos							Fec ha:	4/9/2024		
Hora		Vehiculo Pasajeros						Vehiculos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
06:00	07:00	15	0	2	2	0	1	4	0	0	0	24
07:00	08:00	9	0	1	3	0	0	3	13	0	0	29
08:00	09:00	10	0	0	2	0	0	2	18	0	0	32
09:00	10:00	5	0	0	3	0	0	6	15	0	0	29
10:00	11:00	7	0	1	4	0	0	1	19	0	0	32
11:00	12:00	4	0	1	3	0	0	4	14	0	0	26
12:00	01:00	5	0	0	4	0	0	2	5	0	0	16
01:00	02:00	3	0	0	5	0	0	3	13	0	0	24
02:00	03:00	5	0	0	8	0	0	2	15	0	0	30
03:00	04:00	4	0	0	13	0	0	0	11	0	0	28
04:00	05:00	12	0	0	5	0	0	2	6	0	0	25
05:00	06:00	7	0	0	0	0	3	0	1	0	0	11
Volumen (12 horas diurnas)		86	0	5	52	0	4	29	130	0	0	306

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78 Aforo vehicular día Jueves (conteo 4)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia						Est:				
Sentido:		Ambos Sentidos						Fecha:	5/9/2024			
Hora		Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Motos	Autos	Jeeps	Camioneta	McBus	Buses	Liv 2-5 t	C2	C3		
06:00	07:00	15	0	0	0	0	0	4	0	0	0	19
07:00	08:00	14	0	0	0	0	1	5	10	0	0	30
08:00	09:00	11	0	1	4	0	0	4	16	0	0	36
09:00	10:00	6	0	0	0	0	1	6	14	0	0	27
10:00	11:00	6	0	0	4	0	0	8	12	0	0	30
11:00	12:00	2	0	1	0	0	0	3	8	0	0	14
12:00	01:00	12	0	0	6	0	1	4	6	0	0	29
01:00	02:00	8	0	2	0	0	0	5	3	0	0	18
02:00	03:00	7	0	0	10	0	0	2	14	0	0	33
03:00	04:00	3	0	0	0	0	1	4	13	0	0	21
04:00	05:00	6	0	0	8	0	0	1	12	0	0	27
05:00	06:00	10	0	0	0	0	0	6	5	0	0	21
Volumen (12 horas diurnas)		100	0	4	32	0	4	52	113	0	0	305

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79 Aforo vehicular día viernes (conteo 5)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia						Est:				
Sentido:		Ambos Sentidos						Fecha:		6/9/2024		
Hora		Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Motor	Autos	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3		
06:00	07:00	17	0	0	3	0	0	3	2	0	0	25
07:00	08:00	13	0	0	4	0	0	6	13	0	0	36
08:00	09:00	10	0	0	2	0	0	2	18	0	0	32
09:00	10:00	7	0	0	0	0	0	2	9	0	0	18
10:00	11:00	7	0	0	0	0	0	2	10	0	0	19
11:00	12:00	4	0	0	2	0	0	2	9	0	0	17
12:00	01:00	10	0	0	4	0	0	2	5	0	0	21
01:00	02:00	6	0	1	5	0	0	3	4	0	0	19
02:00	03:00	9	0	0	8	0	0	4	15	0	0	36
03:00	04:00	4	0	0	5	0	0	0	11	0	0	20
04:00	05:00	5	0	0	5	0	0	2	11	0	0	23
05:00	06:00	9	0	1	6	0	3	8	7	0	0	34
Volumen (12 horas diurnas)		101	0	2	44	0	3	36	114	0	0	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80 Aforo vehicular día Sábado (conteo 6)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia						Est:				
Sentido:		Ambos Sentidos						Fec ha:	7/9/2024			
Hora		Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
06:00	07:00	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11
07:00	08:00	8	0	0	4	0	0	6	10	0	0	28
08:00	09:00	6	0	0	0	0	0	3	15	0	0	24
09:00	10:00	8	0	0	2	0	1	4	13	0	0	28
10:00	11:00	4	0	1	6	0	0	4	14	0	0	29
11:00	12:00	8	0	1	0	0	0	6	12	0	0	27
12:00	01:00	9	0	0	4	0	1	3	10	0	0	27
01:00	02:00	4	0	1	0	0	0	4	11	0	0	20
02:00	03:00	3	0	0	10	0	1	0	12	0	0	26
03:00	04:00	7	0	1	0	0	0	4	9	0	0	21
04:00	05:00	10	0	0	8	0	0	0	10	0	0	28
05:00	06:00	6	0	0	0	0	4	4	10	0	0	24
Volumen (12 horas diurnas)		83	0	4	34	0	8	38	126	0	0	293

