UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESINA

Diseño de Estructura de pavimento articulado de 2 Km, del tramo “Estelí-El Quebracho” del Municipio de Estelí, Departamento de Estelí.

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Cristhiam Oduver Muñoz González

Br. Carmelo José Castillo Guevara

Tutor

Msc. Sergio Junior Navarro Hudiel

Managua, Mayo 2015



Estelí, sábado, 02 de mayo de 2015

Doctor Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba
Decano Facultad de Tecnología de la Construcción
UNI - RUPAP
Su despacho

Estimado Doctor Gutiérrez. Reciba un cordial saludo.

Sirva la presente para indicar que he verificado la incorporación de recomendaciones del jurado en proceso de predefensa de tesina titulada "Diseño de Estructura de pavimento articulado de 2 Km, del tramo "Estelí-El Quebracho" del Municipio de Estelí, Departamento de Estelí" elaborado por los estudiantes Cristhiam Oduver Muñoz González y Carmelo José Castillo Guevara, la cual cumple con los requisitos necesarios para ser sometida al proceso de defensa de la misma.

Sin más a que hacer referencia, aprovecho para expresarle mis muestras de consideración y estima.

Atentamente,

_____
Máster Sergio Junior Navarro Hudiel
Tutor Acreditado
Docente UNI

Archivo /Cartas/2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.1110
Managua, noviembre 17 de 2014.

Bachilleres
CRISTHIAM ODUVER MUÑOZ GONZALEZ
CARMELO JOSE CASTILLO GUEVARA
Presente

Estimado Bachiller:

Es de mi agrado informarle que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado " **"DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 2 KM, DEL TRAMO "ESTELI- EL QUEBRACHO"DEL MUNICIPIO DE ESTELI, DEPARTAMENTO DE ESTELI"**. Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo le comunico estar totalmente de acuerdo, de que el **MSc. Ing. SERGIO NAVARRO HUDIEL,** sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presente concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 27 de febrero de 2015.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Br. Cristhiam Oduver Muñoz González 2) Br. Carmelo José Castillo Guevara
NOMBRE DEL CURSO: Obras horizontales
NOMBRE DE LA TESINA: Diseño de Estructura de pavimento articulado de 2 Km, del tramo “Estelí-El Quebracho” del Municipio de Estelí, Departamento de Estelí.
ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1)Estudio de suelo 2)Estudio de Tránsito 3)Diseño de Pavimento
FECHA DE DEFENSA:
VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR:_____

FIRMA DEL TUTOR: _____

CC: Archivo

DEDICATORIA & AGRADECIMIENTO

Doy infinitas Gracias a Dios el Ser a quien le plació prestarme la vida y la familia que hasta el día de hoy me han apoyado y acompañado en mis propósitos y decisiones.

Dedico esta tesina a mis padres Carlos Manuel Muñoz Basilio y Yolanda de Jesús Gonzáles Blandón, que para mi han sido ejemplo de sacrificios de lucha y perseverancia, por sus apoyos sin condiciones a lo largo de mi trayectoria universitaria que han sido irreprochables y lo más importante de enseñarme a confiar en Dios, quien es el que permite que logremos cumplir con nuestras metas y anhelos.

A mis hermanas Karla Vanessa Muñoz Gonzáles y Karen Yahoska Muñoz Gonzáles que aparte de amigas fueron consejeras y que siempre me apoyaron en mis estudios cada vez que las necesité.

Agradezco principalmente a Dios por darme el privilegio de terminar mi carrera universitaria por la fuerza y la voluntad que puso en mi cada momento que dediqué para realizar esta tesina.

Agradezco a mi familia que por su apoyo me siento una persona dichosa de contar con ellos en el esfuerzo por alcanzar mis metas.

A mi Pastor Abetino Rodríguez y la Iglesia Bautista Misionera por sus oraciones y consejos que me han servido de aliento y ánimo a seguir adelante.

Br. Cristhiam Oduver Muñoz González.

DEDICATORIA & AGRADECIMIENTO

Dedico este proyecto principalmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi vida, por darme la fortaleza necesaria para sobrellevar los problemas y no dejarme vencer, por la sabiduría que me ha brindado para hacer siempre lo correcto y sobre todo por la salud que me ha regalado a mí y a mi familia.

Agradezco y dedico muy especialmente a mi madre Marcia Guevara Blandón por ser la persona que me ha acompañado durante toda mi vida, por ser un ejemplo a seguir, demostrando siempre cariño, amor y sobre todo coraje para luchar por mí a pesar de las adversidades y dificultades que se le han presentado, por su apoyo, por sus buenos consejos y sus lecciones para hacer de mí una persona de bien y respetuosa hacia los demás.

A nuestro tutor M. Sc. Sergio J. Navarro Hudiel, por compartir sus conocimientos y brindarnos su apoyo en la realización de este proyecto.

Br. Carmelo José Castillo Guevara.

RESUMEN EJECUTIVO

Una buena infraestructura de pavimento brinda un mejor nivel de servicio al usuario, aumento de la fluidez, disminución del deterioro vehicular y reducción del tiempo de viaje. La presente tesina tuvo por objeto el diseño estructural de 2 km de pavimento articulado del tramo de camino “Estelí-El Quebracho” del Municipio de Estelí, Departamento de Estelí.

Por lo antes descrito, se analizaron las características físico-mecánicas del suelo sobre la línea del tramo y en los bancos de materiales, así mismo el estudio de tránsito y el diseño de los espesores de la estructura de pavimento, para el cual se tomaron en cuenta criterios y especificaciones basados en el método AASHTO-93.

Los aspectos desarrollados en este documento de tesina están constituidos por los siguientes capítulos:

Capítulo I. Generalidades: En este capitulo se describen aspectos básicos del proyecto tales como, introducción, descripción del tramo, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo II. Estudio de Suelos: En él se encuentra el análisis de las características físico-mecánicas del suelo para la determinación de su utilidad en la vía, para el diseño de espesores de base y sub-rasante, el mismo incluye las muestras sobre la vía y los bancos de materiales. En este se sistematizaron: pruebas de granulometría, índice de plasticidad, limite líquido, limite plástico, ensayos Proctor estándar y ensayo CBR.

Capítulo III. Estudio de Tránsito: En este acápite se encuentra la determinación de las cargas de ejes equivalentes que soportará la vía en su vida útil, cargas que se expresan como ESAL´s, descripción de la clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, tasas de

crecimiento, periodos de diseño, tránsito inicial, factor crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, procesamiento de la información y número de años en el periodo de diseño.

Capitulo IV. Diseño de la estructura de pavimento: Se realizó para determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado mediante el método AASHTO-93, haciendo uso de su programa digital “Pavement Design Analysis Life”, análisis para el que fue necesario el uso de factores tales como: índices de servicio, análisis de cargas y ejes equivalentes, confiabilidad, desviación estándar, coeficiente de drenaje, módulo resiliente y coeficientes estructurales o de capas.

Conclusiones y Recomendaciones: Resultado producto de la investigación realizada con el propósito de ser tomadas en consideración para la futura construcción del tramo en estudio**.**

Anexos: Expone toda la información utilizada durante el desarrollo de la investigación, tales como tablas, imágenes y gráficos.

GLOSARIO

ADOQUÍN: Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

ADOQUINADO: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material ô la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 µm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

ARENA: Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.

BANCO DE MATERIALES: Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor ô menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base o de la sub-rasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

CARRETERA: Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes e Infraestructura.

CARRIL: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos.

ESTUDIO DE SUELOS: Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus propiedades.

GRAVA: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la sub-rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub-base, base y rodadura.

RED VIAL: Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)

REHABILITACIÓN: Ejecución de las obras necesarias para devolver a la infraestructura vial sus características originales y adecuarla a su nuevo periodo

de servicio; las cuales están referidas principalmente a reparación y/o ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, de ser el caso movimiento de tierras en zonas puntuales y otros.

SUBBASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

SUBRASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUPERFICIE DE RODADURA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles.

TRAMO: Parte continúa de una carretera.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía

VÍA: Camino, arteria o calle.

VÍA URBANA: Arterias o calles conformantes de un centro poblado.

