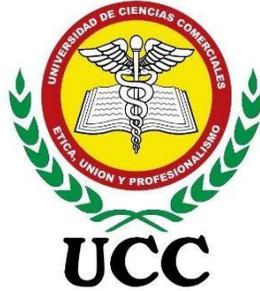


**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES
CAMPUS MATAGALPA**



COORDINACIÓN DE INGENIERÍAS E INFORMÁTICA

TÍTULO: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 2.10KM DEL TRAMO ENTRADA SUR, BO APANTE - EL SOCORRO, MUNICIPIO DE MATAGALPA, POR EL METODO DE AASHTO 93

AUTORES:

Ing. Christopher Vargas Lumbi
Ing. Ramiro Molinares Márquez

ASESOR:

Lic. Fernando José Monge Pérez

Junio, 2023

*¡Por nuestro Prestigio, Trayectoria y Calidad
¡Somos la Universidad de la gente que triunfa!*

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN. (ABSTRACT)	I
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Antecedentes y Contexto del Problema	3
1.1.1. Antecedentes Internacionales	3
1.1.2. Antecedentes Nacionales.....	4
1.1.3. Antecedentes locales	5
1.2. Objetivos	6
1.3. Descripción del Problema y Preguntas de Investigación.....	7
1.4. Justificación.....	7
1.5. Limitaciones	8
1.5.1 Limitaciones de impacto.....	8
1.5.2. Acceso a datos.....	8
1.6. Hipótesis.....	8
1.7. Variables	9
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	10
2.1. Estado Del Arte	10
2.2. Teorías y conceptualizaciones asumidas.....	12
2.2.1. Estudio de tránsito	12
2.2.2. Estudio de suelos.....	14
2.2.3. Diseño de estructura de pavimento.....	16
2.2.4. Diseño de pavimento según metodología AASHTO.....	17
2.2.5. Desviación Standard	21
2.2.6. Periodo de diseño	22
2.3. Marco contextual e institucional.....	22
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	23
3.1. Tipo de Investigación.....	23
3.2. Área de estudio	23
3.3. Unidades de Análisis: Población y Muestra: tamaño de la muestra y muestreo....	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.5. Confiabilidad y Validez de los instrumentos.....	26

3.6. Procesamiento de datos y análisis de la información.....	27
3.7. Operacionalización de Las Variables.....	28
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS.....	32
4.1 Estudio de tránsito.....	32
4.1.2 Volumen y Clasificación.....	32
4.1.3 Transito Promedio Diario Anual	35
4.1.3.1 Resumen del aforo vehicular	37
4.1.3.2 Tasas de crecimiento	39
4.1.3.3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB)	43
4.1.3.4 Análisis de Población (POB)	44
4.1.3.5 Análisis de la información obtenida.....	45
CAPITULO V: CONCLUSIONES.	87
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	90
ANEXOS O APENDICES	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bases de Datos Científica Utilizada	10
Tabla 2. Principales teorías y aportes del tema de investigación	11
Tabla 3. Clasificación de los suelos según ASSHTO 93.	15
Tabla 4. Perdida de serviciabilidad	19
Tabla 5. Factores de Confiabilidad Recomendados.	19
Tabla 6. Correlaciones CBR y MR.	20
Tabla 7. Periodos de diseño	22
Tabla 8. Operacionalización de Las Variables	28
Tabla 9. Trafico Promedio Diurno Semanal	36
Tabla 10. Factores de Ajuste Utilizados Estación No. 1802	38
Tabla 11. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste.....	39
Tabla 12. Evolución TPDA de la Estación 1802. (San Marcos- Masatepe)	41
Tabla 13. Evolución TPDA de la Estación 302. (Matagalpa- El Arenal).....	42
Tabla 14. Datos Históricos del PIB.....	44
Tabla 15. Datos Históricos del POB.....	45

Tabla 16. Calculo de tasas de crecimiento interanual para la ECD-302.....	46
Tabla 17. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB).....	47
Tabla 18. Período de Diseño.	49
Tabla 19. Factor Distribución por Carril.....	51
Tabla 20. Tránsito de Diseño.....	53
Tabla 21. Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño.	54
Tabla 22. Tipos de ensayos para estudio de suelos.	55
Tabla 23. Banco de materiales.	57
Tabla 24. Características y propiedades físico mecánicas del Banco de Materiales.	57
Tabla 25. Requisitos Graduación de Agregados.	58
Tabla 26. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante.....	60
Tabla 27. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño.....	61
Tabla 28. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante.....	61
Tabla 29. Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera.....	66
Tabla 30. Valores de Zr en función de la confiabilidad R	67
Tabla 31. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio	68
Tabla 32. Factores de Serviciabilidad	68
Tabla 33. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad	69
Tabla 34. Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación.....	69
Tabla 35. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante.	70
Tabla 36. Espesores Mínimos Sugeridos para Base granular.....	80
Tabla 37. Espesores de Diseño.....	81
Tabla 38. Resumen de datos para calcular espesores en el programa.....	84

ÍNDICE DE ANEXOS Y FIGURAS

Anexo 1. Formato de aforos.....	92
Anexo 2. Aforo vehicular.....	92
Anexo 3. Aforo vehicular.....	93
Anexo 4. Aforo vehicular.....	93
Anexo 5. Aforo vehicular.....	94
Anexo 6. Aforo vehicular.....	94

Anexo 7. Aforo vehicular	95
Anexo 8. Aforo vehicular	95
Anexo 9. Tipología y descripción vehicular de tráfico	96
Anexo 10. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo	97
Anexo 11. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo. (Vehículos Pesados)	97
Anexo 12. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.....	98
Anexo 13. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.....	99
Anexo 14. Resultados ensayos de sondeos de línea.....	101
Anexo 15. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	102
Anexo 16. Estratigrafía del Terreno	103

RESUMEN. (ABSTRACT)

Esta investigación cuyo propósito es diseñar la estructura de pavimento del tramo de camino que va desde entrada Norte Bo apante hacia Comunidad El Socorro tiene como objetivos específicos el realizar un estudio de tránsito para determinar el flujo vehicular y establecer un periodo de diseño de 20 años al sitio para identificar o calcular el ESALS de diseño y poder apreciar las cargas equivalentes en ese periodo determinado, así mismo se realizara el análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante un estudio de suelos previamente facilitado por la alcaldía de Matagalpa donde se cada muestra o estrato se validara tomando como referencia tabla de clasificación de suelos granulares de AASHTO, así mismo se analiza sus propiedades mecánicas y CBR de cada estrato para determinar el CBR de diseño de la subrasante del terreno y posteriormente se procede a realizar el cálculo de los espesores de capa de la estructura de pavimento que en este caso su composición será adoquín(4”), Arena(2”), base(4) y subrasante ya que por sus resultados no amerita agregarle una capa subbase, lo último se consideró tomando en cuenta los parámetros y criterios de diseño de la norma AASHTO 93.

Descriptores: Diseñar, Tránsito ESALS, AASHTO, CBR, Espesores.

This investigation, whose purpose is to design the pavement structure of the section of road that goes from the Bo Apante North entrance to the El Socorro Community, has as specific objectives to carry out a traffic study to determine the vehicular flow and establish a design period of 20 years to date. site to identify or calculate the ESALS of design and to be able to appreciate the equivalent loads in that determined period, likewise the analysis of the physical-mechanical properties of the soil will be carried out through a soil study previously facilitated by the Matagalpa mayor's office where each sample is The stratum will be validated using the AASHTO granular soil classification table as a reference, likewise its mechanical properties and CBR of each stratum are analyzed to determine the design CBR of the subgrade of the land and

later the thickness calculation is carried out. of layer of the pavement structure that in this case its composition will be cobblestone(4"), Sand(2"), base(4) and subgrade since due to its results it does not warrant adding a subbase layer, the latter was considered taking into account account the parameters and design criteria of the AASHTO 93 standard.

Descriptors: Design, ESALS Transit, AASHTO, CBR, Thicknesses.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras y vías urbanas garantizan el desarrollo social y económico de un país, es por ello que, al tratarse de elementos de gran relevancia, las instituciones encargadas de las gestiones de infraestructura vial se deben garantizar el buen estado de estas, mediante la aplicación de inversiones públicas que permitan reducir la vulnerabilidad de las redes viales.

El país no cuenta con autopistas de múltiples carriles que permitan desplazarse de región a región a altas velocidades. Las carreteras que conectan las ciudades están en buenas condiciones, aunque es posible que encuentre pequeños segmentos o incluso carreteras alternativas en las que tenga que disminuir bastante la velocidad, porque no están en tan buenas condiciones.

El tramo de estudio **Bo Apante hacia comunidad El Socorro**, se encuentra a unos kilómetros de una de las principales ciudades del norte de Nicaragua; aproximadamente a 1 km de Matagalpa.

Es una red que tiene una importancia significativa, dado que es una vía que comunica una serie de comunidades importantes entre ella El Socorro, La estrella, Samulali entre otras y fincas altamente productivas, las cuales se dedican principalmente a la agricultura, ganadería, apicultura entre otras, por lo que es necesario una vía en buen estado en todo tiempo para mejorar la circulación de vehículos tanto para beneficio de las comunidades como para transportar la producción de sus cultivos.

La necesidad de contar con soluciones de pavimentos económicos es una constante en países en vías de desarrollo. Entre los demandantes más importantes de pavimentos económicos están los organismos estatales los cuales cuentan con diversas estrategias y programas de subsidio para la pavimentación de calles y pasajes en áreas de escasos recursos. Las construcciones de pavimentos económicos tienen como objetivo principal resolver un problema social y técnico.

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 geométrico y de pavimento articulado los cuales garantizarán 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. NORMAS NIC-2019.

Se trabajará metodología cuantitativa, y se presentarán instrumentos de investigación con un análisis de datos que brindará resultados que finalizan con conclusiones brindadas en los acápites finales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes y Contexto del Problema

1.1.1. Antecedentes Internacionales

1. Estimación de demanda de tránsito en la carretera Florencio del Castillo, Costa Rica, publicado en septiembre 2018, por María Estefanía Coto Solano, con el propósito de conocer el comportamiento o flujo vehicular para mejorar las condiciones de las carreteras en esta región. Con una metodología Cuantitativas, muestra resultados positivos, recomienda y sugiere mejoras en vías de acceso principales como secundarias considerando datos obtenidos en dicho estudio de tránsito.
2. Diseño de un pavimento alternativo para la Avenida Circunvalación sector Guacamayo, Chile, Publicado en el año 2015, por Erwin Walter Fontalba Gallardo, con la misión de mejorar el acceso y tiempos de transporte se realizó estudio y sugiere se ejecute proyecto de circunvalación de dicho tramo en estudio considerando su propuesta y metodología planteada.
3. Diseño del tramo carretero comprendido de la comunidad volcancito hacia la comunidad sam greene, del municipio de tucuru, departamento de Alta Verapaz, Guatemala, publicado en septiembre de 2007 por Hector Nery Hernández con el propósito de mejorar las condiciones del camino en esa comunidad, con una metodología cuantitativa, muestra resultados positivos, así mismo recomienda y sugiere pautas a ejecutar para garantizar extensión de vida útil del proyecto.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

1. Diseño de pavimento y geométrico vial de tramos de carretera, publicadas en el periodo 2006-2022 en Nicaragua, por egresados universitarios, especialistas y Masters del área de la ingeniería civil y urbanismo, con el propósito de investigar y aplicar nuevos métodos internacionales recomendados por empresas especializadas en el diseño de carreteras, estas investigaciones dieron resultados positivos en el desarrollo de la infraestructura vial del país de ese entonces hasta la actualidad.
2. Determinación de tasas de crecimiento de tráfico promedio diario anual en Nicaragua a partir de datos macroeconómicos, publicada en diciembre de 2021, por MSc Ing., Sergio Navarro Hudiel, con el objetivo de estimar el TPDA de sitio por medio de un aforo vehicular y aplicación de factores de ajuste estacionales dadas por el MTI y posterior lograr determinar las tasas de crecimiento ya sea anual o interanual, esta investigación dio resultados positivos, siendo una referencia como una guía técnica para la estimación de tasas de crecimiento.
3. Estudio de seguridad vial en la circunvalación de Masaya tramo: Nindiri – Las Flores, publicada en noviembre de 2016, por Katia Balladares y José Nicaragua, presenta la necesidad de revisar, corregir y mejorar el diseño geométrico de la vía y su señalización para disminuir el daño de la carretera producto del rodamiento y evitar accidentes de tránsito, esta investigación presenta resultados positivos y puede ser utilizada como una referencia para el diseño geométrico vial.

1.1.3. Antecedentes locales

1. Diseño de estructura de pavimento en articulado y diseño geométrico vial del tramo yaule- yaule abajo Matagalpa, por el método de AASHTO 93, presentada en 2020, con el fin de mejorar las condiciones del tramo de carretera, con una metodología cuantitativa mostro resultados positivos para la ejecución de proyecto de adoquinado.
2. Diseño geométrico vial y estructura de pavimento articulado de 1.2 km del tramo fricciones hacia Ciudadela Hábitat, ubicado en el departamento de Matagalpa, por el método AASHTO 93, Esta propuesta tiene como propósito mejorar las condiciones físicas y mecánicas de la carpeta de rodamiento.
3. Diseño de pavimento articulado por el método AASHTO-93 y drenaje menor de 700m lineales del tramo salida Apante hacia El Arenal, ubicado en el municipio de Matagalpa, esta propuesta tiene la finalidad de mejorar las condiciones del sitio en estudio, presenta una metodología cuantitativa obteniendo resultados positivos en la ejecución de obras.

1.2. Objetivos

Objetivo General:

- Proponer estructura de pavimento articulado de 2.10km del tramo entrada sur, Bo Apante -El Socorro, Municipio de Matagalpa, por el método de AASHTO 93.

Objetivos Específicos:

- Realizar el estudio de tránsito para identificar la composición y volumen vehicular actual a través de un aforo manual basado en la clasificación de MTI.
- Analizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos existentes en la subrasante, así como los bancos de materiales existentes aplicando clasificación AASHTO.
- Diseñar los espesores de pavimento considerando el uso de adoquín como estructura de rodamiento aplicando método AASHTO-93 verificando con el software WinPAS 12.

1.3. Descripción del Problema y Preguntas de Investigación

Esta investigación pretende averiguar una propuesta de diseño de estructura de pavimento articulado viable del tramo en estudio, considerando y aplicando las normativas diseño AASHTO- 93 y SIECA 2011, lo cual mejorara el flujo vehicular y beneficiara al sector turístico, económico y peatonal de la zona y comunidades aledañas.

Por lo que nos planteamos la siguiente pregunta

¿Cuál será el diseño de estructura de pavimento articulado viable del tramo en estudio en la ciudad de Matagalpa?

1.4. Justificación

Se sabe que el mejoramiento en las vías de transporte es de vital importancia para el desarrollo de una ciudad y sus habitantes, es por ello que el proyecto de adoquinado permitirá reducir la problemática de no disponer de un camino adecuada en todo tiempo, de tal manera surge la iniciativa de realizar el diseño de la carpeta de rodamiento con estructura de pavimento articulado para un proyecto de 1,500 metros lineales de adoquinado

Por medio de esta investigación se pretende proponer un diseño de pavimento articulado apropiado, de manera que este documento sirva de guía para el diseño de pavimentos articulados basado en la Guía AASHTO 93, proporcionando un modelo de diseño metodológico apropiado para la implementación del proyecto obra horizontal.

Este documento facilitará una alternativa para el diseño de la estructura del pavimento, la cual les permita a los pobladores la gestión de los fondos para su construcción, así mismo, se podrá usar como guía o referencia para estudiantes e ingenieros que deseen diseñar dichas estructuras.

De no realizarse este diseño la alcaldía no contará con una propuesta directa para la gestión de fondos para su construcción. Una vez que cuenten con el diseño, podrán gestionar los fondos para la construcción de este, lo cual promoverá un impacto socioeconómico positivo en el área de influencia.

