Universidad Nacional de Ingeniería

Área de conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL METODO AASHTO 93 DE 2.30KM DEL TRAMO ENTRADA A EL GUAYACAN HACIA COMUNIDAD YAULE ARRIBA, MUNICIPIO DE MATAGALPA, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA”.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Yaser Omar Martínez Mendoza
Carnet: 2015-0211U

Tutor:

Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha

8 de junio de 2026
Managua, Nicaragua

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. Gracias por creer en mí, motivarme en los momentos difíciles y brindarme siempre las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

A mi hermana, por su compañía, comprensión y constante apoyo a lo largo de este camino. Sus palabras de aliento y confianza en mis capacidades fueron una fuente de inspiración para seguir adelante.

Este logro también les pertenece a ustedes, porque con su amor, paciencia y ayuda hicieron posible la culminación de esta importante etapa de mi vida. Con profundo cariño y gratitud, les dedico este trabajo.

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía y bendición me permitieron superar cada desafío y mantener la perseverancia para alcanzar esta meta.

De manera muy especial, agradezco a mi novia, por acompañarme en esta etapa de mi vida, por su amor, comprensión y apoyo constante. Gracias por estar a mi lado en los momentos de alegría y dificultad, por brindarme ánimo cuando más lo necesitaba y por contribuir con tu compañía y confianza a la culminación de este logro.

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente documento monográfico se presenta el diseño de estructura de pavimento articulado de 2.3 km de longitud, el cual se encuentra ubicado entre el tramo Entrada a El Guayacán hacia Comunidad Yaule Arriba, Municipio de Matagalpa, sus coordenadas iniciales **(X: 607680.48, Y 1428783.96, Z: 627.64.5 msnm)** y finales del tramo son: **(X: 607700.77, Y: 1430782.09, Z: 653.36)**

CAPITULO I: GENERALIDADES

Este capítulo se aborda las generalidades del proyecto, ubicación del tramo en estudio, introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de 2.3 Km de adoquinado y objetivos planteados necesarios para lograr con éxito su diseño mediante el método AASHTO 93.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

El marco teórico referencial para el trabajo monográfico se hace notable en este capítulo.

CAPITULO III: ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS

El estudio integral desarrollado comprendió la evaluación del tránsito, la caracterización geotécnica de la subrasante y la determinación estructural del pavimento para el tramo en análisis, con el propósito de establecer los parámetros fundamentales de diseño conforme a criterios técnicos y normativos vigentes.

En el componente de tránsito, se efectuaron aforos vehiculares continuos durante siete días consecutivos, con jornadas de doce horas diurnas, a partir de los cuales se determinó un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 180 vehículos por día. La proyección de la demanda se realizó considerando una tasa de crecimiento anual del 3.56%, estimada con base en registros históricos de estación de conteo de referencia (ECD 903). Para un período de diseño de 15 años, el análisis de cargas acumuladas en el carril de diseño arrojó un total de 2.24×10^5 repeticiones equivalentes de ejes

simples de 18 kip (W_{18}), valor que constituye el parámetro estructural fundamental para el dimensionamiento del pavimento.

En el estudio de suelos se ejecutaron sondeos hasta una profundidad de 1.50 m, identificándose un estrato superficial promedio de 0.30 m. Predominan suelos gravo-areno-limosos clasificados bajo el sistema AASHTO como A-2-4 (0), con presencia local de materiales A-2-5 (0), A-2-6 (0), A-7-6 (5) y A-7-6 (11). Las características texturales y el comportamiento mecánico de estos materiales permitieron establecer un CBR de diseño para la subrasante de 8.2%, valor representativo para el análisis estructural.

Adicionalmente, el banco de materiales evaluado está constituido por suelos clasificados como A-1-a (0), con una composición granulométrica aproximada de 53% grava, 32% arena y 15% finos, e índice de grupo igual a cero. De acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO, este material presenta condiciones favorables para su utilización como capa base en estructuras de pavimento, en función de su capacidad de soporte y estabilidad.

Con base en los parámetros de tránsito proyectado y en las propiedades mecánicas de la subrasante y materiales disponibles, se procedió al dimensionamiento de la estructura de pavimento, definiendo los espesores de la carpeta de rodamiento y base conforme a los criterios de diseño adoptados en la normativa aplicable.

ÍNDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES 1

1.1 Introducción 1

1.2 Justificación 3

1.3 Objetivos. 4

1.3.1 Objetivo general. 4

1.3.2 Objetivos específicos. 4

CAPITULO II: MARCO TEORICO 6

2.1 Estudio de Tránsito. 6

2.1.1 Conteo Vehicular 6

2.1.2 Clasificación vehicular 6

2.1.3 Clasificación funcional 6

2.1.4 Clasificación física o dimensional 7

2.1.5 Clasificación por efecto sobre el pavimento 7

2.1.6 Clasificación operativa 7

2.1.7 Transito Promedio Diario Anual (TPDA): 7

2.1.8 Producto Interno Bruto (PIB): 8

2.1.9 Población (POB) 8

2.1.10 Tasa de crecimiento 8

2.1.11 Tasa de crecimiento de Transito del TPDA 8

2.1.12 Tasa de crecimiento de PIB 8

2.1.13 Tasa de crecimiento POB 9

2.1.14 Trafico de diseño 9

2.1.15 Periodo de diseño 9

2.1.16 Serviciabilidad 9

2.1.17 Numero Estructural 9

2.1.18 Factor equivalencia 9
2.2 Estudio de suelos 10
2.2.1 Ensayo de sondeos de línea 11
2.2.2 Banco de préstamo de Materiales 11
2.2.3 CBR de Diseño 12
2.2.4 Subrasante 12
2.2.5 Selección de subrasante de diseño 12
2.3 Diseño de pavimento 13
2.3.1 Carga de ejes equivalentes simples. 13
2.3.2 Confiabilidad 14
2.3.3 Desviación Estándar 14
2.3.4 Serviciabilidad 14
2.3.5 Coeficiente de drenaje (m_i) 15
2.3.6 Módulo de Resiliencia (MR) 15
2.3.7 Coeficientes de Capa (a_i) 15
2.3.8 Número Estructural (SN) 16
CAPITULO III: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS 17
3.1.1 Generalidades del Estudio de Tránsito 17
3.1.2 Conteo vehicular 18
3.1.2.1. Tipos de vehículos. 18
3.1.2.2 Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes 19
3.1.3 Procesamiento de información 20
3.1.3.1 Análisis de la información obtenida 20
3.1.4 Recopilación de la información 20
3.1.5 Procesamiento de datos. 21

3.1.5.1 Resumen del aforo vehicular. 21
3.1.6 Composición Vehicular. 30
3.1.6.1 Determinación de tasas de crecimiento..... 30
3.1.6.2 Tasas de crecimiento. 32
3.1.6.3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB). 33
3.1.6.4 Análisis de Población (POB). 33
3.1.6.5 Análisis de la información obtenida. 34
3.1.6.6 Consolidado de tasas de crecimiento. 36
3.1.7 Tráfico de diseño. 36
3.1.7.1 Proyección de Transito (PD). 37
3.1.7.2 Factor de Crecimiento..... 38
3.1.7.3 Factor Distribución por Dirección (FD). 39
3.1.7.4 Factor Distribución Por Carril (FC). 39
3.1.7.5 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po). 40
3.1.7.6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt). 40
3.1.7.7 Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI). 40
3.1.7.8 Número estructural asumido (SN). 41
3.1.7.9 Factor de Equivalencia (FESAL). 41
3.1.8 Ejes Equivalentes (ESAL o W18). 41
3.2.1 Generalidades del Estudio de Suelos..... 46
3.2.2 Ensayos de suelos en línea 47
3.2.2.1 Resultados de ensayes a muestras de sondeos de línea..... 48
3.2.3 Resultados de ensayes a muestras de fuentes de materiales. 52
3.2.4 Banco de materiales propuesto para la capa Base. 54
3.2.5 Determinación del CBR de diseño..... 55

3.2.5.1 Identificación de la subrasante 55
3.3.1 Generalidades del Diseño de Pavimento..... 60
3.3.2 Consideraciones del diseño AASHTO 93: 60
3.3.2.1 Carga de ejes simples equivalentes. 60
3.3.2.2 Confiabilidad. 61
3.3.2.3 Desviación Estándar. 62
3.3.2.4 Serviciabilidad. 63
3.3.2.5 Coeficiente de drenaje. 63
3.3.2.6. Cálculo del CBR de diseño. 65
3.3.2.7. Módulo de Resiliencia (MR). 65
3.3.2.8. Coeficientes de capa. 66
3.3.2.9 Coeficientes Estructural a1. 66
3.3.2.10 Número Estructural. 68
3.3.4 Cálculo de espesores. 69
Verificación de SN2 y SN3 mediante el uso de software WINPAS 12. 72
3.3.4.1 Cálculo del espesor de la base (D_2). 73
3.3.4.2 Espesores finales de diseño. 75
CONCLUSIONES. 77
RECOMENDACIONES. 78
Bibliografía 79
ANEXOS I

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de aforo vehicular. 22
Tabla 2. Tráfico Promedio Diurno Semanal (TPDiS) en Ambos Sentidos 23
Tabla 3. Vectores Geográficos..... 25
Tabla 4. Datos Históricos de ECD 903: Matagalpa - Emp San Francisco. 26
Tabla 5. Dependencia de Estación de Mayor Cobertura San Marcos-Masatepe 27
Tabla 6. Factores de Ajuste Utilizados Estación No. 1802(mayo - agosto) 28
Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste..... 29
Tabla 8. Registros históricos del PIB, TPDA y Población..... 31
Tabla 9. Datos Históricos del PIB 33
Tabla 10. Datos Históricos del POB..... 34
Tabla 11. Cálculo de tasa de crecimiento de tipo interanual para la ECD 903 35
Tabla 12. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB) 36
Tabla 13. Proyección de TPD según periodo de diseño. 37
Tabla 14. Período de Diseño. 38
Tabla 15. Clasificación funcional de la carretera según Ministerio de Transporte e Infraestructura 38
Tabla 16. Factor de Distribución por Dirección. 39
Tabla 17. Factor Distribución por Carril. 40
Tabla 18. Tránsito de Diseño. 42
Tabla 19. Factores de ejes Kips a Interpolar. 43
Tabla 20. Calculo manual de Interpolaciones de factores de ejes KIPS..... 43
Tabla 21. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem 44
Tabla 22. Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño..... 45
Tabla 23. Sondeos efectuados 47
Tabla 24. Tipos de ensayos para estudio de suelos 47
Tabla 25. Banco de materiales. 52
Tabla 26. Características del Banco de Materiales. 53
Tabla 27. Pesos volumétricos, densidad y humedad óptima del banco..... 53
Tabla 28. Requisitos Graduación de Agregados. 54

Tabla 29. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante.... 56
Tabla 30. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño..... 57
Tabla 31. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante 57
Tabla 32. Niveles de Confiabilidad R en función del tipo de carretera. 61
Tabla 33. Valores de Zr en función de la confiabilidad R. 62
Tabla 34. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio. ... 63
Tabla 35. Factores de Serviciabilidad. 63
Tabla 36. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad 64
Tabla 37. Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación 64
Tabla 38. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante. 65
Tabla 39. Espesores Mínimos Sugeridos para Base granular 73
Tabla 40. Espesores de Diseño. 75
Tabla 41. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día. V
Tabla 42. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día. V
Tabla 43. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VI
Tabla 44. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VI
Tabla 45. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VII
Tabla 46. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VII
Tabla 47. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VIII
Tabla 48. Conteo de Tráfico Vehicular por Día. VIII
Tabla 49. Esquema de clasificación vehicular por distancia de ejes. IX
Tabla 50. Evolución de la Estación de Mayor Cobertura N° 1802 X
Tabla 51. Factores de la Estación de Mayor Cobertura N° 1802. X
Tabla 52. Evolución de la Estación de Corta Duración ECD 903 XI
Tabla 53. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo. XI
Tabla 54. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo. (Vehículos Pesados) XI
Tabla 55. Clasificación de suelos, según sistema AASHTO. XI
Tabla 56. Sondeos de línea del sitio en estudio. XI

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Figura 1. Ubicación del punto de conteo vehicular Est.0+000 21
Figura 2. Comportamiento de la Composición del Tránsito Diurno Semanal. 24
Figura 3. Comportamiento de Tránsito Diurno Semanal. 24
Figura 4. Composición Vehicular del Tránsito Diario Anual (TPDA). 30
Figura 5. Estratigrafía de suelos del sitio. 48
Figura 6. Selección del CBR de diseño. ..... - 58 -
Figura 7. Obtención del Coeficiente estructural a2 y el Módulo Resiliente, para Base granular. 67
Figura 8. Obtención del coeficiente estructural a3 y el módulo resiliente para Subbase granular 68
Figura 9. Obtención del Número estructural SN2 (SNbase) 70
Figura 10. Obtención del Número estructural SN3 (Subbase) 71
Figura 11. Cálculo de SN2 con WINPAS 12. 72
Figura 12. Cálculo de SN3 con WINPAS 12. 72
Figura 13. Comprobación mediante el uso de WINPAS 12 75
Figura 14. Espesores de estructura de pavimento 76
Figura 15. Macro localización del proyecto. II
Figura 16. Micro localización del proyecto. II
Figura 17. Est 0 + 100 Entrada hacia comunidad Yaule Arriba III
Figura 18. Est 0 + 300m Proliferación de baches. III
Figura 19. Est 0 + 450 y Est 0 + 600 IV
Figura 20. Est 1 + 500 Tramo de camino con mantenimiento preventivo. IV

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Este estudio está centrado en el diseño de la estructura de pavimento para el tramo comprendido entre la entrada **El Guayacán y la comunidad Yaule Arriba,** ubicado en una zona de alta productividad agrícola dentro del departamento de Matagalpa, reviste una importancia estratégica. Este segmento conecta varias comunidades rurales con centros de acopio, comercio local y servicios básicos, por lo que su rehabilitación aportará significativamente a la mejora de la calidad de vida de los habitantes y al fortalecimiento del dinamismo económico regional.

El tramo de estudio entrada a El Guayacán hacia Comunidad Yaule Arriba, se encuentra a unos kilómetros de una de las principales ciudades del norte de Nicaragua; aproximadamente a 11.8 km de Matagalpa.

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

Las condiciones actuales de la carpeta de rodamiento de la calle no cumplen con las normas NIC 2000 y la metodología AASHTO – 93, provocando afectaciones en la salud de las personas que habitan a la orilla de la calle, por el exceso de polvo generado durante la época de verano y la formación de fangos en el invierno.

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

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

Conociendo la problemática actual en la carencia y calidad de caminos pavimentados, con este trabajo monográfico se pretende disminuir la problemática antes mencionada mediante el diseño de pavimento articulado el cual garantizará la funcionabilidad y durabilidad, para tales fines se tomarán en cuenta el método AASHTO 93, así mismo el diseño deberá cumplir con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes NIC-2000. (Véase micro y macro localización Anexos Figura 15 y 16, Pagina I)

1.2 Justificación

La ejecución del proyecto de diseño de una estructura de pavimento articulado para el tramo comprendido entre la Entrada El Guayacán y la comunidad Yaule Arriba, con una longitud de 2.30 km, responde a la necesidad urgente de mejorar las condiciones de acceso y conectividad en esta región estratégica para la producción agrícola. Este camino es fundamental para los productores locales, quienes dependen de él para transportar sus cultivos de café, hortalizas y granos básicos hacia mercados locales y centros de acopio.

Desde el punto de vista técnico, la condición actual del camino presenta deficiencias estructurales asociadas a baja capacidad portante de la subrasante, deterioro superficial progresivo y susceptibilidad a procesos de erosión hídrica durante la estación lluviosa. Estas limitaciones reducen el nivel de servicio de la vía, incrementan los tiempos de recorrido y generan mayores solicitaciones dinámicas sobre los vehículos. En consecuencia, resulta indispensable desarrollar un diseño estructural que considere el tránsito proyectado, la caracterización geotécnica del suelo y las condiciones climáticas predominantes, a fin de garantizar un comportamiento adecuado frente a cargas repetitivas y variaciones volumétricas del terreno.

En el ámbito económico, la zona depende sustancialmente de la actividad agrícola, particularmente del cultivo y procesamiento de café, hortalizas y granos básicos, cuya comercialización exige condiciones de acceso continuo y confiable hacia centros de acopio y mercados locales.

Asimismo, desde la perspectiva social y territorial, la mejora de esta infraestructura vial fortalece la conectividad intercomunitaria, facilita el acceso a servicios básicos, salud, educación y comercio contribuye a la integración regional. La intervención propuesta no solo representa una solución constructiva, sino una estrategia de desarrollo que incide en la reducción de brechas de infraestructura en el ámbito rural.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

- Realizar el diseño de estructura de pavimento articulado por el método de AASHTO 93 de 2.30km del tramo entrada a El guayacán hacia comunidad de Yaule arriba, municipio de Matagalpa, departamento Matagalpa.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y los Ejes Equivalentes a Carga Simple (ESAL's) para el periodo de diseño, mediante análisis de tránsito y proyecciones futuras, con el propósito que se utilicen como insumos para el dimensionamiento estructural del pavimento.

- Caracterizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la subrasante y bancos de materiales, aplicando la clasificación AASHTO mediante ensayos de laboratorio para el cumplimiento de los estándares de calidad de la NIC 2019.

- Calcular los espesores del pavimento articulado usando el método AASHTO 93, considerando ESAL's, las propiedades de los materiales y la subrasante, garantizando un diseño estructural confiable y duradero.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Estudio de Tránsito.

2.1.1 Conteo Vehicular

El conteo vehicular es la acción de medir y registrar el número de vehículos que pasan por un punto específico durante un intervalo de tiempo determinado, ya sea de forma manual o automática, utilizando tecnologías como sensores y cámaras. Su propósito principal es analizar el flujo de tráfico, obtener datos para el diseño y mejora de vías, y planificar el desarrollo urbano. (James Cardenas, 2014)

2.1.2 Clasificación vehicular

Consiste en la agrupación de los vehículos que circulan por una vía en diferentes categorías según criterios técnicos y operativos. Su finalidad es establecer parámetros homogéneos para los estudios de tránsito, diseño geométrico, diseño de pavimentos, seguridad vial y planificación del transporte. (MTI, Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)

Criterios de clasificación

Son los aspectos técnicos que determinan la categoría de un vehículo en un sistema de clasificación. Entre los más utilizados están:

- Número de ejes y ruedas.
- Peso bruto vehicular.
- Longitud total del vehículo.
- Función principal (pasajeros o carga).
- Configuración del tren de rodaje (simple, tándem, tridem).

2.1.3 Clasificación funcional

Agrupa a los vehículos según su uso en la red vial y el servicio que prestan.