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81 Aforo vehicular día Domingo (conteo 7)

Tramo:		Comarca Santa Rita - Comarca Betulia						Est:				
Sentido:		Ambos Sentidos						Fecha:		8/9/2024		
Hora		Vehículo Pasajeros						Vehículos de Cargas			Equipo pesado Veh. Constr	Volumen Horario
		Mo to	Aut os	Je ep	Camio neta	Mc Bus	B us	Liv 2-5 t	C2	C 3		
06:00	07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
07:00	08:00	12	0	0	0	0	1	8	1	0	0	22
08:00	09:00	6	0	0	6	0	0	3	9	1	0	25
09:00	10:00	4	0	0	0	0	2	2	12	0	0	20
10:00	11:00	3	0	0	1	0	0	4	8	1	0	17
11:00	12:00	8	0	0	3	0	1	0	16	0	0	28
12:00	01:00	6	0	0	0	0	0	7	8	0	0	21
01:00	02:00	8	0	0	6	0	2	0	15	2	0	33
02:00	03:00	3	0	0	0	0	0	8	0	0	0	11
03:00	04:00	5	0	0	8	0	3	0	18	0	0	34
04:00	05:00	8	0	0	0	0	0	9	10	1	0	28
05:00	06:00	3	0	0	6	0	0	0	6	0	0	15
Volumen (12 horas diurnas)		66	0	0	30	0	9	41	103	6	0	255