1.5. Limitaciones

1.5.1 Limitaciones de impacto.

La falta de estudios previos especializados en la zona nos limita a que nuestra propuesta sea relevante ya que no se cuenta con estudios de importancia tales como Estudio de suelos e Hidrológico esto dificulta la validez del diseño.

En lo que corresponde al Estudio de tránsito una de las limitantes es el tiempo y recursos a utilizar para la recolecta de datos del flujo vehicular del sitio en estudio.

1.5.2. Acceso a datos.

A nivel nacional, regional y local se han realizado cientos de diseños de pavimentos y estudios pertinentes para el desarrollo y ejecución correcta de dichos proyectos, esto nos da una pauta, pero también nos limita ya que el análisis de datos no es acorde al de la zona.

1.6. Hipótesis

El diseño de estructura de pavimento articulado viable del tramo en estudio en la ciudad de Matagalpa será analizando y aplicando normativas AASHTO-93 y verificando con el software WinPAS 12.

1.7. Variables

Variable:

- Diseño de estructura pavimento articulado.

Subvariables.

- Aforo Vehicular, Estudio de tránsito.
- Análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo, Estudio de suelos.
- Diseño de estructura de pavimento.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1. Estado Del Arte

Tabla 1. Bases de Datos Científica Utilizada

Bases de datos científicas utilizadas	No. De publicaciones relacionadas con la investigación de acuerdo a la base de datos	No. De publicaciones con mayor reconocimiento científico	Tipos de publicaciones identificadas
Google Académico	Aproximadamente 75,000 resultados.	+4 publicaciones citadas entre 56 hasta 526 veces	Artículos de revisión.
Scielo	Aproximadamente 39 resultados.	+6 publicaciones descargas entre 856 hasta 5430 veces.	Artículos de revisión. Informes. Tesis.
Dialnet	Aproximadamente 511 resultados.	+418 publicaciones citables.	Artículo de revista. Artículo de libro. Libro.

Fuente: Sustentantes

Tabla 2. Principales teorías y aportes del tema de investigación

Autor(es) y año En orden cronológico	Principales teorías y aporte al tema de investigación
<p>Montejo Fonseca, A 1998 Diseño de pavimentos de carreteras. Pag 612</p>	<p>Pavimentos, construcción y conceptos generales. Descripción y fundamentos de carreteras. Estudio del tránsito para diseño de pavimentos. Estudio de los suelos para diseño de pavimentos. Estabilización de suelos. Esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles. Modelos de distribución de esfuerzos y deflexiones para pavimentos rígidos y adoquines. Diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos para carreteras. Diseño de espesores de pavimentos rígidos para calles y carreteras. Diseño de espesores de pavimentos de adoquines de concreto. Diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Diseño estructural de pavimentos rígidos para aeropuertos. Pavimentos industriales de concreto.</p>
<p>Hugo Alexander Rondón Quintana, Metodologías de diseños de pavimentos flexibles. Tendencias, alcances y limitaciones. Ciencias e Ingeniería Pag 41-61</p>	<p>Se discuten los alcances y limitaciones de dichas metodologías y tendencias, haciendo énfasis en el comportamiento de materiales granulares que conforman capas de base y subbase. Además, se realiza una discusión crítica sobre la forma como el método de diseño colombiano evalúa el fenómeno de deformación permanente en estructuras de pavimentos flexibles.</p>
<p>Freddy Alberto Reyes Lezcano, Diseño de pavimentos flexibles. Pag 1-26</p>	<p>El artículo presenta los tipos de metodologías para el análisis y diseño de estructuras de pavimentos flexibles en el mundo, las tendencias actuales y el avance de herramientas computacionales, así como sus aplicaciones de normas de diseño en la ingeniería de pavimento.</p>

Fuente: Sustentantes

2.2. Teorías y conceptualizaciones asumidas

2.2.1. Estudio de tránsito

2.2.1.1. Volumen y Clasificación. Según (Hudiel, 2010) volumen de tránsito se define como el número de vehículos o peatones que pasan por un punto o sección transversal dado de un carril o de una calzada durante un periodo determinado de tiempo.

Se denomina volumen de tráfico al número de vehículos que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo específico.

El volumen y clasificación vehicular nos permite estudiar el flujo y composición directa de vehículos en un tramo de carretera.

2.2.1.2. Tránsito Promedio Diario Anual. Según (ABC Geotechnical Consulting, 2022) Valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

TPDA es el valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

Uno de los elementos claves para el diseño de carreteras es el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual o TPDA como fundamento de análisis de tránsito.

2.2.1.3. Tasa de crecimiento. Según (Navarro, 2021) la tasa de crecimiento es la medida estadística de mayor relevancia para determinar el comportamiento del tráfico futuro, utilizado en el diseño geométrico vial y espesores de pavimento.

La División de Administración Vial de oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes (MTI, 2019, pp. 16-17) refiere que el método más común para el cálculo de tasa de crecimiento interanual de tráfico es la siguiente ecuación:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación 1, Fuente: (MTI, 2020)}$$

Donde:

TC: Tasa de Crecimiento

TPDA_i: Tráfico Promedió Diario Anual

TPDA_o: Tráfico Promedió Diario Anual de año base.

N: Diferencia de años.

Este método se aplica cuando los datos de anuarios estadísticos al menos dispongan de 5 datos de análisis, para ello se podrá usar otros periodos de análisis considerando otro año base de referencia.

2.2.1.4. Tránsito de diseño. Conforme a lo indicado por (Hernandez, 2011) con esto se determina la cantidad de vehículos que circulan en una vía y así obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil.

Este cálculo es esencial en el estudio de tránsito ya que este relaciona parámetros importantes tales como el TPDA y factores de ajuste que determinara la magnitud exacta del tránsito de diseño.

El análisis se basa en el tránsito que se presenta en la vía, así como en sus proyecciones, para finalmente llegar a obtener el número de ejes equivalentes (ESAL” S) que utilizará el pavimento durante la vida útil”.

2.2.1.5. Factor Equivalencia

Según (National Academies Sciences, Engineering, Medicine, 2010) La principal causa de los daños que sufre un firme es la circulación de vehículos pesados, el porcentaje de danos que originan depende en gran medida de una serie de factores propios del vehículo, tales como la configuración de los ejes, la carga por eje, los sistemas de suspensión, la velocidad del vehículo y la presión de los neumáticos.

El método de factores de equivalencia de carga (LEF) es utilizado en todo el mundo para normalizar los efectos que los vehículos pesados ejercen sobre la firme. El LEF más utilizado es el que se deriva del ensayo de carreteras AASHTO.

La conversión del tránsito a un número de ESAL'S de 18 Kips (Equivalent Single Axle Load) se realiza utilizando Factores equivalentes de carga LEF (Load Equivalent Factor). Estos factores fueron determinados por la AASHTO en sus tramos de prueba, donde pavimentos similares se sometieron a diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño producido y la relación existente entre estas configuraciones y cargas a través del daño que producen.

2.2.2. Estudio de suelos.

“El estudio geotécnico se realiza previamente al proyecto de un edificio y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación” (Rodríguez Ortiz y otros, 1984).

2.2.2.1. Propiedades y físico-mecánicas del suelo. Según (Badillo, 1973) El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo, textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia profundidad efectiva.

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad. Estas propiedades de los

suelos que constituyen la Subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento

Las características o propiedades físico-mecánicas del suelo son los parámetros principales de un material, ya que esto nos indica cual es la resistencia, consistencia, plasticidad, permeabilidad entre otras, parte fundamental para diseños de carreteras.

2.2.2.2. Clasificaciones de los suelos. Según (Boiero, 2020) El sistema de clasificación de suelos AASHTO está basado en los mismos parámetros que el Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS). Sin embargo, su empleo se restringe a proyectos de carreteras y, en menor medida, a ciertas aplicaciones que incluyen la caracterización de materiales de relleno.

Este sistema AASHTO divide a los suelos inorgánicos en 7 grupos, designados del A-1 al grupo A-7, considerando que el grupo A-1 es el mejor suelo para ser usado en la subrasante, es decir, un material bien graduado compuesto de arena y grava, con pequeños contenidos de arcilla como agente cementante.

Tabla 3. Clasificación de los suelos según ASSHTO 93.

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% pasante #10	50% máx						51% mín				
#40	30% máx	50% máx									
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx		10% máx	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Fuente: Manual de diseño de pavimento AASHTO 93.

En pocas palabras podemos decir que la clasificación de suelos puede ser caracterizada según su metodología o región; también entender que esta clasificación nos da una pauta para identificar, determinar y conocer qué tipo de material estamos trabajando.

2.2.2.3. Método del valor de soporte CBR

Conforme a lo indicado por (Geotech, 2018) El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

El ensayo de resistencia más utilizado en el medio es el CBR (Relación California de Soporte) AASHTO T-193 (ASTM D-1883), para caracterizar el valor soporte de los suelos como material de fundación de carreteras o para ser utilizados como material de sub-base o base.

EL CBR es un ensayo que se realiza para conocer la calidad del suelo en base a porcentajes, en diseño de carreteras el CBR mínimo de un suelo es de 80% según Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

2.2.3. Diseño de estructura de pavimento.

Según (Cipriano Londoño, 2022) El análisis de las estructuras de pavimento se basa en la teoría de la elasticidad bajo el supuesto de materiales perfectamente elásticos, isotrópicos y homogéneos. Todos los materiales poseen propiedades de elasticidad, lo que en pocas palabras se puede definir como la capacidad que tiene un material de deformarse bajo el efecto de una carga externa y recuperar la forma inicial cuando la carga desaparece. El rango de esfuerzo admisible para lograr que el cuerpo se comporte dentro del límite elástico es variable de acuerdo con el tipo de material.

2.2.3.1. Especificaciones técnicas de la estructura de pavimento. Según (Proyecto Mejoramiento de transitabilidad peatonal y vehicular de las vías locales del centro poblado de Cruz Colorada, distrito de Pías-Patas La Libertad, 2018) Las especificaciones técnicas tienen como finalidad establecer los lineamientos básicos, los mismos que permitan al ingeniero residente y/o contratista de la correcta ejecución de la obra y a la inspección velar por su cumplimiento.

Los pavimentos están formados por capas de resistencia decreciente con la profundidad. Generalmente se componen de: carpeta de rodamiento (que puede ser asfáltica o de hormigón), base y subbase apoyado todo este conjunto sobre la subrasante. En algunos casos puede faltar alguna de estas capas.

Las especificaciones técnicas del diseño de pavimento básicamente son todas las condiciones, parámetros y criterios que se deben cumplir en cada etapa constructiva, es decir, desde la construcción de subrasante hasta subrasante de diseño.

2.2.4. Diseño de pavimento según metodología AASHTO.

El método de diseño (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993), originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que represente las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

Por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93. Cuya ecuación es:

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

Ecuación 2.

Fuente: Manual para el diseño de pavimento AASHTO 93.

Donde:

W₁₈, Ejes Equivalentes de diseño

Z_R, nivel de confiabilidad

S_o, Desviación Estándar Combinada

SN, número estructural

ΔPSI: Variación de índice de serviciabilidad

MR, Módulo Resiliente

Esta metodología actualmente es la más usada en el diseño de pavimentos a nivel nacional e internacional, se debe mencionar que existen varios métodos de diseño de pavimentos, pero AASHTO-93, se destaca por considerar parámetros y criterios que los demás métodos no tomaban en cuenta, entre ellos la serviciabilidad, Confiabilidad, Desviación Stándar, Periodo de Diseño, etc, esto nos permite identificar y determinar cuánto y cuál es la dimensión exacta de las capas que componen toda la estructura de pavimento.

2.2.4.1. Servicialbilidad. Según lo indicado por (Ricardo, 2015) se define como la capacidad que tiene un pavimento para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar.

Teóricamente se define como el índice de serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad final, donde un valor de 5 para la serviciabilidad inicial indica un pavimento en condiciones totalmente perfectas lo cual es imposible de contar en la práctica, y un valor de 0 para un pavimento final significa que el pavimento está totalmente destruido, la perdida de serviciabilidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = PSI \text{ inicial} - PSI \text{ final} \quad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 4. Perdida de serviciabilidad

Índice de serviciabilidad inicial	Índice de serviciabilidad final
Po = 4.5 para pavimentos rígidos	Pf = 2.5 o más para caminos
Po = 4.2 para pavimentos	Pf = 2.0 para caminos de tránsito

2.2.4.2. Confiabilidad. Conforme a lo indicado por (Ricardo, 2015) Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.

Según el manual y metodología de diseño de pavimentos AASHTO 93, se deben considerar los factores de confiabilidad recomendados, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Factores de Confiabilidad Recomendados.

Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)		
Clasificación de la Vía	Zona Urbana	Zona Rural
Autopistas	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-99
Locales	80-95	75-95
Ramales y Agrícolas	50-80	50-80

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

La confiabilidad no es más que el índice o magnitud numérica recomendada por el AASHTO 93, según la clasificación de la vía y ubicación de la zona.

2.2.4.3. Módulo de resiliencia. El módulo resiliente según (Juan Carlos Munera Miranda, José Pablo Aguiar Moya, 2019) es una medida de la capacidad de un material de almacenamiento o absorbedor de energía sin que este experimente una deformación permanente. Este se determina mediante ensayos triaxiales de carga repetida y es un parámetro importante en el análisis y diseño de pavimentos flexibles.

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la sub rasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos articulados, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR.

Básicamente es un parámetro a considerar ya que este nos indica cual es la resistencia portante del suelo, cuando este está sometido a cargas.

2.2.4.4. Cálculo de correlación de CBR y MR. El ensayo (CBR) mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub- rasantes bajo el pavimento de carreteras, 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.

Para que este cálculo se efectuó de forma correcta, se deben considerar los parámetros normados por el manual de diseño de pavimento que nos indica lo siguiente:

Tabla 6. Correlaciones CBR y MR.

Valor de CBR	Consideración
CBR<10%	MR= 1500*CBR Ec.4
CBR>10%	MR= 4236*Ln(CBR)+241 Ec.5

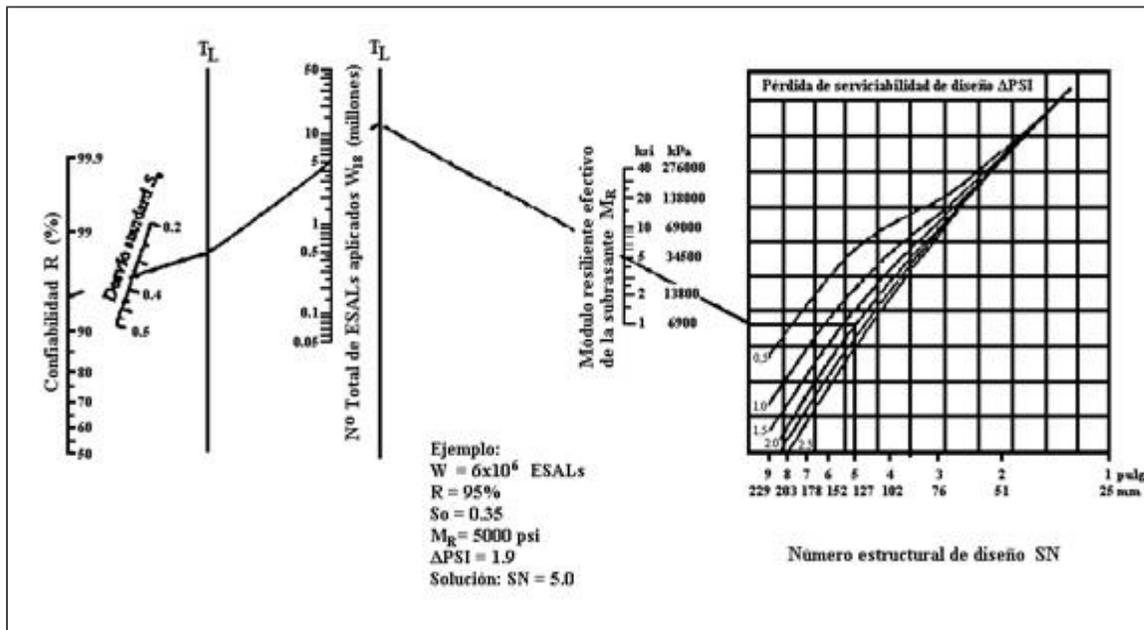
Fuente: Manual de diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

2.2.4.5. Numero estructural. El número estructural según (Cueva del ingeniero Civil, 2020) Es el número que expresa la resistencia del pavimento en términos del valor de soporte del suelo, del equivalente diario de 18 kips de carga por eje, del índice de utilidad y del factor regional. Los coeficientes adecuados convierten el valor SN en el espesor real de la carpeta, base y sub-base.