- Vehículos particulares (automóviles, motocicletas).
- Vehículos de transporte público (buses, microbuses).
- Vehículos de transporte de carga (camiones, tráileres).

2.1.4 Clasificación física o dimensional

Agrupa los vehículos con base en sus características **c**onstructivas y geométricas, tales como:

- Tamaño (ligeros, medianos, pesados).
- Número de ejes.
- Longitud y capacidad.

2.1.5 Clasificación por efecto sobre el pavimento

Relaciona el tipo de vehículo con el daño que causa en la estructura del pavimento.

- Se expresa mediante el **Eje Equivalente (ESAL)**, concepto clave en el método AASHTO 93.
- Un camión de 3 ejes produce mayor daño estructural que un automóvil, aunque ambos circulen con la misma frecuencia.

2.1.6 Clasificación operativa

Se utiliza en aforos vehiculares, estudios de capacidad y tránsito urbano.

- Vehículos de pasajeros (automóviles, pick-ups, motocicletas).
- Vehículos de transporte colectivo (buses, microbuses).
- Vehículos de carga (liviana, mediana, pesada).
- Vehículos especiales (tractores, maquinaria).

2.1.7 Transito Promedio Diario Anual (TPDA):

En ingeniería de tránsito, el TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) es la medida fundamental del volumen de vehículos, calculada como el promedio del número total de vehículos que circulan en un punto de una vía durante un año, expresado como un valor diario. Se obtiene mediante aforos puntuales y la aplicación de factores de variación (como los de ejes) para proyectar los volúmenes observados a un promedio anual, sirviendo como base para la planificación, el diseño de infraestructura y la selección de proyectos de transporte. (SIECA , 2011)

2.1.8 Producto Interno Bruto (PIB):

Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador que representa el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de un país en un período determinado, y sirve como medida del crecimiento económico. La ingeniería puede utilizar el concepto de PIB para analizar el impacto y la viabilidad de proyectos, evaluar la rentabilidad de inversiones y entender el contexto macroeconómico en el que operan. (Blanchard, 2012)

2.1.9 Población (POB)

La "población según estadísticas macroeconómicas" se refiere a cómo la población de un país se analiza a través de indicadores económicos agregados, como el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, que divide el PIB entre la población total para medir la riqueza promedio por habitante. (Banco Mundial, 2023)

2.1.10 Tasa de crecimiento

En ingeniería, la tasa de crecimiento es una métrica técnica que mide el cambio porcentual de una variable en un período específico, utilizada para predecir el rendimiento futuro de sistemas, materiales o procesos. Se aplica en diversas áreas como la ingeniería de transporte para estimar el crecimiento del tráfico vehicular, la ingeniería química para analizar el crecimiento de poblaciones o la tasa de reacción, y la ingeniería de sistemas para evaluar el rendimiento y la eficiencia de componentes. (MTI, Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)

2.1.11 Tasa de crecimiento de Transito del TPDA

La tasa de crecimiento del TPDA es el índice porcentual anualizado que expresa la velocidad con que aumenta (o disminuye) el volumen de tránsito en una vía a lo largo de un período específico. (MTI, Anuario de Aforos de Tráfico, 2020)

2.1.12 Tasa de crecimiento de PIB

La tasa de crecimiento del PIB es un indicador macroeconómico que mide el cambio porcentual del valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país en un período determinado, generalmente anual.

2.1.13 Tasa de crecimiento POB

La tasa de crecimiento poblacional mide el ritmo porcentual de variación anual de la población total en un territorio determinado, considerando nacimientos, defunciones y migración neta. (Blanchard, 2012)

2.1.14 Trafico de diseño

Es la demanda acumulada de carga que deberá resistir el pavimento en el carril de diseño durante el período de diseño, expresada como ESAL (Equivalent Single Axle Load) de 18 kip (≈ 80 kN). En la práctica se calcula como la suma, año a año, de las aplicaciones equivalentes de ejes de toda la mezcla vehicular de carga proyectada, ajustada por dirección y distribución de carril.

2.1.15 Periodo de diseño

Es el intervalo de tiempo (en años) para el que se proyecta que el pavimento cumpla su nivel de servicio objetivo antes de requerir una rehabilitación mayor (alcanzar el estado terminal) (Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA, 2002)

2.1.16 Serviciabilidad

Concepto originado en el AASHO Road Test que cuantifica la capacidad de servicio del pavimento percibida por el usuario, en una escala 0–5.

2.1.17 Numero Estructural

Índice empírico de la capacidad estructural requerida de un pavimento flexible en el método AASHTO-93.

2.1.18 Factor equivalencia

Es el factor que convierte el efecto de un eje real (tipo y carga) en un número equivalente de ejes estándar de 18 kip (ESAL). Matemáticamente, es la razón de daño: LEF = (daño del eje considerado) / (daño de un eje simple de 18 kip), con daño definido en el marco AASHO/AASHTO (leyes de daño y parámetros de diseño, incluyendo SN, Pt, tipo de pavimento y configuración de ejes: simple, tándem, trídem, etc.).

2.2 Estudio de suelos

El estudio de suelos (o estudio geotécnico) es el conjunto de actividades de exploración, toma de muestras y ensayos de laboratorio que permiten determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un terreno. Su objetivo fundamental es proporcionar los parámetros técnicos necesarios para el diseño seguro de cimentaciones, garantizando que el suelo pueda soportar las cargas de una estructura sin sufrir deformaciones excesivas o fallas por resistencia. El suelo constituye la capa superficial de la corteza terrestre, caracterizada por su actividad biológica y su evolución como resultado de procesos de meteorización física, química y biológica. Este se forma sobre las rocas expuestas debido a la acción combinada de agentes atmosféricos y organismos vivos, dando lugar a un material heterogéneo con propiedades específicas de interés en diversas ramas de la ingeniería. (Juárez Badillo, 2005)

Propiedades fisico-mecanicas

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad. (Juárez Badillo, 2005)

Estas propiedades de los suelos que constituyen la sub-rasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento.

Para conocer las propiedades de los suelos, es necesario tomar muestras; posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (próctor), Humedad. (ASTM International., 2017)

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- Grava: tamaño menor a 76.2 mm (3”) hasta tamiz No. 10 (2mm)
- Arena gruesa: tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- Arena fina: tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N0. 200 (0.075 mm)

- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm

Las propiedades de plasticidad se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

- Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
- Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo
- Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

2.2.1 Ensayo de sondeos de línea

Los ensayos de sondeos de línea constituyen una técnica de exploración geotécnica empleada en estudios de suelos, cuyo propósito es obtener información directa y representativa de las características físicas, mecánicas y estratigráficas del terreno a lo largo de un trazado lineal de proyecto, tal como carreteras, vías férreas, oleoductos, canales u obras lineales en general.

Se fundamentan en la ejecución sistemática de perforaciones o calicatas dispuestas a intervalos definidos sobre el eje de la obra o en sus márgenes, permitiendo construir un perfil geotécnico longitudinal y transversal del subsuelo. (Juan Herrera Herber, 2012)

2.2.2 Banco de préstamo de Materiales

Un banco de materiales es un depósito natural (terraplenes, canteras, graveras, préstamos de suelo, etc.) destinado a suministrar materiales de construcción para proyectos de ingeniería civil (carreteras, presas, rellenos, cimentaciones, entre otros).

En geotecnia, el ensayo de bancos de materiales consiste en la caracterización físico-mecánica y química de los suelos, arenas, gravas y rocas presentes en dichos bancos, con el fin de determinar su idoneidad, calidad y durabilidad para ser utilizados en obras.

2.2.3 CBR de Diseño

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193.

2.2.4 Subrasante

La Subrasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto. (AASHTO , 93)

2.2.5 Selección de subrasante de diseño

La subrasante de diseño se define como el estrato de suelo natural o mejorado, preparado y compactado, que sirve de apoyo directo al sistema estructural del pavimento.

En un estudio de suelos, la selección de la subrasante de diseño corresponde al proceso de:

1. Identificar el suelo predominante en el área del proyecto (a través de sondeos, calicatas y ensayos).
2. Caracterizarlo en términos de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas (granulometría, límites de Atterberg, CBR, módulo resiliente, etc.).
3. Adoptar un valor de diseño representativo (ejemplo: CBR de diseño o Mr de diseño) que garantice seguridad y economía en la estructura del pavimento.

2.3 Diseño de pavimento

El diseño de pavimentos por el método AASHTO 93 es un procedimiento empírico-mecanicista desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO , 93) cuyo objetivo es determinar los espesores estructurales de las capas de un pavimento flexible o rígido, de manera que éste pueda soportar, durante un período de diseño determinado, el tránsito acumulado expresado en ejes equivalentes de 80 kN (W18), manteniendo un nivel de serviciabilidad aceptable y considerando las condiciones de la subrasante, confiabilidad, variabilidad de materiales y factores de drenaje.

En esencia, el método AASHTO 93 se basa en:

- Tránsito de diseño (W18): número de repeticiones de carga de 80 kN que el pavimento debe resistir.
- Serviciabilidad: pérdida de calidad funcional aceptable en el tiempo (ΔPSI).
- Número estructural (SN): índice que refleja la capacidad de soporte del pavimento y se obtiene de la suma de las contribuciones de cada capa (carpeta, base, subbase).
- Soporte de la subrasante: representado por el módulo resiliente (Mr) o el CBR de diseño.
- Factores de confiabilidad y drenaje: que ajustan el diseño a condiciones reales de servicio.

2.3.1 Carga de ejes equivalentes simples.

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño F=1.

2.3.2 Confiabilidad

La confiabilidad en el diseño de pavimentos se define como la probabilidad de que el sistema estructural se desempeñe de manera satisfactoria durante todo el período de diseño, considerando las condiciones de carga previstas. Esta variable busca introducir un grado de certeza en el proceso de diseño, al incorporar explícitamente las incertidumbres inherentes tanto a la estimación del tránsito futuro como al comportamiento del pavimento ante factores estructurales y ambientales. (AASHTO , 93)

El valor de la confiabilidad está determinado por el nivel de riesgo aceptable, el error estándar combinado y las variaciones aleatorias asociadas a las predicciones de carga y desempeño. De esta manera, se garantiza que las secciones estructurales resultantes del análisis tengan una alta probabilidad de resistir las solicitaciones impuestas por el tráfico y las condiciones ambientales durante, al menos, la vida útil proyectada.

2.3.3 Desviación Estándar

La desviación estándar (So) en el diseño de pavimentos es un parámetro estadístico que representa la variabilidad total asociada a los factores que influyen en la vida útil de un pavimento, incluyendo las incertidumbres en el tránsito proyectado, variabilidad de materiales, condiciones de construcción y comportamiento real del suelo y del pavimento en servicio.

En el método (AASHTO , 93), So se incorpora en la ecuación de diseño como un factor correctivo dentro de la función de confiabilidad (Zr·So), que ajusta la ecuación empírica para garantizar que el pavimento tenga una probabilidad estadística aceptable de cumplir con su vida de diseño.

2.3.4 Serviciabilidad

La Serviciabilidad según el (AASTHO, 93) es una medida cuantitativa del nivel de servicio funcional que un pavimento proporciona a los usuarios a lo largo de su vida útil. Representa el grado de comodidad, seguridad y facilidad de circulación que percibe el usuario de la vía.

Se define en función de dos parámetros:

p_0: serviciabilidad inicial (condición al inicio del pavimento, típica entre 4.2 – 4.5 en pavimentos flexibles).

p_t: serviciabilidad terminal (condición mínima aceptable antes de considerar la rehabilitación, usualmente entre 2.0 – 2.5).

La diferencia $\Delta PSI = p_0 - p_t$ se utiliza en la ecuación de diseño.

2.3.5 Coeficiente de drenaje (m_i)

El coeficiente de drenaje según (AASHTO, Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (3ra edicion), 93) es un factor de ajuste que se aplica al coeficiente estructural de las capas granulares (base y subbase) para representar la influencia del contenido de humedad y la calidad del drenaje en la capacidad estructural del pavimento.

2.3.6 Módulo de Resiliencia (MR)

El módulo de resiliencia es una medida de la respuesta elástica no lineal de los suelos y materiales granulares cuando son sometidos a cargas repetitivas (simulando el paso del tránsito, se expresa en unidades de esfuerzo (MPa o psi).

Representa la relación entre el esfuerzo desviador repetido y la deformación recuperable que experimenta el material.

En AASHTO 93, MR es el parámetro fundamental para caracterizar la subrasante en lugar del CBR.

Valores típicos:

Subrasantes arcillosas blandas: MR = 3,000 – 8,000 psi

Suelos granulares densos: MR = 10,000 – 20,000 psi

2.3.7 Coeficientes de Capa (a_i)

Los coeficientes de capa son factores de equivalencia estructural que representan la capacidad de cada capa del pavimento (carpeta, base, subbase) para contribuir al número estructural total (SN).

Dependen de:

- Tipo de material.
- Calidad de compactación.
- Ensayos de laboratorio y correlaciones con CBR o MR.
- Valores de referencia según AASHTO 93:
- Carpeta asfáltica: a_1 = 0.40 – 0.44
- Base granular: a_2 = 0.14 – 0.18
- Subbase granular: a_3 = 0.11 – 0.14

2.3.8 Número Estructural (SN)

El Número Estructural (SN) constituye uno de los parámetros fundamentales dentro de la metodología de diseño de pavimentos flexibles desarrollada por la (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993), específicamente en el método de diseño presentado en la guía (Diseño de pavimetos AASHTO, 1993). Este parámetro representa de forma integrada la capacidad estructural total que debe poseer la sección del pavimento para resistir las solicitaciones producidas por el tránsito vehicular durante el período de diseño, considerando simultáneamente las condiciones de soporte de la subrasante, la confiabilidad del diseño y la pérdida progresiva de serviciabilidad del pavimento.

CAPITULO III: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

3.1.1 Generalidades del Estudio de Tránsito

El objetivo de los estudios de tráfico es el de obtener a través de métodos sistemáticos de colecta de datos, relativos a los tres elementos fundamentales del tráfico (conductor y peatón), vehículo y vía, aunque hoy en día se debe tomar en consideración el entorno ambiental y su interrelación.

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario (TPD), que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado.

La metodología del estudio de tránsito se desarrollará mediante la recolección y análisis sistemático de información vehicular conforme a los lineamientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua. Inicialmente, se realizará un aforo vehicular manual en el tramo en estudio utilizando el formato oficial de clasificación vehicular del MTI, con el propósito de registrar los volúmenes de tránsito por tipo de vehículo. Posteriormente, se efectuará la revisión y depuración de los registros, verificando la correcta clasificación vehicular. Con la información validada se procederá al procesamiento de datos para determinar parámetros fundamentales del tránsito, tales como el Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDIS), el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), así como la composición y comportamiento vehicular. Seguidamente, se evaluará la dependencia del tramo respecto a estaciones de conteo considerando los registros del Anuario de Tránsito del MTI, lo que permitirá clasificar funcionalmente la vía y estimar la tasa de crecimiento vehicular, el período de diseño y, finalmente, el tráfico de diseño expresado en ejes equivalentes de carga (ESAL), conforme a los criterios metodológicos de la (AASTHO, 93).

Para la elaboración de este capítulo se dividió en las siguientes etapas:

3.1.2 Conteo vehicular

El estudio se llevó a cabo mediante un conteo vehicular manual, con el objetivo de cuantificar el volumen de tránsito que circula durante un período representativo de 12 horas diarias. La recolección de datos se efectuó de forma continua durante siete días consecutivos, comprendidas desde el lunes 7 hasta el domingo 13 de julio del año 2025, en el horario comprendido entre las 06:00 y las 18:00 horas. Esta programación permitió capturar las condiciones de tráfico bajo un régimen de operación considerado como normal. La tipología y clasificación de los vehículos observados se desarrolló conforme a los lineamientos definidos en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte (2020)**,** documento de referencia oficial para la categorización del parque vehicular en Nicaragua. Se utilizó el formato elaborado por los sustentantes del documento mostrado en **Anexos, Tabla 41 pág. IV**

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, (TPDA) así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete, la estación de Conteo vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del conteo y clasificación por tipo de vehículo (12.0 horas) del tramo en estudio se muestran en los anexos. **(Ver Tablas 42-48 pág. IV-VII).**

3.1.2.1. Tipos de vehículos

Para el levantamiento de la información de campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, en nuestro país actualmente hay una gran variedad de vehículos, en total el MTI presenta una clasificación vehicular compuesta por 15 clases de vehículos, por lo que es conveniente agruparlos en cuatro categorías.

a) Motocicletas

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, en esta categoría incluyen scooter, motonetas, motonetas y otros triciclos a motor.

b) Vehículos Livianos

Son los vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, los Automóviles, Camionetas, Pick – Ups y Jeep.

c) Vehículos Pesados de Pasajeros

Son los vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros) y Microbuses Medianos (hasta 25 pasajeros) y los Buses medianos y grandes.

d) Vehículos Pesados de Carga

Son vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres Toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (C2R2), los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos especiales, presenta la Tipología y Descripción Vehicular.

3.1.2.2 Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el diagrama de cargas permisibles. **(Ver Anexo, Tabla 49, Pag VIII).**

3.1.3 Procesamiento de información

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se procesó toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2020.

3.1.3.1 Análisis de la información obtenida

En este proceso se usó los criterios basados en la (Guía AASHTO- 93) para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos en cuanto a la clasificación vehicular.

3.1.4 Recopilación de la información

La selección de la estación de control en la progresiva 0+000 del tramo en este estudio se fundamenta en criterios de representatividad y control del flujo vehicular, ya que este punto permite interceptar la totalidad del tránsito que ingresa a la vía analizada. Asimismo, su ubicación facilita el registro continuo y sin interferencias del flujo vehicular, evitando accesos secundarios que puedan alterar la medición del volumen real. Esta disposición garantiza la captación del 100 % del tránsito circulante, permitiendo obtener datos confiables para el cálculo de parámetros como TPDA y composición vehicular. Dicho criterio es coherente con los lineamientos metodológicos establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua para estudios de tránsito en proyectos viales. **(Ver Figura 1)**

Figura 1. Figura 1. Ubicación del punto de conteo vehicular Est.0+000



Fuente: *Google Earth*

3.1.5 Procesamiento de datos.

La tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo este procesado en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo.

De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de estudio por día y tipo de vehículo.

En la Tabla 2, se muestran los conteos de tránsito diarios, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

3.1.5.1 Resumen del aforo vehicular.

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularán en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular. **Ver Tabla 1** a continuación:

Tabla 1. Resumen de aforo vehicular.

Resumen de Aforo	
AMBOS SENTIDOS	**DIAS**
109	LUNES
118	MARTES
157	MIERCOLES
125	JUEVES
142	VIERNES
147	SABADO
120	DOMINGO

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el conteo de tránsito de 7 días consecutivos desde el lunes hasta el dia domingo 13 de julio de 2025 durante 12 horas en la Est. 0+000 (Inicio del tramo), posteriormente se realizó el consolidado en Microsoft Excel, donde pudimos tener una perspectiva amplia de cómo se comporta el tránsito, obteniendo un **TPDiS de 134 vehículos.**

Para obtener el Tráfico Promedio Diurno Semanal (TPDiS) fue necesario aplicar la **ecuación1**:

$$\mathbf{TPDiS} = \frac{\mathbf{TotalDiurnoSemanal}}{\mathbf{7dias}} \quad \textbf{Ec.1.}$$

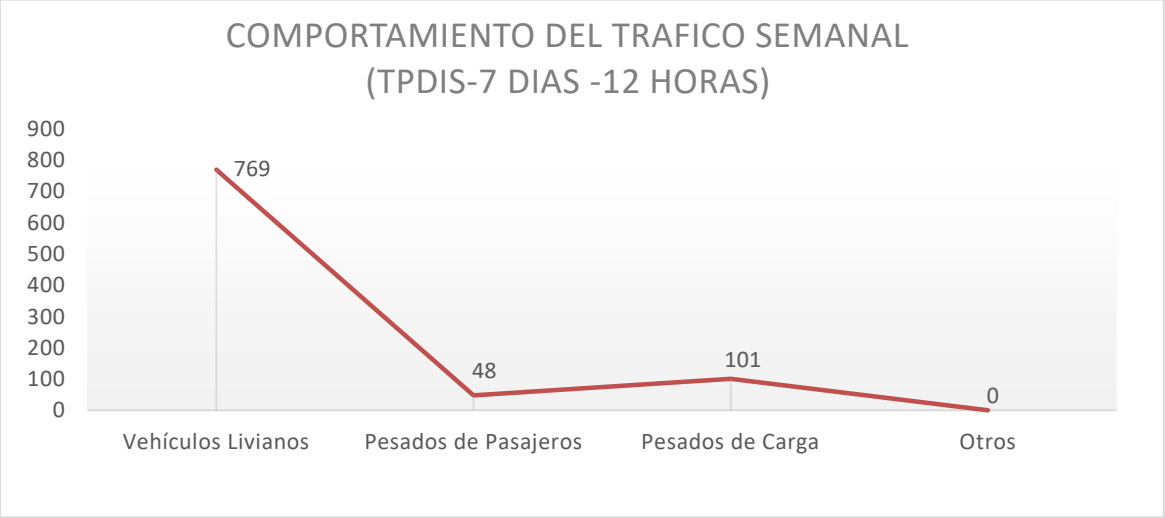
Fuente: Anuario de aforos del MTI 2020

Tabla 2. Tráfico Promedio Diurno Semanal (TPDiS) en Ambos Sentidos

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR Y CALCULO DEL TPDIS. (Transito Promedio Diurno Semanal)												
Estación: (0+000)												
Días	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros	TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
Lunes	40	33	6	14	0	0	6	0	4	6	0	109
Martes	35	37	4	25	0	0	6	0	6	5	0	118
Miércoles	38	34	6	41	0	0	12	7	12	7	0	157
Jueves	44	34	4	23	0	0	6	0	5	9	0	125
Viernes	38	46	7	31	0	0	6	0	5	9	0	142
Sábado	60	40	6	22	0	0	6	0	7	6	0	147
Domingo	36	37	4	24	0	0	6	0	6	7	0	120
Total	291	261	37	180	0	0	48	7	45	49	0	918
TPDIS(Vehículos/12 hrs)	42	38	6	26	0	0	7	1	7	7	0	134
Porcentaje según Tipologia	31.3%	28.4%	4.5%	19.4%	0.0%	0.0%	5.2%	0.7%	5.2%	5.2%	0.0%	100.0%

Fuente: *Elaboración propia*

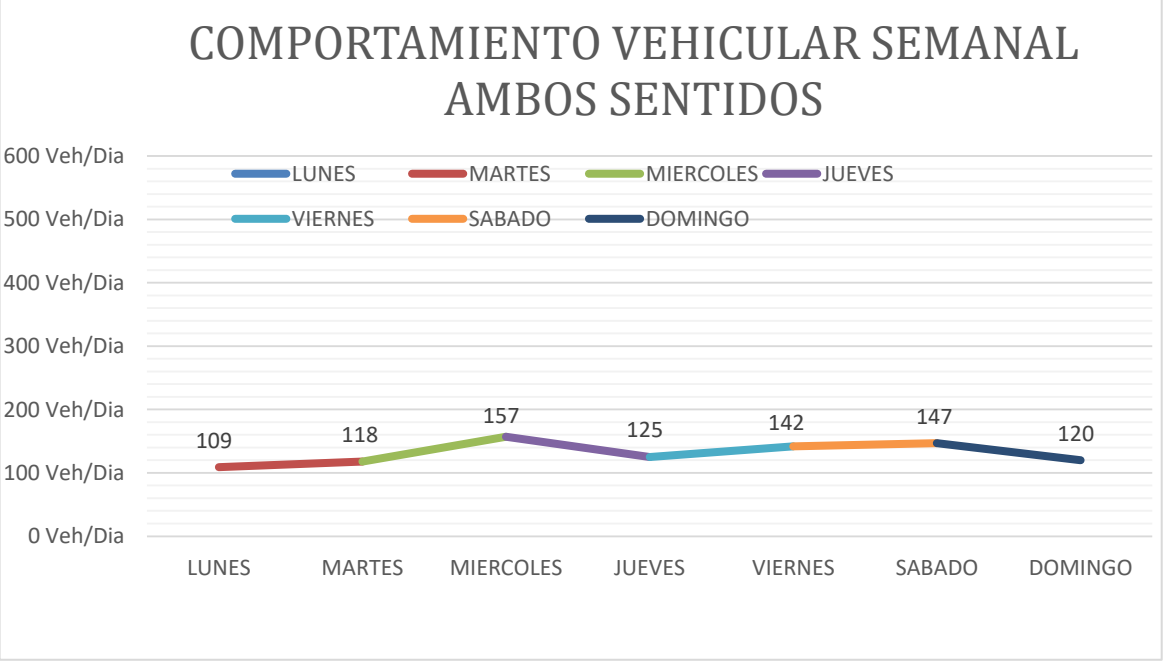
Figura 2. Comportamiento de la Composición del Tránsito Diurno Semanal.



Fuente: *Elaboración propia.*

En la **Figura 2** se observa claramente, el comportamiento del tránsito diurno semanal con respecto a su composición vehicular, predominando en este caso los Vehículos Livianos, seguido de los vehículos pesados de pasajeros luego los vehículos pesados de carga.

Figura 3. Comportamiento de Tránsito Diurno Semanal.



Fuente: *Elaboración propia*

En la **Figura 3** se muestra el comportamiento del tránsito vehicular donde se aprecia que los días de mayor demanda son los días miércoles y sábado manteniendo los demás días un flujo vehicular bastante constante, luego tenemos días de menor demanda, que son lunes y martes. El resto de los días mantienen un tránsito bastante estable de vehículos.

Identificación de vectores de correspondencia.

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

- Vector Geográfico – R

- Volumen Total del Tráfico – V

En la **Tabla 3**, se muestra la clasificación del vector geográfico para el tramo en estudio Entrada al Guayacán hacia comunidad Yaule Arriba, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Matagalpa.

Tabla 3. Vectores Geográficos

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

Fuente: *Elaboración propia*

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

Dependencia y Selección de Estaciones según MTI

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2020 pág. 9 se debe seleccionar la estación de mayor cobertura correspondiente, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presente mayor grado de similitud posible. Para el tramo en estudio se consideró la selección de estación de corta duración ECD 903, Matagalpa-Emp. San Francisco, (**Ver Tabla 4**) la cual se encuentra al norte de la ciudad y se selecciona por ser la estación que tiene mayor similitud en cuanto a su composición vehicular, además por que pertenece al mismo vector geográfico, también tiene dependencia de la estación de mayor cobertura EMC 1802 San Marcos-Masatepe. **Ver Tabla 5**

Tabla 4. Datos Históricos de ECD 903: Matagalpa - Emp San Francisco.

56	MC-5	903	ECD	Matagalpa - Emp. San Francisco	2020	2551	866	294	1679	80	11	253	304	192	57		52			3	1	10	6.353
					2019	2493	807	307	1792	94	15	280	217	278	48		27					6	6.365
					2013	615	440	247	1264	46	6	269	169	213	33		46					4	3.352
					2011	654	340	190	1075	48	15	246	147	203	39		39					6	3.002
					2009	553	224	178	768	35		238	113	204	17		6					2	2.337
					2007	325	177	218	761	54	2	270	107	206	6		7					4	2.137
					2003	191	96	191	610	4	16	159	68	149	12		6					2	1.503
					2001	223	76	245	755	4	7	220	87	171	10		14					3	1.815
					1999	109	95	259	854	1	28	172	80	260	21		28					4	1.912
					1997	140	69	236	663	3	50	121	56	185	32	1	11			1	1	2	1.570
					1996	96	185	185	663	8	25	102	61	136	34	1	4		1	3	1	5	1.510
				EMC:1802																			
				Tasa Crecimiento: 6.74%	2020	2551	866	294	1679	80	11	253	304	192	57		52			3	1	10	6.353
						Liv.	5390			Pasaj.	344		Pesado				619						
						85%				5%			10%										

Fuente: *Anuario de aforos del MTI, pag 121.*

Tabla 5. Dependencia de Estación de Mayor Cobertura San Marcos-Masatepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-1	113	ECD	Somoto - El Espino
	NIC-2	207	ECD	Rivas - La Virgen
	NIC-2	208	ECD	La Virgen - Peñas Blancas
	NIC-3	302	ECD	Matagalpa - El Arenal
	NIC-3	302 A	ECD	El Arenal - Jinotega
	NIC-3	303	ECD	Llano La Cruz - Emp.San Gabriel
	NIC-3	304	ECD	Emp.San Gabriel - San Rafael del Norte
	NIC-3	305	ECS	San Rafael del Norte - San Sebastián de Yali
	NIC-3	306	ECS	San Sebastián de Yali - El Tule
	NIC-3	307	ECS	El Tule - Condega (Inter Nic-1)
	NIC-4C	434	ECD	Rotonda Buena Vista - La Poma
	NIC-5	903	ECD	Matagalpa - Emp. San Francisco
	NIC-5	501	ECD	Emp. San Francisco - Santa Emilia

Fuente: *Anuario de aforos del MTI, pag 52.*

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores correspondientes a esta estación en la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual del tramo en estudio.

Dado que el aforo vehicular para el tramo en estudio fue realizado en el mes de julio durante una semana y 12 horas diurnas se dispuso a expandir el transito promedio diurno haciendo uso de los factores de ajuste de la estación de mayor cobertura EMC 1802 San Marcos-Masatepe del segundo cuatrimestre (Mayo-Agosto).

El Transito Promedio Diario Anual (TPDA) fue calculado mediante los factores de ajuste; factor día puesto que nuestro aforo fue realizado durante 12 horas y se necesita pasarlo a 24 horas y el factor expansión para pasar tráfico promedio diario anual (TPDA). **(Ver Tabla 6 a continuación)**

Tabla 6. Factores de Ajuste Utilizados Estación No. 1802(mayo - agosto)

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,37	1,33	1,19	1,24	1,28	1,25	1,36	1,20	1,26	1,20	1,00	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09
Factor Semana	0,98	1,06	1,10	1,03	0,94	0,91	0,89	0,92	0,85	0,88	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
Factor Fin de Semana	1,05	0,87	0,81	0,93	1,19	1,33	1,43	1,30	1,78	1,51	1,00	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,82
Factor Expansión a TPDA	1,02	0,99	0,95	1,00	1,02	0,89	1,01	0,97	1,01	1,01	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66

Fuente: *Anuario de Aforos de Tráfico, MTI (Año 2020).Pág. 385*

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 2**:

$$\mathbf{TPDA} = \boldsymbol{TP(D) * FD * Factor\ de\ Expansion} \qquad \underline{\textbf{Ec.2}}$$

Donde:

$\boldsymbol{TP(D)}$:Tráfico promedio diurno 12 horas.

FD: Factor día.

Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste

Factor / Tipo de Vehiculo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros	Total
	Moto	Autos	Jeep	Cta	Micbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
TPDS	42	38	6	26	0	0	7	1	7	7	0	134
FACTOR DIA	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	1.09	13.77
FACTOR EXPANSION	1.02	0.99	0.95	1	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	0.66	10.53
TPDA	59	51	7	33	0	0	10	2	9	9	0	180
% TPDA	32.8%	28.3%	3.9%	18.3%	0.0%	0.0%	5.6%	1.1%	5.0%	5.0%	0.0%	100.0%
	LIV	150			PASAJ	10		PESADO	20			
		83.3%				5.6%			11.1%			

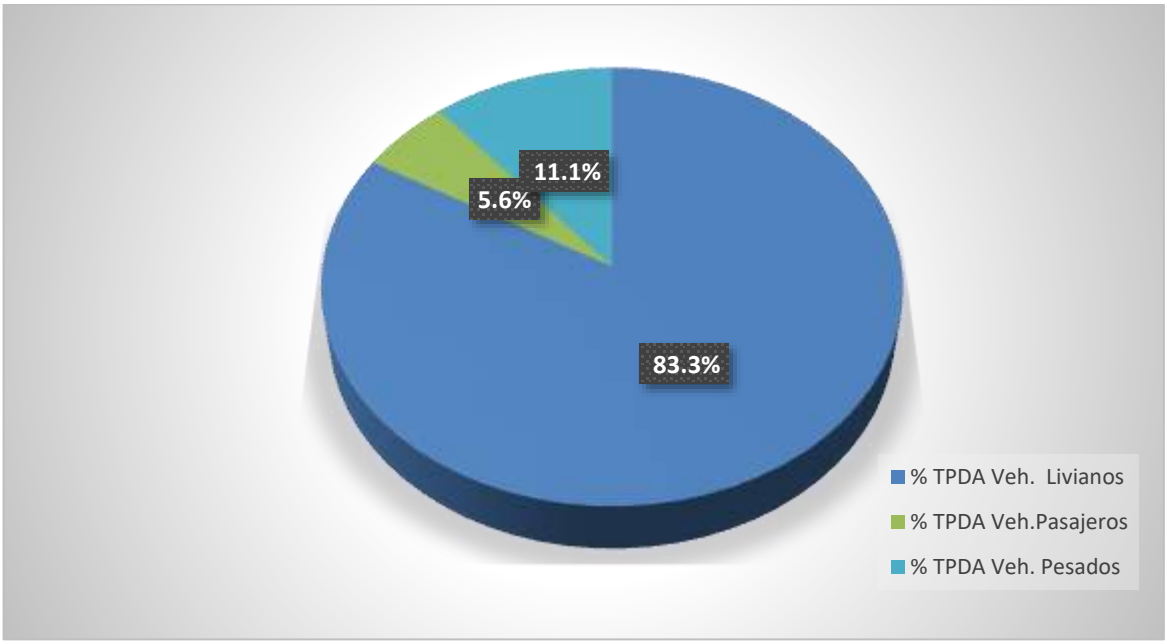
Fuente: *Elaboración propia*

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) según los resultados obtenidos correspondiente al tramo de estudio resulta de **180** vehículos por día.

3.1.6 Composición Vehicular.

A partir de los resultados obtenidos de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera: vehículos livianos **83.3%**, vehículos de pasajeros 5.6% y vehículos pesados con el 11.1% **(Ver Figura 4 a continuación)**

Figura 4. Composición Vehicular del Tránsito Diario Anual (TPDA).



Fuente: *Elaboración propia*

La composición vehicular de TPDA del tramo en estudio presenta similitud con los porcentajes de vehículos livianos, vehículos de pasajeros y vehículos pesados con la estación de corta duración ECD 903 Matagalpa - Emp.San Francisco (Ver Tabla 7, pág. 29).

3.1.6.1 Determinación de tasas de crecimiento

Para determinar las tasas de crecimiento vehicular para el tramo en estudio, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” y el producto interno bruto “PIB”, así como con la población “POB”, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB) y Población (POB) **(Ver Tabla 8),** donde se aprecia el comportamiento desde el año 2010 al año 2022.

Para el cálculo de la tasa de crecimiento de TPDA, referir a estación de corta duración ECD 903 Matagalpa – Emp. San Francisco, teniendo en cuenta la metodología de trabajo indicada en el anuario de aforos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI, Anuario de Aforos de Tráfico, 2020), se calculó la tasa de crecimiento acorde al tramo tomando en cuenta sus datos históricos desde el año 2001 hasta el año 2020 considerando periodos interanuales, una vez identificados y seleccionados los datos a procesar se realizó el cálculo de tasa de crecimiento haciendo uso de la **ecuación 3** y para PIB y POB se utilizó le **ecuación 4** para el cálculo de tasas con periodos anuales.

Tabla 8. Registros históricos del PIB, TPDA y Población

AÑO	TPDA (Anuario 2020)	PIB (Miles $)	POB (miles)
2010		8,758.6	5,815.5
2011	3,002	9,774.3	5,996.6
2012		10,532.5	6,071.0
2013	3,352	10,983.0	6,134.3
2014		11,880.4	6,198.2
2015		12,756.7	6,262.7
2016		13,286.0	6,327.9
2017		13,786.8	6,393.8
2018		13,025.2	6,460.4
2019	6,365	12,699.0	6,527.7
2020	6,353	12,678.2	6,595.7
2021		14,145.9	6,664.4
2022		15,671.6	6,733.8

Fuente: *Banco Central de Nicaragua (año 2022) y Anuario de Aforos MTI-2020*

3.1.6.2 Tasas de crecimiento.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de estas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas a la vía en estudio.

Las tasas de crecimiento para TPDA de tipo interanual o descontinuo se calcularon usando la **ecuación 3:**

$$\mathbf{TC} = \left[\left(\frac{(TPDA_n)}{TPDA_{n-1}}\right)^{1/n}\right] \quad \textbf{Ec.3}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento. **n:** Año actual. **Año n– 1:** Año anterior

Las tasas de crecimiento de PIB y POB se calcularon aplicando ecuación de periodos anuales o consecutivos, mostrada a continuación:

$$\mathbf{TC} = \left[\left(\frac{(PIB,POB)i}{(PIB,POB)o}\right)^{1/n} - 1\right] * 100 \quad \textbf{Ec.4}$$

TC: Tasa de crecimiento.

i: Año Actual.

o: Año actual del año base.

3.1.6.3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 13 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2010 al año 2022.

El PIB promedio de 12,306 Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 3.07%, calculada aplicando la **ecuación 4**. **Ver Tabla 9** a continuación**.**

Tabla 9. Datos Históricos del PIB

AÑO	PIB (Miles $)	T.C
2010	8,458.6	1.12
2011	9,774.3	1.08
2012	10,532.5	1.04
2013	10,983.0	1.08
2014	11,880.4	1.07
2015	12,756.7	1.04
2016	13,286.0	1.04
2017	13,786.8	0.94
2018	13,025.2	0.97
2019	12,699.0	1.00
2020	12,678.2	1.12
2021	14,145.9	1.11
2022	15,671.6	1.12
Promedio	**12,306**	**3.07%**

Fuente: *Banco Central –Indicadores Económicos 2022, pág. 8.*

3.1.6.4 Análisis de Población (POB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del POB de los últimos 13 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2010 al año 2022, la POB promedio es de **6321.7** Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de **1.13%,** calculada aplicando la **ecuación 4.** A continuación **(Ver Tabla 10).**

Tabla 10. Datos Históricos del POB

AÑO	POB	T.C
2010	5,815.5	1.03
2011	5,996.6	1.01
2012	6,071.0	1.01
2013	6,134.3	1.01
2014	6,198.2	1.01
2015	6,262.7	1.01
2016	6,327.9	1.01
2017	6,393.8	1.01
2018	6,460.4	1.01
2019	6,527.7	1.01
2020	6,595.7	1.01
2021	6,664.4	1.01
2022	6,733.8	1.03
Promedio	**6321.7**	**1.13%**

Fuente: *Banco Central – Indicadores Económicos 2022, pág. 8.*

3.1.6.5 Análisis de la información obtenida.

A partir de estas series históricas obtenidas de anuario de aforos del MTI en su edición 2020 y de anuario de indicadores macroeconómicos del BCN 2022, se procede a calcular las tasas de crecimiento de TPDA ECD 903 aplicando la **ecuación 3.**

Al aplicar las expresiones matemáticas antes mencionadas podemos calcular las tasas de crecimiento para el Transito Promedio Diario Anual, Producto Interno Bruto y Población para posteriormente realizar un consolidado de las mismas. **(Ver Tabla 11)**

Tabla 11. Cálculo de tasa de crecimiento de tipo interanual para la ECD 903

ESTACION ECD 903 (Matagalpa-Emp. San Francisco)				
TPDA ECD 903				
AÑO	**TPDA**	**TCA**	**Periodo**	**Tasa de crecimiento Interanual**
2001	1815.0			
2003	1503.0	-17.19%	2001-2003	-9.000%
2007	2137.0	42.18%	2003-2007	9.197%
2009	2337.0	9.36%	2007-2009	4.575%
2011	3002.0	28.46%	2009-2011	13.338%
2013	3352.0	11.66%	2013-2013	5.669%
2019	6365.0	89.89%	2013-2019	11.280%
2020	6353.0	-0.19%	2019-2020	-0.189%
TASA DE CRECIMIENTO				***6.48%***

Fuente: Elaboración propia.

Calculo manual de tasa de crecimiento de tipo interanual, mediante la aplicación de la ecuación 3.

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{1503}{1815}\right)^{1/2003-2001} - 1\right] * 100 = \mathbf{-9.00\%}$$

Fuente: Anuario de aforos del MTI 2020

En esta sección se calculó en Microsoft Excel los diferentes valores de tasas de crecimiento de tipo interanual considerando los periodos que existen entre el año en análisis y el año anterior, así mismo para el cálculo de la tasa de crecimiento

final se consideraron solamente tasas menores al 10% y de signo positivo, esto con el propósito de obtener una tasa de crecimiento acorde al tramo en estudio.

3.1.6.6 Consolidado de tasas de crecimiento.

A continuación, se realizó en consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB).

Tabla 12. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB)

TPDA ECD 903	PIB	POB
TC= 6.48%	**TC=3.07%**	**TC=1.13%**
PROMEDIO		
TASA DE CRECIMIENTO TC= 3.56%		

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron tres tasas de crecimiento sin embargo ninguna de las tres se ajusta para la proyección del tránsito en el tramo de estudio, por lo que se decidió realizar un promedio más acorde, considerando el promedio histórico del TPDA ECD 903, PIB y POB, obteniéndose una **tasa de crecimiento general de 3.56%.**

3.1.7 Tráfico de diseño.

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se utilizó un tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos.

Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor carril (fc). Se calcula mediante la siguiente **Ecuación 5:**

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad \textbf{Ec.5}$$

Fuente: Anuario de aforos del MTI 2020

Donde:

TD: Tránsito de Diseño **TPDA:** Tránsito Promedio Diario Anual

FC: Factor de Crecimiento **FD:** Factor de Distribución **Fc:** Factor carril

3.1.7.1 Proyección de Transito (PD).

Acorde a las características del tramo en estudio, la clasificación funcional de la carretera corresponde a una local rural (**Ver Tabla 15, pág. 38**). Esto se debe a que el TPD al año final de diseño fue de 462 vehículos (**Ver Tabla 13**), por lo tanto, cabe en el rango de 100 – 500 vehículos por año.

Tabla 13. Proyección de TPD según periodo de diseño.

Proyecciones de TPDA Ent El Guayacán - Comunidad Yaule Arriba		
Lista	Años Proyectados	TPD Proyectado
1	TPDA2027	192
2	TPDA2028	204
3	TPDA2029	217
4	TPDA2030	231
5	TPDA2031	246
6	TPDA2032	262
7	TPDA2033	279
8	TPDA2034	297
9	TPDA2035	317
10	TPDA2036	337
11	TPDA2037	359
12	TPDA2038	382
13	TPDA2039	407
14	TPDA2040	434
15	TPDA2041	462

Fuente: *Elaboración propia.*

Permitiendo posteriormente, seleccionar un valor de 15 años en el periodo de diseño, según lo que se observa en la tabla 14 mostrada a continuación:

Tabla 14. Período de Diseño.

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-urbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, SIECA 2002, cap. 7, pág. 3.*

Tabla 15. Clasificación funcional de la carretera según Ministerio de Transporte e Infraestructura

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	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

(1) Con excepción de la clase RURAL que será de terracería, todas las demás clases deberán de ser pavimentadas. Las Clases CR, CU y LR también podrán ser pavimentadas o de terracería.
AA=Autopista; AR=Arterial Rural; AU=Arterial Urbana; AMR=Arterial Menor Rural; AMU=Arterial Menor Urbana; CMR=Colector Mayor Rural; CMU= Colector Mayor Urbana; CR=Colector Menor Rural; CU=Colector Menor Urbana; LR=Local Rural; LU=Local Urbano; R=Rural.

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, SIECA 2002, cap. 7, pág. 3.*

3.1.7.2 Factor de Crecimiento.

(FC): Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente **Ecuación 6:**

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \textbf{Ec. 6}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento. i: Tasa anual de Crecimiento. n: Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1 + 0.0356)^{15} - 1}{0.0356} = \mathbf{19.39}$$

3.1.7.3 Factor Distribución por Dirección (FD).

Este valor se pude deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 ya que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos, aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. **(Ver Tabla 16)**

Tabla 16. Factor de Distribución por Dirección.

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

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, SIECA 2002, cap. 7, pág. 22.*

Identificamos el factor de distribución por dirección a usarse para nuestro diseño que es de; **0.50** por tener 2 carriles en diferentes direcciones.

3.1.7.4 Factor Distribución Por Carril (FC).

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). **En la Tabla 17** que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

Tabla 17. Factor Distribución por Carril.

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

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 54.*

El factor de distribución por carril a usarse es 1.00.

3.1.7.5 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).

El índice de Serviciabilidad inicial (P0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. según el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002). Capítulo 3 Pág. 4. El valor de **Po= 4.2** para pavimentos flexibles

3.1.7.6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).

Para vías de tránsito menor tales como: locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de pt = 1.8– 2.0 según el Manual centroamericano para el diseño de Pavimentos (SIECA 2002). Capítulo 3 Pág. 4. En este caso se decidió tomar el valor de **Pt=2.0.**

3.1.7.7 Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI).

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente **Ecuación–7:**

$$\Delta PSI = Po - Pt \qquad \text{Ec.7}$$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado del de estudio se trabajó con un valor de:

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

3.1.7.8 Número estructural asumido (SN).

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este Diseño seleccionamos el valor **SN=5.**

3.1.7.9 Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final **(Pt=2.0),** el número estructural asumido **(SN=5)** y los pesos (se encuentran en Kips), los factores de equivalencia se obtienen en la **Tabla 21.**

Si los factores de equivalencia de cargas en los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de interpolar dichos valores.

3.1.8 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

Este se obtiene conociendo el Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (FESAL). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\mathbf{T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365} \quad \textbf{Ec.8}$$

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación de los Ejes equivalente (ESAL), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la siguiente**:**

$$\textbf{ESAL o W18= TD*FESAL} \quad \textbf{Ec.9}$$

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación del Tránsito de Diseño (TD), tal como se muestra en la **Tabla 18.**

Tabla 18. Tránsito de Diseño.

Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL´S							
Tipo de vehículos	**Tránsito Actual (2026)**	**F.C.**	**Días del año**	**Tránsito de diseño**	**Factor por carril(Fc)**	**Factor de Dirección (Fs)**	**Tránsito para el carril de diseño**
Autos	51.00	**19.39**	365	360,944.85	0.50	1.00	180,472.43
Jeep	7.00	**19.39**	365	49,541.45	0.50	1.00	24,770.73
Camionetas	33.00	**19.39**	365	233,552.55	0.50	1.00	116,776.28
McBus<15 pas	0.00	**19.39**	365	0.00	0.50	1.00	0.00
MnBus 15-30 pas	0.00	**19.39**	365	0.00	0.50	1.00	0.00
Bus	10.00	**19.39**	365	70,773.50	0.50	1.00	35,386.75
C2 liv	2.00	**19.39**	365	14,154.70	0.50	1.00	7,077.35
C2 5 +ton	9.00	**19.39**	365	63,696.15	0.50	1.00	31,848.08
C3	9.00	**19.39**	365	63,696.15	0.50	1.00	31,848.08
Total							**428,179.675**

Fuente: *Elaboración propia.*

Una vez conocido el tránsito de Diseño, se procede a realizar el cálculo **ESAL´S** del Carril de Diseño, como en algunos casos el peso por eje Kips no está dado en la tabla factores Equivalentes de Cargas Ejes Simples, y Ejes tándem se deberá interpolar el valor exacto utilizando la siguiente formula:

$$x = \frac{a*(d-e)+b*(c-d)}{c-e} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

a, b: Factores de ejes equivalentes conocidos

x: Factor de eje equivalente a calcular

c, e: Carga por ejes conocidos

d: Carga por eje a calcular

Tabla 19. Factores de ejes Kips a Interpolar.

FACTORES DE EJES KIPS	
Ejes Sencillos	**Ejes Dobles**
2.2, 4.4, 8.8, 11, 17.6	**36.30**

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 20. Calculo manual de Interpolaciones de factores de ejes KIPS

$\boldsymbol{a_6} = 0.0002$ $\boldsymbol{b_8} = 0.002$ $\boldsymbol{c_2} = 2$ $\boldsymbol{e_4} = 4$ $\boldsymbol{x_{2.2}} = ?$ $\mathbf{d} = 2.2$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{2.2}} = \mathbf{0.00038}$	$\boldsymbol{a_4} = 0.002$ $\boldsymbol{b_6} = 0.009$ $\boldsymbol{c_2} = 4$ $\boldsymbol{e_4} = 6$ $\boldsymbol{x_{4.4}} = ?$ $\mathbf{d} = 4.4$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{4.4}} = \mathbf{0.0034}$
$\boldsymbol{a_8} = 0.031$ $\boldsymbol{b_{10}} = 0.79$ $\boldsymbol{c_8} = 8$ $\boldsymbol{e_{10}} = 10$ $\boldsymbol{x_{8.8}} = ?$ $\mathbf{d} = 8.8$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{8.8}} = \mathbf{0.0502}$	$\boldsymbol{a_{10}} = 0.79$ $\boldsymbol{b_{12}} = 0.174$ $\boldsymbol{c_{10}} = 10$ $\boldsymbol{e_{12}} = 12$ $\boldsymbol{x_{11}} = ?$ $\mathbf{d} = 11$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{11}} = \mathbf{0.1265}$
$\boldsymbol{a_{16}} = 0.0002$ $\boldsymbol{b_{18}} = 0.002$ $\boldsymbol{c_{16}} = 16$ $\boldsymbol{e_{18}} = 18$ $\boldsymbol{x_{17.6}} = ?$ $\mathbf{d} = 17.6$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{17.6}} = \mathbf{0.9206}$	$\boldsymbol{a_{36}} = 1.38$ $\boldsymbol{b_{38}} = 1.73$ $\boldsymbol{c_{36}} = 36$ $\boldsymbol{e_{38}} = 38$ $\boldsymbol{x_{36.3}} = ?$ $\mathbf{d} = 36.3$ $X = \frac{a(d-e)+b(c-d)}{c-e}$ $\boldsymbol{x_{36.3}} = \mathbf{1.4325}$

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 21. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem

Factores de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt = 2.0							
Cargas por eje			SN	pulg	(mm)		
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	**5.0 (127.0)**	6.0 (152.4)
2.00	8.90	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
2.20	**9.78**					**0.00038**	
4.00	17.80	0.0020	0.0030	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
4.40	**19.57**					**0.0034**	
6.00	26.70	0.0090	0.0120	0.0110	0.1000	0.0090	0.0090
8.00	35.60	0.0300	0.0350	0.0360	0.0330	0.0310	0.0290
8.80	**39.14**					**0.0502**	
10.00	44.50	0.7500	0.0850	0.0900	0.0850	0.7900	0.0760
11.00	**48.93**					**0.1265**	
12.00	53.40	0.1650	0.1770	0.1890	0.1830	0.1740	0.1680
14.00	62.30	0.3250	0.3380	0.3540	0.3500	0.3380	0.3310
16.00	71.20	0.5890	0.5890	0.6130	0.6120	0.6030	0.5960
17.60	**78.29**					**0.9206**	
18.00	80.10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20.00	89.00	1.6100	1.5900	1.5600	1.5500	1.5700	1.5900
22.00	97.90	2.4900	2.4400	2.3500	2.3100	2.3500	2.4100
24.00	106.80	3.7100	3.6200	3.4300	3.3300	3.4000	3.5100
26.00	115.70	5.3600	5.2100	4.8800	4.6800	4.7700	4.9600
28.00	124.60	7.5400	7.3100	6.7800	6.4200	6.5200	6.8300
30.00	133.50	10.4000	10.0000	9.2000	8.6000	8.7000	9.2000
32.00	142.40	14.0000	13.5000	12.4000	11.5000	11.5000	12.1000
34.00	151.30	18.5000	17.9000	16.3000	15.0000	14.9000	15.6000
36.00	160.20	24.2000	23.3000	21.2000	19.3000	19.0000	19.9000
38.00	169.10	31.1000	29.9000	27.1000	24.6000	24.0000	25.1000
40.00	178.00	39.6000	38.0000	34.3000	30.9000	30.0000	31.2000
42.00	186.90	49.7000	47.7000	43.0000	38.6000	37.2000	38.5000
44.00	195.80	61.8000	59.3000	53.4000	47.6000	45.7000	47.1000
46.00	204.70	76.1000	73.0000	65.6000	58.3000	55.7000	57.0000
48.00	213.60	92.9000	89.1000	80.0000	70.9000	67.3000	68.6000
50.00	222.50	113.0000	108.0000	97.0000	86.0000	81.0000	82.0000

Fuente: *Manual AASHTO-93 Design Requirements.*

Las celdas sombreadas en color negro son valores a interpolar, en función a SN= 5.

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la **Ecuación 10** para el cálculo de ESAL´S.

Tabla 22. Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño.

Cálculo ESAL´S del carril de diseño Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0								
Tipo de vehiculos	Peso X eje (Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	TPDA. 2026	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	51.00	180,472.43	180,473.00	0.00038	69
	1.00	2.20	Simple				0.00038	69
Jeep	1.00	2.20	Simple	7.00	24,770.73	24,771.00	0.00038	9
	1.00	2.20	Simple				0.00038	9
Camionetas	1.00	2.20	Simple	33.00	116,776.28	116,776.00	0.00038	44
	2.00	4.40	Simple				0.0034	397
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	0.00	0.00	0.00	0.0034	0
	4.00	8.80	Simple				0.0502	0
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	0.00	0.00	0.00	0.0502	0
	8.00	17.60	Simple				0.9206	0
Bus	5.00	11.00	Simple	10.00	35,386.75	35,387.00	0.1265	4476
	10.00	22.00	Simple				2.35	83159
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	2.00	7,077.35	7,077.00	0.0502	355
	8.00	17.60	Simple				0.9206	6515
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	9.00	31,848.08	31,848.00	0.1265	4029
	10.00	22.00	Simple				2.35	74843
C3	5.00	11.00	Simple	9.00	31,848.08	31,848.00	0.1265	4029
	16.50	36.30	Doble				1.43	45543
Total ESAL´S de Diseño(W18)								223,546.00
								2.24E+05

Fuente: *Elaboración propia.*

Obteniendo un valor ESAL's de **223,546.00 equivalente = 2.24E+05**

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también "eje estándar", el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 lb.) y representará el carril de diseño.

3.2.1 Generalidades del Estudio de Suelos

El estudio de suelos aporta algunos de los parámetros de diseño necesarios para la estructuración adecuada de una vía de comunicación terrestre. Este nos proporciona las características de los materiales existentes en la vía y los bancos de materiales a utilizarse, por lo que se convierte en una de las referencias más importantes en la determinación de los espesores de pavimento. Los ensayos de laboratorio y caracterización física mecánica de los suelos fueron proporcionados por la Alcaldía de Matagalpa.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **"DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL METODO AASHTO 93 DE 2.30KM DEL TRAMO ENTRADA A EL GUAYACAN HACIA COMUNIDAD YAULE ARIBA, MUNICIPIO DE MATAGALPA, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA".** Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas; Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por la **Alcaldía de Matagalpa y realizados por DYSCONCSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad S.A).**

Trabajo de Campo

Los resultados de laboratorio suministrados por DYSCONCSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad); contratado por la alcaldía municipal de Matagalpa, se ubicaron de forma alterna en el centro, derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma de las calles.

Los sondeos consistieron en perforaciones manuales, con dimensiones aproximadas de 1m x 1m x 1.50m, de profundidad, con un espaciamiento aproximado entre sondeos de 250m esto con el propósito de recopilar información suficiente y no menospreciar ningún detalle de sus características físicas y mecánicas, se realizaron nueve (9) sondeos con la recuperación de veinte y seis (26) muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas.

Tabla 23. Sondeos efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación
Coordenadas 12°55'31.93"N 86° 0'0.79"O **Entrada El Guayacán**	S - 1	0 + 000
	S - 2	0 + 250
	S - 3	0 + 500
	S - 4	0 + 750
	S - 5	1 + 000
	S - 6	1 + 1250
	S - 7	1 + 500
	S - 8	1 + 750
	S - 9	2 + 000

Fuente: Alcaldía de Matagalpa / DYSCONSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad S.A)

Todos los ensayos se realizaron 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), Granulometria, Limites de Atterberg (Limite líquido e índice plástico) y Densidad (Próctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 24. Tipos de ensayos para estudio de suelos

Ensayo	Especificación AASHTO
Granulometría	T – 2788
Límite Líquido	T –8990 y 9087
Índice de Plasticidad	T – 9097
Ensayo Próctor Modificado	T – 180 – 90
Ensayo CBR.	T – 193 – 81

Fuente: *AASHTO, Tercera Edición. Año 2003. Páginas 53-85.*

3.2.2 Ensayos de suelos en línea

Según los estudios de suelos se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 250 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 2+000. **Ver en Anexos, Tabla 56.**

Se efectuaron 9 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 26 muestras inalteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

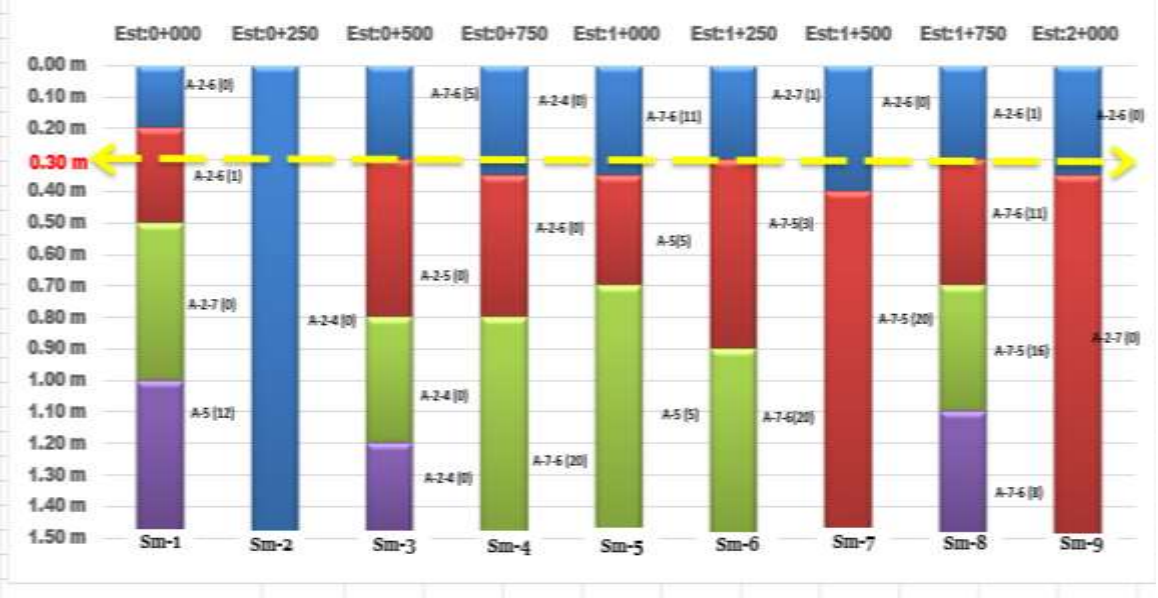
3.2.2.1 Resultados de ensayes a muestras de sondeos de línea

A continuación, se muestra el tipo de suelo que predomina en cada uno de los tramos en estudio, según los resultados de clasificación obtenidos en los sondeos manuales realizados para cada caso**. Ver Figura 5.**

Se encontraron suelos superficiales con un promedio de 30 cm y hasta el final de los sondeos de 1.50 m de profundidad, existen principalmente suelos gravo areno-limoso con clasificación HRB de **A-2-4 (0)**, con CBR de 21% al 95% Proctor, como también existen suelos tipo A-2-5 (0), A-2-6 (0), A-7-6(5) y A-7-6(11). En su mayoría con coloración café.

A continuación, se muestra estratigrafía de suelos con el propósito de describir los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Figura 5. Estratigrafía de suelos del sitio.



Fuente: *Alcaldía de Matagalpa / DYSCONSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad S.A)*

La línea descontinua de color amarillo indica el corte o descapote realizado en el sitio en estudio a una profundidad de 0.30m con el propósito de conservar los suelos de buena o regular calidad (A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7), que predominan en la superficie del terreno natural, de lo contrario, si se corta más de lo indicado, se estará en contacto y prevalecerán los suelos de mala calidad, siendo de gran impacto económico para el proyecto.

- **Sondeo SM-1**

Estrato 1 (0.00–0.50 m): Se identificó un material granular clasificado como grava con arena arcillosa, con buena graduación. Según la clasificación AASHTO, corresponde al grupo A-2-6, el cual es considerado como adecuado para subrasante debido a sus buenas propiedades de soporte y drenaje.

Estrato 2 (0.50–1.00 m): Se presenta una grava con arena limosa, clasificada como A-2-7, también apta para subrasante, aunque con mayores contenidos finos, lo que podría influir en su comportamiento hidráulico.

Estrato 3 (1.00–1.50 m): Se observa un suelo de baja calidad con características limo-arcillosas, clasificado como A-5. Este grupo presenta alta plasticidad y pobre capacidad portante, por lo cual no se recomienda su utilización directa como subrasante.

- **Sondeo SM-2**

Estrato único (0.00–1.50 m): Se encontró una grava con arena limosa bien graduada, clasificada como A-2-4. Este material ofrece excelentes características para subrasante, por su combinación de partículas gruesas con bajos contenidos de finos plásticos.

- **Sondeo SM-3**

Estrato 1 (0.00–0.30 m): Limo con arcilla arcillosa de mala graduación, clasificado como A-7-6, lo que indica un suelo de baja calidad geotécnica con alta plasticidad y susceptibilidad a cambios volumétricos.

Estrato 2 (0.30–0.80 m): Grava arenosa con finos (limosos y arcillosos), clasificado como A-2-5, apto para uso en subrasante con buen comportamiento mecánico.

Estrato 3 (0.80–1.50 m): Se reporta un suelo similar al anterior, clasificado como A-2-4, con excelente desempeño como subrasante por su buena resistencia y drenaje.

- **Sondeo SM-4**

Estrato 1 (0.00–0.35 m): Grava con arena y finos no plásticos (A-2-4), con características favorables como subrasante.

Estrato 2 (0.35–0.80 m): Grava con arena arcillosa bien graduada (A-2-6), también adecuado como subrasante.

Estrato 3 (0.80–1.50 m): Limo con arcilla de mala graduación clasificado como A-7-6, poco recomendable para uso estructural por su baja resistencia y alta compresibilidad.

- **Sondeo SM-5**

Estrato 1 (0.00–0.35 m): Suelo limoso con arcilla (A-7-6), de muy mala calidad geotécnica.

Estrato 2 (0.35–1.50 m): Suelo limoso con características plásticas, clasificado como A-5, con propiedades deficientes para subrasante.

- **Sondeo SM-6**

Estrato 1 (0.00–0.30 m): Limo con arcilla (A-7-5), material plástico de baja calidad para estructuras de pavimento.

Estrato 2 (0.30–0.90 m): Limo con arcilla (A-7-5), mantiene características desfavorables.

Estrato 3 (0.90–1.50 m): Continuación del material limo-arcilloso con peor comportamiento plástico (A-7-6), inadecuado para subrasante.

- **Sondeo SM-7**

Estrato 1 (0.00–0.40 m): Grava con arena arcillosa bien graduada (A-2-6), apta para subrasante.

Estrato 2 (0.40–1.50 m): Limo con arcilla (A-7-5), de mala calidad, presenta baja resistencia al esfuerzo cortante y alta plasticidad.

- **Sondeo SM-8**

Estrato 1 (0.00–0.30 m): Grava con arena arcillosa (A-2-6), buen desempeño como subrasante.

Estrato 2 (0.30–0.70 m): Limo con arcilla (A-7-6), con baja calidad estructural.

Estrato 3 (0.70–1.10 m): Limo con arcilla (A-7-5), mantiene características de baja capacidad de soporte.

Estrato 4 (1.10–1.50 m): Se continúa con material A-7-6, inadecuado para fines estructurales.

- **Sondeo SM-9**

Estrato 1 (0.00–0.35 m): Grava con arena arcillosa bien graduada (A-2-6), con excelente comportamiento como subrasante.

Estrato 2 (0.35–1.50 m): Grava con arena limosa (A-2-7), aún dentro de los rangos aceptables para subrasante, aunque con mayor contenido de finos.

3.2.3 Resultados de ensayes a muestras de fuentes de materiales.

Con base en los informes técnicos de campo y los resultados de laboratorio proporcionados por la Alcaldía Municipal de Matagalpa, se realizó el análisis geotécnico de un (1) banco de préstamo con el objetivo de evaluar su idoneidad para ser utilizado como material de capa base en estructuras de pavimento. A continuación, se detallan los resultados obtenidos y su interpretación técnica conforme a los parámetros normativos establecidos.

Tabla 25. Banco de materiales.

Nombre de Banco	Ubicación	Volumen Aproximado(m^3)	Uso Probable
El Guayacán	Entrrada A Yaule, 500m banda derecha.	60,300	Base

Fuente: *Alcaldía Municipal de Matagalpa.*

Tabla 26. Características del Banco de Materiales.

Sondeo	% Porcentaje que pasa por el Tamiz									L.Liq (%)	L.Plast (%)	Ind.Plast (%)	Clasif. (HBR)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	W (%)	CBR
	1 1/2 "	1"	3/4 "	1/2 "	3/8 "	#4	#10	#40	#200									
bco	93 %	88 %	80 %	72 %	63 %	45 %	35 %	25 %	15%	-	-	-	A-1-a (0)	53%	32%	15%	8.7%	83%

Fuente: *Alcaldía de Matagalpa / DYSCONSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad S.A)*

Según la norma AASHTO M 145- Sistema HRB, la clasificación A-1-a (0) indica un material granular de excelente calidad, apropiado para ser utilizado como capa base de pavimento o incluso como subbase estabilizada, sin necesidad de tratamiento adicional.

Tabla 27. Pesos volumétricos, densidad y humedad óptima del banco

PESO VOL. SECO SUELTO (PVSS, Kg/m^3)	PESO VOL. HUM.COMP. (PVHC,Kg/m^3)	DENSIDAD MAXIMA (Ymax, Kg/m^3)	HUMEDAD OPTIMA (H OPT, %)
1480	1605	1682	8.4

Fuente: *Alcaldía de Matagalpa / DYSCONSA (Diseño y Supervisión, Control y Calidad S.A)*

Este banco de préstamo es altamente apto para ser utilizado como base granular, dado su bajo contenido de finos (15%), alta densidad máxima (1682 kg/m^3), CBR superior al 80% y baja humedad óptima (8.4%). Estos valores reflejan un material con excelente capacidad de compactación y soporte estructural. Además, su bajo requerimiento de humedad lo hace favorable para zonas tropicales con alta pluviosidad, como la región norte del país.

3.2.4 Banco de materiales propuesto para la capa Base.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales para capa de base granular, el Banco (El Guayacán) ya que este es apto y cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la norma NIC 2000 Pág. 57, **Ver Tabla 26**.

En cuanto a las propiedades plásticas de los materiales muestreados, tenemos que no presenta Limite Liquido, ni expone el Índice de Plasticidad aplicando la metodología AASHTO T-89, AASHTO T-90.

Los Pesos Volumétricos Secos Suelto y Húmedo Compacto son de 1,480 y 1,605 kg/m³, respectivamente. La Densidad máxima es de 1682 kg/m³, su humedad óptima es de 8.4. Los resultados del ensayo CBR realizado corresponde al 83% (95%). El Ensayo de Desgaste de los Ángeles (AASHTO T-96) da como resultado 25 %. La comparación de los requerimientos de la NIC-2000 se muestran en la **Tabla 28.**

Tabla 28. Requisitos Graduación de Agregados.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco El Guayacán	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Desgaste	Máx. 50%	-	-
Índice de plasticidad	Máx. 10%	-	-
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	**Min. 80% para Base**	**83%**	**Cumple**

Fuente: *Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000, pág. 531.*

Según lo indicado en la Tabla 28 el banco de materiales cumple con los requisitos mínimos de graduación de agregados establecidos en las especificaciones NIC-2000, según los resultados de laboratorio. El material se clasifica como A-1-a con índice de grupo 0 conforme a AASHTO y como SW en el sistema SUCS, lo que indica que se trata de un suelo granular bien graduado, con excelente capacidad portante y buen comportamiento estructural, siendo adecuado para su utilización como material de base en pavimentos.

3.2.5 Determinación del CBR de diseño

Según el **Instituto del asfalto** la metodología para la determinación del CBR de diseño consiste en:

1) Identificar los Valores a utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.

2) Ordenar los Valores de menor a mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

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

3.2.5.1 Identificación de la subrasante

Se puede apreciar en los perfiles estratigráficos que este tramo cuenta con una capa de rodadura de un espesor mínimo **30 cm**, el cual corresponde de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO como **A-2-6 (0)**, como también existen suelos tipo A-2-4 (0), A-7-6(11) y A-7-6(5) y A-2-7 (1).

En el diseño de pavimento, Figura 14, pág. 81, se puede apreciar el espesor final de la estructura de pavimento, debido a esto se propuso hacer un corte de material para ser reemplazado por material de banco ya que es la misma que posee la estructura de pavimento.

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones para sub-rasante.

Tabla 29. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante

No.	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla Nº 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Limite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-89
3	Índice Plástico	15 % máx.	6 % máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10 % Min.	20 % Min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba próctor modificado. (AASHTO-99)	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba próctor modificado. (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: *Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000, pág. 528*

El método más común para calcular el CBR de diseño de subrasante es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor tal que el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales de CBR obtenidos sea iguales o mayor que él, dependiendo del tráfico que se espera que circule por el sitio, tal como se muestra en la **Tabla 30**.

Tomando en cuenta que el ESAL's es de **223,546.00** por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **75%,** tal y como se indica en la **Tabla Nº30**.

Tabla 30. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño

Cargas Equivalentes Totales (ESAL´s)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL´s	60
Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL´s	**75**
> de 1,000,000 ESAL´s	87.5

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, pág.7, cap. 8*

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la subrasante.

Tabla 31. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante

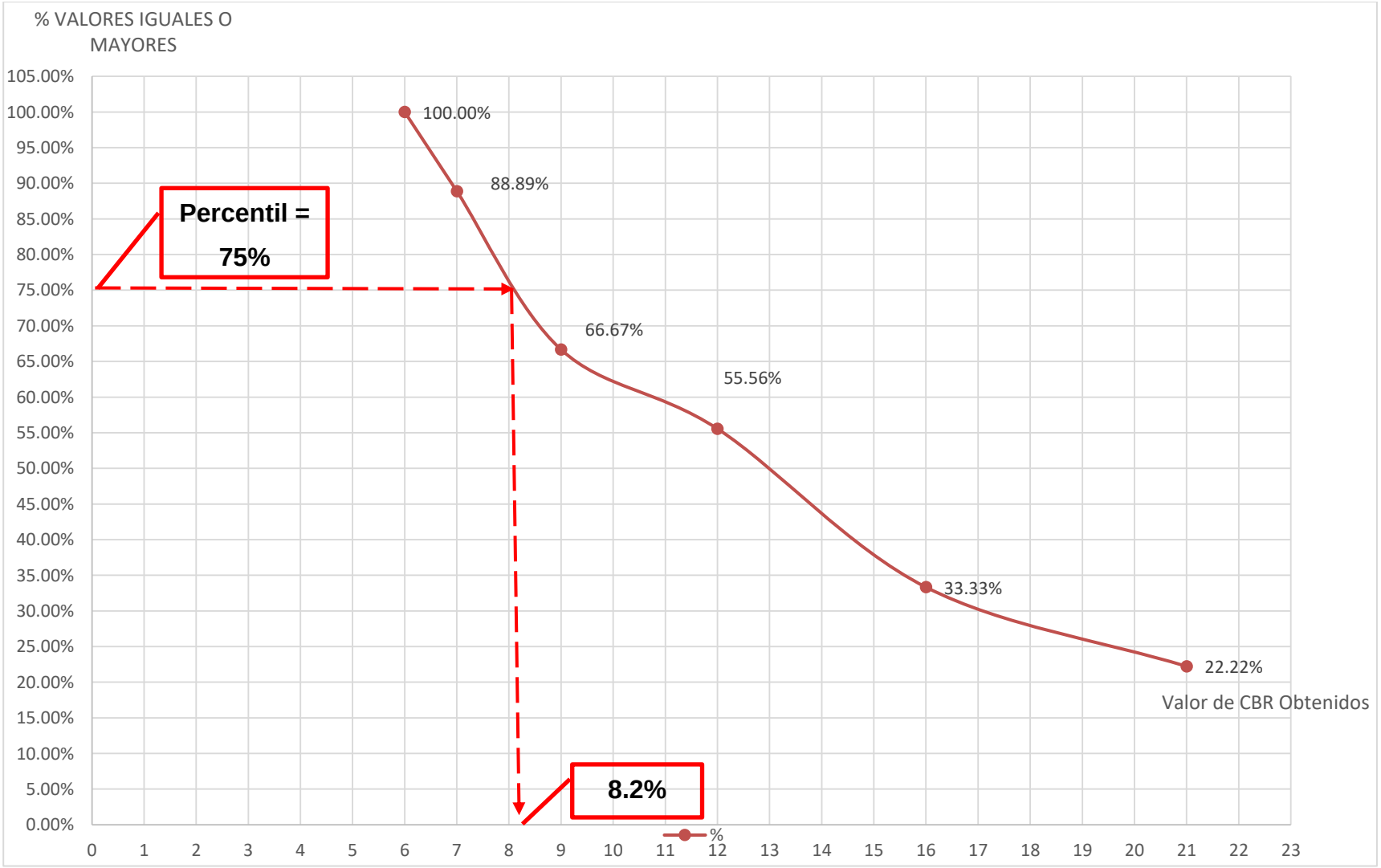
CLASIFICACION AASHTO	CBR	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	%
A-7-5 (3)	6	1	9	100.00%
A-7-6 (11)	7	2	8	88.89%
A-2-5 (0)	9	1	6	66.67%
A-2-6 (1)	12	2	5	55.56%
A-2-7 (0)	16	1	3	33.33%
A-2-4 (0)	21	2	2	22.22%
TOTAL DE MUESTRAS DE CBR=	9			

Fuente*: Elaboración Propia.*

Para la determinación del CBR de diseño de la subrasante, los valores obtenidos en laboratorio fueron ordenados de menor a mayor y se estableció la frecuencia de ocurrencia de cada uno, acumulándolas para obtener la distribución porcentual. Con esta información, se elaboró la curva de CBR acumulado.

Considerando el tránsito proyectado de 223,546, se adoptó un percentil del 75% de los valores mayores o iguales, conforme a los criterios del Instituto del Asfalto. Este criterio implica seleccionar un valor representativo conservador, que garantice un desempeño adecuado de la subrasante. Finalmente, al interceptar dicho percentil con la curva de distribución, se obtuvo el CBR de diseño de la subrasante como se aprecia en el **Figura 6**, que a continuación se presenta:

Figura 6. Selección del CBR de diseño.



Fuente: *Elaboración propia.*

El resultado del **CBR** de diseño para la subrasante fue de **8.2%.** Se asume que este porcentaje que establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

Por lo tanto, este resultado se procesará para el cálculo del módulo resiliente de subrasante tomando en cuenta las condiciones según el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, siendo este parámetro uno de los principales para obtener el Numero Estructural Requerido (SNreq) de la capa, utilizando el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993)

3.3.1 Generalidades del Diseño de Pavimento

El método de diseño de espesores de pavimento desarrollado por la AASHTO en 1993 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993) es ampliamente reconocido y utilizado a nivel internacional debido a su aplicabilidad a diferentes tipos de estructuras de pavimento, incluyendo pavimentos flexibles, semirrígidos, rígidos y articulados. En el presente estudio se ha optado por emplear dicho método, dado que, a diferencia de otros enfoques tradicionales, incorpora el concepto de serviciabilidad como parámetro clave. Este concepto permite evaluar la capacidad funcional del pavimento en términos de comodidad y seguridad para el usuario, especialmente en lo que respecta a la suavidad y regularidad de la superficie de rodadura. Para el desarrollo del diseño estructural, se emplearon los nomogramas proporcionados por la guía AASHTO 1993.

En el contexto nicaragüense, los principales tipos de carpetas de rodamiento utilizados en la construcción de carreteras son: macadam, mezcla asfáltica en caliente, concreto hidráulico y adoquinado. En este estudio se ha seleccionado el sistema de pavimento articulado mediante adoquines, debido a sus ventajas técnicas y económicas. Esta solución constructiva se caracteriza por su facilidad de instalación, versatilidad en el mantenimiento y adecuada respuesta ante esfuerzos repetitivos, lo cual la convierte en una alternativa viable y eficiente, especialmente en zonas urbanas y semiurbanas con recursos limitados.

3.3.2 Consideraciones del diseño AASHTO 93:

3.3.2.1 Carga de ejes simples equivalentes.

Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de

carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio el ESAL de diseño es **223,546.00**.

3.3.2.2 Confiabilidad.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2002 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **75%,** que corresponde a un valor recomendado para una carretera Local Rural lo cual se muestra en la **Tabla Nº32**. Esta confiabilidad seleccionada de acuerdo con el grado funcional del tipo de la carretera presenta una desviación normal estándar **Zr** de **-0.674**, lo cual se muestra en la **Tabla Nº33**.

Tabla 32. Niveles de Confiabilidad R en función del tipo de carretera.

Niveles Recomendados de Confiabilidad		
Clasificación de la Vía	**Zona Urbana**	**Zona Rural**
Autopistas	85 – 99.99	80 – 99.99
Troncales	80 – 99	75 – 99
Locales	80 – 95	75 – 99
Colectoras	50 – 85	50 – 80

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

Tabla 33. Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

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 el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 55.*

3.3.2.3 Desviación Estándar.

La desviación estándar en el modelo de diseño AASHTO se interpreta como la medida de la variabilidad asociada a la predicción del comportamiento del pavimento, particularmente en relación con los niveles de servicio esperados bajo condiciones de tránsito proyectadas. Esta variabilidad refleja los errores inherentes en la estimación del tránsito y en la respuesta estructural del pavimento. Para su aplicación, la metodología AASHTO propone valores específicos de desviación estándar, los cuales fueron determinados a partir de un análisis estadístico de varianza realizado sobre los datos del AASHO Road Test, complementado con proyecciones de comportamiento frente a cargas futuras.

Tabla 34. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio.

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Articulado
En construcción nueva	**0.35**	**0.45**
En sobre capas	0.39	0.49

Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 5.*

3.3.2.4 Serviciabilidad.

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Para su determinación se realizan estudios de calidad en dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar.

La forma más sencilla para determinar la pérdida de Serviciabilidad se muestra en el capítulo 7, página 4 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002), se muestran los valores recomendados de desvío estándar comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Tabla 35. Factores de Serviciabilidad.

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Pt= 2.5 o más para caminos principales
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	**Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor**

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 4.*

3.3.2.5 Coeficiente de drenaje.

El drenaje del agua en los pavimentos es un aspecto importante que considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La AASHTO 93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, la forma de consideración de los coeficientes se demuestra en la **Tabla 36 - 37.**

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que tiene una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento según visita técnica y análisis de las posibles cuencas hidrográficas que afecten el sitio en estudio, el coeficiente de drenaje a utilizar es de **mi = 1.00.**

Tabla 36. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

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

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 57.*

Tabla 37. Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación

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

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 58.*

3.3.2.6. Cálculo del CBR de diseño.

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de **8.2%.** Este se obtuvo con un percentil de diseño **75%. (Ver Figura 6, pág.63)**

3.3.2.7. Módulo de Resiliencia (MR).

La base para la caracterización de los materiales de la sub-rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición.

Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la subrasante.

Tabla 38. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	**Mr= 1,500 * CBR Ec. 11**
CBR > 10%	Mr= 4,326*Ln(CBR)+241 Ec 12

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, pág. 28*

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de **8.2%,** utilizaremos el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la subrasante aplicando la siguiente ecuación, por tanto:

$$\mathbf{Mr = 1,500 * CBR} \quad \textbf{Ec.11.}$$

$$\mathbf{Mr = 1,500 * (8.2\%)}$$

$$\boldsymbol{Mr = 12,300\ PSI}$$

El módulo Resiliente de la sub rasante es Mr= 12,300 PSI

3.3.2.8. Coeficientes de capa.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente **(a_n),** los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. Estos están representados con la siguiente simbología:

a_1: Para la carpeta de rodamiento **(Adoquín).**

a_2: Para la base granular **(CBR 80%)**

3.3.2.9 Coeficientes Estructural a1.

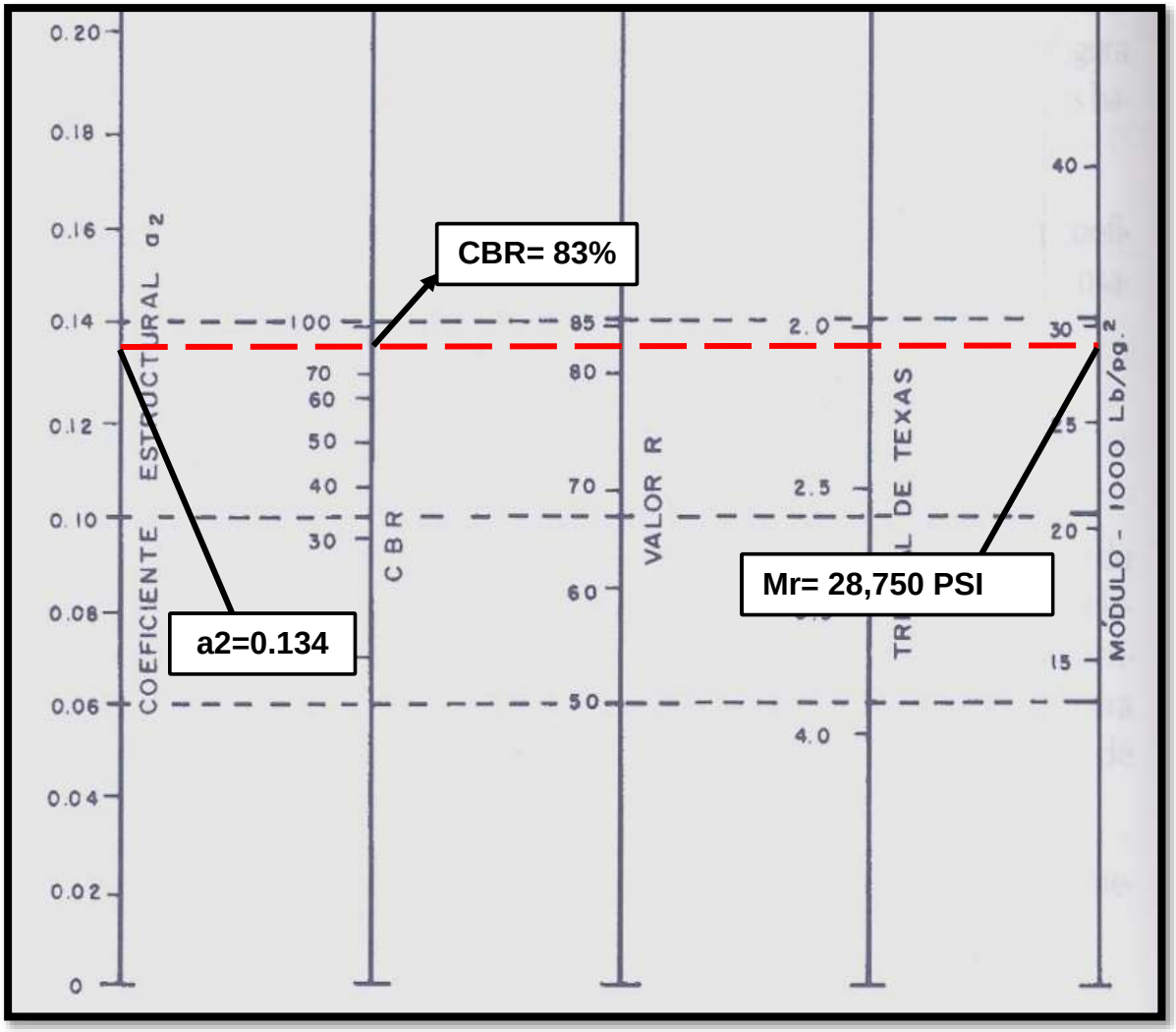
El coeficiente estructural de capa de un asfalto denso graduado basado en su módulo elástico (EEC) según la guía de la **AASHTO-93 Guía para el diseño de estructuras de pavimento** se recomienda utilizar valores, no mayores de 450,000.00 psi para el módulo de elasticidad. Los adoquines tienen un comportamiento similar al de un concreto asfáltico, se utiliza para este tipo de carpeta (Adoquín), un coeficiente **a_1** de **0.45.**

3.3.2.9.1. Coeficientes Estructural a_2.

La determinación del coeficiente estructural a_2 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-36).

El valor de CBR usado para el cálculo de la Base es igual a **83%** que corresponde al banco de materiales, de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **a_2=0.134** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **Mr = 28,750 PSI.**

Figura 7. Obtención del Coeficiente estructural a2 y el Módulo Resiliente, para Base granular.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, Capitulo5, Pag 118.

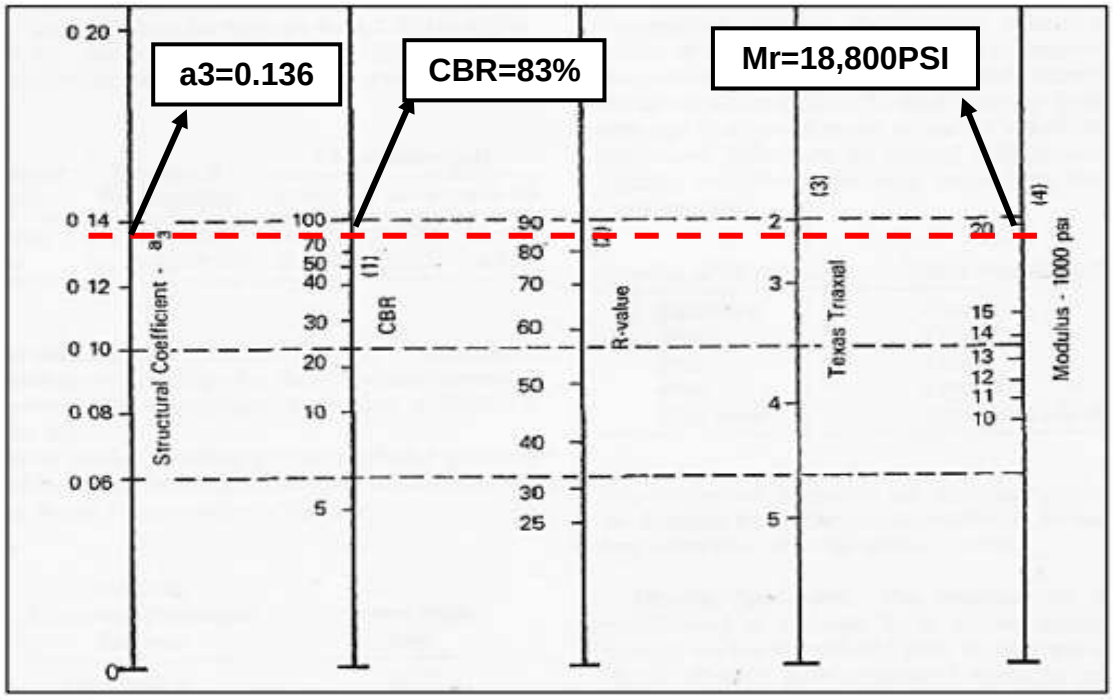
3.3.2.9.1 Coeficientes Estructural a3

La determinación del coeficiente estructural a_3 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-36).

El valor de CBR usado para el cálculo de la Subbase es igual a **83%** que corresponde al valor que dio como resultado el estudio de suelos que se ejecutó en laboratorio realizado al banco de materiales, En este caso se propone utilizar

el mismo banco de préstamo para material de la capa subbase de ser necesario, de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **a_2=0.136** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **Mr = 18,800 PSI.**

Figura 8. Obtención del coeficiente estructural a3 y el módulo resiliente para Subbase granular



. Grafico para determinar el coeficiente estructural (a3) de la Subbase g
Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, Capitulo5, Pag 118.

3.3.2.10 Número Estructural.

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

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$D_{1, 2,}$ = espesores de capas de adoquín y base respectivamente en (pulgadas).

a_i=coeficiente estructural de capa i, dependiente de su módulo

m_i= coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

3.3.4 Cálculo de espesores.

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D_1= 4 pulgadas.**

Se calcula el número correspondiente a la capa de la siguiente forma:

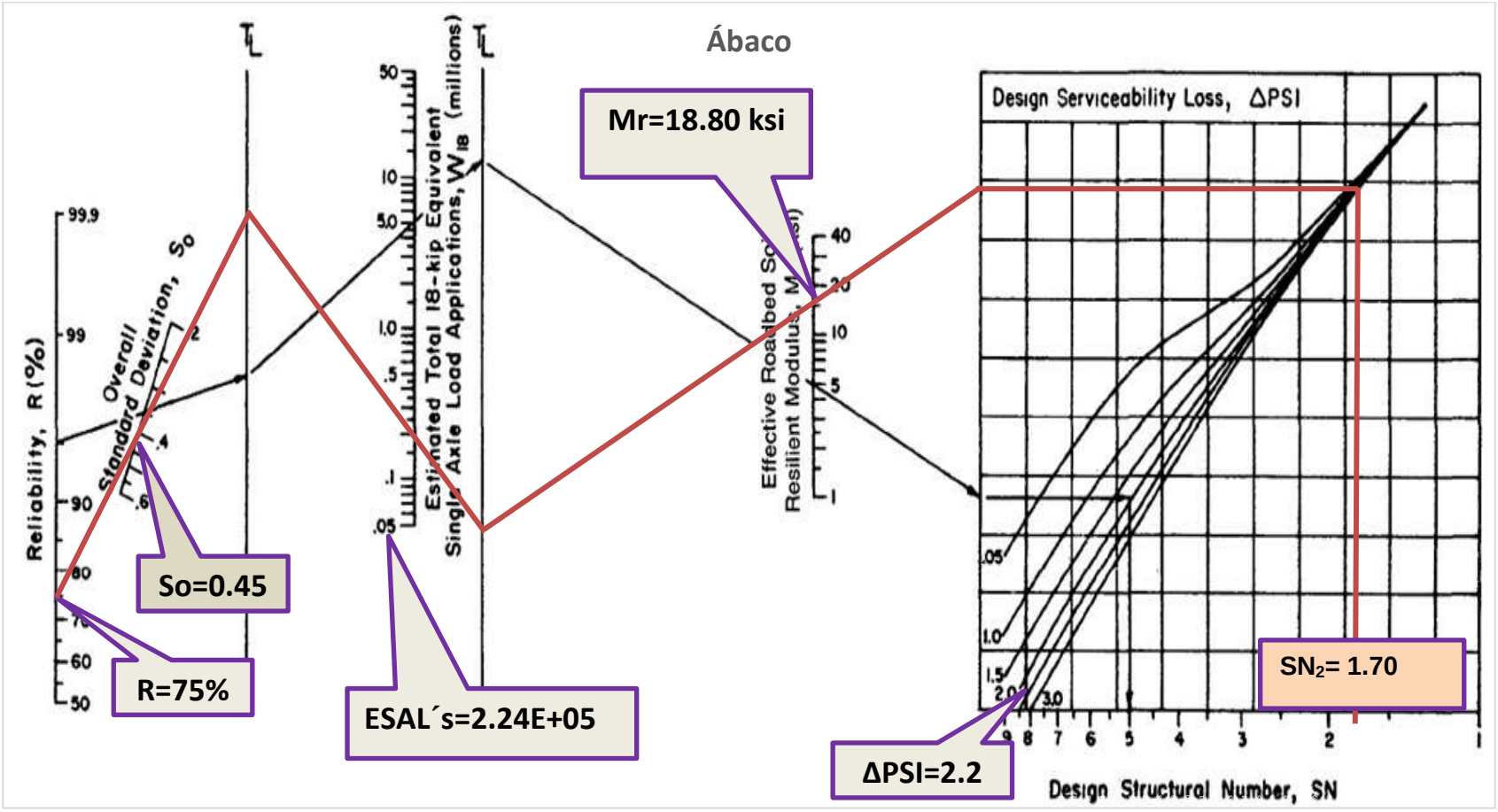
$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ec.14}$$

$$SN_1 = (0.45) * (4.00)$$

$SN *_1 = 1.8$**,** Carpeta de rodamiento.