Fuente: Elaboración propia

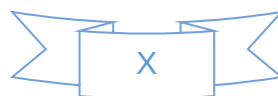


Figura 54 Realización del aforo vehicular



Fuente: Elaboración propia

Figura 55 Realización del aforo vehicular



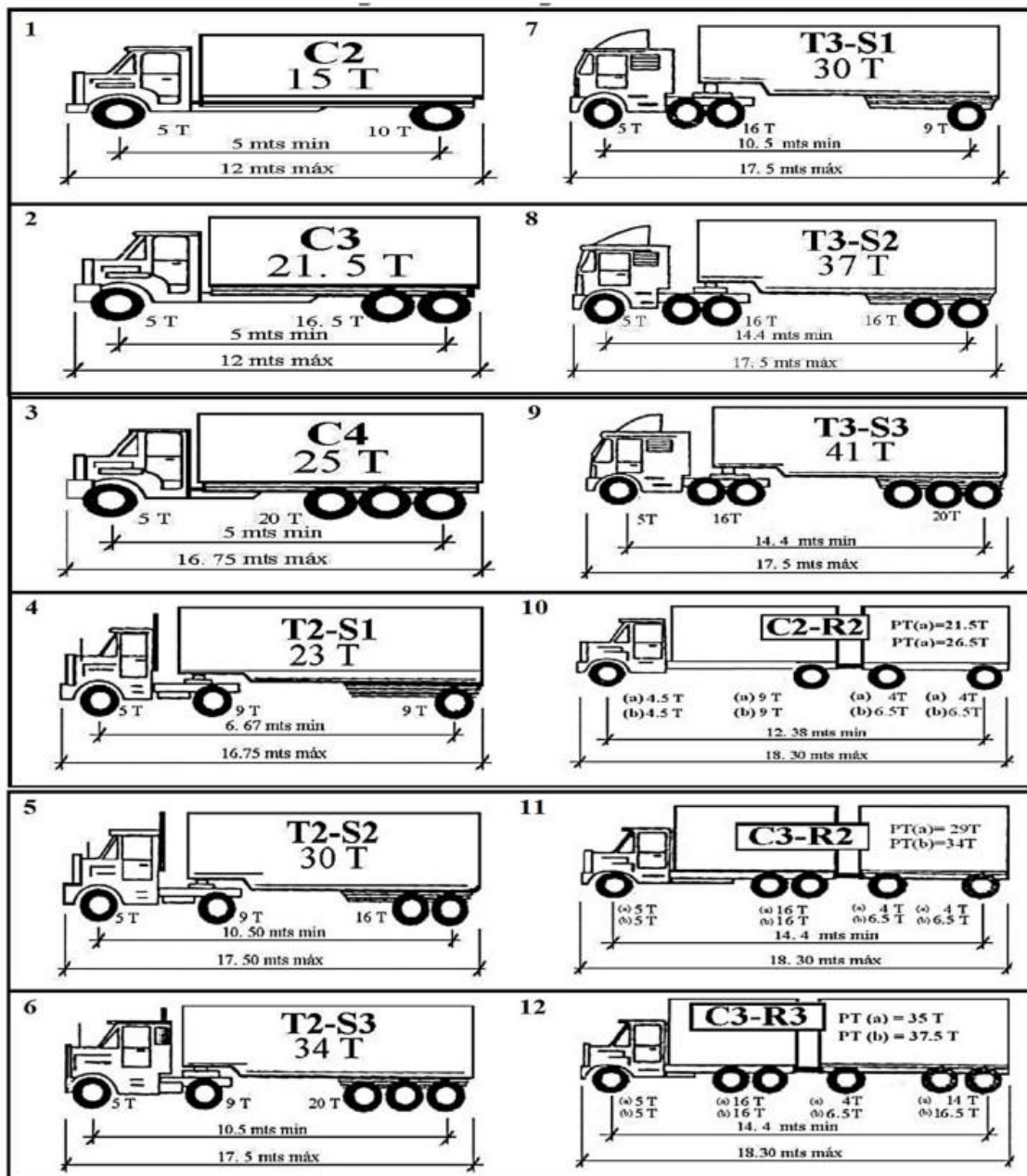
Fuente: Elaboración propia

Tabla 82 Estación de mayor cobertura San Marcos – Masatepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-21B	2106	ECS	Mulukuku - Siuna
	NIC-21B	2110	ECS	Río Wawa - Emp. Waspam
	NIC-23A	2301	ECD	Santo Tomás - Emp.San Pedro de Lóvago
	NIC-23A	2301B	ECS	Emp.San Pedro de Lóvago - La Libertad
	NIC-23B	711	ECD	Juigalpa - Emp. Betulia
	NIC-23B	715	ECD	Emp. Betulia - La Libertad
	NIC-23B	2309	ECS	Santo Domingo - El Ayote - La Piñuela
	NIC-23B	2310	ECD	Los Chinamos - El Ayote.
	NIC-25	2501	ECD	Emp. Lóvago - Acoyapa
	NIC-25	2507A	ECS	San Carlos - Melchora
	NIC-25B	2513	ECS	La Argentina - Melchora
	NIC-27	2701	ECD	Emp. Zambrano - Tisma
	NIC-27	2702	ECD	Tisma - Masaya (La Inca)

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

Figura 56 Peso por eje para vehículos de carga



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

Tabla 83 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

Tabla 84 Factor de Equivalencia Eje Tándem (doble), Pt = 2

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

74	329.2	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43

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

Figura 57 Levantamiento de puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia

Figura 58 Levantamiento de puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia

Figura 59 Levantamiento de puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia

Figura 60 Levantamiento de puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia

Figura 61 . Banco de Material N°1: Gollo Ruiz (Biscocho)



Fuente: Elaboración propia

Figura 62 Banco de Material N°2: La Peña



Fuente: Elaboración propia

Figura 63 Código QR de puntos de levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia