



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO PARA 1 KM. EN EL
EMPALME SAN BENITO – SAN BENITO AGRÍCOLA KM. 35 CARRETERA NORTE.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Skarleth Morrison Zeledón

Br. Derek Jaruzelsky Pérez Gutiérrez

Tutor

Ing. Lucas Bernardo Calvo Rojas

Asesor

Ing. Claudia Verónica Reyes Romero

Managua, noviembre 2015

Dedicatoria

A Dios, por habernos dado inteligencia y fuerzas para salir siempre adelante superando todos los obstáculos que se nos presentaron.

A nuestros padres, por habernos brindado su apoyo incondicional e inculcar en nosotros valores de superación para alcanzar nuestras metas.

A nuestra Universidad, “Universidad Nacional de Ingeniería”, por ser nuestra formadora académica a lo largo de toda nuestra carrera.

Skarleth Morrison Zeledón

Derek Jaruzelsky Pérez Gutiérrez

Agradecimiento

A Dios, por haber estado con nosotros siempre dándonos sabiduría para culminar este proyecto.

A nuestras familias, por su entrega y sacrificio por nosotros durante toda nuestra formación.

A nuestro tutor, Ing. Lucas Bernardo Calvo Rojas, por su tiempo, dedicación e interés en nuestro trabajo.

De manera muy especial al Lic. Cesar Vázquez Valle, alcalde del municipio de Tipitapa, quien de mano al Ing. Raymundo Flores, responsable de Planificación de la Alcaldía de Tipitapa, decidieron abrir las puertas de este recinto para nosotros, brindándonos información y apoyo para el desarrollo de esta monografía.

A la Ing. Claudia Reyes, por su asesoría y disposición.

A la Ing. Beatriz Torres por haber colaborado con nosotros en la realización de los sondeos de suelo.

Al personal del laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla por habernos orientado y compartido sus conocimientos y experiencias.

Skarleth Morrison Zeledón

Derek Jaruzelsky Pérez Gutiérrez

RESUMEN EJECUTIVO

En el desarrollo de esta monografía se realizará el diseño de estructura de pavimento articulado para 1 km. en el Empalme San Benito - San Benito Agrícola km. 35 carretera norte, en el que se hará uso de la A.A.S.H.T.O 93 para el diseño de pavimento, de igual forma las especificaciones generales para la construcción de calles, camino y puentes NIC-2000 y el Manual Centroamericano para diseño de pavimentos de la S.I.E.C.A.

Este documento consta de cinco capítulos donde se reflejan los resultados obtenidos al realizar estudios pertinentes:

Capítulo I: Aborda las generalidades acerca del municipio de Tipitapa, sus comunidades y la ubicación que tendrá el proyecto, también se hace una descripción del sitio y se realiza una explicación de la importancia que tiene este trabajo monográfico.

Capítulo II: Incluye el análisis de los suelos. En este capítulo se presentan los distintos ensayos realizados a las muestras representativas extraídas en el camino y en el banco de préstamo cercano al sitio.

Capítulo III: Comprende el estudio de tránsito, para el cual se realizó un aforo vehicular en el tramo de estudio con el fin de obtener el tránsito final de diseño y conocer la carga que tendrá que soportar la vía durante su vida útil.

Capítulo IV: Está enfocado en el diseño de la estructura de pavimento basándose en el método de la A.A.S.H.T.O 93, partiendo de los resultados obtenidos en el estudio de suelos y el estudio de tránsito para determinar los espesores idóneos que conformaran la estructura de pavimento final.

Capítulo V: Corresponde a las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Glosario

Adoquín: los adoquines de concreto son elementos individuales que, colocados en un patrón definido, constituyen un pavimento con grandes ventajas y de buena durabilidad.

Base: capa o capas de material colocado sobre la sub-base o sub-rasante para soportar la capa superficial del pavimento.

Carretera, calle o camino: términos genéricos que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículos que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de la vía.

Carril: Cualquier subdivisión de la superficie de rodamiento que tenga ancho suficiente para permitir la circulación de una fila de vehículos.

Derecho de vía: área o superficie de terreno destinada al uso de una carretera o vía que está delimitada a ambos lados por los linderos de las propiedades colindantes.

Especificaciones: en general se denomina con este nombre a la compilación de estipulaciones y requisitos detallados para la construcción de las obras de un proyecto.

Estratigrafía: Es la parte de la geología que estudia la forma, disposición y distribución geográfica, sucesión cronológica y relación de los estratos.

Granulometría: es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previsto por una escala granulométrica.

Pavimento: es el conjunto de sub-base, base y superficie de rodamiento colocado sobre la sub-rasante, cuya función es la de soportar los esfuerzos que le imponen las cargas directas del tráfico, distribuirlo a la sub-rasante y a la vez resistir al desgaste y proveer una superficie que permita una circulación cómoda y segura.

Préstamo: Es el volumen de suelo adecuado proveniente de la excavación hecha fuera del prisma de la carretera, camino o calle, requerido generalmente para completar la construcción de terraplén o rellenos.

Rasante: es el nivel final de la superficie de rodamiento de una carretera, camino o calle. También se le llama así a la traza de un plano vertical que intercepta la superficie antes mencionada.

Sub-base: la capa o capas de material colocado sobre una sub-rasante para soportar la base.

Sub-rasante: es el nivel de terreno natural sobre el cual se asientan las capas de sub-base, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

Terraplén: material excavado que se coloca sobre la superficie de un terreno preparado para construir la sub-rasante del camino y la plantilla de base del camino.

Terreno natural: se denomina con este término a la superficie del terreno natural que existía antes de la afectación o de la construcción de la carretera, camino o calle.

Vado: estructura para drenaje superficial con un quiebre integrado a la pendiente del camino, diseñado específicamente para drenar el agua desde una cuneta interior a través de la superficie del camino.

Índice de Contenido

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Ubicación del proyecto	3
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos	7
1.5.1 General.....	7
1.5.2 Específicos.....	7

CAPITULO II: ESTUDIO DE SUELO

2.1 Estudio de suelo	8
2.1.1 Metodología	8
2.1.2 Trabajo de campo	8
2.2 Ensayos realizados.....	9
2.2.1 Preparación de muestras	10
2.3 Resultados de los ensayos	10
2.3.1 Análisis granulométrico	10-11
2.3.2 Límites de consistencia	11-12
2.3.3 Clasificación de los suelos	12-13
2.3.4 Perfil estratigráfico del suelo	14
2.3.5 Características de los materiales de la sub-rasante	15
2.3.6 Características de los materiales de la base	16-18
2.3.7 Ensayo C.B.R	18-21
2.3.8 Determinación del C.B.R de diseño	21-24

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Estudio de tránsito	25
3.1.1 Clasificación del tráfico en Nicaragua	26
3.1.2 Información recolectada en el estudio de tránsito	27
3.1.3 Conteo vehicular in situ.....	27-28
3.1.4 Tránsito promedio diario (TPD)	29
3.1.5 Transito promedio diario anual (TPDA)	29
3.1.6 Transito base del proyecto	30
3.2 Proyección del tránsito	30-33
3.3 Tránsito de diseño (TD)	34
3.3.1 Factor de crecimiento (FC)	34
3.3.2 Factor carril (F_c)	35
3.3.3 Análisis direccional	35
3.4 Determinación de ejes equivalentes ESAL´S	36-38

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

4.1 Diseño de la estructura de pavimento	39
4.1.1 Introducción	39
4.2 Método de diseño	39
4.3 Determinación de los parámetros de diseño	40
4.3.1 Confiabilidad	40
4.3.2 Desviación estándar	41
4.3.3 Serviciabilidad	42
4.3.4 Coeficientes del paquete estructural	43-45
4.3.5 Módulo de resiliencia	46-47
4.3.6 Coeficiente de drenaje	48
4.3.7 Resumen de factores utilizados en el diseño	49
4.4 Cálculo de espesores	49
4.4.1 Cálculo del numero estructural (SN)	49-52
4.4.2 Cálculo de los espesores de las capas del pavimento	53-57

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	60
Anexos	

Índice de Imágenes

Imagen 1: Macro localización	4
Imagen 2: Micro localización	5
Imagen 3: Macro localización del banco de materiales	16
Imagen 4: Gráfica de humedad vs densidad – Banco de Materiales ...	19
Imagen 5: Gráfica carga vs penetración – Banco de Materiales	21
Imagen 6: Gráfica porcentajes de valores vs C.B.R	23
Imagen 7: Factor direccional del proyecto	35
Imagen 8: Nomograma Coeficiente a1 – carpeta de rodamiento	44
Imagen 9: Nomograma Coeficiente a2 – base	45
Imagen 10: Nomograma para determinar el Número estructural	51
Imagen 11: Cálculo de SN en software A.A.S.H.T.O 93	52
Imagen 12: Espesores de pavimento en software A.A.S.H.T.O 93	54-55

Índice de Tablas

CAPITULO II: ESTUDIO DE SUELO

Tabla 1: Ensayos Realizados.....	9
Tabla 2: Resultado de los ensayos de límites de consistencia.....	12
Tabla 3: Clasificación de suelos	13
Tabla 4: Clasificación de suelos para sub-rasante	15
Tabla 5: Granulometría del banco de materiales	17
Tabla 6: Márgenes de graduación aceptables para base	18
Tabla 7: Datos de la muestra para ensayo de C.B.R	20
Tabla 8: Lecturas de carga de la muestra en ensayo C.B.R.....	20
Tabla 9: Valores de C.B.R estimados	22
Tabla 10: Límites de selección de resistencia C.B.R	22
Tabla 11: Ordenamiento de valores C.B.R	23
Tabla 12: Valores C.B.R encontrados	24

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

Tabla 13: Periodo de diseño según la clasificación de la vía	25
Tabla 14: Clasificación del tráfico en Nicaragua	26
Tabla 15: Conteo vehicular in situ	28
Tabla 16: Tránsito promedio por sentido	29
Tabla 17: Tránsito promedio diario anual	29
Tabla 18: Tránsito base del proyecto	30
Tabla 19: Proyección del tránsito	33
Tabla 20: Factor carril	35
Tabla 21: Tránsito de diseño	36
Tabla 22: ESAL´S de diseño	37

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Tabla 23: Confiabilidad de acuerdo al tipo de camino	40
Tabla 24: Valores de ZR	41
Tabla 25: Desviación estándar	42
Tabla 26: Pérdidas de serviciabilidad	42
Tabla 27: Ecuaciones de correlación	47
Tabla 28: Capacidad de drenaje	48
Tabla 29: Resumen de factores de diseño	49
Tabla 30: Espesores mínimos según A.A.S.H.T.O 93	53

1.1 Introducción

Nicaragua al igual que muchos países de Latinoamérica, carece de los recursos suficientes para conservar y mantener en buen estado el funcionamiento de una red vial integral acorde a la necesidad, planes de desarrollo y progreso del país. Tomando en consideración lo antes dicho, y gracias a la colaboración de gobiernos extranjeros en Nicaragua se han comenzado varios proyectos que están destinados a la construcción de nuevas carreteras y a la rehabilitación y mantenimiento de las existentes, pensado a futuro y con el propósito de garantizar el progreso económico asegurando a cada ciudad del país la posibilidad de comunicarse y hacer llegar sus productos a otras ciudades.