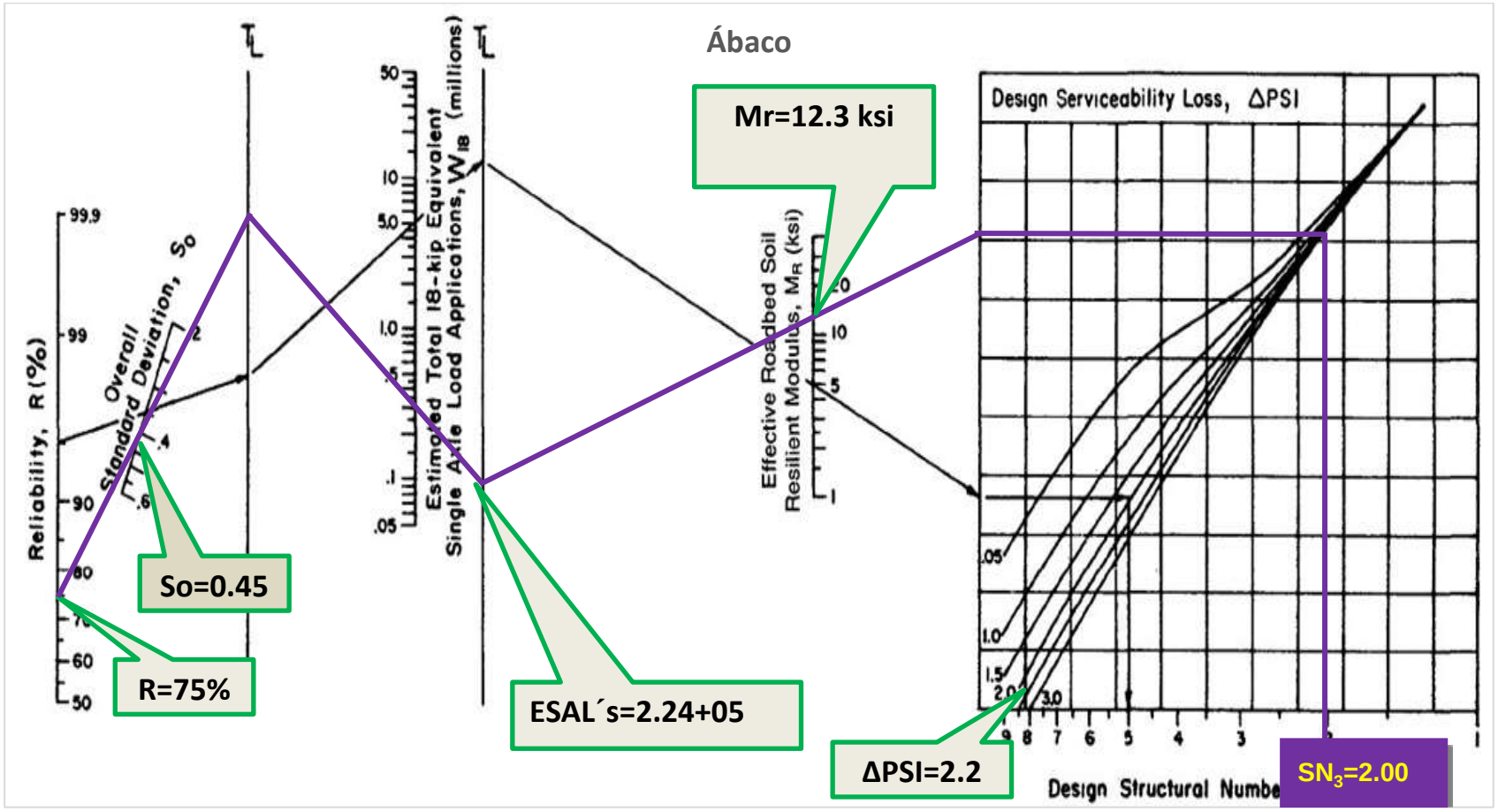
Para el cálculo de **SN_2 (Base), SN_3 (Subbase),** se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un **SN_2** de **1.70** y **SN_3** de **2.00.**

Figura 9. Obtención del Número estructural SN2 (SNbase)



Fuente: *Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.*

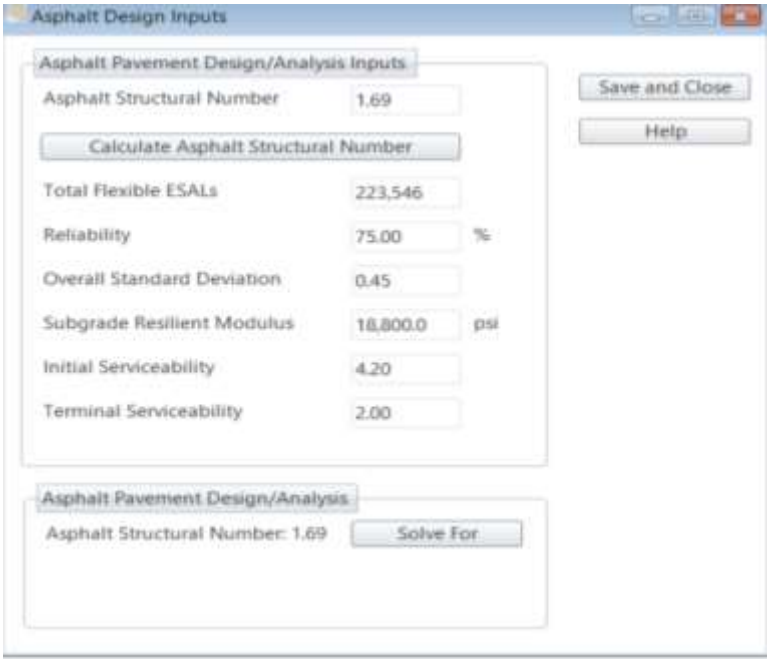
Figura 10. Obtención del Número estructural SN3 (Subbase)



Fuente: *Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.*

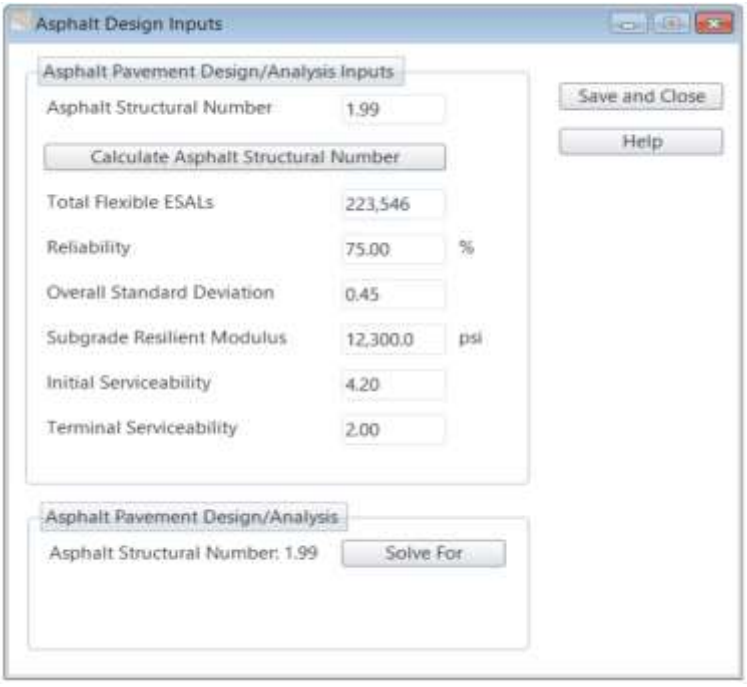
Verificación de SN2 y SN3 mediante el uso de software WINPAS 12.

Figura 11. Cálculo de SN2 con WINPAS 12.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 12. Cálculo de SN3 con WINPAS 12.



Fuente: *Elaboración propia.*

3.3.4.1 Cálculo del espesor de la base (D_2).

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN^*_1, entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

Cálculo del espesor para la Base (D_2):

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN*_1)}{a_2 * m_2} \qquad \textbf{Ec.15}$$

$$D_2 = \frac{(1.70 - 1.80)}{0.134 * 1}$$

D_2= -0.746 ” pulgadas

Atendiendo a la recomendación de la AASHTO sobre el valor obtenido de **D_2** (Base) no cumple con lo espesores mínimos, para que resista los esfuerzos que le trasmitirá la carpeta de adoquín, Sin embargo, se sugiere utilizar un espesor mínimo recomendado por el Manual de Diseño de Pavimento de la AASHTO 93, este espesor de acuerdo con la **Tabla 39**, resulta que para un ESAL’s de diseño de **223,546.00**. El espesor mínimo de la base granular es **4.00 pulgadas** (10.16 centímetros).

Tabla 39. Espesores Mínimos Sugeridos para Base granular

Numero de ESAL´s	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfaltico	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: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 175.

Se procede a corregir el número estructural

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$ **Ec.16**

SN_2 = (0.134) *(4.0) * (1.00) **SN_2 = 0.536**

El número estructural (SN_2) valor para la base resulta de 0.536.

Para la Subbase (D3):

$$D_3 = SN_3 - \left(\frac{SN2 + SN1}{a3 * m3}\right) \text{Ec. 17}$$

$$D_3 = 2.00 - \left(\frac{0.536 + 1.8}{0.136 * 1}\right)$$

D_3= -15.17 pulgadas, por lo tanto, NO CUMPLE.

De acuerdo con los criterios de diseño establecidos en la AASHTO 93, cuando el cálculo del espesor requerido para la capa de subbase resulta en un valor negativo o igual a cero, se interpreta que dicha capa no es necesaria dentro de la estructura del pavimento.

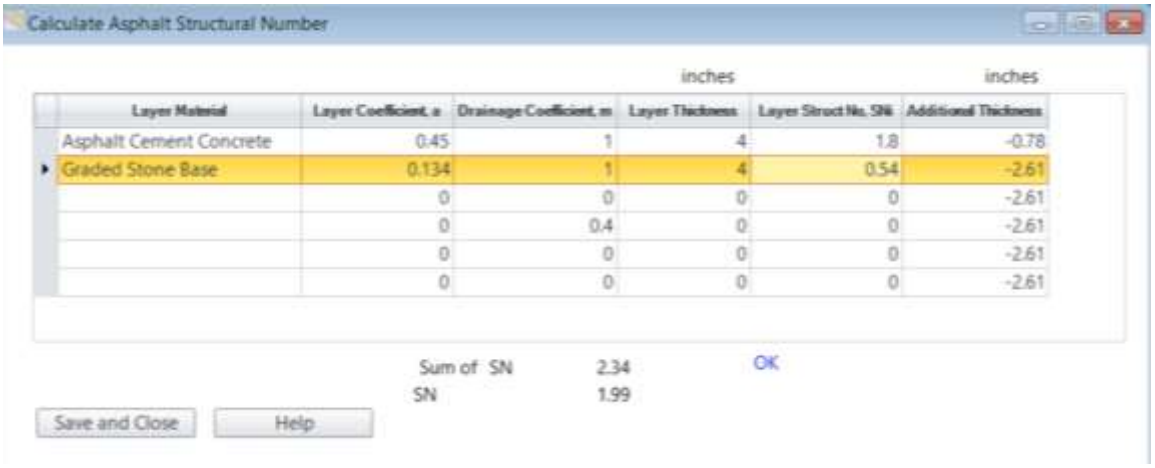
Verificación tenemos la formula siguiente:

SN_1+ SN_2 ≥ $SNrequerido$ **Ec.18.**

1.8+0.536 ≥ 2.336

2.336 > 2.00 O.K!

Figura 13. Comprobación mediante el uso de WINPAS 12



Comprobación mediante el uso de WINPAS 12

Fuente: *Elaboración propia.*

3.3.4.2 Espesores finales de diseño.

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 2.30km del tramo entrada a El guayacán hacia comunidad de Yaule arriba será de **4 pulgadas** ya que este caso se utilizará adoquín, la base granular será de **4 pulgadas**, los espesores detallados son los siguientes:

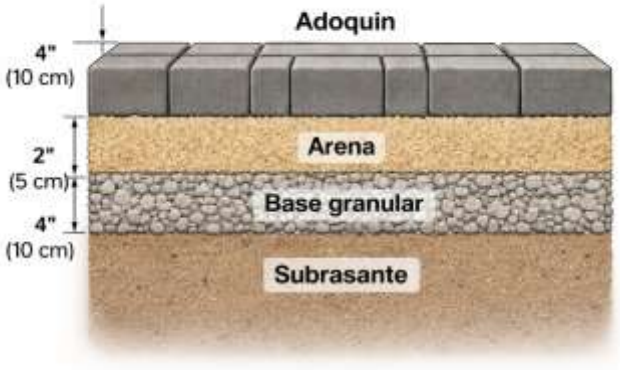
Tabla 40. Espesores de Diseño.

Capa	Espesor	
	Pulgadas	**Centímetros**
Capa de rodamiento (Adoquín)	4”	10cm
Capa de arena	2”	5cm
Base granular	4”	10cm
Espesor Total Requerido	**10”**	**25cm**

Fuente: *Elaboración propia*

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín tráfico como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural, pero se va a representar en la **Figura 14, pág. 78**.

Figura 14. Espesores de estructura de pavimento



Fuente: *Elaboración propia*

En resumen, se ha obtenido como resultado la siguiente estructura de pavimento donde se muestran los valores de $SN_{2=}$**1.70** y SN_{req}=**2.00** además de los espesores D_1=**4”** y D_2=**4”**

CONCLUSIONES.

- Se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 7 días consecutivos, del cual se obtuvo un TPDA de 180 vehículos/día. De los cuales se obtuvo una composición vehicular de 83.3% de vehículos livianos, 11.10% de vehículos pesados y 5.6 % vehículos de pasajeros. Para el cálculo de la tasa de crecimiento general de 3.56% se tomaron en cuenta los datos históricos del PIB, POB y TPDA de la ECD903, a partir de un periodo de diseño de 15 años se obtuvo un factor de crecimiento de 19.39, que al proyectar el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de 223,546.00 psi.

- Se efectuó el estudio geotécnico de la subrasante mediante la ejecución de nueve (9) sondeos manuales con profundidades de hasta 1.50 m. Los resultados de clasificación indicaron que los suelos predominantes corresponden a A-2-6(0), A-2-4 y A-2-7, los cuales, según el sistema AASHTO, presentan condiciones favorables para subrasante; sin embargo, en menor proporción se identificaron suelos A-7-6, considerados de baja calidad geotécnica, El ensayo CBR de subrasante arrojó un valor de 8.2%, inferior al mínimo requerido de 15% establecido en la NIC–2019, por lo que se propone mejorar la subrasante mediante la incorporación de material seleccionado del banco El Guayacán, con el fin de incrementar la capacidad portante y garantizar un desempeño adecuado de la estructura de pavimento.

- Basado en un tránsito acumulado de 223,546 ESAL para un periodo de 15 años y un CBR de 8.2 %, se adopta una estructura de 10 pulgadas (4" de adoquín, 2" de arena y 4" de base granular), la cual resulta técnicamente adecuada para soportar las cargas previstas. Esta configuración garantiza una correcta distribución de esfuerzos, estabilidad estructural y control de deformaciones, constituyendo una solución viable y durable, siempre que se asegure un adecuado control constructivo.

RECOMENDACIONES.

A continuación, se muestra algunas recomendaciones, están dirigidas a la institución o profesional encargado en la ejecución de la obra:

- Se recomienda realizar aforos vehiculares periódicos (cada 1 a 3 años) con el fin de verificar que las tasas de crecimiento proyectadas (3.56%) no sufran variaciones significativas respecto a las condiciones reales de operación.
- Es indispensable implementar un programa riguroso de control de calidad en el banco de préstamos El Guayacán, garantizando que los materiales cumplan con las especificaciones establecidas en la normativa vigente (AASHTO y NTON).
- Para los tramos con suelos clasificados como A-7-6 y A-2-7, se recomienda aplicar estabilización mecánica o química (cal o cemento) para mejorar la capacidad portante y homogeneizar el comportamiento estructural.
- Se recomienda optimizar el diseño geométrico vial, asegurando radios de curvatura, pendientes longitudinales y peraltes adecuados, de acuerdo con la normativa regional, a fin de mejorar la seguridad vial y la eficiencia operativa del tramo.
- Es fundamental desarrollar un diseño de drenaje menor y mayor eficiente, incorporando cunetas, alcantarillas y obras de drenaje transversal, que permitan evacuar adecuadamente las aguas superficiales y subterráneas, evitando la saturación de la subrasante.
- Se sugiere realizar un análisis detallado de costos y presupuesto, considerando distancias de acarreo, disponibilidad de materiales y mantenimiento, con el objetivo de garantizar la viabilidad económica del proyecto.
- Se recomienda incorporar un estudio de impacto ambiental, que evalúe los efectos del proyecto sobre el entorno, proponiendo medidas de mitigación, especialmente en la explotación de bancos de materiales y manejo de escorrentías.

Bibliografía

al, e. (2000). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes. NIC 2000. En e. al, Sección 208 (pág. 563). Managua.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). Diseño de Pavimentos.

ASTM International. (2017).

Ayllón Acosta, J. (2004). Guía de pavimentos de concreto Asfaltico. Cochabamba Bolivia: Cochabamba.

Banco Mundial. (2023). Población Total.

Blanchard, O. (2012). Macroeconomía. Madrid: Pearson.

Diseño de pavimentos AASHTO. (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials.

Fonseca, A. M. (2011). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da.

Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos. (1993).

Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. México: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

Infraestructura, M. d. (2000). Especificaciones técnicas NIC 2000. Managua: Ministerio de transporte e Infraestructura.

Instituto del asfalto. (s.f.). Instituto del asfalto.

James Cárdenas, R. C. (2014). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. ALFAOMEGA.

Juárez Badillo, E. &. (2005). Mecánica de suelos. Limusa.

Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA. (2002). Manual centroamericano para el diseño de pavimentos.

MTI, Anuario de Aforos de Tráfico. (2020). Anuario de Aforos de Tráfico. Managua.

MTI. (2000). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes. NIC 2000. En e. al, Sección 208 (pág. 563). Managua.

NIC. (2000). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.

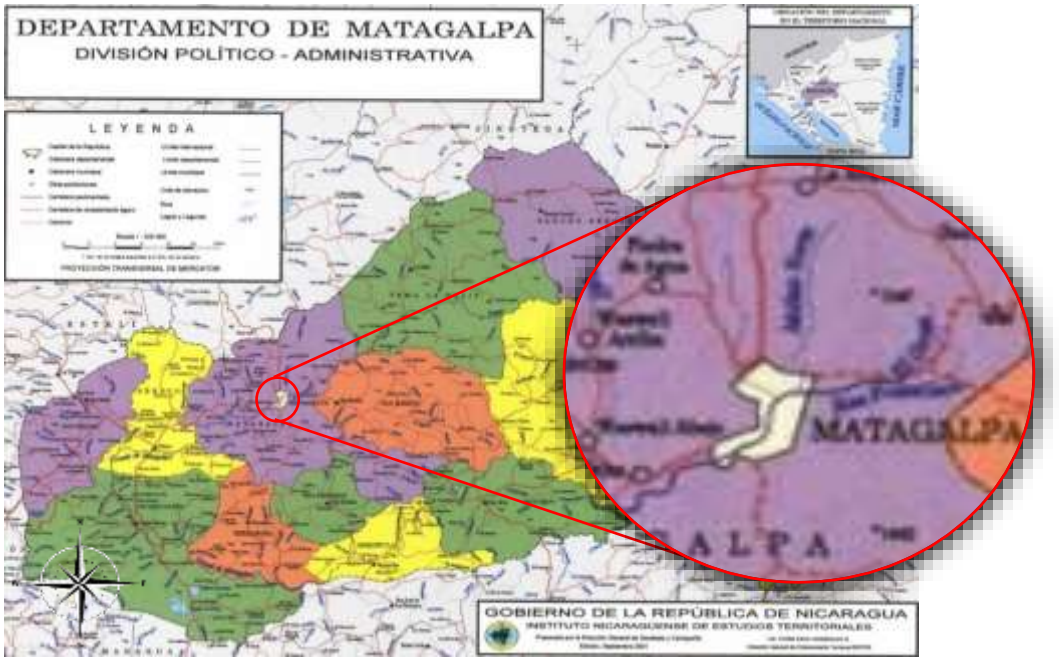
SIECA . (2011). SIECA.