El número estructural se denominará SN "structural number".

El método está basado en el cálculo del Número Estructural "SN" sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén. Para esto se dispone de siguiente figura:

Gráfico 1: Abaco de diseño de AASHTO para pavimentos



Fuente: Manual de diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

El número estructural determina la resistencia de la estructura de pavimento considerando parámetros de diseño tales como Confiabilidad, Desviación Standard, Esals de diseño, Modulo resiliente, Serviabilidad etc.

2.2.5. Desviación Standard

La desviación estándar (American Association of State Highway and Transportation Officials, 93) es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad (R); en este paso deberá seleccionarse un valor So.

2.2.6. Periodo de diseño

El periodo de diseño (Ingeniería Civil, 2014) Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Generalmente el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto, éste será superior a 20 años.

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

Tabla 7. Periodos 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 de diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

2.3. Marco contextual e institucional

Esta investigación se realizó en Universidad de Ciencias Comerciales UCC.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

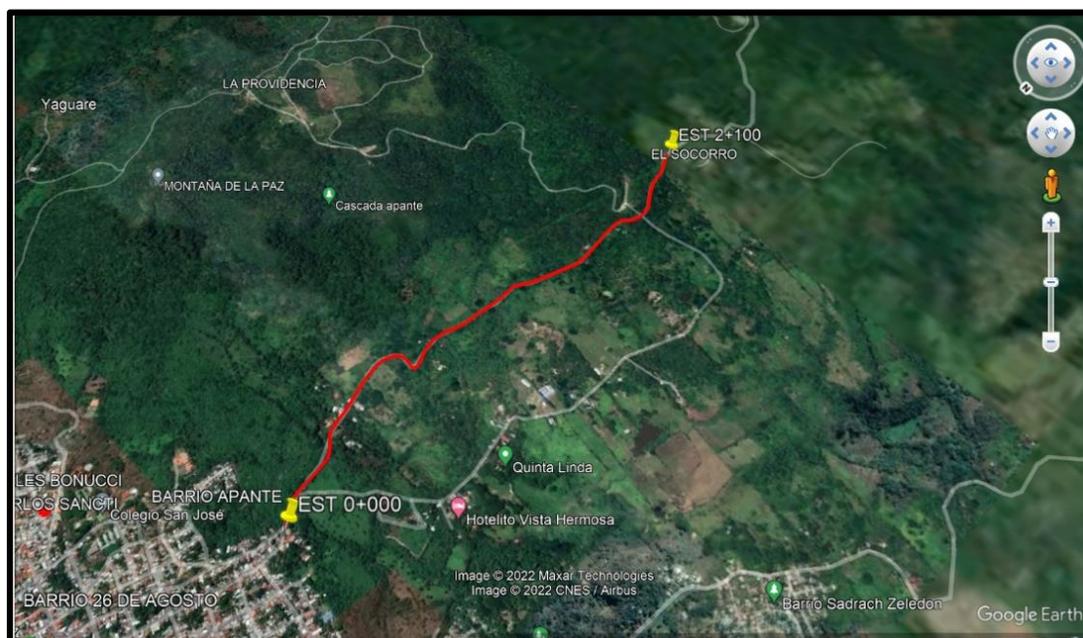
3.1. Tipo de Investigación.

La Investigación es aplicada, se planea resolver una problemática, considerando que es de necesidad social, tiene enfoque cuantitativo, ya que, se recopiló, procesó e interpretó la información obtenida de entrevistas y encuestas.

El estudio es de corte transversal descriptivo por las condiciones y parámetros que se van a considerar. Esta investigación según la fuente de investigación es de tipo documental al obtener información de libros, tesis, documentos varios etc.

3.2. Área de estudio

Imagen 1: Área de estudio de investigación.



Fuente: Google Earth 2022.

El área en estudio de este diseño es Bo Apante hacia comunidad El Socorro, zona altamente productiva y de acceso principal hacia demás comunidades y haciendas que son de gran relevancia en la economía local del municipio de Matagalpa, En dicho proyecto serán beneficiados directa e indirectamente alrededor de 700 familias de la zona y alrededores, según datos extraído del INIDE.

3.3. Unidades de Análisis: Población y Muestra: tamaño de la muestra y muestreo

El universo está compuesto por toda la población sujeta al área de estudio, la población estudiada es de 198 que fue el resultado del análisis y procesamiento del aforo vehicular realizado in situ haciendo uso del formato oficial de aforo vehicular del MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura) para determinar el TPDA (Transporte Promedio Diario Anual) correspondiente al tramo de carretera Bo Apante hacia comunidad El socorro y comunidades aledañas.

La población del sitio es aceptable ya que si tomamos como referencia la estación de corta duración Matagalpa – El Arenal que está en dependencia de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe NIC 18A del anuario de aforos de tráfico 2020. La ECD- 302 es una carretera principal para la distribución vehicular al casco urbano de Matagalpa, donde cierto porcentaje se dirige hacia nuestro sitio en estudio y aporta al flujo vehicular del mismo.

Según Tamayo y Tamayo (1997), afirma que la muestra "es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico" (P:38)

Según el tamaño de la población de estudio se procede a calcular el tamaño de la muestra para una población finita conforme la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Ecuación. 6

En donde:

n: es el tamaño de la muestra buscado

N: es el tamaño de la población (2,828)

Z_{α}^2 : es el parámetro estadístico que depende del nivel de confianza del 95% (coeficiente: 1.96²)

e: error de estimación máximo aceptado para un margen de 5% (proporción: 0.05)

p: probabilidad de que ocurra el evento estudiado en este caso el 0.5

q: (1-p) probabilidad de que no ocurra el evento deseado 0.5

$$n = \frac{(198) * (1.96)^2 * (0.5) * (0.5)}{(0.05)^2 * (198 - 1) + (1.96)^2 * (0.5) * (0.5)}$$

$$n = 130.88 \approx 131$$

Por el tamaño de la población de estudio la muestra estará conformada por 131 equivalentes al TPDA o volumen vehicular del sitio para una población finita.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Principales: Para dicho diseño, se realizarán estudio de tránsito, suelos y pavimento, para la obtención de datos utilizaremos formatos de aforo vehiculares facilitados por (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020), así como cuadros bibliográficos suministrados por laboratorios de suelos y entrevistas para el diseño de pavimento con el objetivo de conocer la afluencia vehicular que circula por el tramo en estudio.

Secundarios: Se obtiene información sobre método a aplicar desde Universidades locales como; Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Universidad Nacional de Nicaragua UNAN, Universidad Nacional Agraria UNA entre otras, así como de constructoras nacionales e internacionales.

3.5. Confiabilidad y Validez de los instrumentos.

De acuerdo a la aplicación del instrumento y formato de aforo vehicular suministrado y utilizado por el MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura) utilizados en el presente estudio reúnen criterios de validez y fiabilidad institucional ya que es aplicado a nivel nacional y regional. (Ver anexos 1-8)

Dicho lo anterior, es necesario destacar que el instrumento (formato de aforos del MTI) cumple todos los requerimientos técnicos, ya que este fue validado por una serie de especialistas de transporte a nivel nacional e internacional, por lo que no se determina el cálculo de la misma.

3.6. Procesamiento de datos y análisis de la información.

Se aplicará el método de la AASHTO-93 para el diseño de la estructura de pavimento (Base, Sub-base, Sub-rasante).

Anuario de Aforos MTI 2020, referencias a estudio de tránsito.

Anuario Estadístico 2022 BCN, referencias a tasas de crecimiento poblacional.

Manual Centroamericano para el Diseño de Carreteras Regionales SIECA 2019 para considerar normas y criterios de diseño.

Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 1993.

Especificaciones NIC-2000 para caminos rurales de bajo costo.

Software Microsoft Excel 2019 para el procesamiento del levantamiento de aforo vehicular, así como para el análisis de sondeos de línea y bancos de materiales.

Software WinPAS 12, para el diseño de espesores de la estructura de pavimento.

Software SketchUp 2021, para modelar estructura de pavimento.

3.7. Operacionalización de Las Variables

Tabla 8. Operacionalización de Las Variables

Objetivo	Variable	Sub variables	Marco referencial	Item	Tipo de instrumento	Dirigido
Realizar el estudio de tránsito para identificar la composición y volumen vehicular.	Estudio de tránsito	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen y clasificación. • Transito promedio Diario Anual (TPDA) • Tasa de crecimiento • Tránsito de diseño. • Ejes Equivalentes (W18 o ESAL) 	1. Estudio de tránsito 1.1. Volumen y clasificación. 1.2. Transito Promedio Diario Anual (TPDA) 1.3. Tasa de Crecimiento. 1.4. Tránsito de Diseño. 1.5. Ejes equivalentes	¿Qué es un estudio de tránsito? ¿Cuáles son los elementos del tránsito? ¿Cuál es el volumen y clasificación vehicular? ¿Qué es el TPDA? ¿Cuándo se aplica el cálculo de tránsito de diseño? ¿Cómo se calcula el ESAL de diseño de una carretera?	Formato de aforo MTI	Ingenieros Civiles.

<p>Analizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos existentes en la subrasante, así como los bancos de materiales.</p>	<p>Estudio de suelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físico-mecánicas del suelo. • Clasificaciones de los suelos • Método del valor de soporte California (CBR) 	<p>2. Estudio de suelos</p> <p>2.1. Propiedades físico-mecánicas del suelo.</p> <p>2.2. Clasificación de los suelos.</p> <p>2.3. Método del valor de soporte California (CBR)</p>	<p>¿Qué es un estudio de suelos?</p> <p>¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del suelo?</p> <p>¿Cuál es la clasificación de los suelos según normativas?</p>	<p>Cuadros bibliográficos</p>	<p>Ingenieros Civiles.</p>
--	--------------------------	--	---	--	-------------------------------	----------------------------

<p>Diseñar los espesores de pavimento considerando el uso de adoquín como estructura de rodamiento aplicando método AASHTO-93 verificando con el software WinPAS 12.</p>	<p>Diseño de estructura de pavimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones técnicas de la estructura de pavimento. • Diseño de pavimento según metodología AASHTO-93. • Serviciabilidad. • Confiabilidad • Módulo de resiliencia. • Correlación de CBR y MR. • Numero Estructural • Factor equivalencia FESAL. • Desviación estándar (So) 	<p>3. Diseño de estructura de pavimento.</p> <p>3.1. Especificaciones técnicas de la estructura de pavimento.</p> <p>3.2. Diseño de pavimento según metodología AASHTO 93.</p> <p>3.3. Serviciabilidad</p> <p>3.4. Confiabilidad</p> <p>3.5. Módulo de resiliencia.</p> <p>3.6. Correlación de CBR y MR.</p> <p>3.7. Numero Estructural.</p> <p>3.8. Desviación estándar (So)</p>	<p>¿Cómo se realiza un diseño de pavimento?</p> <p>¿Cuáles son los tipos de pavimentos?</p> <p>¿Qué es un pavimento articulado?</p> <p>¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la estructura de pavimento?</p> <p>¿Cómo se aplica la metodología AASHTO-93 en el diseño de pavimento?</p>	<p>Cuadros bibliográficos.</p>	<p>Ingenieros Civiles.</p>
--	--	---	---	--	--------------------------------	----------------------------

		<ul style="list-style-type: none"> Periodo de Diseño. 	3.9. Periodo de Diseño.	<p>¿Qué es serviciabilidad de un pavimento?</p> <p>¿A qué se refiere la confiabilidad en el diseño de pavimento?</p> <p>¿Qué es el módulo de resili</p> <p>¿Que determina el numero estructural?</p> <p>¿Cómo se considera la desviación estándar?</p> <p>¿Qué es un periodo de diseño?</p>	
--	--	--	-------------------------	---	--

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 Estudio de tránsito.

El propósito de los estudios de tráfico es el de obtener a través de métodos sistemáticos de recolección 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 Anual (TPDA), que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado.

4.1.2 Volumen y Clasificación

Clasificación según su funcionabilidad.

Troncal Principal: Sirven como corredor para viajes a larga distancia como tráfico inter-departamental o Inter-regional. Tienen un volumen de tráfico de más de 1000 vehículos por día, y la velocidad de operación es de 100 Kph. (Hudiel, 2012)

Troncal Secundaria: Une centros urbanos con poblaciones entre los 10,000 y 50,000 habitantes. El volumen de tráfico es de 500 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

(Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Colectora Principal: Une centros urbanos con 4,000 a 10,000 habitantes. Su volumen de tráfico es de 250 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph. (Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011)

Colectora Secundaria: Une principalmente zonas con poblaciones inferiores a los 400 habitantes con un tipo de camino superior. Su volumen de tráfico es de 50 a 80 vehículos por día y su velocidad de operación es de 30 a 50 kph.

(Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Caminos Vecinales: Conectan fincas y poblados con las carreteras de las categorías anteriores. Esta clasificación es de tipo administrativo y no tiene relación con las normas y estándares de diseño de ingeniería, los cuales están relacionados al volumen de tránsito, uso del suelo y a la topografía del terreno.

Tiene acceso a zonas poblacionales inferiores a los 300 habitantes. Su volumen de tráfico es menor de 50 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 kph. (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Recopilación de datos

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información y análisis.

Se realizó por medio de Conteo Vehicular, que consistió en medir el volumen de tráfico que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas diurnas. La recolección de datos se realizó durante 7 días consecutivos, una semana, en las fechas del lunes 07 de noviembre hasta el domingo 13 de noviembre del año 2022, entre las 06:00 horas y las 18:00 horas, a fin de evaluar las condiciones de tráfico normales, basándose para esto en la tipología y descripción vehicular que brinda la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2020-2021.

Para realizar el aforo, se utilizó el Formato elaborado por los sustentantes del documento mostrado en **Anexo 1**.

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. **(Anexos II-VIII).**

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 17 tipos de vehículos, por lo que es conveniente agruparlos en cuatro categorías.

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.

Vehículos Livianos

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

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.

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.

(Infraestructura, Inventario de Red Vial, 2008)

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 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 9 -10).**

Procesamiento de información

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se procesa toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándose para esto en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2020-2021.

Análisis de la información obtenida.

En este proceso se usó los criterios basados en la AASHTO-93 para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos, donde se determinan la tasa de crecimiento y factor carril para el cálculo de Esal W18 de diseño y demás aspectos fundamentales como lo son la Serviciabilidad, desviación standard, módulo resiliente etc.

4.1.3 Transito Promedio Diario Anual

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 8**, 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.

En **Grafico 1**, se muestra la composición del tránsito promedio diario semanal vehicular en porcentajes para el tramo en estudio.

Tabla 9. Trafico Promedio Diurno Semanal

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	45	41	20	37	6	4	9	16	13	4	0	195
Martes	50	22	14	24	3	3	6	5	3	0	0	130
Miércoles	133	31	26	34	4	7	9	11	11	5	0	271
Jueves	40	24	28	32	7	9	9	10	9	6	0	174
Viernes	29	17	16	23	1	1	8	2	0	2	0	99
Sábado	39	28	21	38	15	7	6	7	8	7	0	176
Domingo	50	36	10	62	14	12	7	6	6	8	0	211
Total	386	199	135	250	50	43	54	57	50	32	0	1256
TPDIS(Vehículos/12 hrs)	56	29	20	36	8	7	8	9	8	5	0	186

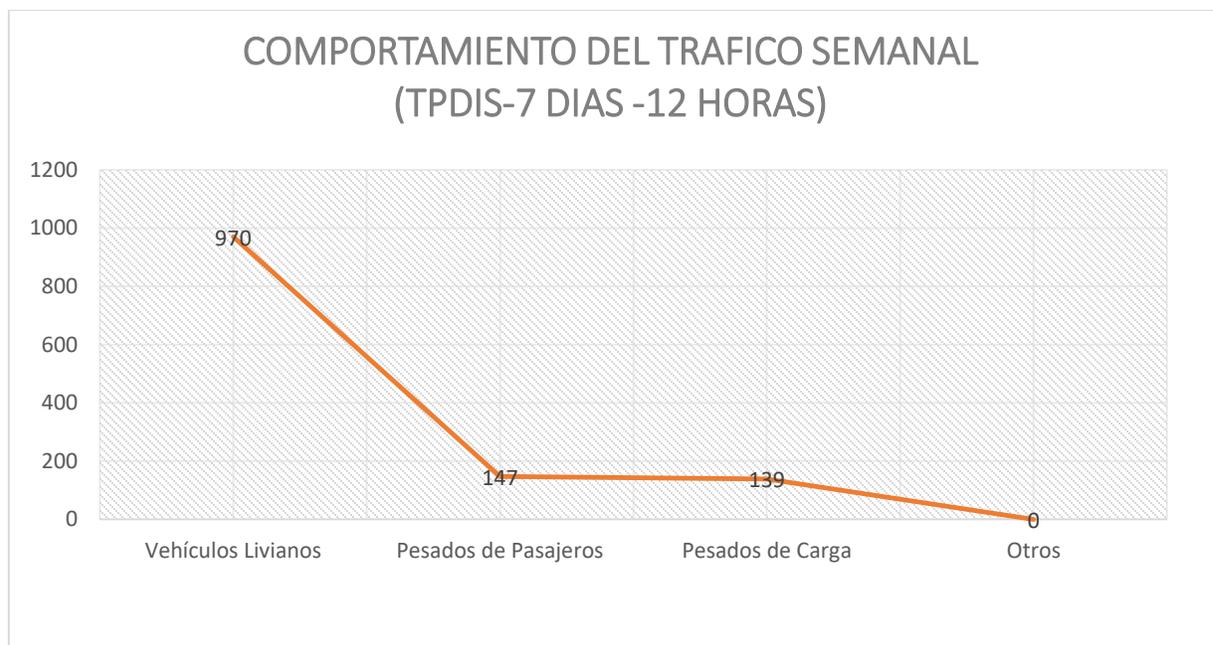
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.1 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.

Al finalizar el conteo de tránsito de 7 días consecutivos durante 12 horas en la Est. Inicial del tramo, posteriormente se realizó el consolidado en Microsoft Excel, donde se logró ver una amplia perspectiva del comportamiento vehicular, obteniendo un Trafico Promedio Diurno Semanal **TPDiS de 186 vehículos.**

Grafico 2: Comportamiento del trafico semanal



Fuente: Elaboración propia.

En el **Gráfico-1** se mostró el comportamiento del tránsito diurno semanal con respecto a su composición vehicular, predomina en este caso los Vehículos Livianos, seguido de los vehículos pesados de pasajeros luego los vehículos pesados de carga.

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2020-2021, para los subtramos ECD-302. Matagalpa– El Arenal, está en dependencia de la estación de mayor cobertura 1802 NIC-18A San Marcos – Masatepe.

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores de ajuste 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 agosto durante una semana y 12 horas diurnas se dispuso a expandir el tránsito promedio diario haciendo uso de los factores de ajuste de la estación de mayor cobertura EMC N°.1802 (San Marcos - Masatepe).

El tránsito promedio diario anual (TPDA) fue calculado mediante los factores de ajuste; factor día puesto que el 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 10 a continuación)**

Tabla 10. Factores de Ajuste Utilizados Estación No. 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 2020-2021).Pág. 387

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 7:**

$$TPDA = TD_{12H} * FD * FT \quad \text{Ec.7.}$$

Donde:

TD₁₂: Tráfico promedio diario 12 horas.

FD: Factor día.

FT: Factor temporada (Expansión a TPDA).

Tabla 11. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste.

Factor / Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros	total
	Moto	Autos	Jeep	Cta	Micbus	Mb. 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
TPDS	56	29	20	36	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	0	148.6
FACTOR DIA	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	1	13.68
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	79	39	23	45	2	2	2	2	2	2	0	198
% TPDA	39.9%	19.7%	11.6%	22.7%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	100.0%
% TPDA Veh. Livianos	93.9%											
% TPDA Veh. Pasajeros	3.0%											
% TPDA Veh. Pesados	3.0%											
% TPDA Veh. Otros.	0.0%											

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resulta de **198** vehículos por día.

4.1.3.2 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.

La tasa de crecimiento interanual de TPDA se calculó usando la **ecuación 8**:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right] \text{Ec.8.}$$

Donde:

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

Una vez obtenidas una serie de tasas de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación

$$Tf = [Tc1 * Tc2 * Tc3 ... * Tcn]^{1/n} \text{ Ec.9.}$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final.

Tcn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

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

$$TC = \left[\left(\frac{(PIB,POB)_i}{(PIB,POB)_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \text{ Ec.10.}$$

TC: Tasa de crecimiento. **i:** Año Actual. **o:** Año actual del año base.

Tabla 12. Evolución TPDA de la Estación 1802. (San Marcos- Masatepe)

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
127	NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe	2020	5661	1294	278	884	344	93	143	410	165	43		69					8	9.392
					2019	5213	1344	310	957	397	96	158	387	172	50		85					9	9.178
					2018	5167	1548	319	1032	386	98	159	431	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	8	6.324
					2011	1971	978	309	803	322	60	139	286	195	27		35					7	5.132
					2010	1501	1076	336	843	356	82	154	290	214	36		40					8	4.936
					2009	1326	1068	363	885	340	76	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	281	72	213	321	241	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	150	34		21			2		17	2.871
					1997	184	500	234	746	18	69	169	91	206	18		13					12	2.260
						Liv.	8117			Pasaj.	580		Pesado			695							
							86%				6%					7%							

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020-2021,MTI- DAV).Pág 155.

Tabla 13. Evolución TPDA de la Estación 302. (Matagalpa- El Arenal)

36	NIC-3	302	ECD	Matagalpa - El Arenal	2020	1970	818	289	817	68	69	88	78	112	5	9				2	4.325	
					2012	282	115	84	361	20	4	70	95	56	3	1				3	1.094	
					2011	226	87	69	271	11		53	87	33	5	4				12	858	
					2010	192	93	68	314	8		62	107	50	19	2				2	917	
					2008	120	135	109	293	12		84	112	163	12	17				1	1.056	
					2005	38	117	105	353	11	4	69	90	124	15	28		1		2	958	
					2002	70	106	115	411	9		82	94	164	32	17				1	1.102	
					1999	31	48	77	281	1	1	70	45	71	8	17					650	
					EMC:1802																	
					Tasa Crecimiento: 6,74%																	
					2020	1970	818	289	817	68	69	88	78	112	5	9				2	4.325	
					Liv.			3894			Pasaj.			225			Pesado			206		
					90%			5%			5%											

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020-2021, MTI- DAV).

En las tablas 12 y 13 nos muestra la evolución del TPDA para la estación de mayor cobertura (San Marcos-Masatepe EMC 1802A) la cual posee una tasa de crecimiento de 5.07% correspondiente a los años 2008-2020, así mismo de la evolución del TPDA de la estación de corta duración (Matagalpa- El Arenal ECD302) la cual posee una tasa de crecimiento de 6.74% correspondiente al periodo de 1996-2020 respectivamente.

4.1.3.3 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 2008 al año 2020, considerando solamente los resultados menores de 10% y obviando los valores negativos, esto con el propósito de no afectar el resultado final.

El PIB promedio de 11,266.2 Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 5.35% **Ver Tabla No. 14 a continuación.**

Tabla 14. Datos Históricos del PIB

AÑO	PIB (Miles \$)	T.C
2008	8,497.0	
2009	8,298.7	-2.33%
2010	8,458.6	1.93%
2011	9,774.3	15.55%
2012	10,532.5	7.76%
2013	10,983.0	4.28%
2014	11,880.4	8.17%
2015	12,756.7	7.38%
2016	13,286.0	4.15%
2017	13,786.8	3.77%
2018	13,025.2	-5.52%
2019	12,595.3	-3.30%
2020	12,586.5	-0.07%
Promedio	11,266.2	5.35%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2020

▪ 4.1.3.4 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 2008 al año 2020, considerando solamente los resultados menores de 10% y obviando los valores negativos, esto con el propósito de no afectar el resultado final.

El POB promedio es de 6193.9 Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio anual es de 1.28%. A continuación (Ver Tabla 15).

Tabla 15. Datos Históricos del POB

AÑO	POB	T.C
2008	5,778.8	
2009	5,850.5	1.24%
2010	5,923.1	1.24%
2011	5,996.6	1.24%
2012	6,071.0	1.24%
2013	6,134.3	1.04%
2014	6,198.2	1.04%
2015	6,262.7	1.04%
2016	6,327.9	1.04%
2017	6,393.8	1.04%
2018	6,460.4	1.04%
2019	6,527.7	2.09%
2020	6,595.7	2.09%
promedio	6193.9	1.28%

Fuente: Banco Central – Indicadores Económicos 2020.

4.1.3.5 Análisis de la información obtenida

A partir de estas series históricas obtenidas de anuario de aforos del MTI y de anuario de indicadores macroeconómicos del BCN, se procede a calcular las tasas de crecimiento de TPDA ECD 302 aplicando la ecuación 8 y 9, PIB y POB aplicando la ecuación 10 previamente mencionadas:

Tabla 16. Cálculo de tasas de crecimiento interanual para la ECD-302

ESTACION MAS CERCANA ECD 302 (Matagalpa- El Arenal)				
TPDA ECD 302				
AÑO	TPDA	TCA	Periodo	Tasa de Crecimiento Periodo
1999	650.0			
2002	1102.0	69.54%		19.240%
2005	958.0	-13.07%		-4.561%
2008	1056.0	10.23%	2005-2008	3.300%
2010	917.0	-13.16%	2011-2012	-6.814%
2011	858.0	-6.43%	2019-2020	-6.434%
2012	1094.0	27.51%		27.506%
2020	4325.0	295.34%		18.747%

Fuente: Elaboración propia

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{1,056}{958} \right)^{1/2008-2005} - 1 \right] * 100 = 3.30\%$$

Aplicación de la ecuación 8

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

$$\left\{ \begin{array}{l} TC_{PIB} = \left[\left(\frac{12,586.5}{8,497} \right)^{1/13} - 1 \right] * 100 = 3.07\% \\ TC_{POB} = \left[\left(\frac{6595.7}{5778.8} \right)^{1/13} - 1 \right] * 100 = 1.02\% \end{array} \right\}$$

Aplicación de Ecuación 10.

▪ **4.1.3.5.1 Consolidado de las tasas de crecimiento**

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

Tabla 17. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB)

TPDA ECD 302A	PIB	POB
TC= 3.3%	TC=3.07%	TC=1.02%
Alta	Alta	Muy bajo
PROMEDIO		
TASA DE CRECIMIENTO TC= 2.46% ACEPTABLE		

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 que la tasa de crecimiento de TPDA ECD 302 es alta con 3.3%, la tasa de crecimiento de PIB es alta con 3.07% y la tasa de crecimiento de POB es de 1.02% que resulta muy baja, por lo que se decidió realizar un promedio más acorde, considerando los datos históricos del TPDA ECD 302, PIB y POB, obteniéndose una tasa de crecimiento de **2.46%**.

- **4.1.3.5.2 Selección de la tasa de crecimiento**

La tasa seleccionada es de **2.46%** se sustenta en base al crecimiento económico del PIB de los últimos 13 años, la cual resulta aceptable con relación al registro histórico de la estación de corta duración (ECD 302)

4.1.4 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 11**:

$$\text{TD} = \text{TPDA} * \text{FC} * \text{FD} * \text{fc} * 365 \quad \text{Ec.11.}$$

Donde:

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

FC: Factor de Crecimiento

FD: Factor de Distribución

FC: Factor carril

- **4.1.4.1 Período de Diseño (PD)**

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo con las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, se eligió **20 años** para su período de diseño, ya que se tiene un TPDA de **198 Vehículos/día**.

Tabla 18. 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.

▪ **4.1.4.2 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 12:**

$$\text{FC} = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec.12.}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

$$\text{FC} = \frac{(1 + 0.0246)^{20} - 1}{0.0246} = 25.45$$

- **4.1.4.3 Factor Distribución Por Dirección (FD)**

Este valor se puede 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 19)**

Tabla 19. 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**.

- **4.1.4.4 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 20** que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

Tabla 20. 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.

- **4.1.4.5 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

- **4.1.4.6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt)**

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía:

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**.

- **4.1.4.7 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– 13:**

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{Ec.13.}$$

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

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

▪ 4.1.4.8 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**.

▪ 4.1.4.9 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 **Anexos 12-13**.

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

4.1.5 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:

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365 \quad \text{Ec.14.}$$

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:

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} * \text{FESAL} \quad \text{Ec.15.}$$

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 21**.

Tabla 21. Tránsito de Diseño

Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL'S							
Tipo de vehículos	Tránsito Actual (2018)	F.C.	Días del año	Tránsito de diseño	Factor por carril(Fc)	Factor de Dirección (Fs)	Tránsito para el carril de diseño
Autos	39.00	25.45	365	362,280.75	0.50	1.00	181,140.38
Jeep	23.00	25.45	365	213,652.75	0.50	1.00	106,826.38
Camionetas	45.00	25.45	365	418,016.25	0.50	1.00	209,008.13
McBus<15 pas	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
MnBus 15-30 pas	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
Bus	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
C2 liv	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
C2 5 +ton	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
C3	2.00	25.45	365	18,578.50	0.50	1.00	9,289.25
Total							552,710.375

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:

$$x = \frac{a*(d-e)+b*(c-d)}{c-e} \quad \text{Ec.16.}$$

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

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la **Ecuación 15** 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. 2018	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	39.00	181,140.38	181,141.00	0.00038	69
	1.00	2.20	Simple				0.00038	69
Jeep	1.00	2.20	Simple	23.00	106,826.38	106,826.00	0.00038	41
	1.00	2.20	Simple				0.00038	41
Camionetas	1.00	2.20	Simple	45.00	209,008.13	209,008.00	0.00038	79
	2.00	4.40	Simple				0.0034	711
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.0034	32
	4.00	8.80	Simple				0.0502	466
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.0502	466
	8.00	17.60	Simple				0.9206	8551
Bus	5.00	11.00	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.1265	1175
	10.00	22.00	Simple				2.35	21829
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.0502	466
	8.00	17.60	Simple				0.9206	8551
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.1265	1175
	10.00	22.00	Simple				2.35	21829
C3	5.00	11.00	Simple	2.00	9,289.25	9,289.00	0.1265	1175
	16.50	36.30	Doble				1.43	13283
Total, ESAL´S de Diseño(W18)								80,008.00
								8.00E+04

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo un valor ESAL's de **80,008.00 equivalente = 8.00E+04**

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 lbs.) y representará el carril de diseño.

4.2 Estudio de Suelos.

En este estudio se presentan los resultados de las investigaciones efectuadas a partir de los sondeos manuales. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener las principales características del sub-suelo del tramo Salida Norte Bo Apante hacia comunidad El Socorro, donde se requiere realizar el diseño de la estructura de pavimento. Además, estudiar los bancos de materiales que pueden cubrir las necesidades del proyecto.

Los ensayos de laboratorio y caracterización física mecánica de los suelos fueron realizados con el apoyo de la Alcaldía de Matagalpa.

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), Granulometría, Límites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico) y Densidad (Proctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 23. Tipos de ensayos para estudio de suelos.

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría	D – 422	T – 2788
Límite Líquido	D – 423	T – 8990 y 9087
Índice de Plasticidad	D – 424	T – 9097
Ensayo Proctor Modificado	D – 1557 – 91	T – 180 – 90
Ensayo CBR.	D – 1883 – 73	T – 193 – 81

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

4.2.1 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 300 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 1+800.

Se efectuaron 7 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 18 muestras inalteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

4.2.1.1 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 anexo 14.**

Se encontraron suelos superficiales con un promedio de 20 cm y hasta el final de los sondeos de 1.50 m de profundidad, existen principalmente suelos gravo arenolimoso con clasificación HRB de **A-2-4 (0)**, con CBR de 12% al 95% Proctor, como también existen suelos tipo A-2-6 (0), A-2-7 (6), A-1-a(0) y A-4(1). La mayoría con coloración café.

Para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se presentó la secuencia estratigráfica del sitio en estudio. **(Ver Anexo 16.)**

4.2.3 Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.

En base a los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios suministrados por la Alcaldía de Matagalpa, se analizó un (1) Banco de Préstamo, para así poder conocer la función que puede desempeñar este, al ser usado como material base. los cuales se presentan a continuación.

Tabla 24. Banco de materiales.

Nombre de Banco	Ubicación	Volumen Aproximado(m ³)	Uso Probable
Cerrito Apante	Entrada al tramo. banda Izq.	80,400	Base

Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

Tabla 25. Características y propiedades físico mecánicas del Banco de Materiales.

Nombre y propiedad del Banco	El Cerrito Apante					
Tamiz	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% que Pasa	46	27	17	11	7	5
Limite Liquido	33	Indice de plasticidad				10
Clasificacion H.R.B	A-2-4(0)	Equivalente de Arena				
Tipo de prueba empleada		Modificado				
Peso vol. Seco maximo		2,057				
Humedad optima		10.80%				
Metodo compactacion empleado	ASTM-D-1883					
% de compactacion	90%		95%		100%	
Peso vol. Seco reproducido (kg/m3)	1,843		1941		2,046	
C.B.R Saturado	76%		83%		91%	
Hinchamiento (%)						
Tipo de Saturacion (Horas)	96		96		96	
Observaciones materiales	El material es grava gruesa a fina con poco fino y arena con limo y arcilla color gris claro					

Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

4.2.4 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 el Banco (**EL Cerrito Apante**).

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

El Banco de Materiales está conformado por suelos (A-2-4 (0)) con 54% de grava 30% de arena y 16% de fino, índice de grupo 0. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza por ser bueno para ser utilizado como material de base en estructuras de pavimento.

Los Pesos Volumétricos Secos Suelto máximo 2057 kg/m³, respectivamente. La Densidad máxima es de 1682 kg/m³, su humedad óptima es de 10.84%. Los resultados del ensayo CBR realizado corresponde al 83% (95%). La comparación de los requerimientos de la NIC-2000 se muestran en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Requisitos Graduación de Agregados.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco Las Carmelitas	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.

4.2.5 Determinación del 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.

Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

- 1) Identificar los Valores 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.

4.2.5.1. Identificación de la 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.

Se puede apreciar en los perfiles estratigráficos que este tramo cuenta con una capa de rodadura de un espesor mínimo **10 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-1-b (o), A-7-6(2) y A-4(6).

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

Tabla 27. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante

No.	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla N° 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 proctor modificado. (AASHTO-99)	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor 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 es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales obtenidos que sea iguales o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule por el pavimento.

Tomando en cuenta que el ESAL's es de **80,008.00** por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **75%**, tal y como se indica en la **Tabla N°28**.

Tabla 28. 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 sub rasante:

Tabla 29. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante

CLASIFICACION AASHTO	CBR	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	%
A-7-5(8)	3	1	19	100.00%
A-7-6(2)	5	1	18	94.74%
A-4(1)	20	1	17	89.47%
A-2-6(0)	21	8	16	84.21%
A-2-4(0)	26	6	8	42.11%
A-1-b (0)	38	1	2	10.53%
A-1-a (0)	42	1	1	5.26%
TOTAL DE MUESTRAS DE CBR=	19			

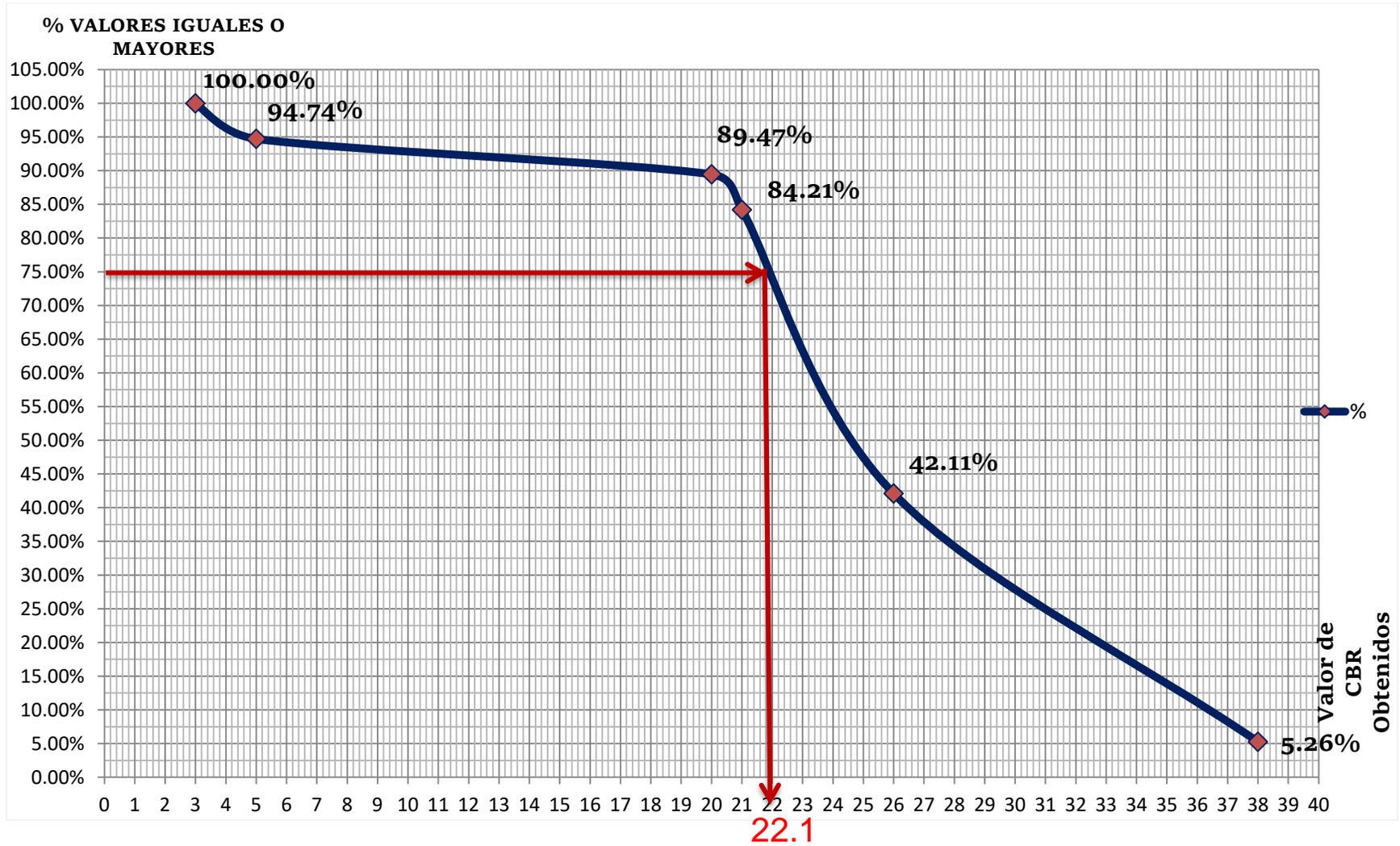
Fuente: Elaboración Propia.

Con los valores CBR y porcentajes de cada uno de los valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño para sub-rasante.

De acuerdo al tránsito que se espera que circule en la vía, determinado en el estudio de tránsito de este proyecto, y sabiendo que éste será de **80,004.00**; se eligió el valor percentil para el diseño de sub-rasante según lo muestra la **Tabla**

Nº28 que es de **75%** de los valores mayores o iguales, el cual se interceptó con la curva de los valores de CBR como se aprecia en el **gráfico 3**, para encontrar el CBR de diseño de la sub-rasante que a continuación se presenta:

Gráfico 3. Selección del CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado del **CBR** de diseño para la subrasante fue de **22.1%**. Se asume que este porcentaje que establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

4.3 Diseño de estructura de pavimento

4.3.1 Generalidades

El método de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, es el más usado y cuenta con técnicas de diseño para estructuras de pavimentos rígidos, semi-rígidos, flexibles y articulados. Se ha elegido el método AASHTO 93, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO.

4.3.1.1 Carga de Ejes Simples Equivalentes

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 $F=1$.

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 **80,008.00**.

4.3.1.2 Confiabilidad.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que el sistema de pavimento durante todo el período de diseño se comporte de manera satisfactoria bajo las condiciones de carga. (SIECA, 2002)

Esta variable trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, cuyo valor depende de variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento, del nivel de confiabilidad elegido y del error estándar combinado, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan se desempeñarán satisfactoriamente sobre las cargas de tráfico y condiciones ambientales que durarán como mínimo el período de diseño.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004 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 Colectora Rural lo cual se muestra en la **Tabla N°30**. 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 N°31**.

Tabla 30. 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 31. 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.

4.3.1.3 Desviación Estándar

La desviación estándar aplicada en este modelo se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción de el mismo. Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito.

Tabla 32. 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.

4.3.1.4 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 33. 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.

4.3.1.5 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 34 - 35.**

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar es de **mi = 1.00**.

Tabla 34. 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 35. 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.

4.3.1.6 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 **22.1%**. Este se obtuvo con un percentil de **75%**. (Ver Gráfico 3)

4.3.1.7 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 36. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	Mr= 1,500 * CBR Ecuac. 17
CBR > 10%	Mr= 4,326*Ln(CBR)+241 Ecuac. 18

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 **22.1%**, utilizaremos el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la subrasante aplicando la siguiente ecuación, por tanto:

$$Mr = 4,326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4,326 * \ln(22.1\%) +$$

$$Mr = 13,632.47 \text{ PSI}$$

El módulo Resiliente de la sub rasante es **Mr= 13,632.47 PSI**

4.3.2 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 83 %**)

4.3.2.1 Coeficientes Estructural a_1

El coeficiente estructural de capa de un asfalto denso graduado basado en su módulo elástico (EEC) según la guía de la AASHTO-93, 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** valor tomado del Manual centroamericano para diseño de pavimentos, capítulo 7, sección; Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO, pág. 107.

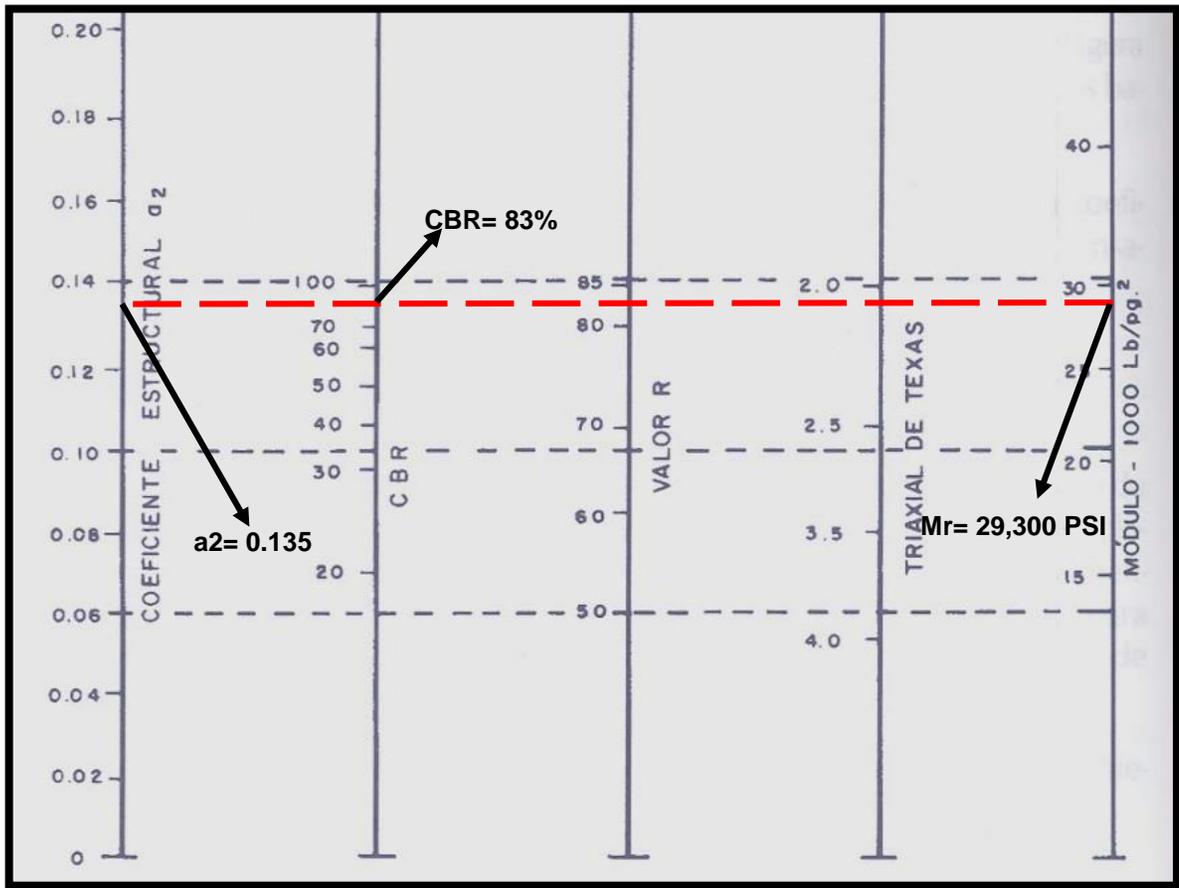
4.3.2.2 Coeficientes Estructural a_2

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 valor que dio como resultado el estudio de suelos que se ejecutó en laboratorio realizado al banco de materiales llamado El Cerrito Apante, de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente

estructural de $a_2=0.135$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de $Mr = 29,300$ PSI.

Gráfico 4. Obtención del Coeficiente estructural a_2 y el Módulo Resiliente, para Base granular



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

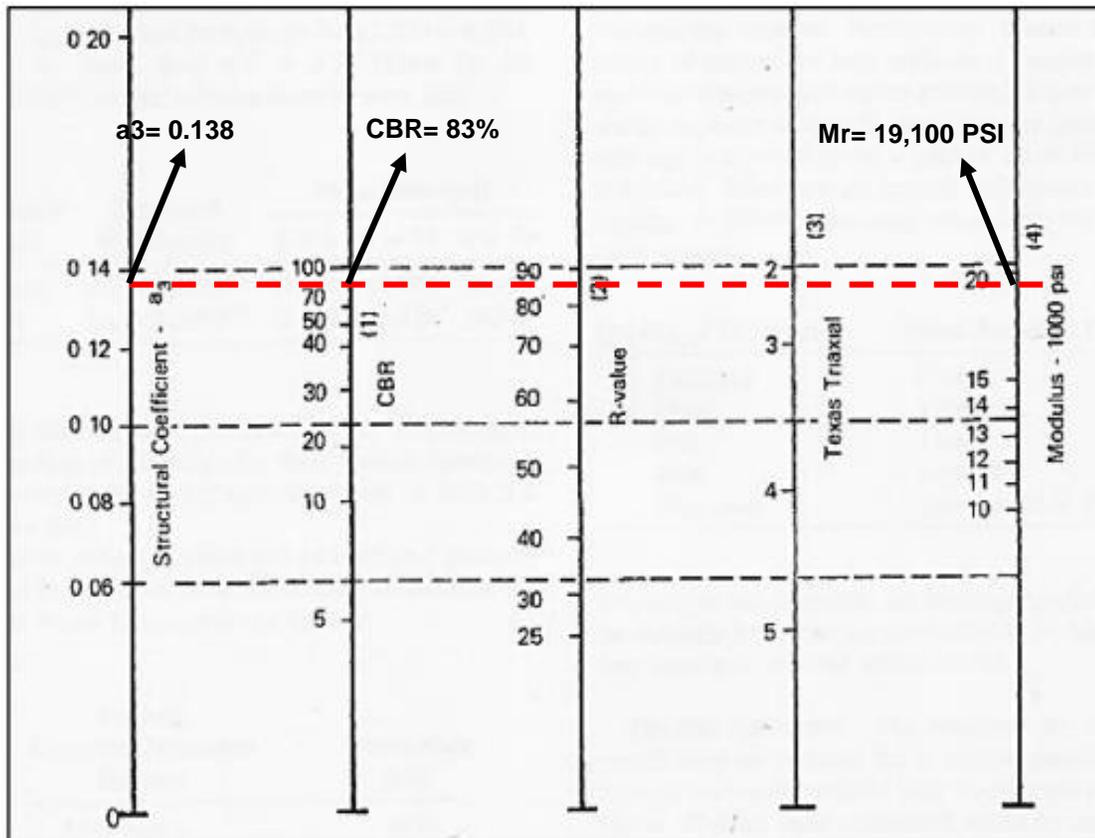
4.3.3.3 Coeficientes Estructural a_3

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 llamado Puertas Rojas, En este caso se propone utilizar el mismo banco de materiales 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 $a_2=0.138$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de $Mr = 19,100 \text{ PSI}$.