Por lo antes expuesto presentamos la monografía: "Diseño de pavimento articulado para 1 km. en el Empalme San Benito - San Benito Agrícola km. 35 Carretera Norte. " Que pretende ejecutarse en el municipio de Tipitapa, específicamente en la comunidad de San Benito Agrícola como colaboración con la alcaldía y en búsqueda de favorecer a la comunidad del sector. Para su realización se llevara a cabo un estudio de suelo, así como también se efectuará un conteo vehicular para el análisis del tránsito del sitio para posteriormente calcular los espesores requeridos para la estructura de pavimento, la cual se diseñara de acuerdo a las especificaciones técnicas de la A.A.S.H.T.O 93.

En esta monografía se aplicarán los conocimientos adquiridos en los años académicos en la Universidad Nacional de Ingeniería con el fin de favorecer y beneficiar a la población en general mejorando las condiciones de la vía existente, facilitando el acceso a los sitios cercanos de la zona, el acceso a servicios básicos y de insumo, además mejorando la apariencia estética del lugar para promover el turismo.

1.2 Antecedentes

Hasta el día de hoy, el municipio de Tipitapa ha presentado problemas en toda su infraestructura vial, la cual resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de sus pobladores tanto en el casco urbano del municipio como en las diferentes comunidades pertenecientes al mismo. Los problemas se resumen en la falta de mantenimiento de las vías existentes y la necesidad de construcción de nuevas vías en zonas que se vuelven intransitables en el invierno afectando a sus habitantes y en mayor modo a aquellos que desarrollan actividades de producción.

La comarca del Empalme San Benito del municipio de Tipitapa, se subdivide en seis comunidades que son, Empalme San Benito, Quebrada Honda, Ulises Tapia Roa, Los Roques, Los Novios y San Benito Agrícola. Este último es el sector donde se ubica el tramo de interés el cual presenta la necesidad latente de ser pavimentado para poder mejorar la calidad de vida de sus habitantes ya que actualmente la superficie de la carretera es de terreno natural, lo que provoca problemas tanto de comunicación, principalmente en el invierno, como otros problemas derivados del polvo, las aguas estancadas, etc., así como mayor dificultad para el transporte de los productos de la zona.

En la comarca de San Benito, ya se han realizado proyectos viales tal como la reparación de la carretera San Benito – San Lorenzo. Sin embargo son numerosos los tramos que siguen en espera y junto a ellos, pobladores que demandan una mejor condición de acceso.

1.3 Ubicación Geográfica del proyecto

La Colonia Agrícola San Benito se encuentra situada en el municipio de Tipitapa, en el departamento de Managua en el kilómetro 35 de la carretera Norte. La colonia tiene una extensión de 1280 manzanas (9.024 km²) y las familias beneficiadas ascienden a 72 con una población de aproximadamente 584 personas.

La región donde está ubicada la colonia forma un plano ligeramente inclinado con desnivel hacia el lago de Managua y con un relieve suavemente ondulado, en las depresiones de esas ondulaciones se han formado cárcavas que sirven de cauces a las aguas de los planos superiores.

La colonia se encuentra a 70 metros sobre el nivel del mar, con una media de temperatura de 24° y 30° y una precipitación superior a los 750 milímetros.

El proyecto de adoquinamiento de 1 km. En el Empalme San Benito a San Benito Agrícola pretende llevarse a cabo en la colonia antes descrita.

Imagen 1: Macro localización del proyecto



Fuente: Google Earth

Imagen 2: Micro localización del proyecto



Fuente: Google Earth

1.4 Justificación

En vista del existente problema que tiene la vía a San Benito Agrícola Km. 35, surge la necesidad de llevar a cabo el diseño de pavimento articulado de 1 km.

Este diseño de adoquinamiento debe realizarse porque favorecerá para:

- Mejorar condiciones de la calle existente.
- Facilitar el acceso a los sitios cercanos de la zona.
- Reducir enfermedades de carácter respiratorio, esto debido al polvo que existe por el mal estado de la carretera (en verano) y en también por los efectos de las aguas estancadas (en invierno).
- Mejorar la apariencia estética de la zona y promover el turismo en dicho lugar.
- Facilitar el acceso de servicios básicos y de insumos.
- Reducir los costos de inversión de mantenimiento del camino.
- Generar una fuente de trabajo ya que se necesita de mano de obra para la construcción.
- Reducir los costos de transporte.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Diseñar una estructura de pavimento articulado para 1 km. en el tramo de carretera del empalme de San Benito a San Benito Agrícola de Tipitapa km. 35 Carretera Norte.

1.5.2 Específicos

- Ejecutar y analizar el estudio de suelos del camino y los bancos de préstamo, para determinar las características físicas del suelo.
- Efectuar el conteo vehicular y análisis del tránsito para determinar las cargas a soportar por la estructura de pavimento.
- Diseñar los espesores de las capas de pavimento articulado utilizando el método de la A.A.S.H.T.O 93.

2.1 Estudio de suelo

El propósito del estudio de suelos es reconocer las características físico-mecánicas de los materiales del terreno de fundación. Es de suma importancia evaluar las condiciones en las que se encuentra el terreno antes de diseñar. Con este estudio se obtendrán las características del suelo y podrá determinarse en qué estado se encuentra para poder usarlo como una sub-base, base, sub-rasante o determinar si es necesario recurrir a un banco de préstamos para mejorar las condiciones del mismo.

2.1.1 Metodología.

La metodología usada para la caracterización del suelo existente en la zona de estudio consistió en una serie de sondeos manuales a lo largo de la vía y en el banco de préstamo para la obtención de muestras representativas en cantidades suficientes para su debido análisis en el **Laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla M.** de la Universidad Nacional de Ingeniería. Las muestras que se obtuvieron fueron “muestras alteradas”.

2.1.2 Trabajo de campo.

Con el objetivo de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub-rasante se realizaron 3 sondeos manuales en la línea del camino a una profundidad de 1.5 metros y a cada 300 metros de distancia aproximadamente. Las normas establecen que se realicen a cada 100 metros pero debido a falta de presupuesto se realizaron únicamente 3 sondeos de forma alterna izquierda, derecha, centro. En cada calicata se extrajeron 3 muestras: a 30 cm., 60 cm. y 150 cm. específicamente; resultando un total de 9 muestras para la línea del camino. Las herramientas utilizadas en este proceso fueron las siguientes:

- ✓ Palín Doble
- ✓ Posteadora
- ✓ Pala simple redonda
- ✓ Bolsas plásticas para muestras

Las muestras obtenidas en el campo se examinaron y clasificaron in situ por los sustentantes de este trabajo monográfico y fueron posteriormente trasladadas al **Laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla M.** de la Universidad Nacional de Ingeniería para la realización y análisis de las pruebas correspondientes.

2.2 Ensayos realizados

De las muestras obtenidas in situ se realizaron las pruebas y ensayos pertinentes en base a la normativa de la A.S.T.M y la A.A.S.H.T.O según corresponde el caso.

a) En el caso de las muestras extraídas a través de sondeos manuales sobre el eje longitudinal del camino se determinó: Granulometría, Límites de Atterberg, Clasificación S.U.C.S y H.R.B por medio de ensayos de laboratorio.

b) En el caso de las muestras obtenidas en el banco de materiales se procedió a determinar su caracterización por medio de Granulometría, Límites de Atterberg, Clasificación S.U.C.S y H.R.B, además de C.B.R por medio de ensayos de laboratorio.

A continuación se detallan los diferentes tipos de ensayos realizados a las muestras según la A.S.T.M y la A.A.S.H.T.O:

Tabla 1: Ensayos a realizarse.

Prueba	Especificaciones	Especificaciones
	A.A.S.H.T.O	A.S.T.M
Límite Líquido	T-89	D-4318
Límite Plástico	T-90	D-4318
Granulometría	T-88	D-422
CBR	T-193	D-1883
Proctor modificado	T-180	D-1557

Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Procedimiento empleado para la preparación de muestras

El primer paso que se realizó fue el secado por 24 horas de las muestras obtenidas en hornos a temperatura de 105 °C a 115 °C. Después de secadas las muestras se procedió a realizar los ensayos correspondientes a cada uno de los especímenes según las especificaciones antes mencionadas.

2.3 Resultados de los ensayos realizados.

Los resultados que se presentaran son producto de los ensayos realizados descritos con anterioridad en este capítulo, los métodos usados en dichos ensayos fueron tomados de la **“Guía de laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería.”** Además de la orientación y colaboración del personal técnico del **Laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla M.** de la Universidad Nacional de Ingeniería.

2.3.1 Análisis granulométrico

Para la realización de este ensayo se empleó una serie de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, normalizada por la A.S.T.M D-2487/69 Americana.

La interpretación de la curva granulométrica que se obtuvo de cada una de las muestras extraídas de la línea del camino y del banco de materiales proporciona información inicial acerca del comportamiento del suelo. *(Ver Curva granulométrica obtenida para cada muestra en Anexo 1 - 18)*

En las curvas granulométricas, es posible observar (tanto en las muestras de la línea del camino como en el banco de materiales), que el material se concentra mayoritariamente dentro de los límites establecidos para la grava y la arena.

Límites establecidos para los tamaños de las partículas de suelo:

GRUESO: diámetro mayor al 0.075mm

Comprende – Gravas (diam.>4.75mm)

Arenas (0.075mm<diam. <4.75mm)

FINOS: diámetro menor al 0.075mm

Comprende – Limos (0.002mm<diam.<0.075mm)

Arcillas (diam. <0.002mm)

Las curvas granulométricas obtenidas para las muestras extraídas de la línea del camino tienen una forma empinada lo cual indica inicialmente que el suelo es uniforme. La presencia de inflexiones en algunos puntos de la curva señala también que hay presencia de dos o más suelos uniformes. *(Ver Curva granulométrica obtenida para cada muestra en Anexo 1 - 18)*

La curva granulométrica obtenida para la muestra representativa tomada del banco de materiales posee también una forma inclinada con inflexiones despreciables lo cual caracteriza la uniformidad en el suelo. *(Ver Curva granulométrica obtenida para el banco de materiales en Anexo 19)*

2.3.2 Determinación de los límites de consistencia de los suelos.

Para la correcta caracterización de un suelo, además del análisis granulométrico se debe realizar otro tipo de pruebas, de ahí que sea necesario efectuar los ensayos de los Límites de Atterberg con el propósito de determinar las características que poseen los granos menores no consistentes en el análisis mecánico de los suelos. Estos resultados se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Resultados de los ensayos de límites de consistencia

Muestra	Límite Líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
1-1	30,4	21,5	9
1-2	32,1	30,3	1,8
1-3	31,8	29,2	2,6
2-1	24,8	21	3,8
2-2	25,8	24	1,8
2-3	24,7	21	3,7
3-1	27,9	24,7	3,2
3-2	35,7	27,1	8,6
3-3	41,1	38,4	2,7
Banco	23,4	18,8	4,6

Fuente: Análisis de laboratorio elaborado por los sustentantes.

Nota: Las designaciones de las muestras deberán entenderse como: El primer índice corresponde al número asignado para la calicata, el segundo índice corresponde al número asignado para la muestra. De este modo, por ejemplo: 2-1, deberá entenderse como “calicata 2, muestra 1.”

2.3.3 Clasificación de los suelos.

Basándose en los resultados de la granulometría y del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, los suelos en estudio se clasificaron por el sistema S.U.C.S según la A.S.T.M en su designación D – 2487 y por el sistema A.A.S.H.T.O en su designación M 145 – 87.

La clasificación de las muestras puede apreciarse en la **Tabla 3**. Donde, la designación de las muestras es la misma utilizada en la **Tabla 2**.

Tabla 3: Clasificación de suelos S.U.C.S y A.A.S.H.T.O

Muestra	Clasificación S.U.C.S	Clasificación A.A.S.H.T.O
1-1	GC	A-1-b (0)
1-2	GM	A-2-4 (0)
1-3	GM	A-1-a (0)
2-1	GM	A-1-b (0)
2-2	GM	A-2-4 (0)
2-3	GW-GM	A-1-a (0)
3-1	GW-GM	A-1-a (0)
3-2	GC	A-1-b (0)
3-3	GW-GM	A-1-a (0)
Banco	GW-GM	A-1-a (0)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la clasificación S.U.C.S señalan que el tipo de suelo predominante corresponde a GM (grava limosa con arena), habiendo también presencia de los grupos GC (Grava arcillosa con arena) y GW – GM (Grava bien graduada con limo y arena).

Referente a la clasificación A.A.S.H.T.O los resultados indican que hay presencia de suelos clasificados como A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-4(0), los cuales corresponden a material granular con un porcentaje de arena mayor a 35% cuyos tipos usuales de materiales o componentes significativos son fragmentos de piedra, grava y arena.

2.3.4 Perfil estratigráfico del suelo del tramo San Benito – San Benito Agrícola.

ESTACIÓN SONDEO	0+100		0+500		1+000
PROFUNDIDAD	S1		S2		S3
0.1m					
0.2m					
0.3m	A-1-b		A-1-b		A-1-a
0.4m					
0.5m	A-2-4		A-2-4		A-1-b
0.6m					
0.7m					
0.8m					
0.9m					
1.0m					
1.1m			A-1-a		A-1-a
1.2m	A-1-a				
1.3m					
1.4m					
1.5m					

	A-1-b	GC	Grava arcillosa con arena
	A-2-4	GM	Grava limosa con arena
	A-1-a	GM	Grava limosa con arena
	A-1-b	GM	Grava limosa con arena
	A-2-4	GM	Grava limosa con arena
	A-1-a	GW-GM	Grava bien graduada con limo arena
	A-1-a	GW-GM	Grava bien graduada con limo arena
	A-1-b	GC	Graba arcillosa con arena
	A-1-a	GW-GM	graba bien graduada con limo arena

Fuente: Elaboración propia

Nota: La línea de color rojo señala la profundidad a la cual se pretende ubicar la sub-rasante.

2.3.5 Característica de los materiales que conformaran la sub-rasante.

Según los resultados obtenidos para la clasificación de los suelos según S.U.C.S es posible valorar la condición y la utilización del suelo de la línea del terreno, el cual pretende ser usado como sub-rasante, la cual estará ubicada 20 cm. por debajo de la línea natural del terreno, por tanto hay que efectuar un corte de 20 cm. en el terreno natural. Se puede observar en el perfil estratigráfico la ubicación de la sub-rasante y a la vez el tipo de suelo que predomina.

En correspondencia con la tabla de utilización de los suelos según su clasificación S.U.C.S el tipo de suelo que existe en la línea del camino presenta características que permiten que este sea utilizado como sub-rasante. *(Ver Tabla de utilización de suelos según S.U.C.S en Anexo 20)*

Para suelos clasificados como GC, se indica una sub-rasante buena y para suelos clasificados como GM se indica una sub-rasante muy buena por lo tanto se puede utilizar perfectamente como sub-rasante el material existente sin ayuda de los bancos de materiales.

Tabla 4: Clasificación del suelo para sub-rasante según S.U.C.S

S.U.C.S	Clasificación
GW	Sub-rasante excelente
GP	Sub-rasante buena a excelente
GM	Sub-rasante buena a excelente
GC	Sub-rasante buena
SW	Sub-base buena
SP	Base regular a buena
CL	Base muy regula a mala

Fuente: Elaboración Propia

El suelo que existe en el banco de materiales presenta características que permiten que este sea utilizado como base. Estas características serán a continuación respaldadas tomando en cuenta las especificaciones NIC-2000.

2.3.6 Característica de la fuente de materiales

Con el objetivo de suministrar a la obra de un material adecuado de cimentación se estudió el banco de materiales “La Luz”, cuyas características se describen a continuación.

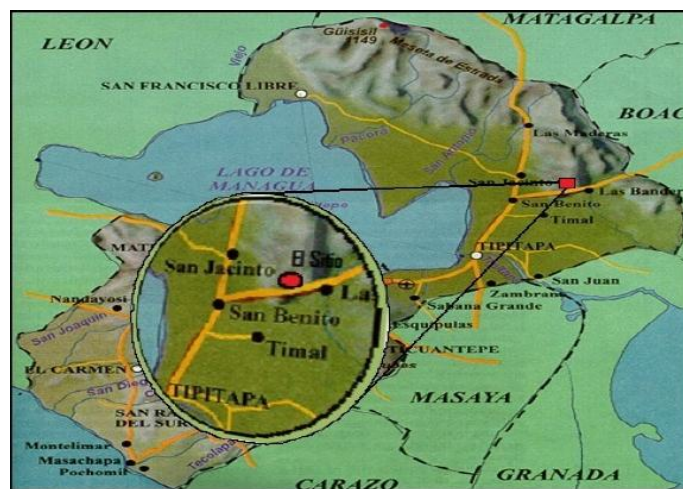
Banco de Préstamo

Nombre: “La Luz.”

Ubicación: Kilómetro 42 de la carretera San Benito – El Rama a mano izquierda. (Aproximadamente a 8 kilómetros del tramo de interés).

Generalidades: El material de esta cantera es un basalto que se compone de minerales ferromagnesianos tales como: olivinos, piroxenos y anfíboles. Tiene un porcentaje de sílice bajo (45% aproximadamente) y contiene elementos como hierro, magnesio y manganeso. El acceso a la cantera está en excelentes condiciones. Se conoció como referencia que el material ha sido utilizado en carpetas de rodamiento y base. Precisamente con este material se construyó la capa de base en el proyecto de rehabilitación de la carretera “San Benito – Puente San Lorenzo” de aproximadamente 80 kilómetros de longitud. Se presenta la macro localización del banco en la **Imagen 3**.

Imagen 3: Macro localización del Banco de Materiales “La Luz”.



Fuente: Google Maps

Según los ensayos de laboratorio realizados al banco de préstamo “La Luz”, sus características son las siguientes:

Tabla 5: Granulometría Banco de Materiales “La Luz”

Tamaño del tamiz		Material del banco
Pulgadas	milímetros	% que pasa
1 1/2"	38,10	100%
1"	25,40	100%
3/4"	19,05	99%
1/2"	12,45	-
3/8"	9,53	75%
No 4	4,76	43%
No 10	2,00	23%
No 40	0,43	11%
No 200	0,07	6%

Fuente: Elaboración propia

La granulometría presentada en la **Tabla 5** fue comparada y evaluada respecto a la Tabla de graduaciones recomendada para sub-base, base o capas superficiales de la NIC-2000 en su sección 1003; con el objetivo de constatar que los materiales de este banco cumplan con los requisitos establecidos. (Ver Cuadro 1003-3 de la norma NIC-2000 en Anexo 21)

Haciendo uso de la **Tabla 6** es posible corroborar que el material proveniente del banco de materiales está dentro de los márgenes aceptables de graduación que le permiten ser utilizado para construir una base de tipo D o bien una base de tipo E. Es importante señalar que las normas NIC-2000 recomiendan el uso de la base tipo E únicamente para vías con tráfico liviano pero dado que el tráfico en el tramo de estudio es liviano si se puede hacer uso de este tipo de base.

Tabla 6: Márgenes de valores de graduación aceptables para base según la NIC-2000:

Tamaño del Tamiz	Material del banco	C	D	E
Pulgadas	% que pasa	Base	Base	Base
1 1/2"		97-100(1)	100(1)	
1"	100%		97-100(1)	100(1)
3/4"	99%	67-81(6)		97-100(1)
1/2"	-			
3/8"	75%		56-70(6)	67-79(6)
No 4	43%	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)
No 10	23%			
No 40	11%	10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)
No 200	6%	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)

Fuente: NIC-2000, sección 1003, cuadro 1003-3

Nota: Puede observarse que este material cumple con los requisitos de graduación exigidos para el uso de materiales en base ya se de tipo D y/o también de tipo E.

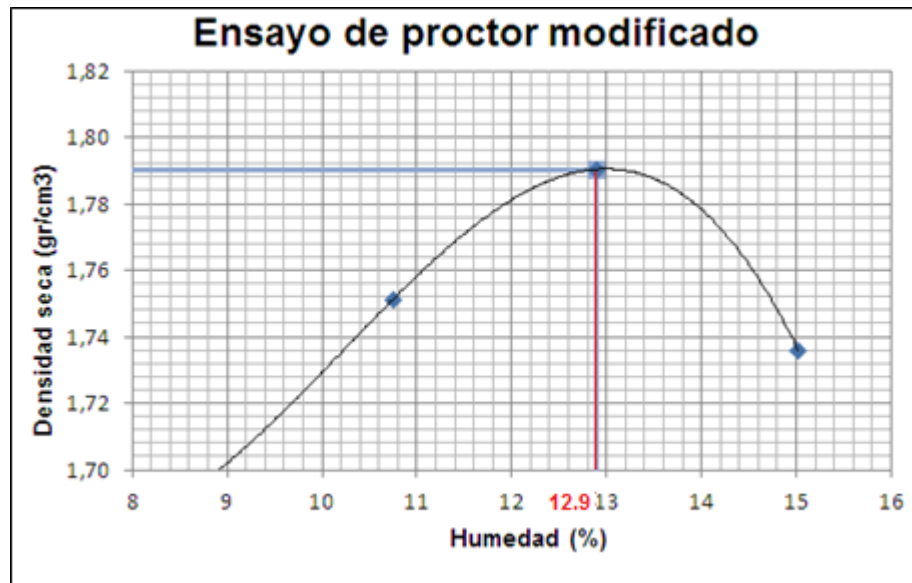
2.3.7 Determinación de la resistencia de los suelos por medio del ensayo de C.B.R.

El comportamiento mecánico del suelo es sin duda uno de los factores más importantes en un proyecto de carretera, de hecho las propiedades y ensayos presentados con anterioridad van encaminando a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible de forma que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente y no se produzcan asientos excesivos o incluso colapsos.

El ensayo (C.B.R) se llevó a cabo en el banco de materiales utilizándose la humedad óptima encontrada en los ensayos de proctor modificado. *(Ver resultado de ensayos de proctor modificado en Anexo 22)*

La humedad óptima puede observarse en el punto donde se interseca la horizontal que corresponde a la densidad seca máxima con la curva de porcentajes de humedad obtenidos para las muestras. Utilizar el porcentaje de humedad óptima en la compactación es necesario para conseguir la compactación máxima, esto permite conseguir acercarse al concepto que se conoce como compactación perfecta que busca tratar de eliminar por completo la presencia de aire y vacíos del suelo garantizando el máximo peso específico y estabilidad. La humedad óptima obtenida en el ensayo de proctor modificado para la muestra representativa del banco de materiales es 12.9%.

Imagen 4: Gráfica humedad vs densidad - Muestra Banco de Materiales.



Fuente: Elaboración propia.

Para la realización del ensayo C.B.R la muestra se saturó por un tiempo de 4 días (96 horas), antes de ejecutar el ensayo. Los resultados completos de este ensayo utilizando porcentajes de compactación de 90%, 95% y 100% pueden observarse en los anexos de este documento. (Ver resultados del ensayo C.B.R para la muestra tomada del banco de materiales en Anexo 23)

Mediante la realización del ensayo C.B.R, llevando a cabo los procedimientos según se indican en la **Guía del laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla de la Universidad nacional de Ingeniería**, se obtuvo un valor de C.B.R de 81.19 utilizando un **porcentaje de compactación al 95%** el cual es el porcentaje requerido por las Normas NIC-2000.

Tabla 7: Datos de la muestra representativa del banco de materiales utilizada para el ensayo C.B.R:

Ensayo C.B.R			
Molde No.	1	2	3
No. golpes	10	25	56
Suelo seco (gr)	4523	4718	5113
Humedad aparente (%)	12.9	12.9	12.9
Agua agregada (cm ³)	583.467	608.622	659.577
Peso molde con suelo (gr)	11718	11963	12278
Peso molde (gr)	7195	7245	7165
Peso suelo húmedo (gr)	4523	4718	5113
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.170	2.264	2.453

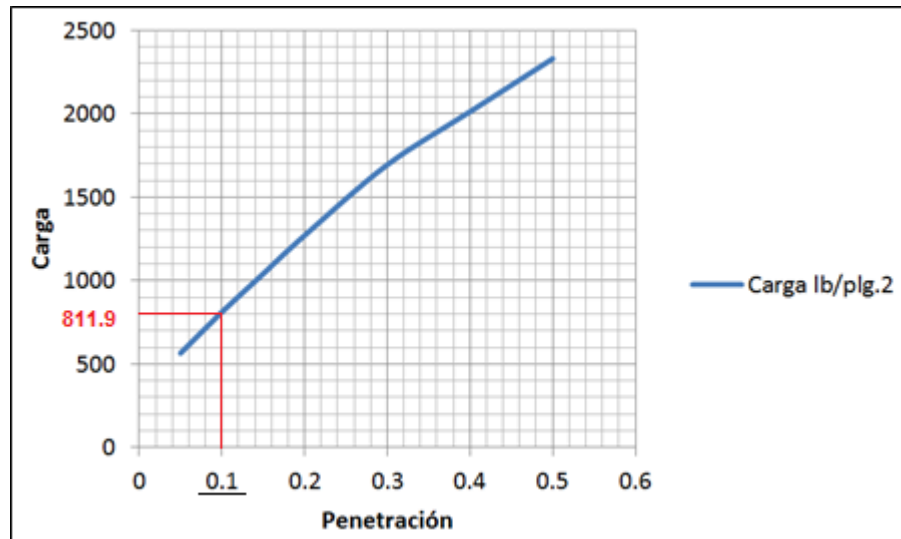
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Lecturas de carga – penetración para la muestra representativa del banco de materiales compactada al 95%:

Penetración muestra 95% (pulg.)	Lectura carga	Carga lb/plg.2	CBR
0.05	32	564.8	
0.1	46	811.9	81.19
0.15	59	1041.35	
0.2	72	1270.8	84.72
0.3	96	1694.4	89.18
0.4	114	2012.1	87.48
0.5	132	2329.8	89.1

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 5: Gráfica carga vs penetración para la muestra representativa del banco de materiales compactada al 95%.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las normas NIC-2000, el valor de C.B.R encontrado para la muestra cumple con los valores permisibles de C.B.R para la base los cuales están indicados en la sección 1003 de la norma. *(Ver cuadro de requerimientos NIC-2000 para Bases en Anexo 24)*

2.3.8 Determinación del C.B.R de diseño.

Para encontrar el valor C.B.R de diseño para los diferentes tipos de suelo encontrados en la línea que servirá como sub-rasante se hizo uso del siguiente procedimiento:

De acuerdo a la tabla de correlación aproximada entre la clasificación de suelo y los valores de C.B.R se eligieron valores aproximados de C.B.R. *(Ver tabla de Relación aproximada entre la clasificación de suelos y los valores del C.B.R en Anexo 25)*

Los valores de C.B.R estimados de acuerdo al tipo de suelo se muestran en la **Tabla 9.**

Tabla 9: Valores de C.B.R estimados

Muestra	Clasificación A.A.S.H.T.O	C.B.R Estimado
1-1	A-1-b (0)	28
1-2	A-2-4 (0)	30
1-3	A-1-a (0)	40
2-1	A-1-b (0)	28
2-2	A-2-4 (0)	30
2-3	A-1-a (0)	40
3-1	A-1-a (0)	40
3-2	A-1-b (0)	28
3-3	A-1-a (0)	40

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se eligió un valor percentil por nivel de tránsito de acuerdo a la tabla de límites de selección de resistencia, **Tabla 10**. Los niveles de tránsito están definidos de acuerdo a los Ejes equivalentes o Esal's. El valor Esal's para este proyecto fue calculado en el **Estudio de Tránsito**, estos cálculos pueden observarse en el **Capítulo 3** de este documento.

Tabla 10: Límites para la selección de resistencia C.B.R

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de sub-rasante
< de 10,000 Esal's	60%
Entre 10,000 Esal's y 1,000,000 Esal's	75%
>1,000,000 Esal's	87.5%

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA.

Para este estudio en particular el valor ESAL'S es de **156,152** (*Ver cálculo de ejes equivalentes en el Capítulo 3 pág. 33*) por tanto se adoptara el valor que corresponde a 75% de acuerdo a la **Tabla 10**.

Posteriormente se procedió a ordenar los valores C.B.R de menor a mayor y se determinó el número y el porcentaje de valores iguales o mayores que cada uno:

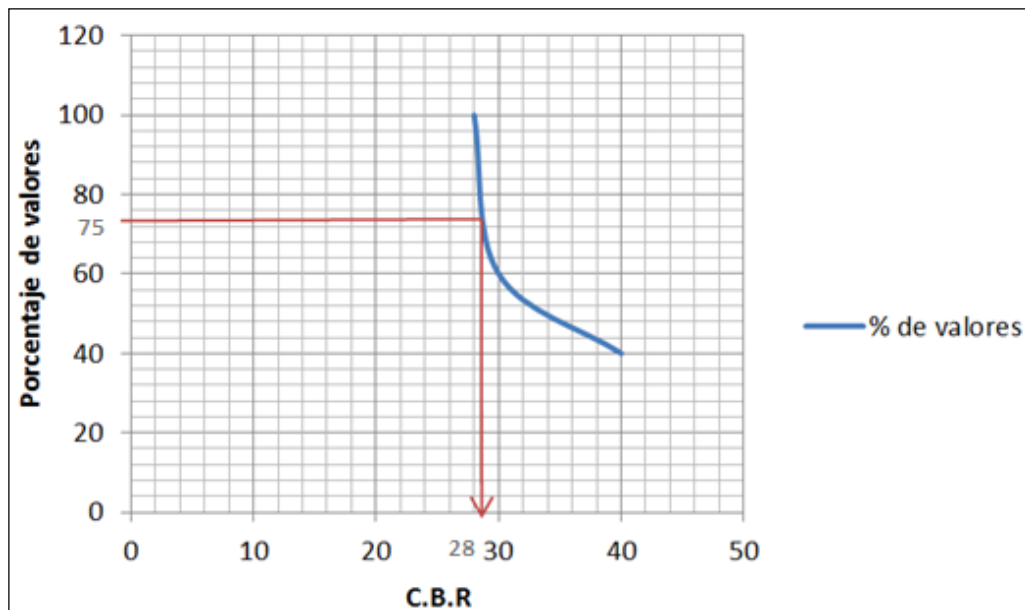
Tabla 11: Ordenamiento de valores C.B.R

Tipo de suelo	C.B.R	Frecuencia	No. De valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
A-1-b	28	3	9	100
A-2-4	30	2	6	60
A-1-a	40	4	4	40

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de C.B.R y porcentajes de valores se dibuja un gráfico donde es posible determinar el C.B.R de diseño para la sub-rasante.

Imagen 6: Gráfico porcentajes de valores vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia

Al trazar en la gráfica de C.B.R vs porcentajes de valores una tangente sobre el valor percentil de 75% el cual corresponde al caso según la **Tabla 10** obtenemos el C.B.R de diseño para la sub-rasante igual a 28%.

El resumen de los resultados de los valores de C.B.R de diseño y de la muestra representativa del banco de materiales se muestra a continuación:

Tabla 12: Valores C.B.R encontrados

Muestra	Valor C.B.R
Línea del camino	28
Banco	81.19

Fuente: Elaboración propia

3.1 Estudio de tránsito

El tránsito es una de las variables más importantes en el diseño de pavimentos, su adecuada cuantificación y proyección es indispensable para obtener un buen diseño basándose en una acertada predicción de los volúmenes de demanda, composición y evolución que estas variables pueden experimentar a lo largo de la vida útil de la vía.

Los principales indicadores que se toman en consideración para la elaboración del Estudio de Tránsito para una vía determinada son el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y las características de los vehículos que circulan sobre la misma, ya que es uno de los factores determinantes para establecer los parámetros de diseño para la obtención de las cargas a que estará sometido el pavimento en un periodo de diseño previamente establecido.

El objetivo del estudio de tránsito es cuantificar la cantidad y características de los vehículos que se estima circularán por la vía de estudio durante un periodo vida útil de 15 años (esto último depende de la clasificación de la vía).

Tabla 13: Periodo de diseño según la clasificación de la vía

Tipo de Carretera	Periodo de diseño
Auto Pista Regional	20 - 40 años
Troncales Suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	15 - 30 años
Colectoras Suburbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	10 - 20 años

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA.

El tránsito estimado para el diseño se obtuvo a través de aforos realizados en la vía ya que no existe información de conteos en el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en la zona del proyecto.

3.1.1 Clasificación del tráfico.

En muchos países latinoamericanos, incluido Nicaragua, se utiliza una clasificación similar a la estándar definida por la Federal Highway Administration de los Estados Unidos de América. La clasificación adoptada en Nicaragua puede observarse en la **Tabla 14**.

Tabla 14: Clasificación del tráfico en Nicaragua

No.	Clasificación para el conteo vehicular	Características
1	Motocicletas	Scooter y moped
2	Carro y jeep	Coupe, sedan, station wagon, jeep y land rover
3	Camioneta, van y microbús	Utilidad para uso de pasajero
4	Buses	(más de 15 asientos)
5	Camioneta van	Utilidad para uso de carga
6	Camión rígido sencillo	2 ejes
7	Camión rígido sencillo	3 ejes
8	Camión más semi-remolque	2+1 ejes
9	Camión más semi-remolque	2+2 ejes
10	Camión más semi-remolque	3+1 ejes
11	Camión más semi-remolque	3+2 ejes
12	Camión más semi-remolque	3+3 ejes
13	Camión más remolque de barra de tracción	2+2 ejes
14	Camión más remolque de barra de tracción	2+3 ejes
15	Camión más remolque de barra de tracción	3+2 ejes
16	Vehículo agrícola	Tractor
17	Vehículo de construcción	Niveladora
18	Otro	Remolque halado por un vehículo liviano

Fuente: Anuario de tráfico 2012 Ministerio de transporte e infraestructura – Nicaragua

3.1.2 Información recolectada en el estudio de tránsito

La información necesaria para cuantificar el tránsito existente de una vía se debe recolectar con base a los procedimientos técnicos en la ingeniería de tránsito. La información que se requiere es la siguiente:

- a) Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)
- b) Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

El Tránsito Semanal (TS) se determina efectuando un conteo durante **24 horas del día por una semana**, de todos los vehículos que pasan por la carretera que es objeto de estudio. Teniendo en cuenta que el tránsito sufre variaciones mensuales y estacionales, es necesario hacer una cuidadosa elección de la semana de aforo.

3.1.3 Conteo Vehicular in situ.

El conteo vehicular del tramo “Empalme San Benito – Colonia San Benito Agrícola” se realizó en el km. 35 ya que es la entrada principal a la comarca, con la finalidad de obtener un porcentaje de los diferentes tipos de vehículos que circulan por el camino existente. *(Ver Formato de conteo en Anexo 29)*

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a la zona se realizó un conteo Vehicular en un periodo de 12 horas durante tres días (en el mes de noviembre 2014) utilizando posteriormente los factores de ajuste indicados en el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2013), los cuales corresponden a la estación de conteo más próxima, la estación sumaria número 135 (NIC-NN147), Empalme San Benito – Colonia Los Laureles la cual está ubicada en el km 38 y se rige a su vez por la estación permanente 700 (NIC-7) Emp. Camoapa Tecolostote. *(Ver tabla de Factores de ajuste en Anexo 30)*

Los factores de ajuste antes mencionados permiten expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas, expandir el resultado obtenido para un periodo corto de tres días al promedio semanal de los 7 días, de igual forma incluir un factor fin de semana y finalmente expandir el tráfico diario semanal al Tránsito Promedio Diario Anual. De esta forma fue posible obtener la cantidad de vehículos que transita por el camino así como su clasificación.

A continuación se presenta un consolidado del volumen de tránsito diurno de los diferentes tipos de vehículos identificados en el conteo:

Tabla 15: Conteo vehicular in situ 12 horas (11, 12 y 13 de Noviembre 2014)

Día	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus	C2	Total
Martes	17	5	4	26	2	24	78
Miércoles	28	1	6	31	3	17	86
Jueves	13	9	7	23	2	21	75
Promedio	19	5	6	27	2	21	80

Fuente: Levantamiento de campo por los sustentantes.

Dentro de los vehículos livianos las camionetas son los más representativos ya que son el medio transporte de mayor demanda en la comunidad. Entre los vehículos pesados el camión C2 es el tipo de vehículo más utilizado. *(Ver gráfica de vehículos predominantes en Anexo 31)*

A continuación se presentan los resultados obtenidos del conteo por sentido de los tipos de vehículos que circulan por la vía. Los datos reflejados en la **Tabla 16**, son un porcentaje global del conteo realizado con anterioridad durante 3 días, debido a que durante la ejecución de esta actividad se observó que no existían variaciones considerables en cuanto a la cantidad de vehículos que circulaban en ambas direcciones, es decir, que el comportamiento del tránsito es balanceado.

Tabla 16: Tránsito Promedio por sentido (12 Horas).

Sentido	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus	C2	Total
O-E	10	3	3	14	1	11	40
E-O	9	2	3	13	1	10	40
Total TP	19	5	6	27	2	21	80

Fuente: Levantamiento de campo por los sustentantes.

3.1.4 Tránsito promedio diario.

El tránsito promedio será afectado por el factor día por tipo de vehículo para obtener el tránsito durante 24 horas continuas del estudio de la vía. Cabe señalar que el factor día indicado en la tabla de factores de ajuste es “1.00” lo que significa que los valores presentados en la **Tabla 15** no sufren alteraciones por la aplicación de este factor. *(Ver tabla de Factores de ajuste en Anexo 30)*

3.1.5 Tránsito promedio diario anual.

El tránsito promedio diario anual es la predicción del tránsito para propósitos de diseño, que generalmente tiene un crecimiento normal proyectado en el corredor inmediato, con una concesión apropiada para los cambios en el uso de la tierra y un potencial desarrollo comercial e industrial.

Para el cálculo del TPDA se tomará en cuenta el Tránsito Promedio Diario el cual será afectado por el factor semanal y el factor de expansión. *(Ver tabla de Factores de ajuste en Anexo 30)*

Tabla 17: Tránsito Promedio Diario Anual.

Grupos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus	C2	Otros	Total
Tránsito Promedio Diario	19	5	6	27	2	21	0	80
Factor Semana Est. 700	1	1	1	1	1	1	1	
Factor de Expansión Est. 700	1.06	1.04	1.01	1.01	1	1.19	0.77	
TPD	20	5	6	27	2	25	0	85

Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Tránsito base del proyecto.

El tránsito base es el resultado de actualizar la información obtenida de los levantamientos realizados en las fechas señaladas, a la fecha o año de puesta en marcha del proyecto.

El tránsito obtenido del aforo se tomará como el tránsito actual o base al inicio del proyecto (2015), ya que el conteo corresponde al mismo año de estudio, el cual se encuentra reflejado en la **Tabla 18**.

Tabla 18: Tránsito base del proyecto.

Tipo de vehículo	Tránsito Base (veh/día)
Vehículo liviano	31
Camioneta	27
Bus (30 pasajeros +)	2
Camión (C2)	25
Total	85

Fuente: Elaboración propia

3.2 Proyección de tránsito.

Para la proyección de tránsito deben establecerse los volúmenes de tránsito presente en el año de puesta en servicio del proyecto, además tomar en cuenta los principales indicadores de crecimiento que presenta la zona en la que se ubica el camino en estudio, tales como:

- a) Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo.
- b) Índice de crecimiento poblacional y económico.
- c) Plan de desarrollo municipal.

Los indicadores mencionados con anterioridad permiten estimar la tasa de crecimiento vehicular, con la que se proyectaran lo volúmenes de tránsito del año de puesta en servicio del proyecto al final del periodo (15 años).

De acuerdo a estos criterios analizados se obtuvo la siguiente información:

- La tasa anual de crecimiento promedio del Producto Interno Bruto (PIB) del país (Nicaragua) corresponde a 4.6%. *(Ver gráfica: Tasa de crecimiento del PIB en Anexo 32)*
- La tasa de crecimiento promedio poblacional del municipio de Tipitapa es aproximadamente 2.3% según el censo poblacional del 2005 elaborado por el INEC.
- Para la tasa de crecimiento vehicular de la zona, como no existen datos estadísticos se pretendió utilizar la tasa de crecimiento promedio anual de la Red Vial Nacional de 5.7%, sin embargo se consideró muy alta al compararla con otros criterios (PIB, Poblacional) debido a los problemas económicos que presenta el sistema financiero mundial en especial el de nuestro país solo se consideró las tasas de PIB y la poblacional.

Haciendo un promedio de las tasas de crecimiento y a partir de las consideraciones respecto al volumen de tránsito se estimó que la tasa anual de crecimiento vehicular durante el periodo de diseño será 3.4%. Por tanto para el cálculo del TPDA, se utilizará la siguiente fórmula:

$$TPDA_n = TPDA_o(1 + i)^n, \text{ donde:}$$

$TPDA_n$: Tránsito Promedio Diario Anual del año horizonte.

$TPDA_o$: Tránsito Promedio Anual del año base. (Obtenido del conteo vehicular)

i : Tasa conservadora de crecimiento vehicular. (3.4%)

n = año horizonte o periodo de diseño del camino: $n=15$ años, donde, el año horizonte se eligió debido al tipo de vía clasificada como colectora rural. *(Ver Tabla de Asignación del periodo de diseño según la clasificación de la vía en Anexo 27)*

Proyección de tránsito para cada tipo de vehículo.

Moto

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 20(1 + 0.034)^{15} = 33$$

Auto

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 5(1 + 0.034)^{15} = 8$$

Jeep

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 6(1 + 0.034)^{15} = 10$$

Camioneta

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 27(1 + 0.034)^{15} = 45$$

Bus

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 2(1 + 0.034)^{15} = 3$$

C2

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 25(1 + 0.034)^{15} = 41$$

Proyección de tránsito total.

$$TPDAn = TPDAo(1 + i)^n$$

$$TPDAn = 85(1 + 0.034)^{15} = 140$$

En la **Tabla 19** se resume el Tránsito Promedio Diario Anual proyectado al periodo de diseño del camino.

Tabla 19: Proyección del tránsito al periodo de diseño (15 años).

Tipo de vehículo	TPDA (2012)	TPDA → i =3.4% (2030)
Moto	20	33
Auto	5	8
Jeep	6	10
Camioneta	27	45
Bus	2	3
C2	25	41
Total	85	140

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) al año horizonte (2030) será de 140 vehículos/día, de los cuales el tipo camioneta es el más representativo seguido de tipo camión tipo C2.

Es importante señalar que se espera que el vehículo de tipo C2 sufra un incremento una vez que se dé la apertura de la vía, ya que estos son los vehículos que se utilizan para sacar la producción agrícola y a su vez distribuyen distintos productos en las pulperías o puestos de la zona.

3.3 Tránsito de diseño (TD)

Es la denominación del tránsito para el diseño de pavimento que tiene como objetivo la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes que circularán por la vía durante el periodo de diseño. El tránsito de diseño se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = T_o * FC * F_c * FD$$

Dónde:

TD: Tránsito de Diseño

T_o: Tránsito inicial o Tránsito Base (2015)

FC: Factor de Crecimiento

F_c: Factor Carril

FD: Factor Direccional

3.3.1 Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento del tráfico considera los años de vida útil de la vía (periodo de diseño) más la tasa de crecimiento vehicular estimada para el proyecto, de esta manera nos muestra cómo se comportara el tránsito vehicular sobre la vía respecto al tiempo.

El factor de Crecimiento se determina a través de la siguiente fórmula:

$$FC = 365 * \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right]$$

Dónde:

i: Tasa de crecimiento vehicular 3.4%

n: Periodo de diseño, (15 años)

Por lo tanto el factor de crecimiento es igual a:

$$FC = 365 * \left[\frac{(1+0.034)^{15}-1}{0.034} \right] = \mathbf{6991.17}$$

3.3.2 Factor de carril (F_c):

Es la relación que existe en la distribución del tráfico cuando dos o más carriles son usados en una sola dirección.

La vía en estudio va a diseñarse con un carril por sentido por tanto asignamos el valor de 1, valor tomando de la **Tabla 20**.

Tabla 20: Factor carril.

Condiciones	F_c
1 carril por dirección	1
2 carriles por dirección	0,8 - 1
3 carriles por dirección	0,6 - 0,8
4 o más carriles por dirección	0,5 - 0,75

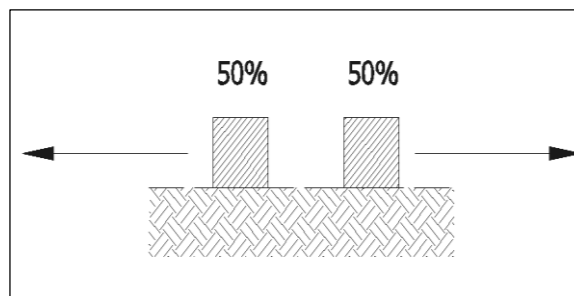
Fuente: Especificaciones A.A.S.H.T.O 93

3.3.3 Análisis direccional

El camino está clasificado como Colectora Rural. (Ver *Tabla de Clasificación funcional de carreteras en Anexo 26*).

Para una vía con estas características se considera un factor direccional (f_d) del 0.5, esto quiere decir que la circulación de vehículos es igual en ambos sentidos.

Imagen 7: Factor direccional del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los parámetros anteriores podemos obtener el tránsito de Diseño (TD) el cual se presenta en la **Tabla 21**.

Tabla 21: Tránsito de diseño (TD).

Tipo de vehículo	To (2012)	FC	FD	Fc	TD (Veh/día)
Moto	20	6991,17	0,5	1	69912
Auto	5	6991,17	0,5	1	17478
Jeep	6	6991,17	0,5	1	20973
Camioneta	27	6991,17	0,5	1	94381
Bus	2	6991,17	0,5	1	6991
C2	25	6991,17	0,5	1	87390
Total	85				297134

Fuente: Elaboración propia

3.4 Determinación de los ejes ESAL'S equivalentes (W18)

Los pavimentos se diseñan en función del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resista un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 KIPS a los cuales se denomina "Equivalent simple axial load" o ESAL'S (ejes equivalentes).

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. El proceso de convertir un tránsito mixto en un número ESAL'S de 80 KN fue desarrollado por la A.A.S.H.T.O 93 mediante un ensayo en el cual se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño que estas produjeron.

Para determinar el ESAL'S, se utilizaron las tablas de factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles para un SN de 3 y Pt de 2. (Ver Tabla de factores equivalentes en Anexo 33)

Los valores de factores equivalentes se obtuvieron por interpolación y en dependencia del peso por eje del vehículo. Estos factores son los recomendados por el método para ejes simples, tándem y triples. Los pesos por ejes asignados según el tipo de vehículo fueron tomados a su vez del “Diagrama de cargas permisibles – pesos máximos por eje por tipo de vehículo”, elaborado por el ministerio de transporte e infraestructura de Nicaragua. (Ver Diagrama de pesos por eje según el tipo de vehículo en Anexos, Anexo 34 y 35)

Cabe mencionar que para nuestro estudio no se tomó en cuenta las motocicletas debido a que su peso es despreciable en comparación a los demás vehículos.

Tabla 22: Resultado de ESAL´S de diseño

Cálculo de los ejes ESAL´S para el diseño de la estructura de pavimento del tramo San Benito - Colonia Agrícola San Benito.				
Tipo de vehículo	W por eje (Lbs)	Td	F. ESAL	ESAL Diseño
Automóvil	2200	17478	0,00038	6,64
	2200		0,00038	6,64
Jeep	2200	20973	0,00038	7,97
	2200		0,00038	7,97
Camioneta	2200	94381	0,00038	35,86
	4400		0,0038	358,65
Bus	10000	6991	0.090	629,19
	20000		1.56	10905,96
C2	10000	87390	0.090	7865,10
	20000		1.56	136328,40
				156152,38

Fuente: Elaboración propia.

El valor ESAL'S de diseño determinado de acuerdo al tránsito de diseño es igual a: **156152,38** ejes equivalentes por carril de diseño.

La A.A.S.H.T.O 93, define a las carreteras de tráfico ligero mediante el total de ejes equivalente y establece que las vías con un W18 menor a 700 mil ESAL'S son consideradas de bajo volumen vehicular.

4.1 Diseño de la estructura de pavimento

4.1.1 Introducción.

En Nicaragua se utilizan 4 tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfálticas, de concreto y adoquinado. Debido a su economía, fácil trabajabilidad y mantenimiento, se eligen adoquines de concreto en el presente proyecto.

4.2 Método de diseño.

El método que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento en este trabajo monográfico fue el de la A.A.S.H.T.O 93, este método involucra los estudios abordados anteriormente en los Capítulos 2 y 3.

En Nicaragua no existe método específico para el diseño de estructura de pavimento. Para el diseño de carpeta de rodamiento de adoquín, los métodos más usados son:

- Método Directo
- Murillo López de Souza
- Método Argentino
- Método Británico
- A.A.S.H.T.O

El método de la A.A.S.H.T.O 93 es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructura de pavimento: rígido y flexible. Para el diseño propuesto a continuación se utilizó el método flexible tomando ciertas consideraciones:

- ✓ Suponer que el pavimento de adoquín trabaja como pavimento flexible, está basado en la forma como este asimila las cargas y las transmite a los demás miembros de la estructura de pavimento, trabajando de forma articulada y a la vez como pequeña losa.
- ✓ El método de la A.A.S.H.T.O contempla la implementación de modelos matemáticos donde se ven involucradas variables que condicionan el desarrollo de estos.

4.3 Determinación de los parámetros de diseño.

4.3.1 Confiabilidad.

La confiabilidad de diseño es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla con su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar en ese lapso.

Este concepto fue utilizado por primera vez para el diseño de pavimentos flexibles en 1973 en Texas, (Texas Highway Department) y posteriormente desarrollado e incorporado en los procedimientos de diseño de la guía A.A.S.H.T.O de 1986.

Los niveles de confiabilidad están en dependencia de muchos factores que conllevaran al grado de serviciabilidad que presentan los diseños de pavimentos. La guía A.A.S.H.T.O 93 ha propuesto un cuadro de porcentajes de confiabilidad de acuerdo al grado funcional, este cuadro puede apreciarse en la **Tabla 23**.

Tabla 23: Confiabilidad recomendada de acuerdo al tipo de camino.

Tipos de camino	Confiabilidad recomendada (NC(R))	
	Zonas Urbanas	Zonas Rurales
Rutas Interestatales y Autopistas	85-100	80 - 100
Arterias Principales	80-99	75 - 99
Vías Colectoras	80-95	75 - 95
Vías Locales	50-80	50 - 80

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

El valor de confiabilidad NC(R) utilizado en este proyecto es de 80% por ser un tipo de camino colectoras en la zona rural.

Una vez determinado el valor de la confiabilidad es fácil elegir el valor de ZR en este caso el valor determinado es -0.841.

Tabla 24: Valores de ZR dependiendo del porcentaje de confiabilidad.

Confiabilidad (R)	Valor ZR	Confiabilidad (R)	Valor ZR
50	0	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.34	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

4.3.2 Desviación estándar (S_o)

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 del mismo. Para la estimación de la desviación estándar, la guía A.A.S.H.T.O 1993 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; estos valores de estimación han sido plasmados en la **Tabla 25**.

Tabla 25: Valores de estimación de desviación Estándar

Condición de diseño	Desviación estándar
En sobre-capa	0.5
En construcción nueva	0.35 - 0.40
Para pavimento flexible	0.40 - 0.50

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA.

El valor de la desviación estándar para el presente trabajo es de 0.40 por considerarse como construcción nueva.

4.3.3 Serviciabilidad (P_i)

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 de dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar. La forma más sencilla para determinar la pérdida de serviciabilidad es mediante la **Tabla 26**.

Tabla 26: Pérdidas de serviciabilidad

Pérdidas de serviciabilidad	
El cambio de pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define con la siguiente ecuación: $\Delta PSI = P_o - P_t$	
PSI=	Índice de servicio presente
ΔPSI=	Diferencia entre los índices de servicio inicial u ordinal y el final o terminal.
P_o=	Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para pavimentos flexibles)
P_t=	Índice de servicio final, para el cual AASHTO en su versión 1993 posee valores de 2.0 y 2.5 , recomendando 2.5 o más para caminos principales y 2.0 para caminos de tránsito menor.

Fuentes: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

De acuerdo a la **Tabla 26**, el valor del índice de serviciabilidad determinado fue de 4.2 para el inicio por considerarse un pavimento flexible y de 2.0 para el final por ser un camino de tránsito menor, así que el valor de la pérdida de calidad de servicio es igual a 2.2.

4.3.4 Coeficientes del paquete estructural

Existen otros factores estructurales que involucran las características y propiedades de los diferentes materiales que formaran parte del paquete estructural como se representa a continuación:

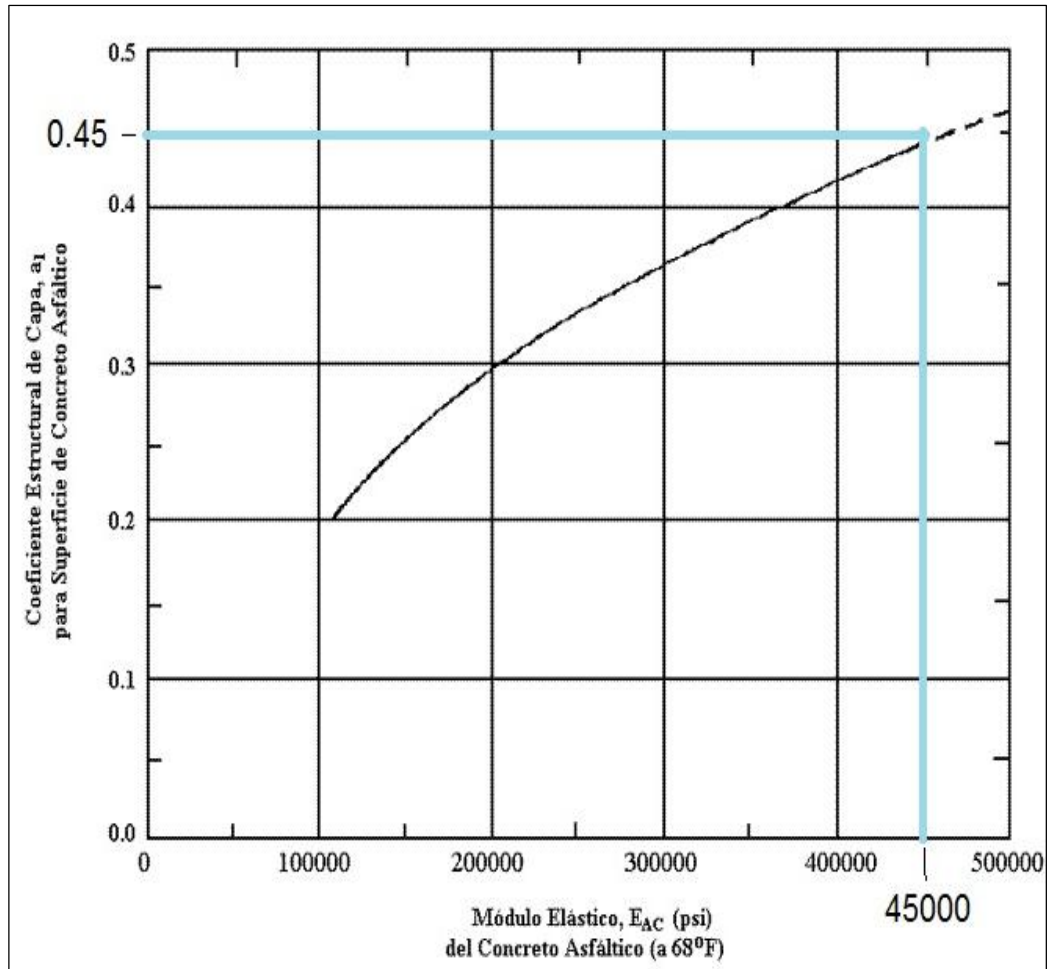
- ✓ **a1**: es la carpeta de rodamiento
- ✓ **a2**: es la base
- ✓ **a3**: es la sub-base

Para la capa de adoquín, el valor del coeficiente **a1** es 0.45. Este valor fue obtenido gracias a la ayuda del nomograma mostrado en la **Imagen 8** y conociendo que la A.A.S.H.T.O designa la aplicación del nomograma para la estimación de valores dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto en PSI.

El módulo de elasticidad del asfalto es de 45,000 PSI y ya que se ha considerado el adoquinado como un pavimento flexible este criterio resulta válido para determinar el coeficiente **a1**.

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

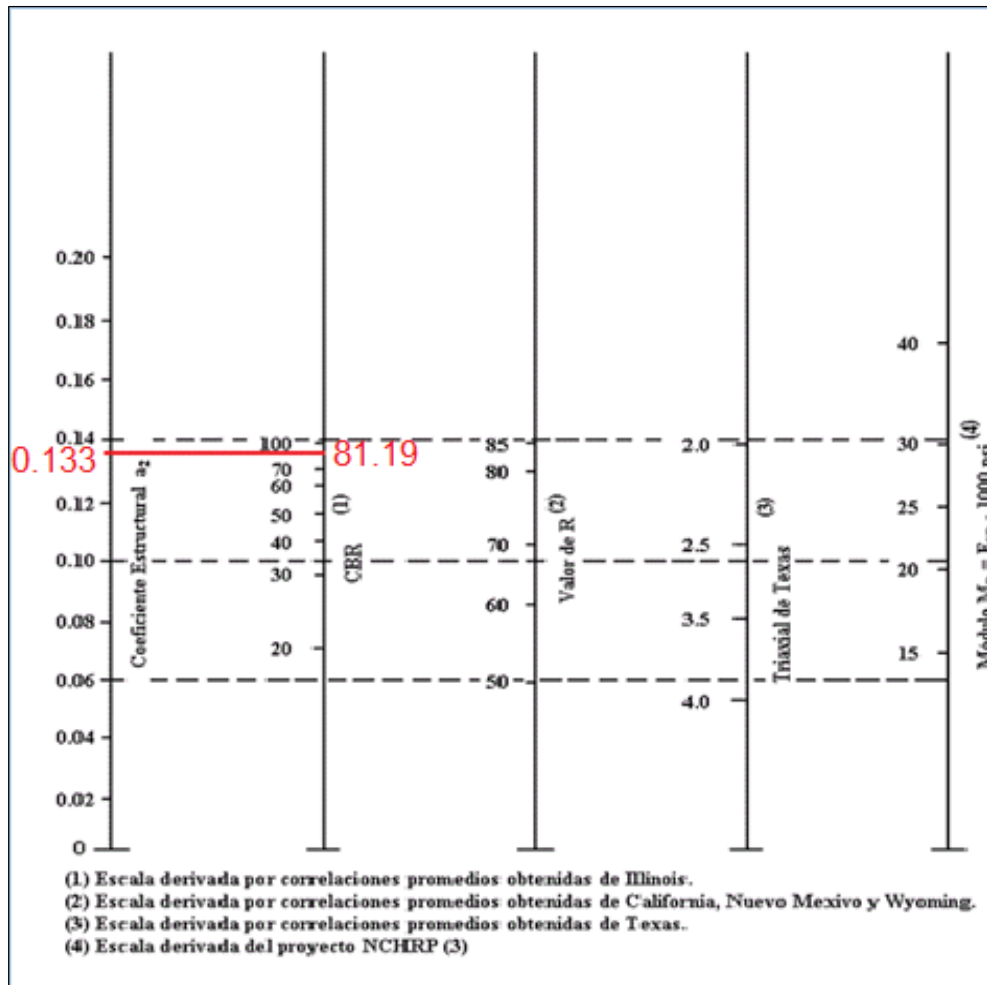
Imagen 8: Coeficiente estructural a1, para la carpeta de rodamiento



Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

La determinación del valor estructural de capa base **a2** se realizó en base a la aplicación del siguiente nomograma.

Imagen 9: Coeficiente estructural a2 para la base.



Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

El valor del CBR para la Base es de 81.19%, por lo tanto trazando la línea en el nomograma el valor de **$a_2 = 0.133$** .

El coeficiente **a_3** es despreciado ya que la estructura de pavimento propuesta no contempla sub-base.

4.3.5 Módulo de resiliencia Mr.

El módulo de resiliencia es el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable, es por eso, que está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida, de acuerdo con los estudios llevados a cabo, este parámetro no es una propiedad constante de los materiales, sino que depende de muchos factores.

Dependiendo del material en estudio, algunos de los factores más importantes son:

- Parámetros de compactación. (Peso volumétrico y contenido de agua)
- Método de compactación.
- Número de aplicaciones de carga, magnitud del esfuerzo, tipo y contenido estabilizador, tipo y contenido modificador, temperaturas, etc.

Con lo anterior expuesto se resalta que este valor es únicamente característico en los materiales a ser utilizados en el paquete estructural. Existe otra forma de determinar las características de los materiales el cual es con otro ensayo: CBR (California Bering Ratio) este ensayo es el único capacitado para determinar la resistencia a esfuerzos en condiciones controladas del material, es decir en condiciones optima de densidad y humedad, este ensaye es aplicado a los materiales que están destinados como Sub-rasante, Sub-base y bases.

El CBR es un ensayo de carácter estático y puede realizarse tanto en el sitio como en el laboratorio, el módulo de resiliencia es una prueba de carácter dinámica y es de esfuerzo triaxial de carga repetitiva que solo se realiza en condiciones ideales. Si no se cuenta con equipos necesarios para determinar los módulos de resiliencia, se hace uso de los valores del CBR, tomando las consideraciones señaladas en la **Tabla 27**.

Tabla 27: Ecuaciones de correlación

Valores de CBR	Consideración	Ecuación
CBR ≤ 7,2%	Para Materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 7,2%	$Mr. = 1500 * CBR$
7,2% < CBR ≤ 20%	Para materiales de sub-rasante mayor de 7.2% pero menor o igual a 20%	$MR = 3000 * CBR \wedge 065$
Para suelos granulares, ecuación desarrollada con base a la guía A.A.S.H.T.O.		$MR=4326*\ln(CBR)+241$

Fuente: Ingeniería de pavimento para carreteras, Fonseca Montejo.

Nota: El valor resultante de estas consideraciones se mide en unidades de lb/plg² – psi.

Determinación del módulo de resiliencia para CBR de 28% en la sub-rasante

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

$$MR=4326*\ln (28) +241$$

$$MR=14,656.17 \text{ psi.}$$

4.3.6 Coeficiente de drenaje

Tabla 28: Capacidad del Drenaje para remover la Humedad

Capacidad del Drenaje para remover la Humedad				
Calidad de drenaje	Aguas removida en			
	50 % Saturación	85% 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 a 15 horas		
Calidad del drenaje	P= % del tiempo 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	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.15 - 1.05	0.80 - 0.60	0.6
Malo	1.15 - 1.05	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

Como se puede observar en la tabla, según la A.A.S.H.T.O se utilizará un coeficiente de drenaje de 1 en rasante para pavimentos flexibles.

4.3.7 Resumen de los factores utilizados para el diseño de la estructura de adoquinado del tramo en estudio.

Tabla 29: Resumen de factores de diseño de estructura de adoquinado San Tramo Benito – San Benito Agrícola

Factores	Valores Utilizados
Confiabilidad	80%
Valor desviador (Zr)	0.841
Desviación Estándar(So)	0.40
Serviciabilidad (Po)	4.2
Serviciabilidad (Pt)	2
Coefficiente de drenaje	1
Coefficiente estructural de la carpeta de rodamiento (a1)	0.45
Coefficiente estructural de la base (a2)	0.133

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Calculo de espesores

4.4.1 Calculo de numero estructural (SN).

En este método para el cálculo de espesores se utilizó la guía para diseño de pavimento A.A.S.H.T.O 93, el SN según este método se calcula teniendo los siguientes valores:

- ✓ Confiabilidad (R).
- ✓ Desviación estándar.
- ✓ Esal's de diseño.
- ✓ MR, Modulo resiliente efectivo de sub-rasante
- ✓ Pérdida de Serviciosabilidad.

La fórmula general que relaciona el número estructural SN con los espesores de capa es la siguiente: **$SN = a_1 * m_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$**

Donde:

a_1, a_2, a_3 = coeficiente estructural de la capas (1/pulg.)

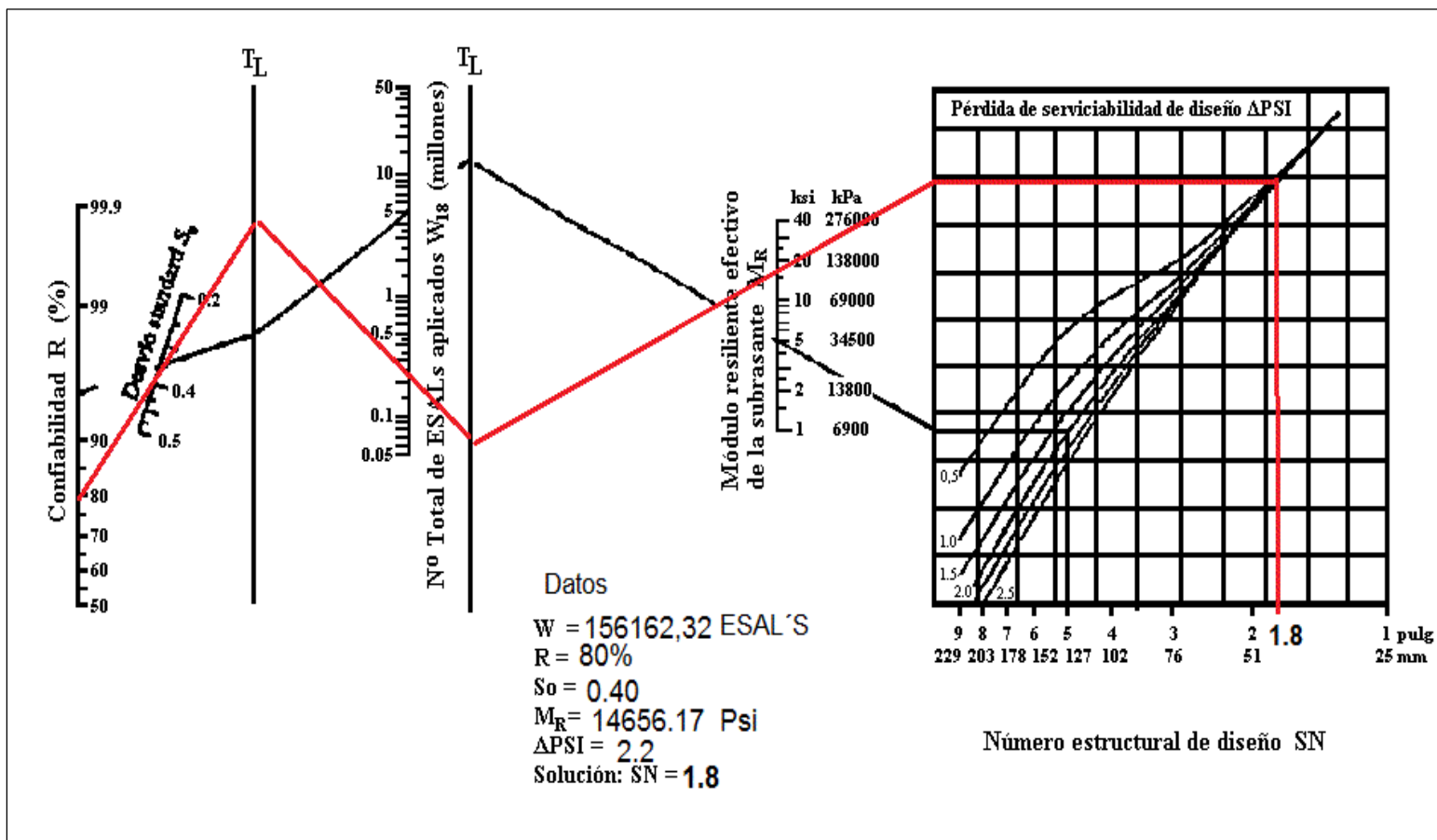
D_1, D_2, D_3 = Espesores de capas (pulg.)

m_1, m_2, m_3 = coeficiente de drenaje de capa granular.

Para el cálculo del SN se utilizó el siguiente nomograma, proyectando líneas, hacia los ejes verticales guías, con los valores de la Confiabilidad, Desviación Estándar, Esal's de Diseño, los módulos de resiliencia y la pérdida de la servicialidad, dando como resultado, el valor para el SN= 1.8.

Para la comprobación de SN se utilizó el software ecuación de A.A.S.H.T.O 93 en su versión 2.0 obteniendo un SN de 1.78.

Imagen 10: Nomograma para determinar el Numero Estructural



Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

Imagen 11: Cálculo de Número Estructural SN en Software Ecuación AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.40'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.0).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '14656.17 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box shows 'W18 = 156152'.
- Número Estructural:** A text box shows 'SN = 1.78'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Para la sub-rasante se utilizó un módulo de resiliencia de 14,656.17 psi y con los valores de los coeficientes encontrados a1, a2, el coeficiente de drenaje para la base y el módulo de resiliencia, se propusieron los espesores de pavimento, para luego introducirlos al software Ecuación A.A.S.H.T.O 93.

Podemos Observar que por ambos métodos reflejan resultados muy parecidos, pero por motivos de mayor exactitud se utilizara como valor de **SN = 1.78** obtenido mediante el software ecuación de A.A.S.H.T.O 93.

4.4.2 Calculo de espesores de pavimento.

Tabla 30: Espesores mínimos para base según A.A.S.H.T.O 93

Valor ESAL´S	Espesor en pulgadas para la Base
< 50,000	4
50,001 - 150,000	4
150,001 - 500,000	4
500,001 - 2,000,000	6
2,000,001 - 7,000,000	6
> 7,000,000	6

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

Cálculos de Carpeta de rodamiento.

Ecuación:

$$D_1 \geq SN_1 / a_1$$

Donde:

D_1 = Espesor de la carpeta de rodamiento

SN_1 = Número estructural de la carpeta.

$$D_1 \geq 1.78 / 0.45$$

$$D_1 = 3.955$$

$D_1 = 4$ pulgadas

Lo que comprobamos con la tabla de la A.A.S.H.T.O 93, comprobamos que el espesor de la capa de rodamiento (adoquín) es de 4 Pulgadas.

Para el Cálculo de espesor de la sub-base D2 tenemos que la fórmula general que relaciona el número estructural (SN), con los espesores es la siguiente:

$$SN = a_1 * m_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

Al no tomar en cuenta los valores de la sub-base tenemos que:

$$SN = a_1 * m_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2$$

Introduciendo los valores correspondientes y despejando obtenemos:

$$1.78 = 0.45 * 1 * 4 + 0.133 * 1 * D_2$$

$$1.78 = 1.8 + 0.133 * D_2$$

$$1.78 = 1.933 * D_2$$

$$D_2 = 1.78 / 1.933$$

$$D_2 = 0.921$$

Por lo tanto se asumirá el valor mínimo para base de 4 pulgadas de acuerdo a la A.A.S.H.T.O. 93, **D2 = 4 pulgadas**

Imagen 12: Calculos de espesores de pavimento mediante programa de la A.A.S.H.T.O 93

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Pavement Analysis: READY Page: 6
AASHTO '86 Design Equations

*** Flexible Pavement Analysis ***

[1] Design E 18's          156,152
[2] Reliability            80.00
[3] Overall Deviation      0.40

[4] Soil Resilient Mod.   14,656.2
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.00

Flexible Structural Number 1.78

Press Enter to Continue or (↑→↓←) to Edit your Inputs

Special Keys:  F1: HELP  F2: EXIT  F5: MENU  <PgUp>  <PgDn>  <↑→↓←>
```



Según la A.A.S.H.T.O el espesor mínimo para una cantidad de ejes ESALS entre 150,001 y 500,000 es de 4 pulgadas, valor que tomamos en el dimensionamiento, ya que nuestra cantidad de ESALS es de 156,152.38 calculado en el estudio de tráfico.

Al efectuar el análisis con los espesores propuestos de 4 pulgadas para la carpeta de rodamiento y 4 para la base, la combinación fue satisfactoria, por lo tanto los espesores propuestos son los indicados.

Espesores Finales para el Diseño de la estructura de Pavimento.

- ✓ Capa de rodamiento Adoquín: 10cm = **4 pulgadas**
- ✓ Capa de arena: 5cm = **2.5 pulgadas**
- ✓ Base: 10cm = **4 pulgadas**

Estos espesores finales estarán directamente sobre la sub-rasante, la cual estará a 20 cm por debajo del terreno natural del camino y según los estudios de suelo refleja que es de muy buena calidad y óptima para este diseño de adoquinado.

Consideraciones Generales para la conformación de la estructura de pavimento.

Adoquines de concreto

- 1- El adoquín a usarse será el denominado tipo tráfico cuya resistencia a los 28 días no deberá ser menor a 34.3 mpa.
- 2- El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cavidades, ni tener materiales extraños. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa.
- 3- El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocadas.

Colocación de adoquines.

- 1- Las primeras filas de adoquines deberán ser colocados con sumo cuidado en fin de evitar el desalojo de bloque que ya están colocados.
- 2- En caso de existir áreas que hayan quedado con ranuras muy abiertas se les removerá y volverá a colocar.
- 3- Se rellenaran las ranuras o juntas entre adoquines con arena, la que será aplicada con escoba o cepillo y, luego, se pasara el vibrador dos o tres veces hasta completar la trabazón. Completada la vibración se podrá abrir la calle al tráfico.

Bordillos laterales

- 1- Según lo muestran los planos el adoquinado estará confinado en sus bordes laterales por bordillos, cuyo objeto es proteger y respaldar debidamente al adoquinado.
- 2- El concreto para los bordillos tendrá una resistencia de 3000 psi.
- 3- El concreto para los bordillos deberá ser curado durante un mínimo de 7 días.

Capa de arena

1- La capa de arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase totalmente el tamiz no. 4 y no más del 15% en el tamiz no. 10.

2- El espesor de la capa de arena no deberá ser menor de 3 centímetros ni mayor de 5 centímetros.

Remate de pavimento

1- Las áreas adoquinadas deberán quedar confinadas en todos sus bordes. Al comienzo y al final del adoquinamiento deberán construirse remates de concreto simple de las dimensiones indicadas en los planos.

Conclusiones

- Con la realización de este proyecto se solucionara en gran parte la problemática existente en la zona, mejorando la calidad de vida de sus habitantes.
- El transito del tramo de estudio se encuentra compuesto predominantemente por vehículos livianos como automóviles, camionetas y camiones de carga livianos (C2).
- El tránsito de diseño que circulará en el periodo de diseño es de 297,124/día vehículos.
- El ESAL`S de diseño es de 156,152 ejes equivalentes de 80 KN, lo cual permite clasificar el transito que circula por esta vía como “ligero” y hacer uso entonces de una base tipo “D” o bien “E” en la estructura de pavimento.
- En el estudio de suelos se determinó que el tipo de suelo predominante en el tramo es en su mayoría suelo compuesto por grava limosa con arena y grava arcillosa con arena pertenecientes a los grupos GM, GC y GW-GM según la clasificación S.U.C.S y A-1-a, A-1-b y A-2-4 según la clasificación A.A.S.H.T.O. Las características de estos suelos demostraron ser óptimas para el diseño de la sub-rasante.
- El banco de materiales de la zona, el cual posee un C.B.R de 81.19% constituye un material clasificado como “muy bueno” para su uso como base, siendo evaluado a través de las Normas NIC-2000.
- Los resultados del diseño de pavimento indican espesores de 10 centímetros para la carpeta y 10 centímetros para la base. Los espesores obtenidos coinciden con los espesores mínimos recomendados por la A.A.S.H.T.O, esto debido al tráfico ligero presente en la zona, esta condición beneficiaria el ámbito económico del proyecto.

Recomendaciones

- Ubicar señales de tránsito que permitan darle una mayor seguridad tanto a los conductores como a los peatones que utilicen la vía.
- Construir reductores de velocidad en los puntos de mayor afluencia peatonal tal como el Colegio Santa María de Guerrero ubicado en la estación 1+200 de la vía.
- Se deberá cumplir con todas las especificaciones detalladas en las notas generales de los planos.
- Se deberá garantizar los espesores obtenidos en el diseño durante el proceso de construcción de la obra.
- Utilizar adoquines procedentes de fábricas certificadas y reconocidas a nivel nacional.
- Se recomienda realizar mantenimiento periódico a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil.
- Utilizar solamente materiales que cumplan con las normas técnicas y de calidad requeridas por el proyecto.

Bibliografía

Anuario de aforos de tráfico, 2013, Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI – Nicaragua.

Diseño de Pavimentos A.A.S.H.T.O, 1993, Versión en Español, Escuela de caminos de Montaña de la Facultad Nacional de Ingeniería de San Juan.

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

Guide for design of pavement structures, A.A.S.H.T.O, 1993.

Ingeniería de pavimentos para carreteras, 2002, Segunda edición, Ing. Alfonso Montejo.

Manual Centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA, 2004.

Mecánica de Suelos, Tomo I Fundamentos de la Mecánica de suelos, Tercera Edición, México 2005. Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez A.