VIDA ÚTIL: Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

ÍNDICE

I. CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO 2
1.2.1. Macro localización del estudio. 2
1.2.2. Micro localización del estudio. 3
1.3. ANTECEDENTES 4
1.4. JUSTIFICACIÓN 5
1.5. OBJETIVOS 6

II. CAPÍTULO II: ESTUDIO DE SUELOS

2.1. GENERALIDADES 8
2.1.1. Sondeos sobre la vía. 8
2.1.2. Trabajos de laboratorios. 9
2.1.3. Resultados de los ensayos de laboratorios. 9
2.1.4. Determinación del CBR de diseño. 15
2.1.5. Investigación de Fuentes de Materiales. 18
2.1.6. Resultados del Laboratorio. 18

III. CAPÍTULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1. GENERALIDADES 21
3.2. RECOPILACIÓN DE DATOS 21
3.2.1. Clasificación de vehículos. 21
3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes……. 22
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN. 23
3.3.1. Proyecciones del tránsito 23
3.3.2. Tránsito promedio Diario. 23
3.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA 25
3.4.1. Clasificación Vehicular Promedio 27
3.5. TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR (TC) 27
3.5.1. Producto Interno Bruto (PIB) 28

3.5.2. Crecimiento Poblacional. 29
3.5.3. Historial de Tránsito de la Zona 30
3.6. SELECCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR. 31
3.7. PERIODO DE DISEÑO 31
3.8. FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO. 32
3.8.1. Factor Crecimiento Anual (FCA) 32
3.8.2. Factor Direccional (FD) 33
3.8.3. Factor Carril (fc) 33
3.9. TRÁNSITO DEL CARRIL DE DISEÑO. 34
IV. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
4.1. GENERALIDADES 36
4.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO AASHTO-93 36
4.2.1. Serviciabilidad 36
4.2.2. Ejes Equivalentes (ESAL´s o W18) 38
4.2.3. Confiabilidad 41
4.2.4. Desviación Estándar 42
4.2.5. Módulo Resiliente. 42
4.2.6. Coeficientes Estructurales o de Capa (a1, a2) 43
4.2.7. Coeficiente de Drenaje 44
4.3. DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO…. 45
4.3.1. Numero Estructural (SN) 45
4.3.2. Cálculo de Espesores de Pavimento 46
4.4. VERIFICACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO MEDIANTE EL SOFTWARE AASHTO. 48
V. CONCLUSIONES 50
VI. RECOMENDACIONES 51
VII. BIBLIOGRAFÍA 52
VIII. ANEXOS 53

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El Municipio de Estelí pertenece al departamento de Estelí y está ubicado a 148 km al norte de Managua sobre la carretera panamericana. El tramo Estelí-El Quebracho tiene una longitud de 2 km que presenta deterioro en la vía, ya que no cuenta con las condiciones necesarias, ver Anexo Foto Nº 1, PAG Nº I**,** lo que se traduce en altos costos de operación vehicular, incremento del tiempo de viaje y mal servicio a los usuarios que la transitan, por ende es necesario brindar una vía adecuada para poder cumplir con las necesidades que demanda la población y pueda progresar aún más en la economía local.

Este documento presenta un proyecto, que consistió en diseñar los espesores de una estructura de pavimento articulado, que está construida por una capa de rodadura de adoquines colocados sobre una cama de arena y esta sobre una base debidamente conformada y compactada.

Para la elaboración de este proyecto se sistematizaron las características físico-mecánico de los suelos existentes en la línea y el banco de materiales mediante el estudio de suelos del tramo, proporcionado por la alcaldía del municipio de Estelí, a partir del cual se dedujo que los suelos más predominantes son los del tipo A-2 y A-6, así mismo se hizo un estudio de tránsito con el fin de determinar y estimar las cargas de ejes equivalentes que soportará la vía en su vida útil, cargas que se expresan como ESAL´s de diseño que para este estudio resultó de 329,162 repeticiones esperadas. El método utilizado en el diseño de los espesores de las capas fue el método AASHTO-93, por medio del cual el pavimento articulado quedo conformado con la siguiente estructura: capa de rodamiento con adoquines de concreto 4 pulg, capa de arena 2 pulg, y capa de base tratada con cemento 8 pulg. Cumpliendo satisfactoriamente con el objetivo del proyecto y con cada una de las especificaciones del método de diseño.

1.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

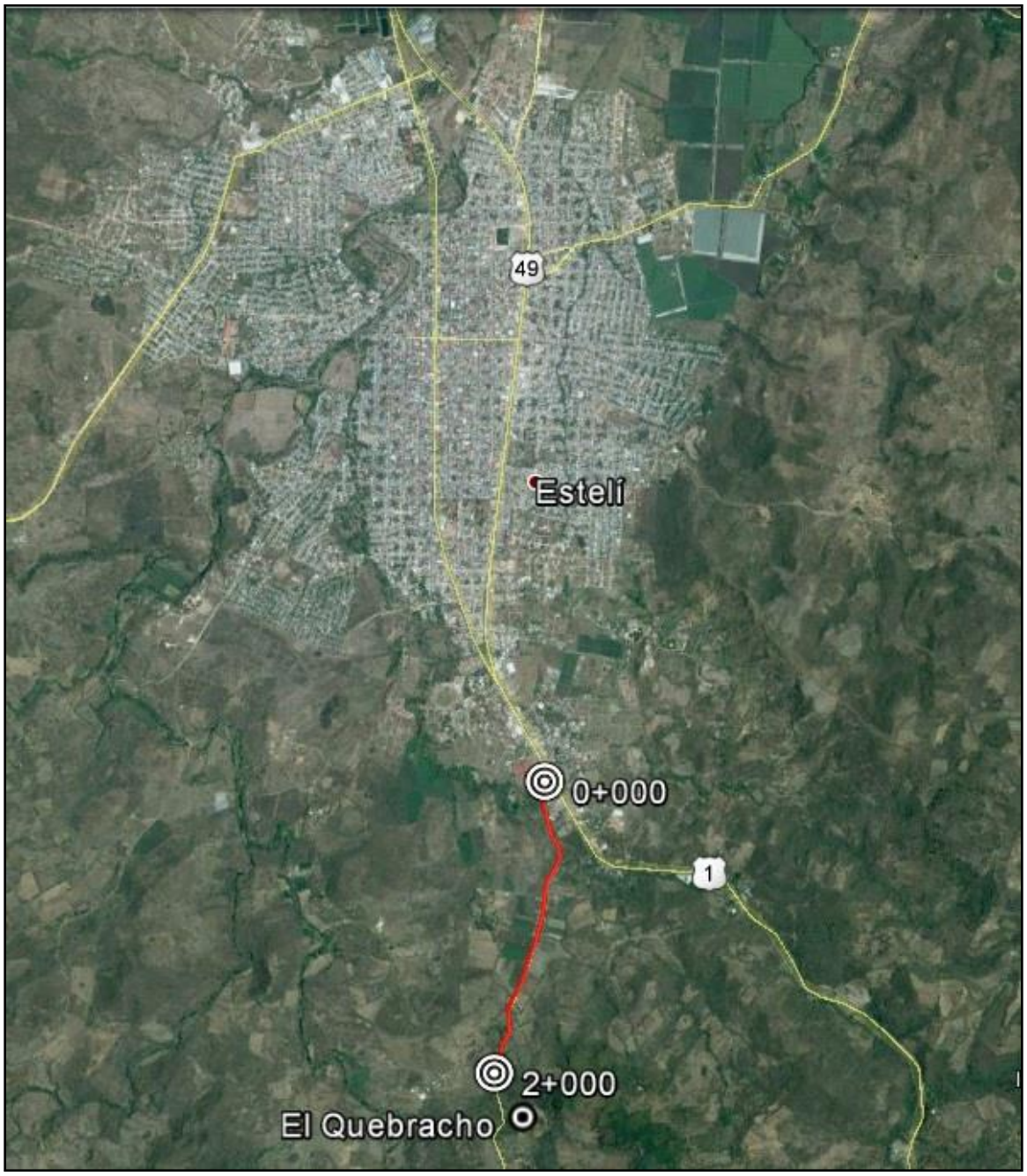
El sitio de estudio se ubicó en el tramo carretero Estelí-El Quebracho, municipio de Estelí, departamento de Estelí, iniciando en la salida sur del municipio donde se encuentra el Hospital Regional San Juan de Dios a 148 km de la capital Managua y finaliza a 2 km al suroeste de la ciudad, en el empalme conocido como El Quebracho.

1.2.1. Macro localización del estudio.



Fuente: ***Instituto Nicaragüense de Turismo - INTUR***

1.2.2. Micro localización del estudio.



Fuente: Google Earth

1.3. ANTECEDENTES

El municipio de Estelí está ubicado en la región central norte de Nicaragua y es uno de los seis municipios del departamento del mismo nombre, que a su vez es cabecera departamental, además es el principal centro de comercio y servicios de la región segoviana.

Acorde a lo indicado por el Arquitecto Rodríguez, Director de obras municipales del departamento de Estelí, el tramo de camino Estelí- El Quebracho municipio de Estelí, departamento de Estelí, fue aperturado a principios del año 1960 para la circulación vehicular, años atrás en este tramo existían únicamente senderos y caminos que permitían el paso para personas que se movilizaban a pie, montadas o en carretas haladas por animales, a partir de este año se hicieron mantenimientos rutinarios con poca frecuencia hasta el año 2005, posteriormente la alcaldía del municipio de Estelí mediante el Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV), realizó durante cuatro años consecutivos los últimos mantenimientos y reparaciones al tramo.

Para el año 1990 los líderes comunitarios del Quebracho realizaron gestiones ante la Alcaldía del municipio, solicitando el mejoramiento del tramo que comunica la ciudad de Estelí con la comunidad el Quebracho, teniendo como respuestas promesas que se quedaron sin cumplir.

En el año 2010 continuaron las gestiones por parte de la comunidad debido a que en los últimos años ha venido creciendo la necesidad de un tramo de camino en buen estado, útil para todo tiempo, ya que el actual dificulta el desarrollo de las actividades agrícolas y turísticas, que son la mayor fuente de ingreso para los habitantes de la localidad, por lo que se requiere una vía con adecuados espesores de pavimento, que soporten el tránsito vehicular y de carga que circulan a diario hacia la comunidad y comunidades vecinas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Ante la ausencia de una adecuada superficie de rodamiento que brinde las condiciones necesarias para una libre circulación vehicular, en el tramo carretero Estelí-El Quebracho, ver Anexo Foto Nº 1, PAG Nº I, ubicado en el municipio de Estelí departamento de Estelí; los usuarios del transporte público y privado así como también los pobladores de la localidad se ven afectados directamente ya que en la época de invierno debido a la acción de las lluvias los daños se incrementan, provocando una baja del mayor ingreso económico con el que cuenta la comunidad que es el turismo, donde la presencia de turistas disminuye en esta época del año por las dificultades y atrasos que presenta el camino para llegar a los destinos turísticos más cotizados que ofrece la comunidad, así mismo las enfermedades a la población, pérdida de días laborales y en el caso de los niños y jóvenes ausencia a los centros de estudios, ocasionadas por acumulaciones de aguas en diferentes puntos del camino, la dificultad que enfrenta el transporte público para movilizar a los usuarios y de igual manera el transporte de carga para exportar la producción hacia acopios y mercados locales.

Con este proyecto se dará respuesta a las necesidades de la localidad, tanto en el aspecto social (calidad de vida y embellecimiento de la comunidad y sus entornos), como en el aspecto vial (aumento de la fluidez, disminución del deterioro vehicular y reduccion del tiempo de viaje) asi como tambien en el apecto económico (generación de fuentes de empleo, aumento de plusvalia de los terrenos y mayores ingresos para las familias productoras); cumpliendo así con las múltiples necesidades que requieren los habitantes del municipio.

Esta será una propuesta para la alcaldía de Estelí y los pobladores de la comunidad El Quebracho, los cuales podrán gestionar la construcción del adoquinado, de llevarse a cabo se beneficiará a una población directa de 394 habitantes, e indirectamente a las comunidades vecinas y a todo el municipio de Estelí, de no realizar este proyecto no se contará con una alternativa para que la alcaldía y la comunidad puedan hacer los trámites necesarios para convertir este proyecto en una realidad.

1.5. OBJETIVOS

General:

- ✓ Diseñar la estructura de pavimento articulado de 2 Km, en el tramo carretero “Estelí-El Quebracho”, ubicado en el municipio Estelí, departamento de Estelí, aplicando el método AASHTO-93.

Específicos:

- ✓ Analizar las características físico - mecánicas del suelo sobre la línea del tramo, para determinar el CBR de diseño de la subrasante, así como también en los bancos de materiales existentes.

- ✓ Realizar un estudio de tránsito para calcular la cantidad de ESAL´S que resistirá el pavimento para su periodo de diseño.

- ✓ Diseñar los espesores de la estructura de pavimento articulado que soportarán las cargas de diseño producidas por el tránsito.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE SUELOS

2.1. GENERALIDADES

A continuación se presentan los resultados de la investigación geotécnica efectuada a lo largo del tramo de camino “Estelí-El Quebracho”, cuyo propósito fue evaluar las características de los materiales existentes en el camino y contar con la información básica necesaria que contribuyó al diseño de los espesores de la vía en estudio.

Para este estudio nos auxiliamos con la información subministrada por el Arquitecto Rodríguez, Director de obras municipales de la ciudad de Estelí, y realizados por la empresa CONSULTRANS, S.A. donde incorporan ensayes de laboratorio como, Análisis granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor estándar y CBR.

2.1.1. Sondeos sobre la vía.

Según el informe del laboratorio de suelos de la empresa CONSULTRANS, S.A, el cual consistió en 20 sondeos manuales en el centro de la vía, a profundidades de 1.5 m, y a una distancia entre ellos de aproximadamente 100 m a lo largo de la vía, ver tabla Nº 1.

Tabla Nº 1. Sondeos Manuales

Localización	Sondeo Nº	Estación	Sondeo Nº	Estación
Estelí-El Quebracho	**S1**	0+100	**S11**	1+100
	S2	0+200	**S12**	1+200
	S3	0+300	**S13**	1+300
	S4	0+400	**S14**	1+400
	S5	0+500	**S15**	1+500
	S6	0+600	**S16**	1+600
	S7	0+700	**S17**	1+700
	S8	0+800	**S18**	1+800
	S9	0+900	**S19**	1+900
	S10	1+000	**S20**	2+000

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.2. Trabajos de laboratorios.

Las muestras obtenidas en el campo, en sondeos de línea e investigaciones de banco, fueron analizadas en el laboratorio central de CONSULTRANS, S.A. a las cuales se les practicaron los ensayes de laboratorios requeridos para conocer y determinar sus propiedades físico-mecánicas, clasificación de las mismas y conocer su capacidad de soporte.

De esta manera a cada muestra obtenida en los sondeos y en los bancos de materiales se les practicaron los siguientes ensayes, ver tabla Nº2.

Tabla Nº 2. Ensayes de laboratorios

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Análisis Granulométrico	D421-58 y D422-63	T87-70 y T88-70
Límites de Attenberg	D43-18	-
Ensayo Proctor Estándar	-	T180-90
Ensayo CBR.	-	T193-81

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.3. Resultados de los ensayos de laboratorios.

Definidos los ensayes a realizar, el laboratorio procedió a efectuar los mismos, a cada una de las muestras obtenidas en los sondeos de línea y a las fuentes de materiales, los cuales describimos a continuación:

2.1.3.1. Análisis Granulométrico

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas, a partir de las cuales se pueden estimar con mayor o menor aproximación las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al informe del laboratorio de suelos de la empresa CONSULTRANS. S.A, en el que se realizó el análisis granulométrico para cada sondeo, se encontraron los siguientes resultados, ver tabla Nº3.

Tabla Nº 3. Resultados de Ensaye Granulométrico

ESTACIÓN	PROFUNDIDAD EN MTS	MUESTRA	% QUE PASA POR TAMIZ											CLASIFIC
		No	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	I.P.	H.R.B.
Sondeo # 1														
0+100	0.0-0.50	1	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
0+100	0.50-1.50	2		86	72	61	42	30	25	20	14	42	14	A-2-7(o)
Sondeo # 2														
0+200	0.0-0.35	3	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
0+200	0.35-1.30	4	94	84	78	72	56	44	35	27	22	43	15	A-2-7(1)
Sondeo # 3														
0+300	0.0-0.35	5	95	73	54	44	34	26	21	16	12	23	10	A-2-4 (o)
0+300	0.35-0.55	6	90	77	60	51	31	22	19	14	11	42	12	A-2-7 (o)
0+300	0.55-1.45	7	93	69	58	50	32	26	23	18	14	48	13	A-2-7 (o)
Sondeo # 4														
0+400	0.0-0.30	8	95	73	54	44	34	26	21	16	12	23	10	A-2-4 (o)
0+400	0.30-0.60	9	90	77	60	51	31	22	19	14	11	42	12	A-2-7 (o)
0+400	0.60-1.45	10	93	69	58	50	32	26	23	18	14	48	13	A-2-7 (o)
Sondeo # 5														
0+500	0.0-0.35	11	95	73	54	44	34	26	21	16	12	23	10	A-2-4 (o)
0+500	0.35-1.50	12	93	69	58	50	32	26	23	18	14	48	13	A-2-7 (o)
Sondeo # 6														
0+600	0.0-0.15	13	95	73	54	44	34	26	21	16	12	23	10	A-2-4(o)
0+600	0.15-1.55	14	93	69	58	50	32	26	23	18	14	48	13	A-2-7(o)
Sondeo # 7														
0+700	0.0-1.50	15		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-6(o)
Sondeo # 8														
0+800	0.0-1.50	16		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-6(o)
Sondeo # 9														
0+900	0.0-0.15	17		89	75	63	42	26	19	12	8	34	10	A-2-4(o)
0+900	0.15-0.45	18			86	74	56	44	33	21	13	52	21	A-2-7(o)
0+900	0.45-0.85	19				90	70	58	51	41	29	41	13	A-2-7(o)
0+900	0.85-1.50	20						100	98	93	59	40	11	A-2-6(o)
Sondeo # 10														
1+000	0.0-0.15	21		89	75	63	42	26	19	12	8	36	13	A-2-6(o)
1+000	0.15-0.45	22						100	98	93	59	40	11	A-6(o)
1+000	0.45-0.85	23			86	74	56	44	33	21	13	34	10	A-2-4(o)
1+000	0.85-1.48	24						100	98	93	59	40	11	A-6(5)

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

ESTACIÓN	PROFUNDIDAD EN MTS	MUESTRA No	% QUE PASA POR TAMIZ											CLASIFIC H.R.B.
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	I.P.	
Sondeo # 11														
1+100	0.0-0.22	25		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-6(o)
1+100	0.22-0.80	26	90	78	63	57	45	34	26	18	13	36	13	A-2-6(o)
1+100	0.80-1.45	27			86	74	56	44	33	21	13	52	21	A-2-7(o)
Sondeo # 12														
1+200	0.0-15	28	74	64	52	44	28	19	17	13	9	45	16	A-2-7(o)
1+200	0.15-0.45	29			85	75	52	34	30	23	17	52	21	A-2-7(4)
1+200	0.45-1.30	30			93	90	70	52	48	38	27	47	15	A-2-7(1)
Sondeo # 13														
1+300	0.0-0.80	31		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-7(o)
1+300	0.80-1.30	32						100	98	93	59	40	11	A-6(5)
1+300	1.30-1.50	33						100	98	93	59	40	11	A-6(5)
Sondeo # 14														
1+400	0.0-0.40	34	89	67	46	39	28	21	18	15	12	42	14	A-2-7(o)
1+400	0.40-1.10	35		79	65	48	36	25	21	17	14	36	11	A-2-4(o)
Sondeo # 15														
1+500	0.0-0.25	36		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-7(o)
1+500	0.25-1.50	37		80	56	50	40	31	20	19	11	34	10	A-2-4(o)
Sondeo # 16														
1+600	0.0-0.30	38		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-6(o)
1+600	0.30-0.75	39				81	55	40	35	28	22	34	10	A-2-4(o)
1+600	0.75-1.50	40						100	98	93	59	38	15	A-6(o)
Sondeo # 17														
1+700	0.0-0.15	41		85	53	46	34	27	23	18	13	36	13	A-2-7(o)
1+700	0.15-1.50	42		80	56	50	40	31	20	19	11	34	10	A-2-4(o)
Sondeo # 18														
1+800	0.0-0.15	43	88	80	72	65	50	40	33	21	13	36	16	A-2-6(o)
1+800	0.15-1.55	44			91	88	58	42	39	33	26	52	21	A-2-7(1)
Sondeo # 19														
1+900	0.0-0.15	45		88	72	64	46	32	27	19	13	34	10	A-2-4(o)
1+900	0.15-1.50	46				81	55	40	35	28	22	34	10	A-2-4(o)
Sondeo # 20														
2+000	0.0-0.10	47		80	56	50	40	31	20	19	11	45	16	A-2-7(o)
2+000	0.10-1.50	48						100	98	93	59	39	10	A-2-4(o)

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.3.2. Límites de Atterberg

La plasticidad es la propiedad de estabilidad que representan los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad, estos límites son limite líquido y limite plástico.

Limite liquido (LL), es cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Limite Plástico (LP), es cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Además del LL y LP, una característica obtenida es el índice de plasticidad IP que se define como la diferencia aritmética entre limite líquido y limite plástico.

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso.

Según el informe del laboratorio de suelos de CONSULTRANS, S.A, se concluyó que de los veinte sondeos manuales efectuados en la línea central del tramo, se determinaron 48 muestras representadas en cuatro tipos de suelos, de las cuales veinte de ellas corresponden al tipo de suelo A-2-7, quince al tipo de suelo A-2-4, ocho al suelo A-2-6 y cinco al tipo de suelo A-6.

A continuación se muestran los siguientes resultados, ver tabla Nº4.

Tabla Nº 4. Resultados de Ensaye de Límites de Atterberg

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
M1	48	35	13
M2	34	24	10
M3	36	23	13
M4	38	23	15

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.3.3. Clasificación de los suelos

De acuerdo a los resultados obtenidos del laboratorio de suelo de la empresa CONSULTRANS, S.A. los materiales más predominantes a lo largo de la vía en estudio; así como los de menor presencia en este son los que se detallan a continuación:

Los materiales predominantes en la capa superficial a lo largo del tramo en estudio son A-2-7, A-2-6 y A-2-4, como se presenta en los Anexos Capítulo II-Grafico Nº1, PAG Nº IV.

El suelo A-2-7 tiene gran presencia en la capa superficial, pero este se encuentra tanto en los estratos medios así como también en los más profundos.

El suelo A-2-6 se encuentra a una profundidad promedio de 0 a 30 cm. Salvo en algunos tramos donde su presencia es homogénea tanto en estratos superficiales así como también en los más profundos.

El tipo de suelo A-2-4 tiene gran presencia en el tramo en estudio y se encuentra en las capas superficiales, medias y hasta profundidades de 150 cm.

Hay otro suelo como el A-6, del tipo arcilloso que también se encontró en los sondeos, pero no tiene mayor incidencia por su dispersión y poca frecuencia en el camino.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación AASHTO de los tipos de suelos encontrados y sus significados respectivamente.

Tabla Nº 5. Clasificación de los Tipos de Suelos.

Muestra	Clasificación AASHTO	Significado
M1	A-2-7	Grava y Arena Limosas y Arcillosas
M2	A-2-4	Grava y Arena Limosas y Arcillosas
M3	A-2-6	Grava y Arena Limosas y Arcillosas
M4	A-6	Suelos Arcillosos

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.3.4. Ensayo Proctor Estándar

Este ensayo tuvo por objeto, la determinación de la relación entre los pesos volumétricos y el contenido de agua de los suelos cuando se compactan con la metodología estandarizada del laboratorio, según el diseño de pavimentos AASHTO-93 en su capítulo de caracterización de la subrasante pag.62, este ensayo permite determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor, el resultado de este ensayo se encuentra representado en la siguiente tabla.

Tabla Nº 6. Resultados de Ensayo Proctor Estándar.

Muestra	Clasificación	Densidad Máxima (kg/m3)	Humedad Optima %
M1	A – 2 – 7	2,057	10.2
M2	A – 2 – 4	2,082	9.7
M2	A – 2 – 6	2,119	9.2
M4	A – 6	1,757	18.6

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.3.5. Ensayo CBR

Los valores de CBR fueron determinados en los ensayes de laboratorio practicados a los materiales de los sondeos de la línea para determinar la capacidad de soporte de cada tipo de suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controlada. Según CONSULTRANS S.A, para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación y los resultados de este se muestran en la siguiente tabla.

Tabla Nº 7. Resultados de Ensayo CBR

Muestra	Clasificación	% Compactación Reducida	% Valor CBR
M1	A – 2 – 7	90	18
		95	31
		100	39
M2	A – 2 – 4	90	35
		95	67
		100	98
M2	A – 2 – 6	90	14
		95	35
		100	52
M4	A – 6	90	4
		95	5
		100	7

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

2.1.4. Determinación del CBR de diseño.

El Instituto del asfalto define que el CBR de diseño, es aquel valor que es igualado o superado por un determinado porcentaje de los valores de las pruebas efectuadas, estableciendo el siguiente procedimiento:

A continuación se muestran los resultados de CBR de la subrasante a 95 % de compactación:

Tabla Nº 8. Resumen con los datos de CBR de la Subrasante

Muestra	Tipo de Suelo	% de Compactación	CBR
M1	A-2-7	95	31
M2	A-2-4		67
M3	A-2-6		35
M4	A-6		5

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

Se ordenaron los valores de resistencia de menor a mayor y se determinó el número y porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla Nº 9 Cálculo para determinar el CBR de diseño.

Muestra	Tipo de Suelo	CBR	Nº Muestras	Nº de valores iguales o mayores que	% de valores iguales o mayores
M4	A-6	5	5	48	(48/48)*100=100
M1	A-2-7	31	20	43	(43/48)*100= 90
M3	A-2-6	35	8	23	(23/48)*100=48
M2	A-2-4	67	15	15	(15/48)*100= 31

Fuente: Elaboración Propia.

Según el criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño (CBR de diseño para sub-rasante) propuesto por el instituto del asfalto, se recomienda tomar un valor total percentil de acuerdo al valor de ejes equivalentes (ESAL´s) que se muestran a continuación:

Tabla Nº 10. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar el CBR de diseño

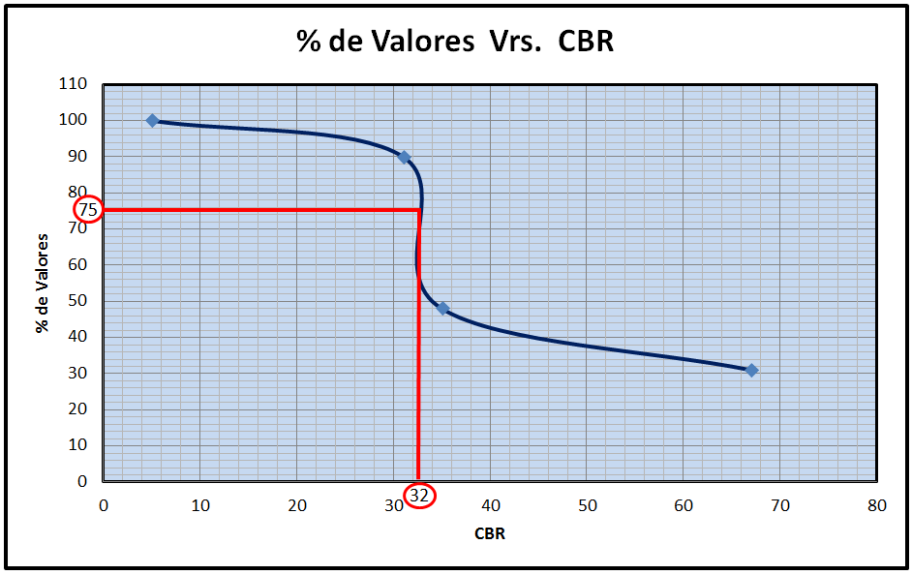
N° de ejes de 8.2 toneladas en el carril de Diseño (N)	Percentil a seleccionar para encontrar la resistencia
$< 10^4$	60%
$10^4 – 10^6$	**75%**
$> 10^6$	87.50%

Fuente: Instituto de Asfalto, (M S-1) 1, 991

Debido a que el resultado del ESAL's (w18) fue de 329,162 repeticiones esperadas, el valor del percentil que se utilizó fue 75%.

Con los valores obtenidos se realizó la siguiente grafica donde se determinó el CBR para la subrasante.

Grafica Nº 2. Determinación del CBR de la subrasante



Fuente: Elaboración Propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75 %, se obtuvo el CBR de diseño para la subrasante que resultó de 32 %.

2.1.5. Investigación de Fuentes de Materiales.

La investigación de fuentes de materiales aptas para el uso de la construcción de espesores de pavimento, es una actividad que se realiza como parte de la búsqueda de obtener costos menores en la construcción de las vías disminuyendo en lo posible la longitud de acarreo del material de préstamo.

Se logró muestrear el banco de materiales conocido como Banco Santa Cruz que se encuentra en un radio de 5 km del centro de gravedad del proyecto, la escogencia del mismo fue debido a la cercanía que este presenta al tramo de camino en estudio.

El procedimiento utilizado para la obtención de las muestras consistió en realizar dos excavaciones a cielo abierto de 2 metros de lados iguales y dos metros de profundidad. Los materiales excavados fueron colocados a orillas de la excavación sin que se pudiesen contaminar con el material orgánico o con el material de las otras muestras. A cada cambio de estrato correspondía una nueva muestra colocadas en lugar diferente con el objeto de identificarla posteriormente. Finalmente las muestras fueron empacadas en bolsas plásticas debidamente identificadas con una ficha que contenía la información relativa a la ubicación del banco, profundidad del estrato al que pertenece, número y características visuales de la muestra.

2.1.6. Resultados del Laboratorio.

Acorde a los estudios geotécnicos que se practicaron en la investigación de fuentes de materiales realizados por la empresa CONSULTRANS. S.A, se concluye que el material existente en el Banco Santa Cruz, clasificado como tipo de suelo A-2-4 o sea gravas y arenas limosas y arcillosas, que en base al sistema de clasificación AASSHTO, este material se caracteriza de excelente a bueno, ver tabla Nº 11.

Tabla Nº 11. Clasificación del tipo de suelo de Fuentes de Materiales.

Banco de Materiales Santa Cruz	Densidad máxima (Kg/m3)	Humedad optima %	CBR %	Porcentaje que pasa por el tamiz										CLASIFIC AASHTO
				1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	I.P.	
	2,054	9.5	80.4	91	79	72	58	47	41	32	25	40	9	A-2-4(o)

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

Sin embargo este banco en su condición natural no cumple con las especificaciones requeridas según la NIC-2000, donde el limite liquido debe ser menor o igual a 25% y el índice de plasticidad menor o igual que 6%, ver Anexos Capitulo III- Tabla N^{0}12, PAG N^0 VI, según los resultados obtenidos del banco, los valores encontrados de limite liquido e índice de plasticidad están por encima a los porcentajes establecidos por la NIC-2000.

Por tal razón no es adecuado utilizar este banco en su condición natural como fuente para subministrar material para bases granulares y debido a los altos costos que implica acarrear material de otro banco que cumpla con estas especificaciones, se recomienda la alternativa de estabilizar a base de cemento el material procedente del Banco Santa Cruz, ya que es una solución que ha dado buenos resultados en los proyectos viales del país.

El material que contiene dicho banco deberá cumplir con las especificaciones para materiales naturales estabilizados con cemento, acorde a las normas NIC-2000 sección 1003.23 – II.d, PAG-532, que especifica que después del tratamiento el material deberá tener una resistencia ultima a la compresión de, por lo menos, 1800 KN/m^2 equivalente a 19 kg/cm^2 , medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio, con mezclas compactadas al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y el material tratado deberá tener un índice de plasticidad (IP) menor de 6 y un módulo de plasticidad menor de 250.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1. GENERALIDADES

Acorde a lo indicado en el libro de Ingeniería de Pavimentos para carreteras, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento.

En este capítulo se muestran los elementos necesarios para cuantificar el tránsito, el desarrollo de este estudio contempla los siguientes alcances:

- ✓ Recopilación de datos.
- ✓ Procesamiento de información.
- ✓ Análisis de la información obtenida.

3.2. RECOPILACIÓN DE DATOS

En esta etapa se recopilaron los datos por medio de aforos vehiculares, ver Anexo Foto N^0 2, PAG N^0 I, y se eligió la estación ubicada en el empalme conocido como El Quebracho, ubicado en la salida sur-oeste de la ciudad de Estelí. Los resultados obtenidos del conteo fueron tomados en un periodo de siete días durante doce horas, iniciando a las 6:00 am y concluyendo a las 6:00 pm, por medio de los cuales se determinó el tránsito promedio diario semanal, tipo de vehículos, numero, tipo y peso de los ejes.

3.2.1. Clasificación de vehículos.

Para el levantamiento de la información de campo fue necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos, ver Anexos, Fotos N^0 3 y 4, PAG II, para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en cuatro categorías, según lo indica el ministerio de transporte e infraestructura MTI en

los anuarios de aforo vehicular, ver Anexos Capítulo III- Tabla N^0 13, PAG N^0 VII.

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

VEHÍCULOS LIVIANOS: Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, camionetas y microbuses de uso personal.

VEHÍCULOS PESADOS DE PASAJEROS: Son Vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes.

VEHÍCULOS PESADOS DE CARGA: Son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3,4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como agrícolas y de construcción.

3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

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 en este caso vigente, ver Anexos Capítulo III- Tabla Nº 14, PAG Nº VIII.

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Se procesaron los datos recolectados del aforo vehicular, actividad correspondiente a los trabajos de gabinete, los cuales se ingresaron en hojas de Excel para tener el conocimiento más exacto que se pueda obtener de este estudio, ya que es indispensable para la correcta elaboración de cálculos de espesores de pavimento de este tramo de camino.

3.3.1. Proyecciones del tránsito

La práctica normal de las proyecciones del tránsito es desarrollada en base a estimaciones de viajes. Algunos factores utilizados para las proyecciones del tránsito y que impactan fuertemente; son los crecimientos poblacionales, los consumos de combustibles, el parque automotor, índice de precio al consumidor (IPC) y el Producto Interno Bruto (PIB).

3.3.2. Tránsito promedio Diario.

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo; de acuerdo al número de días de este periodo. (Rafael Cal y Mayor, 1994),

En la siguiente tabla se muestran los resultados del aforo vehicular del área en estudio Estelí- El Quebracho y por ende el resultado del TPD.

Tabla Nº 15. Resumen semanal de aforo vehicular, para el cálculo del TPD

DIA	MOTO	AUTOS	JEEP	Camioneta	Micro Bus < 15 pasajeros	Micro Bus 15-30 pasajeros	Bus	Livianos 2-5 Ton	C2 5+ Ton	C3	VA	TOTALES
LUNES	143	22	16	45	0	0	6	12	12	8	8	272
MARTES	158	33	36	63	12	0	8	8	0	12	0	331
MIÉRCOLES	115	30	23	56	7	12	6	8	13	7	9	286
JUEVES	223	45	34	61	7	10	7	15	15	12	12	441
VIERNES	146	40	23	52	8	9	6	13	11	6	10	324
SÁBADO	225	18	23	45	8	12	5	7	13	4	11	371
DOMINGO	150	65	12	38	9	8	6	2	14	5	0	309
TOTAL	1,160	253	167	360	51	51	44	65	78	54	50	2,334
TPD	**166**	**36**	**24**	**51**	**7**	**7**	**6**	**9**	**11**	**8**	**7**	**333**

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

Debido a que los datos recopilados del aforo vehicular son una muestra representativa de un periodo de una semana, se hace necesario estimar el TPDA, para el cual se emplean factores de ajustes diario, semanal y de temporada.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura como instancia rectora de la vialidad de Nicaragua (MTI), publican de forma regular anuarios que incorporan resultados de los conteos de tránsito, incluye con éstos, los factores de expansión oficiales para el tráfico diurno, tráfico semanal y de temporada, la tabla Nº 16 muestra los factores correspondientes a la estación de conteo del proyecto.

Tabla Nº 16. Factores de ajuste para la Estación de Conteo 3505 Estelí- La Estanzuela.

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

ESTACION DE CONTEO SUMARIA: 3505

TRAMO: ESTELI – LA ESTANZUELA NIC-35A

Camino: NIC-35A	Estación: 3505	Tramo: Estelí (Inter Nic-1) - La Estanzuela.						Período L.		Días: 3	Horas:		Mes/Año Septiembre	2011	Km:	150.305
Grupos		Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.	Otros	
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TP(D)	77	7	8	38	0		3	6	3									141
Factor Dia	1.23	1.59	1.25	1.22	1.29	1.11	1.19	1.23	1.19	1.10	1.20	1.28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	
Factor Semana	0.94	1.06	1.08	1.00	0.95	0.97	1.00	0.92	0.86	0.88	0.86	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.17	
Factor Expansión	0.86	1.02	1.06	1.07	1.15	1.20	1.04	0.98	1.06	0.81	1.00	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	2.01	
TPDA Sep-Dic	77	12	11	49			4	6	3									162
% TPDA	47.53	7.41	6.79	30.25			2.47	3.70	1.85									100.00
% Vehiculos Livianos	91.98%						% Vehiculos Pesados	8.02%										100.00%

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico del año 2009.
Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

La siguiente tabla muestra la estación de mayor cobertura 1802: San Marcos-Masatepe y en ella sus diferentes estaciones de conteo asociadas, incluyendo la estación de conteo 3505 Estelí- La Estanzuela utilizada para este caso de estudio.

Tabla Nº 17. Estación De Conteo de Mayor Cobertura 1802 y Estaciones de conteo asociadas.

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
1802	NIC-35A	3505	ECS	150.0	Estelí (Inter NIC-1) - La Estanzuela
	NIC-35A	3504	ECS	157.0	La Estanzuela - San Nicolás
	NIC-35B	3502	ECD	153.7	Esteli (Inter NIC-1) - Emp. Chilamatillo
	NIC-35B	3507	ECS	164.2	Emp. Chilamatillo - Escuela Miraflores
	NIC-35B	3508	ECS	180.0	Escuela Miraflores - San Sebastián de Yalí (Empalme Quiatas)
	NIC-35D	3503	ECD	206.4	San Sebastián de Yalí - La Rica
	NIC-36	1214	ECD	115.0	Emp.Posoltega - Posoltega
	NIC-37A	714	ECS	145.0	Las Lajitas - Cuapa -Comarca El Zancudo

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico del año 2009.
Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla Nº 18. Resultado del Tránsito Promedio Diario Anual empleando factores de ajustes.

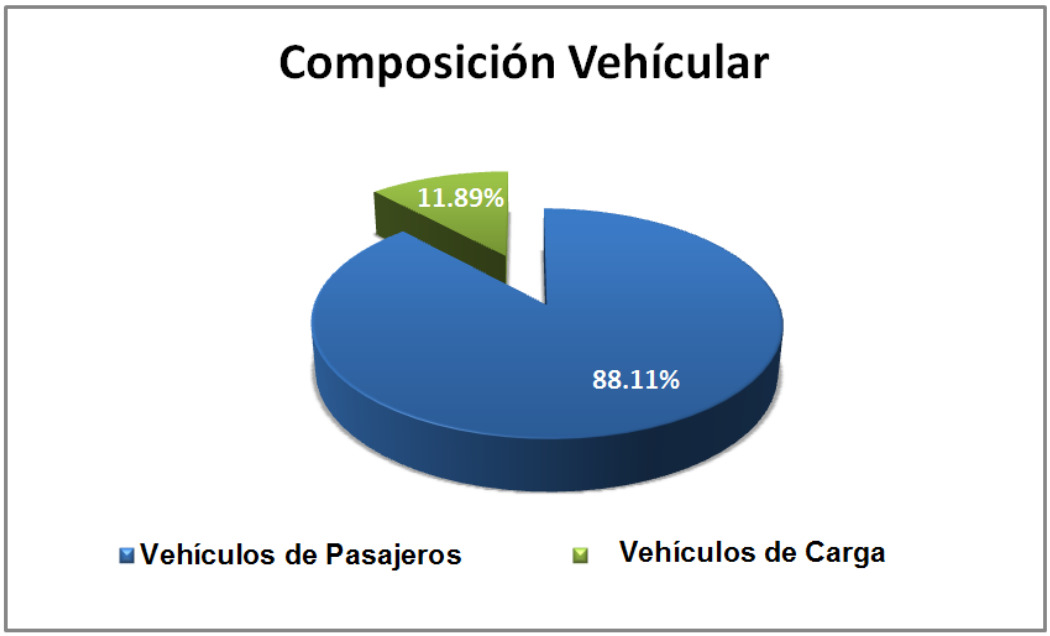
GRUPO	MOTO	AUTOS	JEEP	Camioneta	Micro Bus < 15 pasajeros	Micro Bus 15-30 pasajeros	Bus	Livianos 2-5 Ton	C2 5+ Ton	C3	V.A	TOTALES
TPD	166	36	24	51	7	7	6	9	11	8	7	333
Factor Día	1.21	1.25	1.25	1.29	1.25	1.35	1.21	1.30	1.47	1.44	1.16	
Factor Temporada	0.93	0.97	0.92	0.98	0.93	1.14	0.97	0.99	1.10	1.01	0.72	
TPDA	186	44	28	65	8	11	7	12	18	11	6	397
(%) TPDA	46.95	11.03	6.93	16.37	2.14	2.84	1.86	3.01	4.55	2.83	1.50	
(%) VEHÍCULOS DE PASAJEROS =						**88.11**		**(%) VEHÍCULOS DE CARGA=**			**11.89**	**100**