Gráfico 5: Obtención del coeficiente estructural a_3 y el módulo resiliente para Subbase granular



. Grafico para determinar el coeficiente estructural (a_3) de la Subbase g

Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

4.3.3.4 Número Estructural

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil. (AASHTO , 93)

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:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 \text{ Ec.19.}$$

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.

4.3.4 Cálculo de Espesores

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D₁= 4 pulgadas**, según el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos, SIECA.

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

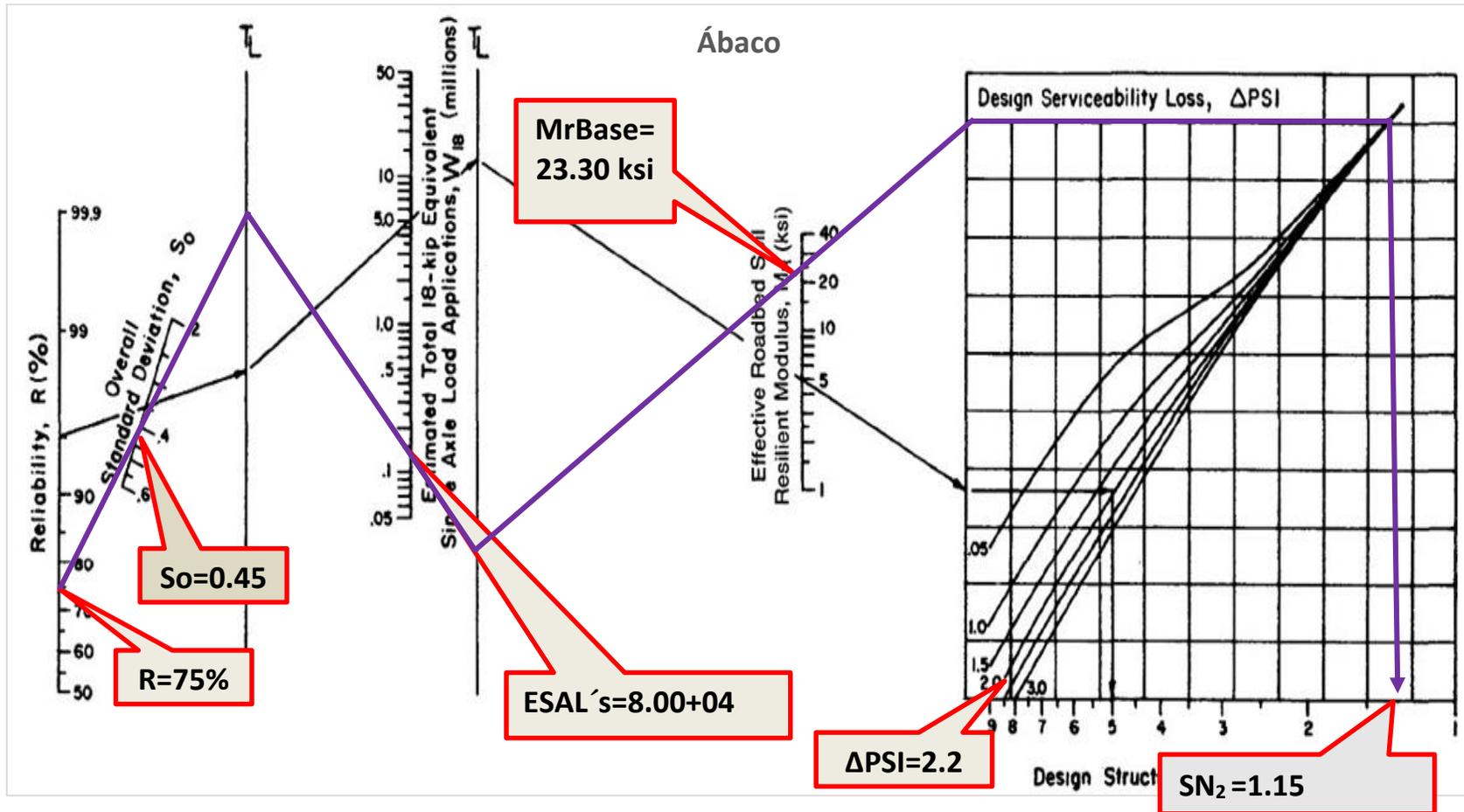
$$SN_1 = a_1 * D_1 \text{ Ec.20}$$

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

$$SN * _1 = 1.8$$

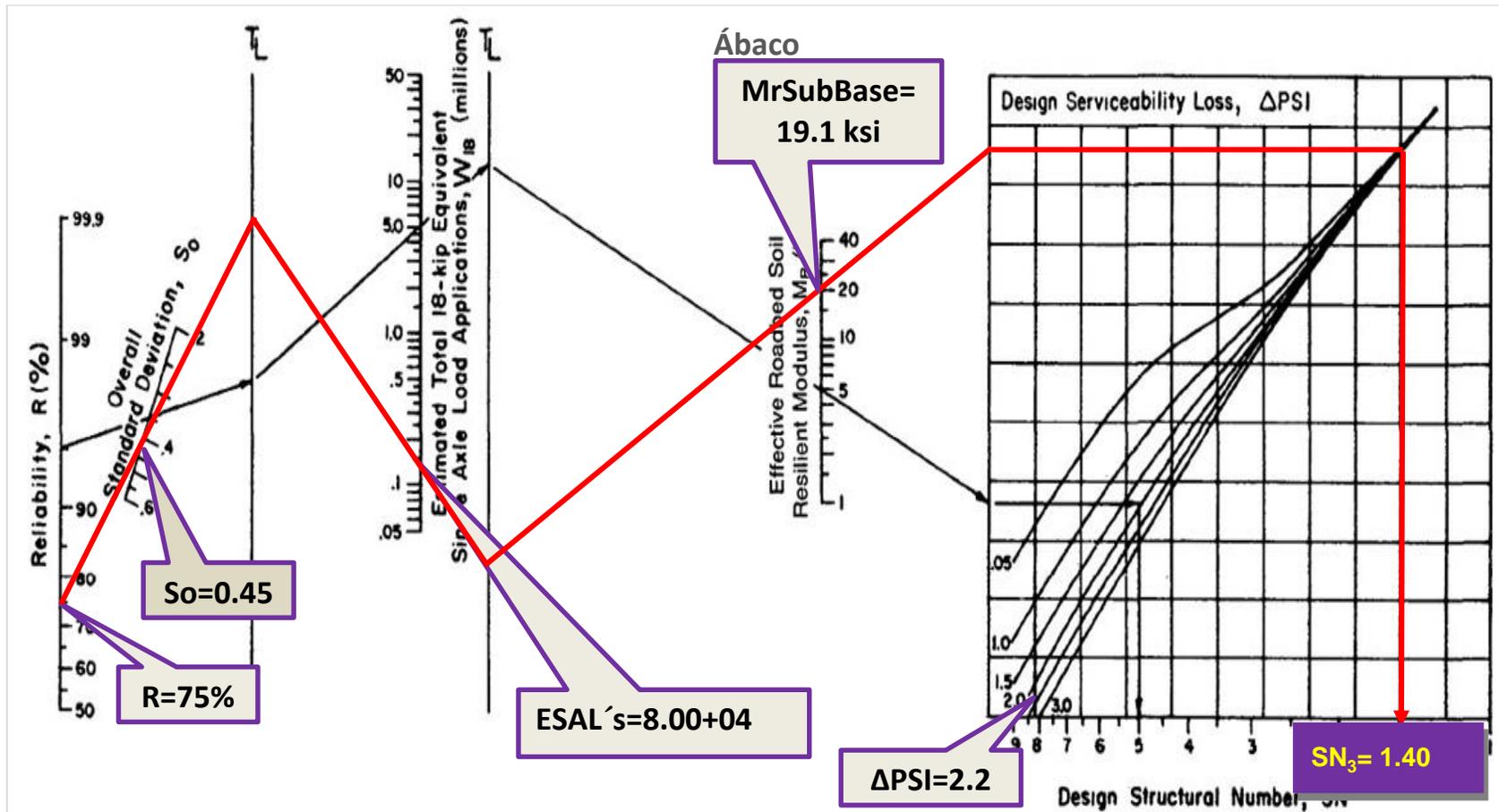
Para el cálculo de **SN₂ (Base)**, **SN₃ (Subbase)** y **Numero Estructural (SNrequerido)**, se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un **SN₂ de 1.15**, **SN₃ de 1.40**.

Gráfico 6. Obtención del Número estructural SN_2 (SN_{base})



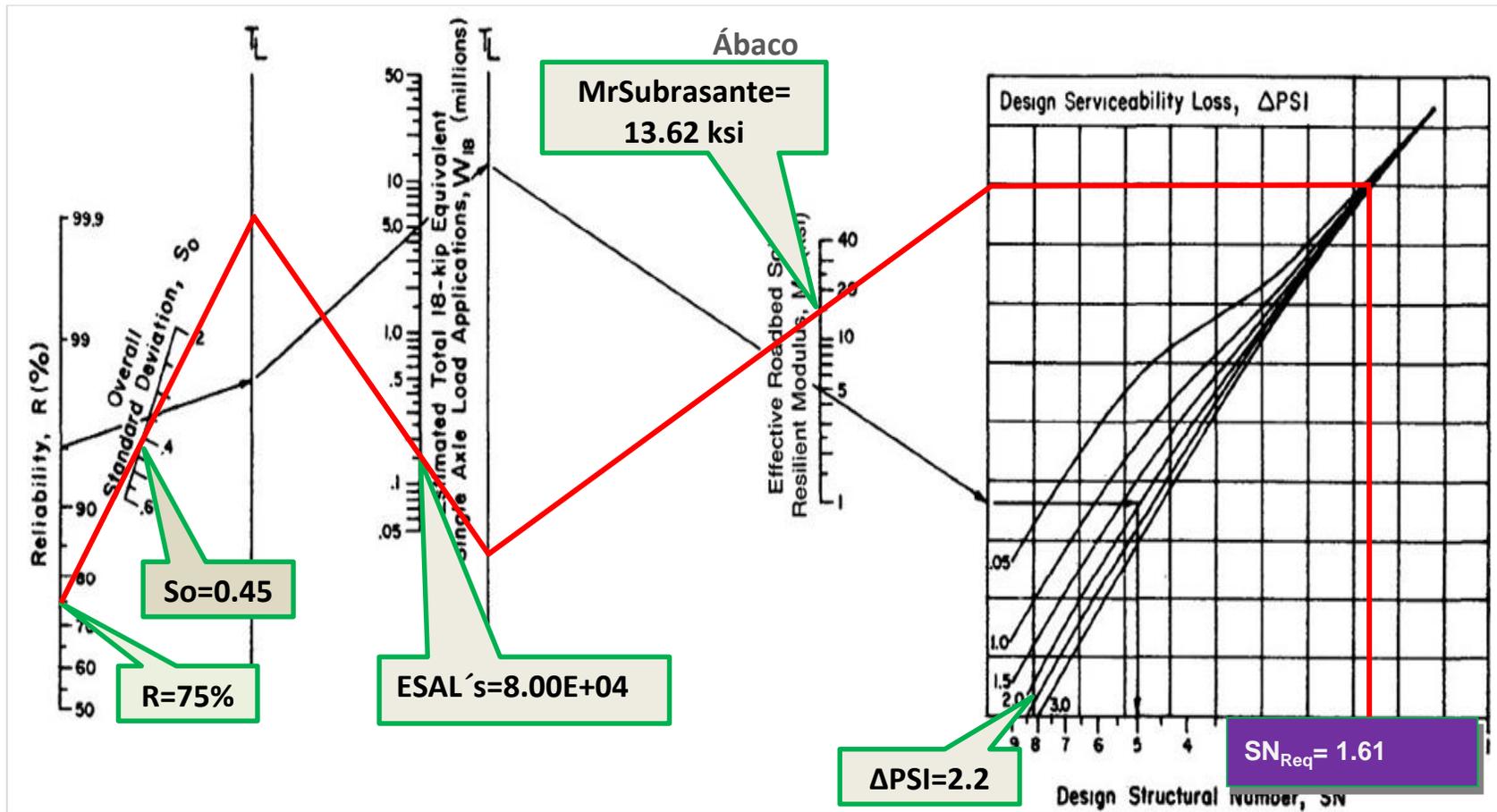
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 7. Obtención del Número estructural SN₃ (Subbase)



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 8. Obtención del Número estructural SN Requerido.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO

4.3.4.1. Cálculo del espesor de la base (D₂)

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 (D₂):

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN * _1)}{a_2 * m_2}$$

Ec.21.

$$D_2 = \frac{(1.15 - 1.80)}{0.135 * 1}$$

D₂ = - 4.8" pulgadas por lo tanto;

D₂ = 4.00" pulgadas

Dado que el espesor que se requiere para que **D₂** (Base) no cumple con los espesores mínimos, para que resista los esfuerzos que le transmitirá la carpeta de adoquín, se utilizará un espesor mínimo recomendado por el Manual de Diseño de Pavimento de la AASHTO 93, este espesor de acuerdo con la **Tabla 37**, resulta que para un ESAL's de diseño de **80,008.00**. El espesor mínimo de la base granular es **4.00 pulgadas** (10.16 centímetros).

Tabla 37. 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.22.

$$SN_2 = (0.135) * (4.0) * (1.00)$$

$$SN_2 = 0.54$$

El número estructural (SN_2) valor para la base resulta de 0.552.

Para la Subbase (D3):

$$D_3 = SN_3 - \left(\frac{SN_2 + SN_1}{a_3 + m_3} \right) \text{ Ec. 23}$$

$$D_3 = 1.40 - (0.54 + 1.80) / (0.138 * 1)$$

$D_3 = -15.55$ pulgadas, por lo tanto, NO CUMPLE.

Los criterios de diseño de la AASHTO 93, indica que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo, este no necesita dicha capa.

Verificación tenemos la formula siguiente:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{requerido} \quad \text{Ec.24}$$

$$1.8 + 0.54 \geq 1.61$$

$$2.34 \geq 1.61 \quad \text{O.K}$$

4.3.4.2 Espesores finales de Diseño

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 1.8 km del tramo **Bo Apante hacia comunidad El Socorro** será de **4 pulgadas** ya que este caso se utilizará adoquín, la base granular será de **4 pulgadas**, los espesores detallados son los siguientes:

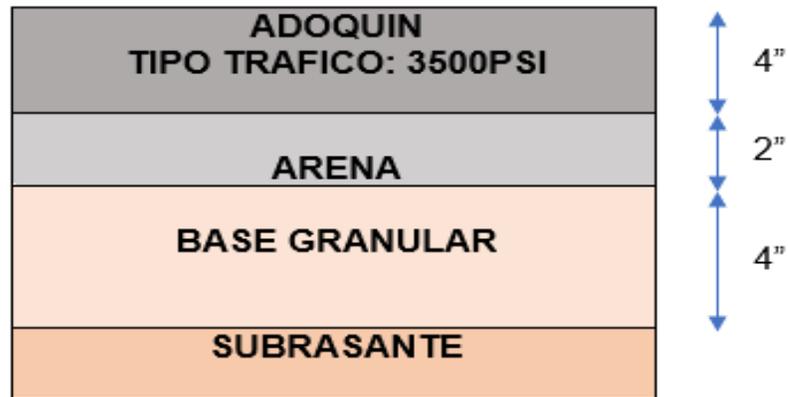
Tabla 38. Espesores de Diseño

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. Tal y como se muestra en la (**Imagen 2**) la estructura total es de **8" pulgadas**.