SIECA. (2004). En Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

SIECA. (s.f.). Manual Centro Americano de Normas 2da.

ANEXOS

Figura 15. Macro localización del proyecto.



Fuente: INETER, 2012

Figura 16. Micro localización del proyecto.



Fuente: Google Earth, 2024

https://earth.google.com/web/@12.90929892,-86.0025,2507.477581a,0d,35y,0.0007h,47.3389t,359.9953r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I ARAA?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419

Figura 17. Est 0 + 100 Entrada hacia comunidad Yaule Arriba



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Est 0 + 300m Proliferación de baches.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Est 0 + 450 y Est 0 + 600



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Est 1 + 500 Tramo de camino con mantenimiento preventivo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

PERIODO DE AFORO		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
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	13:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13:00	14:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14:00	15:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
15:00	16:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16:00	17:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17:00	18:00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Fuente: Anuario de aforos del MTI.

Tabla 42. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día

PROYECTO DE ADOQUINADO : ENT EL GUAYACAN- COMUNIDAD YAULE ARRIBA.																			
FECHA DE CONTEO: LUNES 7 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	3	4	1	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13
07:00	08:00	4	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8
08:00	09:00	3	3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
09:00	10:00	5	3	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
10:00	11:00	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
11:00	12:00	3	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
12:00	13:00	4	5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
13:00	14:00	4	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
14:00	15:00	2	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7
15:00	16:00	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
16:00	17:00	4	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8
17:00	18:00	3	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
TOTAL		40	33	6	14	0	0	6	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	109

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: MARTES 8 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	1	3	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
07:00	08:00	4	3	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
08:00	09:00	3	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
09:00	10:00	2	2	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8
10:00	11:00	5	4	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
11:00	12:00	3	4	1	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	14
12:00	13:00	3	3	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
13:00	14:00	1	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
14:00	15:00	4	5	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13
15:00	16:00	3	4	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
16:00	17:00	2	2	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
17:00	18:00	4	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
TOTAL		35	37	4	25	0	0	6	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	118

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 9 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	2	3	0	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
07:00	08:00	4	3	0	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
08:00	09:00	6	2	1	4	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	16
09:00	10:00	4	4	0	3	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	16
10:00	11:00	2	3	1	3	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	14
11:00	12:00	3	4	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
12:00	13:00	5	3	0	5	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
13:00	14:00	3	1	0	5	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12
14:00	15:00	2	2	2	3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12
15:00	16:00	1	4	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
16:00	17:00	2	3	0	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
17:00	18:00	4	2	0	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13
TOTAL		38	34	6	41	0	0	12	7	12	7	0	0	0	0	0	0	0	157

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: JUEVES 10 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	3	2	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9
07:00	08:00	7	6	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17
08:00	09:00	6	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
09:00	10:00	3	4	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
10:00	11:00	3	6	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13
11:00	12:00	5	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9
12:00	13:00	2	4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
13:00	14:00	0	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
14:00	15:00	5	0	0	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10
15:00	16:00	0	6	1	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12
16:00	17:00	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
17:00	18:00	4	6	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
TOTAL		44	34	4	23	0	0	6	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Conteo de Tráfico Vehicular por Día

FECHA DE CONTEO: VIERNES 11 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	2	4	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
07:00	08:00	3	3	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
08:00	09:00	2	4	1	0	0	0	1	0		1	0	0	0	0	0	0	0	9
09:00	10:00	1	3	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
10:00	11:00	4	3	1	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
11:00	12:00	3	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
12:00	13:00	4	3	0	4	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	14
13:00	14:00	5	4	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13
14:00	15:00	2	3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
15:00	16:00	4	5	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14
16:00	17:00	5	6	1	5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	19
17:00	18:00	3	6	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
TOTAL		38	46	7	31	0	0	6	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	142

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: SABADO 12 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	7	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
07:00	08:00	7	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
08:00	09:00	7	3	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15
09:00	10:00	4	5	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13
10:00	11:00	5	1	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
11:00	12:00	5	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
12:00	13:00	2	4	1	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
13:00	14:00	2	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
14:00	15:00	6	4	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15
15:00	16:00	5	6	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15
16:00	17:00	8	6	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18
17:00	18:00	2	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
TOTAL		60	40	6	22	0	0	6	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0	147

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: DOMINGO 13 DE JULIO 2025 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	5	4	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0		14
07:00	08:00	1	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
08:00	09:00	3	2	1	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12
09:00	10:00	4	3	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
10:00	11:00	5	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
11:00	12:00	3	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
12:00	13:00	1	5	0	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11
13:00	14:00	4	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
14:00	15:00	3	3	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10
15:00	16:00	4	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
16:00	17:00	1	2	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
17:00	18:00	2	4	0	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11
TOTAL		36	37	4	24	0	0	6	0	6	7	0	0	0	0	0	0	0	120

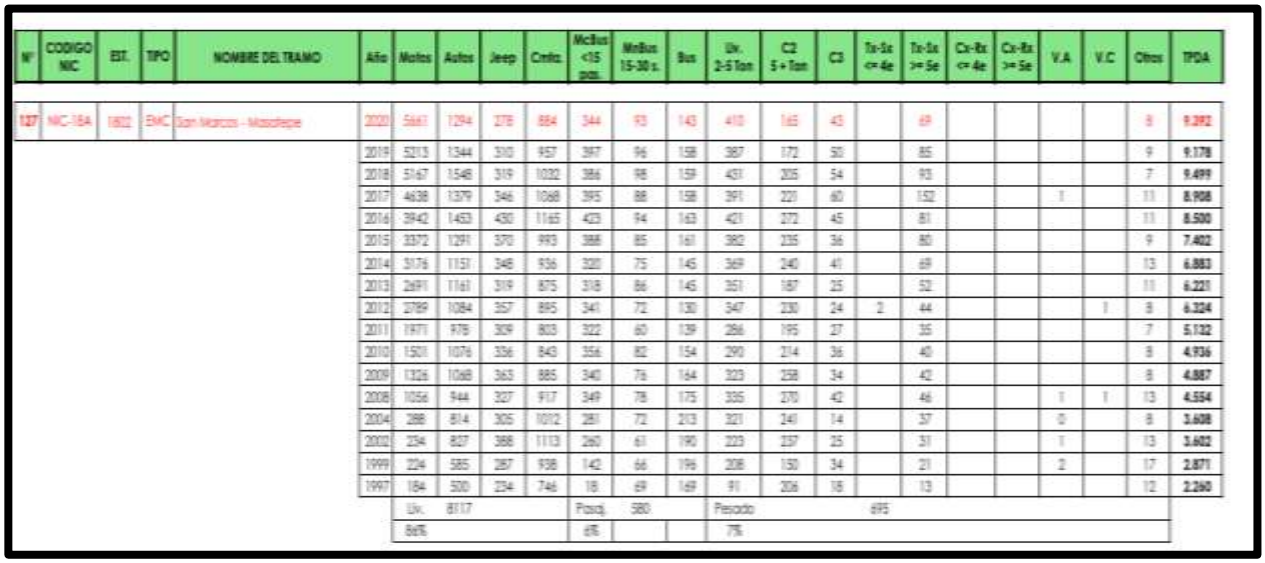
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Esquema de clasificación vehicular por distancia de ejes.

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

Fuente: *Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2020*

Tabla 50. Evolución de la Estación de Mayor Cobertura N° 1802



N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Camts.	MicBus <15 pas.	MiBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
127	NIC-184	1802	EMC	San Marcos - Masatepe	2020	5661	1294	378	884	344	93	143	410	165	45		69					8	9.392
					2019	5213	1344	310	957	387	96	158	387	172	50		85					9	9.178
					2018	5167	1548	319	1032	386	98	159	451	205	54		93					7	9.499
					2017	4638	1379	346	1068	395	88	158	391	221	60		152			1		11	8.908
					2016	3942	1453	430	1165	423	94	163	421	272	45		81					11	8.500
					2015	3372	1291	370	993	388	85	161	382	235	36		80					9	7.402
					2014	3176	1151	348	936	320	75	145	369	240	41		69					13	6.883
					2013	2691	1161	319	875	318	86	145	351	187	25		52					11	6.221
					2012	2789	1084	357	895	341	72	130	347	230	24	2	44				1	9	6.224
					2011	1971	978	309	803	322	60	139	266	195	27		35					7	5.132
					2010	1501	1076	356	843	356	82	154	290	214	36		40					8	4.936
					2009	1326	1068	363	885	340	78	164	323	258	34		42					8	4.887
					2008	1056	944	327	917	349	78	175	335	270	42		46			1	1	13	4.554
					2004	288	814	305	1012	280	72	213	321	240	14		37			0		8	3.608
					2002	234	827	388	1113	260	61	190	223	237	25		31			1		13	3.602
					1999	224	585	287	938	142	66	196	208	130	34		21			2		17	2.871
					1997	184	500	234	746	18	69	169	91	206	16		13					12	2.260
						Liv.	8117			Pasaj.	380		Pesado			695						
						84%				6%			7%										

Fuente: *Anuario de aforos de Tráfico. MTI, Año 2020*

Tabla 51. Factores de la Estación de Mayor Cobertura N° 1802.

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,37	1,33	1,19	1,24	1,28	1,25	1,36	1,20	1,26	1,20	1,00	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09
Factor Semana	0,98	1,06	1,10	1,03	0,94	0,91	0,89	0,92	0,85	0,88	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
Factor Fin de Semana	1,05	0,87	0,81	0,93	1,19	1,33	1,43	1,30	1,78	1,51	1,00	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,82
Factor Expansión a TPDA	1,02	0,99	0,95	1,00	1,02	0,89	1,01	0,97	1,01	1,01	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66

Fuente: *Anuario de aforos de Tráfico. MTI, Año 2022*

Tabla 52. Evolución de la Estación de Corta Duración ECD 903

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO, EVALUACION DE PAVIMENTOS Y PUENTES

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO
AÑO 2020

56	MC-5	903	ECD	Motagalpa - Emp. San Francisco	2020	2551	866	294	1679	80	11	253	304	192	57		52			3	1	10	6.353
					2019	2493	807	307	1792	94	15	280	217	278	48		27					6	6.368
					2013	615	440	247	1264	46	6	269	169	213	33		46					4	3.352
					2011	654	340	190	1075	48	15	246	147	203	39		39					6	3.002
					2009	553	224	178	768	35		238	113	204	17		6					2	2.337
					2007	325	177	218	761	54	2	270	107	206	6		7					4	2.137
					2003	191	96	191	610	4	16	159	68	149	12		6					2	1.503
					2001	223	76	245	755	4	7	220	87	171	10		14					3	1.815
					1999	109	95	259	854	1	28	172	80	260	21		28					4	1.912
					1997	140	69	236	663	3	50	121	56	185	32	1	11				1	2	1.570
					1996	96	185	185	663	8	25	102	61	136	34	1	4		1	3	1	5	1.510
				EMC:1802																			
				Tasa Crecimiento: 6.74%	2020	2551	866	294	1679	80	11	253	304	192	57		52			3	1	10	6.353
						Liv.	5390			Pasaj.	344		Pesado				619						
						85%				5%			10%										

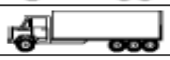
Fuente: *Anuario de Tráfico. MTI, Año 2020.*

Tabla 53. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

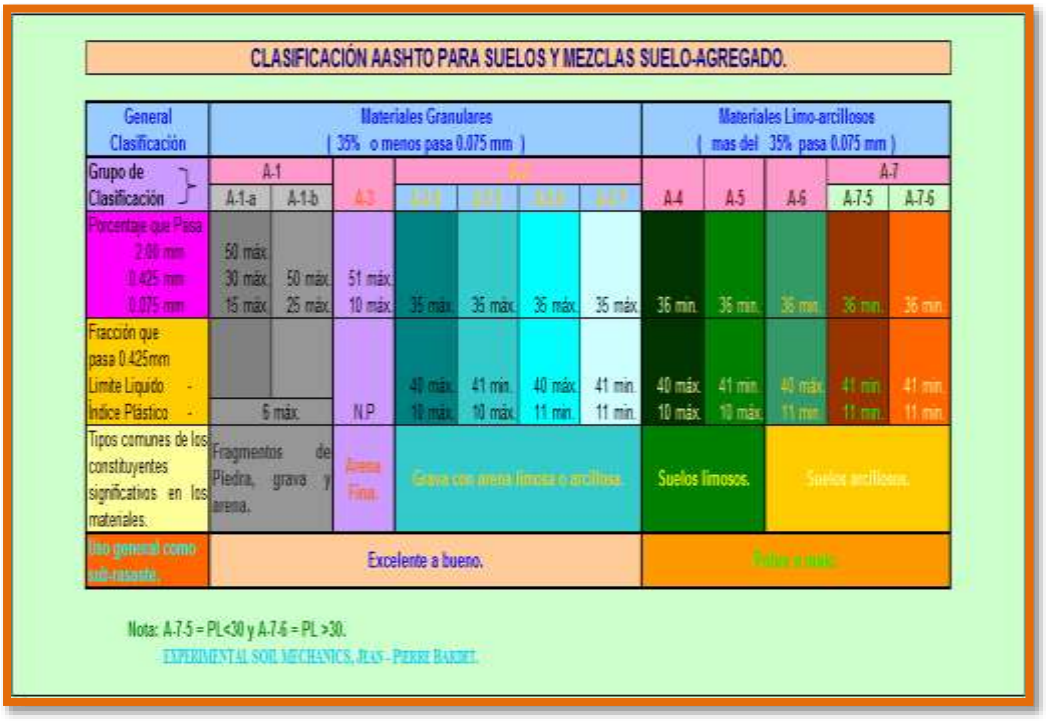
Fuente: *Clasificación vehicular MTI.*

Tabla 54. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo. (Vehículos Pesados)

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: *Clasificación vehicular MTI.*

Tabla 55. Clasificación de suelos, según sistema AASHTO.



Fuente: *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, pág. 137*

Tabla 56. Sondeos de línea del sitio en estudio.

ESTACION	SONDEO No.	MUESTRA No.	´PROF. CM	% QUE PASA POR EL TAMIZ												L.L	L.P	I.P	CLASIFICACION	CBR	DESCRIPCION DEL MATERIAL
				3 "	2 1/2 "	2 "	1 1/2 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	%	%	%	H.R. B	95	
00+000.00	SL-1	1	0 - 20	100	100	100	93	82	75	65	56	40	35	22	15	38	17	21	A-2-6 (0)	12	GRAVA ARENA LIMOSA
		2	20 - 50	100	100	100	100	96	91	83	75	61	58	42	28	42	19	23	A-2-6 (1)	9	SUELO ARCILLOSO
		3	50 -100	100	100	94	87	85	83	78	71	57	52	35	25	43	12	31	A-2-7 (0)	9	GRAVA ARENA LIMOSA
		4	100-150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	96	84	74	9	65	A-5 (12)	5	SUELO LIMOSO
00+250.00	SL-2	1	0 - 150	100	100	100	92	81	73	66	56	40	21	11	7	25	7	18	A-2-4 (0)	21	GRAVA ARENO LIMOSA
00+500.00	SL-3	1	0 - 30	100	100	100	96	88	84	81	77	67	58	49	45	47	18	29	A-7-6 (5)	9	SUELO ARCILLOSO
		2	30 - 80	100	100	100	100	96	89	84	76	63	53	40	34	50	2	48	A-2-5 (0)	9	GRAVA ARENA LIMOSA
		3	80- 120	100	100	100	100	98	96	92	87	77	65	37	27	31	8	23	A-2-4 (0)	21	GRAVA ARENO LIMOSA
		4	120 - 150	100	100	100	100	98	96	92	87	77	65	37	27	31	8	23	A-2-4 (0)	21	GRAVA ARENO LIMOSA
00+750.00	SL-4	1	0 - 35	100	100	100	100	98	96	92	87	77	65	37	27	31	8	23	A-2-4 (0)	21	SUELO LIMOSO
		2	35 - 80	100	100	100	100	100	96	86	71	53	50	35	22	44	3	41	A-2-6 (0)	7	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	80 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6 (20)	9	SUELO ARCILLOSO
01+000.00	SL-5	1	0 - 35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	89	43	16	27	A-7-6 (11)	7	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	35 - 70	100	100	100	95	91	89	86	81	66	63	60	58	49	2	47	A-5 (5)	5	SUELO LIMOSO
		3	70 - 150	100	100	100	95	91	89	86	81	66	63	60	58	49	2	47	A-5 (5)	5	SUELO LIMOSO
01+250.00	SL-6	1	0 - 30	100	100	100	94	81	72	65	58	48	43	29	21	42	19	23	A-2-7(1)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	30 - 90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	49	29	A-7-5 (3)	6	SUELO ARCILLOSO
		3	90 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	83	61	35	26	A-7-6(20)	7	GRAVA ARENA ARCILLOSA
01+500.00	SL-7	1	0 - 40	100	100	100	100	86	78	71	61	42	37	19	13	39	16	23	A-2-6 (0)	12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	40 -150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	49	29	A-7-5(20)	6	SUELO ARCILLOSO
01+750.00	SL-8	1	0 - 30	100	100	100	94	81	72	65	58	48	43	29	21	42	19	23	A-2-6(1)	12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	30 -70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	80	68	43	20	23	A-7-6(11)	7	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	70 - 110	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-5(16)	6	SUELO ARCILLOSO
		4	110 - 150	100	100	100	94	81	72	65	58	48	43	29	21	42	19	23	A-7-6 (8)	7	GRAVA ARENA ARCILLOSA
02+000.00	SL-9	1	0 - 35	100	100	100	93	82	75	65	56	40	35	22	15	38	17	21	A-2-6 (0)	12	SUELO ARCILLOSO
		2	35 -150	100	100	94	87	85	83	78	71	57	52	35	25	42	13	29	A-2-7 (0)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA

Fuente: *Alcaldía Municipal de Matagalpa*