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1. Clasificación Vehicular Promedio

A partir de los resultados de clasificación vehicular tomada en campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra, la cual indica que el **88.11** % del tránsito corresponde a vehículos de pasajeros y el **11.89** % corresponde a vehículos de carga, como se representa en el Grafico Nº 3.

Grafico Nº 3. Diagrama de Composición Vehicular.



Fuente: Elaboración Propia.

3.5. TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR (TC)

Según establece el libro de Ingeniería de Pavimentos para carreteras, el volumen de tránsito futuro de una vía, puede ser estimado con razonable exactitud a partir de datos sobre el tránsito existente y mediante un análisis estadístico de su evolución histórica, el estimativo en mención requiere del conocimiento del valor de la tasa anual de crecimiento del tránsito, el cual es indispensable para efectuar proyecciones a mediano y largo plazo, necesaria para los estudios de pavimentos, tanto en la etapa de diseño como de funcionamiento.

Para estimar la tasa de crecimiento y realizar las proyecciones de tránsito de la vía en estudio, se analizaron las siguientes variables: PIB (Producto Interno Bruto), Tasa de Crecimiento Poblacional (Tc) y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

3.5.1. Producto Interno Bruto (PIB)

El PIB es el valor a precios de mercado de la producción corriente de bienes y servicios finales dentro del territorio nacional durante un periodo de tiempo, es decir, que se utiliza como un indicador de riqueza generada por un país, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo. Sin embargo no mide la riqueza total con que este cuenta.

En la siguiente tabla se muestran los valores del Producto Interno Bruto (PIB), en el periodo de tiempo comprendido del año 2000- 2013.

Tabla Nº 19. Producto Interno Bruto (PIB), a nivel nacional.

AÑO	PIB
2000	3,938.1
2001	4,102.4
2002	4,026.0
2003	4,101.5
2004	4,464.7
2005	4,862.0
2006	6,786.3
2007	7,458.1
2008	8,491.4
2009	8,380.7
2010	8,938.2
2011	9,898.6
2012	10,645.5
2013	11,255.6

Fuente: Banco Central de Nicaragua, Anuario de Estadísticas Macroeconómicas Año 2013

3.5.2. Crecimiento Poblacional.

Es el cambio en la población en un cierto plazo y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población, usando tiempo por unidad para su medición.

La tabla Nº20 muestra el registro del crecimiento poblacional de Nicaragua, la cual fue tomada del registro de estadísticas macroeconómicas del Banco Central, publicada en el año 2013.

Tabla Nº 20. Crecimiento Poblacional de Nicaragua.

AÑO	HAB
2000	5098
2001	5174
2002	5245
2003	5313
2004	5381
2005	5450
2006	5638
2007	5708
2008	5779
2009	5851
2010	5923
2011	5997
2012	6071
2013	6146

Fuente: Banco Central de Nicaragua, Anuario de Estadísticas Macroeconómicas Año 2013

3.5.3. Historial de Tránsito de la Zona

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tráfico, según los registros históricos de la estación de control Nº 3505 “Estelí-La Estanzuela” (Listado de estaciones de carreteras MTI.), tomada del anuario de aforo 2013, indica que la estación de conteo es la más cercana al proyecto de estudio y presenta los siguientes registros históricos en el periodo del 2000-2013.

Dichos valores se presentan a continuación en la tabla Nº 21.

Tabla Nº 21. Historial del tránsito de la estación de control Nº 3505 Estelí-La Estanzuela.

AÑO	TPDA
2000	47
2001	55
2002	63
2003	70
2004	78
2005	85
2006	93
2007	100
2008	108
2009	115
2010	139
2011	162
2012	280
2013	397

Fuente: Anuario de aforo de tráfico Vehicular 2013- Estación 3505

3.6. SELECCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR.

Una vez analizados cada uno de los parámetros mencionados con anterioridad y tomando en cuenta que el tramo en estudio es un camino rural de bajos volúmenes de tránsito, fue necesario hacer una proyección del tránsito, empleando tasas diferenciadas por tipo de vehículo, clasificadas en vehículos de pasajeros y de carga, para ello se hicieron correlaciones con el objetivo de conocer la relación existente entre el crecimiento del TPDA de la estación de conteo con el crecimiento de la población y el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), y ver la dependencia del incremento o disminución del tránsito.

El resultado de la correlación entre las variables TPDA de la estación de conteo y crecimiento poblacional reflejó una tasa de crecimiento vehicular de 3. 84 %, para la cual se asumió que esta es la que mejor se ajusta para la proyección del tráfico de vehículos de pasajeros.

De igual manera al correlacionar las variables TPDA de la estación de conteo y el Producto Interno Bruto (PIB), la tasa generada tuvo un resultado de 4.75 %, donde dicha tasa se utilizó para la proyección del tráfico de vehículo de carga.

Unido a lo anterior, los resultados de las correlaciones de estas variables se encuentran en los Anexos Capítulo III- Gráficos Nº 4 y 5, PAG Nº IX.

3.7. PERIODO DE DISEÑO

Según el manual de Diseño SIECA 2004, el periodo de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente.

Basándose en las normas AASHTO-93, el periodo de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificada como de baja intensidad de tránsito, es de 15 a 25 años.
Para efectos de diseño, el periodo que se utilizó es de 15 años.

Los periodos de diseño recomendados por (AASHTO-93, American Association of State Highway and Transportation Officials) se muestran en la siguiente tabla.

Tabla Nº 22. Periodos de Diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

3.8. FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO.

3.8.1. Factor Crecimiento Anual (FCA)

El valor de este factor está en función de la tasa anual de crecimiento, y el período de diseño de la estructura de pavimento, la ecuación que se utilizó para el cálculo de este factor fue:

$$\mathbf{Fc= 365 *} \left(\frac{(1+i)^n-1}{i}\right)$$

Dónde:

Fc: Factor Crecimiento.

365: Días de un año.

n: Es el periodo de años al cual se está proyectando.

i: Es la tasa de crecimiento.

3.8.2. Factor Direccional (FD)

Se expresa como la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, según la AASHTO-93 su valor es generalmente es 0.5, es decir que del total del flujo vehicular censado la mitad va por cada dirección.

Acorde al diseño de pavimentos AASHTO-93 en el capítulo de caracterización del tránsito, a la distribución por sentido se le asigna un valor de 0.5, el mismo que se utilizó para la vía que se está analizando.

3.8.3. Factor Carril (fc)

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril.

Así como el factor direccional es recomendado por la AASHTO, de igual manera el factor dirección está sustentado en el capítulo III del libro de diseño de pavimentos, donde dicho factor está en función del número de carriles en cada dirección de la carretera, ver tabla Nº23.

Para este caso **LD=1.**

Tabla Nº 23. Factor Carril

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

3.9. TRÁNSITO DEL CARRIL DE DISEÑO.

El tránsito de diseño determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía durante todo el periodo de diseño.

Para su determinación se empleó la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA*FCA*Fds*Fdc*365$$

Dónde:

TD: Tránsito de Diseño.

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

Fds: Factor de Distribución por Sentido.

fc: Factor de Distribución por Carril.

365: Constante equivalente a la estimación para los 365 días del año.

Tabla Nº 24. Resultados del Tránsito del Carril de Diseño.