Imagen 2. Estructura de Pavimento Articulado



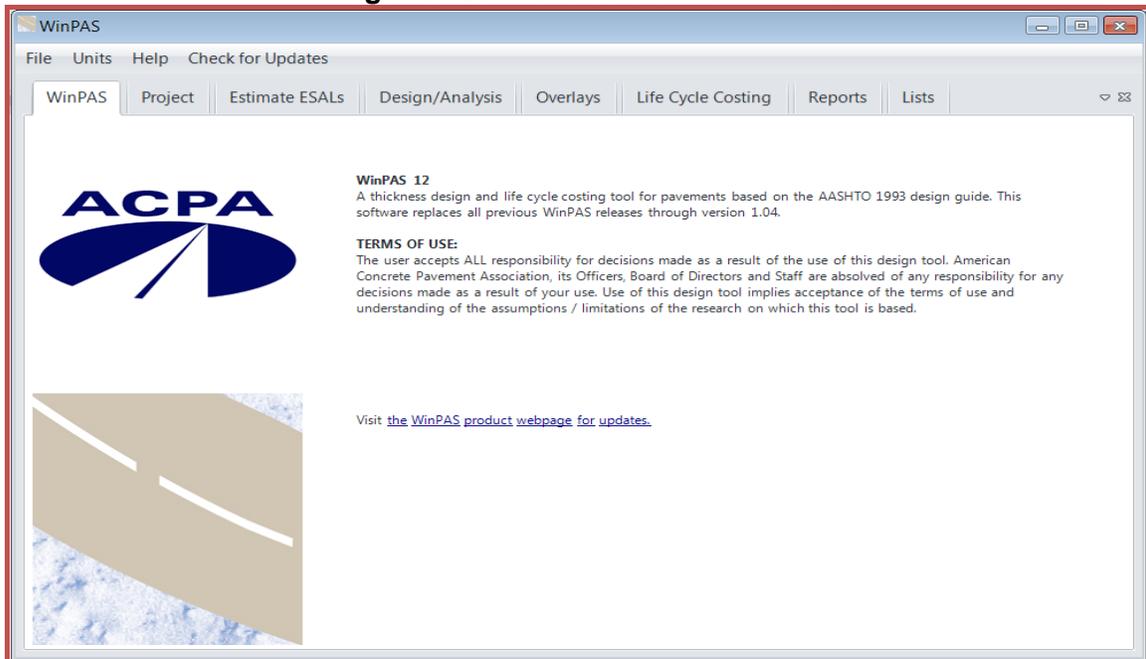
Fuente: Sustentantes.

En resumen, se ha obtenido como resultado la siguiente estructura de pavimento donde se muestran los valores de $SN_2=1.15$ y $SN_{req}=1.61$, además de los espesores $D_1=4"$ (Adoquín) y $D_2=4"$ (Base granular) ya que es el espesor mínimo para base que indica la norma AASHTO 93 considerando el ESAL's de diseño con rango de **50,000 a 150,000**.

4.3.5 Uso del programa WinPAS

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa WinPAS. El cual resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño.

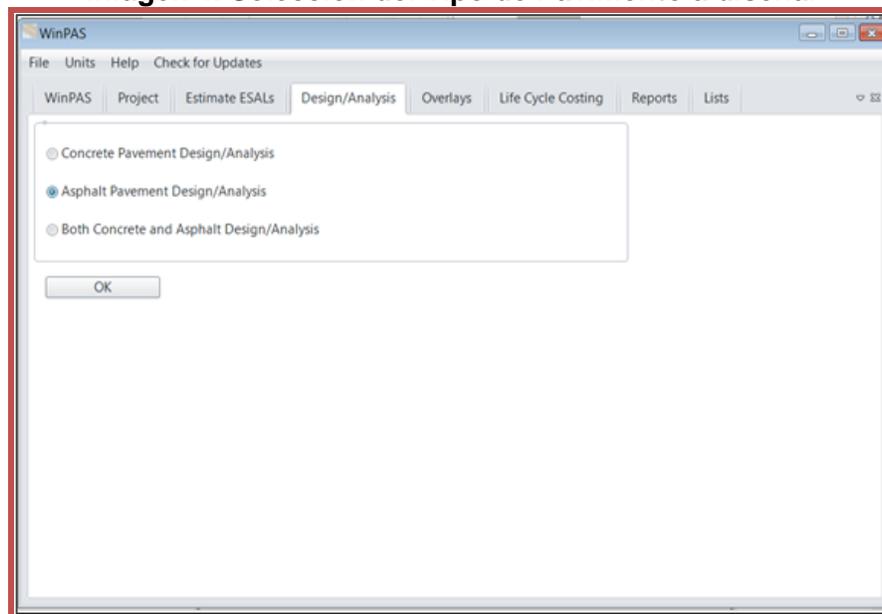
Imagen 3. Software de diseño WinPAS



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

El primer paso es seleccionar la pestaña de diseño/evaluaciones, donde se nos abrirá una nueva ventana que nos mostrará tres opciones de diseño, donde en este caso se tendrá que elegir la opción 2 de diseño/evaluaciones de pavimento asfáltico.

Imagen 4. Selección del Tipo de Pavimento a diseñar



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Luego se abrirá otra ventana que es donde se deben introducir los datos iniciales para el diseño:

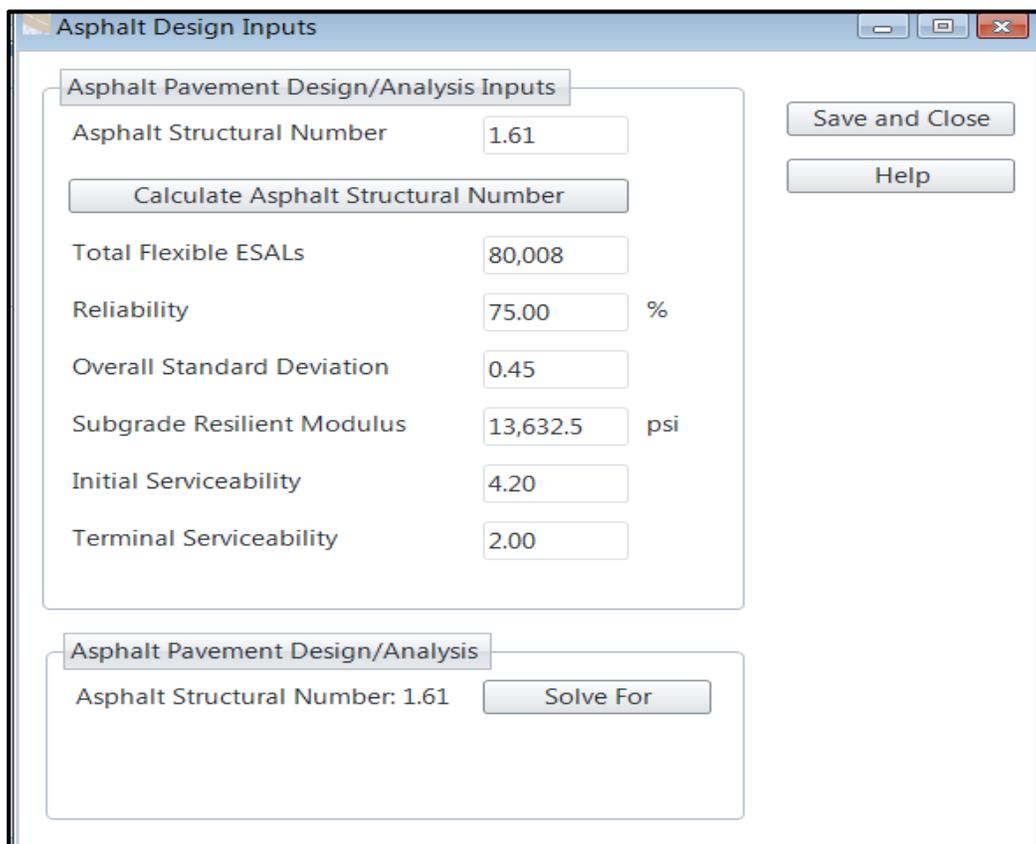
Tabla 39. Resumen de datos para calcular espesores en el programa

WinPAS (Pavement Analysis Software 12)

Consideraciones del Diseño AASHTO 93	Valores a utilizar
ESAL de diseño	80,008.00
Confiabilidad	75%
Valor desviador (Zr)	-0.674
Desviación Estándar (So)	0.45
Módulo de Resiliencia Subrasante	13,632.47 psi
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.0
Δ PSI	2.2
Coefficiente de drenaje (mi)	1.00
Coefficiente de capa, Adoquín (a ₁)	0.45
Coefficiente de capa, Base (a ₂)	0.135

Fuente: Sustentantes.

Imagen 5. Introducción de Datos en WinPAS 12



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12)

Después de haber dado click en la pestaña resolver (Solve for) Según el software WinPAS se requiere un **SN=1.61**.

Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1 y a_2), los coeficientes de drenaje (m_1 y m_2), y por último los espesores (D_1 Y D_2). Se puede observar que, al proponer los espesores calculados manualmente, estos cumplen, ya que $\Sigma SN=2.34$, es mayor que el **SN requerido=1.61**.

Imagen 6. Introducción de Layers de Diseño

The screenshot shows a software window titled "Calculate Asphalt Structural Number". It contains a table with the following data:

Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness (inches)	Layer Struct No, SNi	Additional Thickness (inches)
Asphalt Cement Concrete	0.45	1	4	1.8	-1.62
▶ Graded Stone Base	0.135	1	4	0.54	-5.41
	0	0.4	0	0	-5.41
	0	0	0	0	-5.41
	0	0	0	0	-5.41
	0	0	0	0	-5.41

Below the table, the software displays:

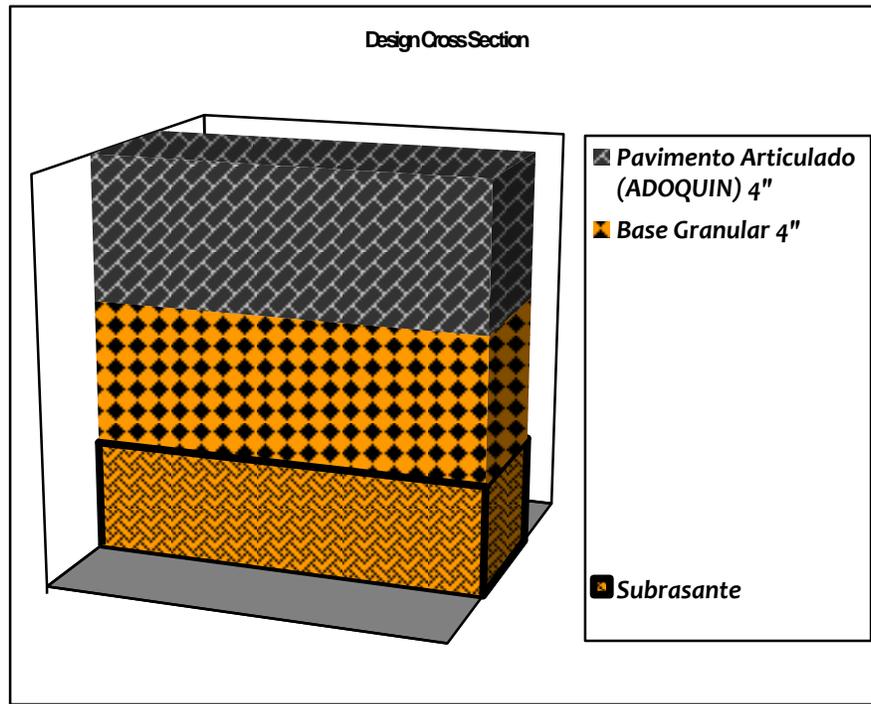
Sum of SN 2.34 OK
 SN 1.61

Buttons: Save and Close, Help

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Por último, el software WinPAS Graficó los espesores de pavimento.

Imagen 7. Espesores de Diseño Calculados por WinPas



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12)

CAPITULO V: CONCLUSIONES.

Según los objetivos planteados, concluimos en:

- En el Estudio de tráfico, se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 7 días consecutivos (1 semana), del cual se obtuvo un TPDA de 198 vehículo/día. De los cuales se obtuvo una composición vehicular de 93.9% de Vehículos Livianos y un 3.0% de Vehículos Pesados, 3.0% vehículos de pasajeros y otros con 0.0%. Para determinar la tasa de crecimiento realizamos un consolidado de las tasas de PIB, POB y TPDA del sitio, dando un resultado de 2.46%.
- Considerando el periodo de diseño de 20 años se obtuvo un factor de crecimiento de 25.45, que al proyectarlos el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de 80,008.00.
- Para el Estudio geotécnico se determinó que los suelos predominantes en la línea son A-2-4 (0), A-2-6, A-2-7, A-1-a(0) y una capa de pedraplén, los cuales según la clasificación AASHTO son suelos de buenos a regulares para subrasante.
- Se utilizará el banco de préstamos Banco (El Cerrito Apante) y se propone que la estructura de pavimento esté compuesta por una capa de rodadura de adoquín y una capa base estabilizada.
- En el Diseño de pavimento, a partir de un ESAL'S de 80,008.00 para un periodo de diseño de 20 años, con un CBR de diseño de 22.1%, los espesores resultantes son de 4.00 pulgadas para la carpeta de rodamiento (adoquín), 2 pulgadas de colchón de arena y 4 pulgadas para la base estabilizada.

Obteniendo un total de 10 pulgadas de estructura de pavimento articulado, por sus características no será necesario agregar una subbase a dicha estructura.

- La estructura de pavimento cumplirá a los esfuerzos que será sometido, dado que estos valores cumplen con la normativa de Diseño de pavimentos de la AASHTO 93 en cuanto a espesores mínimos requeridos, todo esto indica que será una estructura de pavimento que satisfaga y soporte la demanda vehicular a proyectarse en este caso a 20 años.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

Considerando las conclusiones antes mencionadas, se recomienda:

- Para la preparación de la capa base, se debe garantizar que el material esté libre de cualquier otro material contaminante, como basura, trozos de árboles o rocas muy grandes, es decir que vaya considerablemente limpio ya que esto podría afectar la resistencia de la estructura.
- Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa, no deberá ser menor de 3 cm, ni mayor de 10 centímetros, tomando como referencia parámetros de normativas de diseño.
- Verificar que la calidad de los materiales cumpla con la exigencia del diseño, así mismo cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia propuestas en las Normas NIC- 2019.
- Darle mantenimiento periódico de manera preventiva a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
- Deben realizarse programas de mantenimiento preventivo en las obras de drenaje, principalmente en la remoción de sedimentos y basuras.
- Es recomendable que todas las estructuras de drenaje sean revisadas y reparadas antes del periodo lluvioso.mdmh

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABC Geotechnical Consulting. (2022). *ABC Geotechnical Consulting*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/glosario/transito-promedio-diario-anual-tpda/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (93). AASHTO. *AASHTO 93*. Washington D.C, Estados Unidos.
- Badillo, J. (1973). *Mecanica de suelos*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Boiero, G. ". (2020). *Geo "El blog de Alvaro Boiero*. Obtenido de <https://geo-webonline.com/el-sistema-de-clasificacion-de-suelos-aashto/#:~:text=En%20el%20sistema%20AASHTO%2C%20los,l%C3%ADquido%20e%20%C3%ADndice%20de%20plasticidad.>
- Cipriano Londoño. (2022). *Empresa de cemento*. Obtenido de Empresa del cemento del grupo ARGOS: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/disenio-de-pavimentos-de-concreto/>
- Cueva del ingeniero Civil*. (2020). Obtenido de Cueva del ingeniero Civil.
- Diseño de Pavimentos AASHTO 93* (Tercera ed.). (93). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Geotech. (2018). *Geotech tips*. Obtenido de <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>
- Hernandez, H. (2011). *Transito de diseño*.
- Hudiel, D. S. (2010). *Dr. Sergio J. Navarro Hudiel*. Obtenido de <https://snavarro.wordpress.com/ing-transito/>
- Hudiel, I. S. (12 de Septiembre de 2012). <http://snavarro.wordpress.com/ing-transito/>. Recuperado el 5 de Octubre de 2012, de <http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/material-del-curso-ing.pdf>
- Infraestructura, M. d. (2008). *Inventario de Red Vial*. Managua.
- Ingenieria Civil. (2014). *Ingenieria Civil*. Obtenido de Pavimentos de concreto asfalico metodo AASHTO-93: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/periodo-de-diseno-pavimentos-de.html>
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo . (2008). Instituto Nacional de Información de Desarrollo . *Matagalpa en cifras*.
- Juan Carlos Munera Miranda, José Pablo Aguiar Moya. (2019). *Infraestructura Vial*. *SciELO*.
- Maria Gabriela Castro, Luis Alberto Castro, Prissila Castro. (Septiembre de 2020). Aplicacion practica del metodo AASHTO 93 para el diseño de pavimento. *Polo del Conocimiento.*, 5(9), 24. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/1717/3308>
- Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI. (2012). *Ministerio de Transporte e Infraestructura*. Managua.

- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2019). *Ministerio de Transporte e Infraestructura*. Obtenido de Anuario de Aforos 2020.
- Nationals Academies Sciences, Engineering, Medicine. (20 de Noviembre de 2010). *Nationals Academies Sciences, Engineering, Medicine*. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/1005087#:~:text=El%20metodo%20de%20factores%20de,del%20LEF%20para%20firmes%20flexibles>.
- Navarro, H. S. (2021). Determinación de tasas de crecimiento de tráfico promedio diario anual en Nicaragua a partir de datos macroeconómicos. *El Higo, Revista de ciencia y Tecnología.*, 70,71.
- Proyecto Mejoramiento de transitabilidad peatonal y vehicular de las vías locales del centro poblado de cruz colorada, distrito de Pias-Patas La libertad. (2018). *Proyecto Mejoramiento de transitabilidad peatonal y vehicular de las vías locales del centro poblado de cruz colorada, distrito de Pias-Patas La libertad*, 40.
- Ricardo, A. (2015). Diseño de pavimento asfáltico por el método de AASHTO 93 emulado el software DISAASHTO.
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: USAID/SIECA No. 0596-0184.20.

ANEXOS O APENDICES

Anexo 1. Formato de aforos

CONTEO VEHICULAR DEL LUNES (AMBOS SENTIDOS)																			
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: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Anexo 2. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: LUNES 07 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Aparte- El Socorro. 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	
						<5 s	5-30 s	30+ s	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	4	2	0	3	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13	
07:00	08:00	3	4	1	4	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	18	
08:00	09:00	1	2	2	2	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	12	
09:00	10:00	4	4	0	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	18	
10:00	11:00	3	4	1	3	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	17	
11:00	12:00	7	5	4	6	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	
12:00	13:00	8	5	6	5	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	29	
13:00	14:00	4	3	2	2	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	16	
14:00	15:00	5	2	1	3	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	
15:00	16:00	3	3	2	2	1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	16	
16:00	17:00	2	5	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	
17:00	18:00	1	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	
TOTAL		45	41	20	37	6	4	9	6	3	4	0	0	0	0	0	0	195	

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 3. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: MARTES 08 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Aparte- El Socorro. 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	
						<5 s	5-30 s	30+ s	2-5 t.	5+ t.		<4 e.	>5 e.	<4 e.	>5 e.				
06:00	07:00	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
07:00	08:00	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
08:00	09:00	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
09:00	10:00	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
10:00	11:00	5	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
11:00	12:00	6	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
12:00	13:00	5	6	0	5	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
13:00	14:00	9	8	6	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
14:00	15:00	2	0	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
15:00	16:00	4	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
16:00	17:00	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
17:00	18:00	5	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
TOTAL		50	22	14	24	3	3	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	130

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 4. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 09 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Aparte- El Socorro. 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	
						<5 s	5-30 s	30+ s	2-5 t.	5+ t.		<4 e.	>5 e.	<4 e.	>5 e.				
06:00	07:00	3	4	1	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15
07:00	08:00	2	1	2	2	0	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	13
08:00	09:00	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10
09:00	10:00	3	2	1	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	13
10:00	11:00	4	5	6	5	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
11:00	12:00	5	8	4	4	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26
12:00	13:00	1	2	6	5	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	19
13:00	14:00	3	2	1	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
14:00	15:00	5	1	2	3	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	16
15:00	16:00	10	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	106
16:00	17:00	4	2	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
17:00	18:00	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
TOTAL		133	31	26	34	4	7	9	11	11	5	0	0	0	0	0	0	0	271

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 5. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: JUEVES 10 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Apante- El Socorro. 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	4	4	0	3	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	
07:00	08:00	2	2	1	4	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	13	
08:00	09:00	5	1	6	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17	
09:00	10:00	2	1	1	4	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	13	
10:00	11:00	3	2	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
11:00	12:00	8	1	4	6	1	0	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	26	
12:00	13:00	3	3	8	3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	
13:00	14:00	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
14:00	15:00	4	4	1	1	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	15	
15:00	16:00	3	2	2	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15	
16:00	17:00	3	2	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	11	
17:00	18:00	2	1	2	1	1	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12	
TOTAL		40	24	28	32	7	9	9	10	9	6	0	0	0	0	0	0	174	

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
Elaboración propia.

Anexo 6. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: VIERNES 11 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Apante- El Socorro. 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	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
07:00	08:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
08:00	09:00	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
09:00	10:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
10:00	11:00	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
11:00	12:00	8	7	9	9	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	37	
12:00	13:00	9	5	6	8	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	
13:00	14:00	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
14:00	15:00	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
15:00	16:00	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
16:00	17:00	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
17:00	18:00	3	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
TOTAL		29	17	16	23	1	1	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	99	

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 7. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: SABADO 12 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Aparte- El Socorro. 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	3	1	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14
07:00	08:00	1	2	0	3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9
08:00	09:00	3	1	2	2	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12
09:00	10:00	4	2	1	1	2	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	14
10:00	11:00	3	1	3	3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
11:00	12:00	8	5	6	8	1	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34
12:00	13:00	6	7	5	9	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	32
13:00	14:00	3	1	1	3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
14:00	15:00	2	2	0	2	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11
15:00	16:00	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
16:00	17:00	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
17:00	18:00	3	1	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
TOTAL		39	28	21	38	5	7	6	7	8	7	0	0	0	0	0	0	0	176

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 8. Aforo vehicular

FECHA DE CONTEO: DOMINGO 13 DE NOVIEMBRE 2022 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: Bo Aparte- El Socorro. 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	8	3	2	8	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	29
07:00	08:00	3	2	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11
08:00	09:00	8	3	1	8	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	25
09:00	10:00	2	4	0	3	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14
10:00	11:00	4	1	2	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
11:00	12:00	6	6	0	8	1	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	27
12:00	13:00	8	6	2	9	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	30
13:00	14:00	4	9	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
14:00	15:00	1	1	1	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
15:00	16:00	2	0	1	8	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	16
16:00	17:00	2	0	0	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
17:00	18:00	2	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
TOTAL		50	36	10	62	14	12	7	6	6	8	0	0	0	0	0	0	0	211

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Elaboración propia.

Anexo 9. Tipología y descripción vehicular de tráfico

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, 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 finas 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 pasajeros con una capacidad de 20 a 30 pasajeros sentados.
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. También se incluyen las furgonetas 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 AGRICOLAS		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, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico. MTI 2020 pag 32

Anexo 10. 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: Anuario estadístico de transporte, Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI 2008, pág. 17).

Anexo 11. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.

(Vehículos Pesados)

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
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: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI).

Anexo 12. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips) (KN)		SN						
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)	
2.2	2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4.4	4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
	6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8.8	8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
11	10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.79	.076
	12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
	14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
17.6	16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
	18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
	22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
	24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
	26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
	28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
	30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
	32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
	34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
	36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
	38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
	40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
	42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
	44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
	46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
	48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
	50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Anexo 13. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje		SN					
(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	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9

36.30

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

El número en color rojo es el valor que interpolar, en función a SN=5

Anexo 14. Resultados ensayos de sondeos de línea.

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	GRANULOMETRIA										Límite %		Clasificación H.R.B.	C.B.R. a Compact.				
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP		95	100			
0+000	2.10 Der.	S-1	1	0-25			100	96	93	81	65	55	34	24	24	10	A-2-4(0)	26	30			
			2	25-30		100	79	73	66	53	39	34	29	24	29	7	A-2-4(0)	26	30			
			3	30-45				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			4	45-65								100	90	75	55	41	14	A-7-6(6)				
			5	65-85									100	96	78	66	31	9	A-4(6)	16	23	
			6	85-150									100	95	47	22	-	NP	A-1-b(0)	38	50	
0+300	2.10 Izq.	S-2	7	0-10				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			8	10-150																		
0+600	1.70 der.	S-3	9	0-10				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			10	10-30			100	95	88	72	57	49	36	31	34	16	A-2-6(0)	21	26			
			11	30-120								100	65	28	20	31	7	A-2-4(0)	26	30		
			12	120-150		100	88	74	64	52	44	34	22	19	40	10	A-2-4(0)	26	30			
Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	GRANULOMETRIA										Límite %		Clasificación H.R.B.	C.B.R. a Compact.				
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP		95	100			
0+900	2.00 Der.	S-4	13	0-20				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			14	20-150								100	63	22	16	32	8	A-2-4(0)	26	30		
0+1200	2.10 LC	S-5	15	0-20				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			16	20-40	100	72	65	60	48	41	36	27	16	12	33	8	A-2-4(0)	26	30			
			17	40-80		100	97	94	91	77	66	58	40	33	51	19	A-2-7(0)	20	24			
			18	80-150								100	93	80	52	49	14	A-7-5(8)	3	4		
1+500	2.00 LC	S-6	19	0-20				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			20	20-150	100	84	69	55	45	36	27	19	12	10	37	6	A-1-a(0)	42	54			
			-	50+	Roca																	
1+800	2.00 Der.	S-7	21	0-40				100	92	83	72	60	37	29	36	11	A-2-6(0)	21	26			
			22	40-80								100	90	80	66	40	33	30	7	A-2-4(0)	26	30
			23	80-150								100	97	93	85	67	45	38	36	8	A-4(1)	20

Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

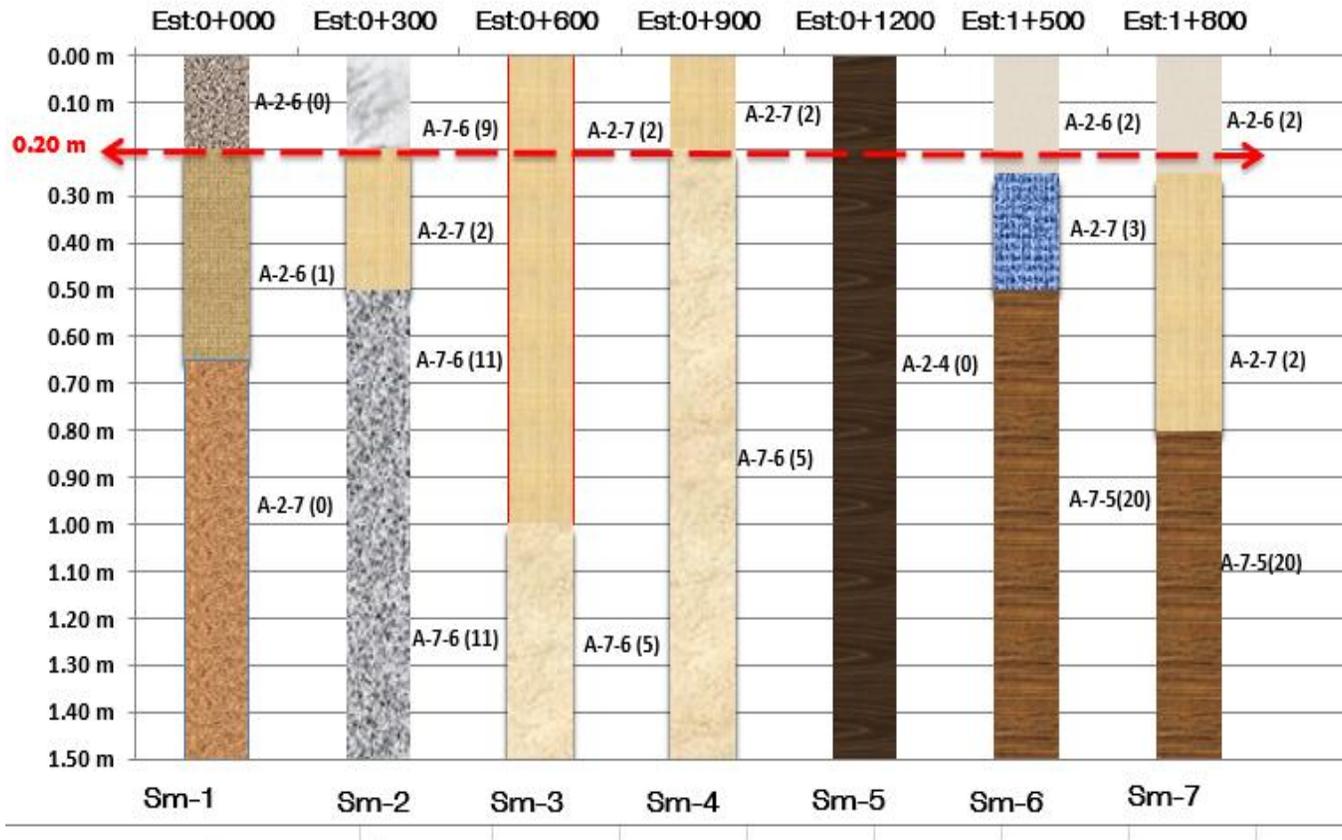
Anexo 15. Clasificación de suelos, según AASHTO.

CLASIFICACIÓN AASHTO PARA SUELOS Y MEZCLAS SUELO-AGREGADO.												
General Clasificación	Materiales Granulares (35% o menos pasa 0.075 mm)						Materiales Limo-arcillosos (mas del 35% pasa 0.075 mm)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo de Clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Porcentaje que Pasa 2.00 mm 0.425 mm 0.075 mm	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 máx. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Fracción que pasa 0.425mm				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	41 min.
Limite Líquido - Índice Plástico -	6 máx.		N.P.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx. 10 máx.	10 máx.	11 min. 11 min.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de los constituyentes significativos en los materiales.	Fragmentos de Piedra, grava y arena.		Arena Fina.	Grava con arena limosa o arcillosa.				Suelos limosos.		Suelos arcillosos.		
Uso general como sub-rasante.	Excelente a bueno.						Pobre a malo.					

Nota: A-7-5 = PL < 30 y A-7-6 = PL > 30.
EXPERIMENTAL SOIL MECHANICS, JEAN - PIERRE BARDEL.

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO 93.

Anexo 16. Estratigrafía del Terreno



Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

Nota: La línea roja refleja la de sub – rasante del terreno natural 0.20 m.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES



UCC- CAMPUS Matagalpa

COORDINACIÓN DE INGENIERIAS E INFORMATICA

Relación de Autores

Elaborado por:

Ing. Christopher Vargas Lumbi Docente:

Ingeniería Civil

Ing. Ramiro Molinares Márquez Coord.:

Ingeniería Civil.

CVargasLumbi

R. Márquez

Revisado por:

Lic. Fernando Monge - Coordinador de

Planificación e Investigación científica



Autorizado por:

Dra. Fabiola Somarriba - Vice Rectoría

Académica



*Por nuestro Prestigio, Trayectoria y Calidad
¡Somos la Universidad de la Gente que Triunfa!*