TIPO DE VEHICULO	TPDA	F.C.A	FACTOR POR DIRECCION (FS)	FACTOR POR CARRIL (FC)	DIAS DE 1 AÑO	TRANSITO PARA EL CARRIL DE DISEÑO
MOTOS	186	19.79	0.5	1	365	673,407.57
AUTOS	44	19.79	0.5	1		158,252.69
JEEP	28	19.79	0.5	1		99,360.09
CAMIONETAS	65	19.79	0.5	1		234,783.25
MC < 15	8	19.79	0.5	1		30,681.38
MC > 15	11	19.79	0.5	1		40,745.46
BUSES	7	19.79	0.5	1		26,641.50
C2-Liv	12	26.20	0.5	1		57,132.43
C2 > 5 ton	18	26.20	0.5	1		86,315.16
C3	11	26.20	0.5	1		53,796.72
V.A	6	26.20	0.5	1		28,520.12
TOTAL=						**1489,636**

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

4.1. GENERALIDADES

Los pavimentos son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, que se construyen sobre terreno natural para que personas, animales o vehículos puedan transitar sobre ellos en cualquier época del año de manera segura, cómoda y económica, para poder lograr todo lo expuesto se tiene que tomar un sin número de consideraciones que involucran factores económicos, sociales, políticos, geográficos, y geológicos.

El método AASHTO ofrece una metodología completa y detallada para el diseño de pavimentos: Flexibles y Rígidos. En el caso de pavimentos articulados, los cuales se refieren a pavimento con rodadura de adoquín; la AASHTO-93 recomienda usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible.

El método utilizado para efectuar el diseño, fue el de la AASHTO-93. Este método considera las siguientes variables:

4.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO AASHTO-93.

4.2.1. Serviciabilidad

La Serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfectas condiciones). En el diseño del pavimento se deben elegir el índice de serviciabilidad inicial y final. La inicial, P_o es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final P_t es función de la categoría del camino.

Los valores recomendados por la AASHTO son los que se muestran a continuación:

Índice de serviciabilidad inicial:

Po= 4.5 para pavimentos rígidos

Po= 4.2 para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor

El valor del Índice de serviciabilidad Inicial equivale a 4.2 que es el valor asignado para pavimentos flexibles, para este caso de estudio se utilizó el mismo índice ya que la AASHTO recomienda el uso de los mismos principios para el diseño de pavimentos articulados y el valor del índice de serviciabilidad final se toma de 2, debido a que el tramo Estelí- El Quebracho es un camino de tránsito menor.

Una vez definidos los índices de serviciabilidad propuestos por la AASHTO, se procedió a calcular el valor de la perdida de serviciabilidad **(∆PSI),** que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta PSI = Po - Pt$$

$$= 4.2 - 2$$

$$\mathbf{= 2.2}$$

Dónde:

∆PSI: Índice de Serviciabilidad

Po: Índice de serviciabilidad inicial

Pt: Índice de serviciabilidad final

4.2.2. Ejes Equivalentes (ESAL´s o W18)

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips al cual se le denomina ESAL´s. Este se obtiene conociendo el Tránsito de Diseño (TD) y los factores equivalentes de carga, (LEF). Se calcula mediante la siguiente expresión:

ESAL´s ó W18= TD * FESAL´s

Dónde:

ESAL´s ó W18: Ejes equivalentes de carga

TD: Tránsito de diseño

FESAL´s: Factores equivalentes de carga

4.2.2.1. Factores de Equivalencia de carga.

Son valores numéricos que definen el daño que causa el paso de un vehículo, o eje determinado, sobre una sección de pavimento en una manera relativa al daño que el vehículo o eje causa al pasar sobre la misma sección de pavimento.

Los factores equivalentes de carga de la AASHTO están tabulados en función de cuatro parámetros: tipo de eje (simple, tándem, tridem), índice de serviciabilidad final (2, 2.5, 3), carga por eje y numero estructural SN del pavimento (1 a 6″).

Estos factores fueron seleccionados tomando en cuenta que este estudio se trata del diseño de un pavimento flexible, se emplearon las tablas para ejes simples y tándem porque los vehículos de diseño poseen únicamente estos dos tipos de ejes, el índice de servicio final fue de 2 por ser un tramo de tránsito

menor, las cargas por eje fueron seleccionadas en base al tipo de vehículo, iterando aquellas que no se encontraron registradas en las tablas y el valor de SN se escogió mediante un proceso iterativo que va de 1 a 6″ para este caso se asumió un valor de 4″, que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

En base a los datos anteriormente definidos se procedió a la determinación de los factores equivalentes de carga que se tomaron de las tablas propuestas por la metodología AASHTO, ver Anexos Capítulo IV- Tablas N^0 25, 26 , PAG N^0 XI, XII

Una vez determinados los factores equivalentes de carga por tipo de vehículo y calculado el tránsito de diseño, se procedió a determinar los ejes equivalentes de cargan (ESAL′s).

Tabla Nº 27. Ejes Equivalentes (ESAL′s) para cada eje y tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Peso por Eje (Ton. Métricas)	Peso por Eje (Kip)	Tipo de Eje	TRÁFICO ACTUAL AÑO 2013	TD CORREGIDO	FACTOR ESAL'S	ESAL'S DE DISEÑO
Autos	1	2.2	SIMPLE	44	158253	0.00038	60.1360
	1	2.2	SIMPLE			0.00038	60.1360
Jeep	1	2.2	SIMPLE	28	99360	0.00038	37.7568
	1	2.2	SIMPLE			0.00038	37.7568
Camionetas	1	2.2	SIMPLE	65	234783	0.00038	89.2176
	2	4.4	SIMPLE			0.0036	845.2197
Mc bus < 15	2	4.4	SIMPLE	8	30681	0.0036	110.4530
	3	6.6	SIMPLE			0.0169	518.5154
Mc bus > 15	3	6.6	SIMPLE	11	40745	0.0169	688.5983
	5	11	SIMPLE			0.134	5459.8921
Buses	4.5	9.9	SIMPLE	7	26641	0.0824	2195.2593
	5	11	SIMPLE			0.134	3569.9604
C2 Liv	4.5	9.9	SIMPLE	12	57132	0.0824	4707.7123
	5.5	12.1	SIMPLE			0.1914	10935.1472
C2 > 5t	5	11	SIMPLE	18	86315	0.134	11566.2310
	10	22	SIMPLE			2.31	199388.0128
C3	5	11	SIMPLE	11	53797	0.134	7208.7600
	16.5	36.3	DOBLE			1.431	76983.1011
V.A	4.5	9.9	SIMPLE	6	28520	0.0824	2350.0576
	4.5	9.9	SIMPLE			0.0824	2350.0576
TOTAL DE ESALES							**329,162**

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Confiabilidad

Se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles, los valores sugeridos por la ***(AASHTO-93, American Association of State Highway and Transportation Officials)*** para el nivel de confianza según la clasificación funcional se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N^0 28. Valores sugeridos por la AASHTO para el nivel de confianza según la clasificación funcional

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Se asumió un valor de confiabilidad de 75%, por encontrarse en el rango propuesto por la AASHTO para la zona rural y para tipo de camino local, tomando en cuenta que el tránsito del camino es menor, cabe mencionar que el valor de confiabilidad seleccionado será el óptimo para generar un balance entre los costos iniciales y los trabajos de mantenimiento futuros del proyecto.

4.2.4. Desviación Estándar

Representa la cantidad de separación de los puntos de la información a través de los cuales pasa la curva de funcionamiento.

Los valores recomendados por la (AASHTO-93, American Association of State Highway and Transportation Officials) son los siguientes:

Pavimentos flexibles: ***0.40 – 0.50***
Pavimentos rígidos: ***0.30 – 0.40***

El valor seleccionado para este diseño de pavimento articulado fue de **0.45**, debido a que la AASHTO recomienda para este tipo de pavimento los mismos principios que el pavimento flexible.

4.2.5. Módulo Resiliente.

En el método AASHTO-93, el módulo de Resilencia remplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, sub bases y bases, el módulo de Resilencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento.

Para este caso empleamos el método de correlación con los tipos de suelos; para desarrollar este método, existen varios procedimientos y tablas para estimar el MR de la sub-rasante para diferentes clasificaciones de suelos, en este caso convertimos el valor del CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO), a módulo resiliente de la subrasante como lo establece el manual centroamericano para el diseño de pavimentos.

Dado que el valor del CBR de la subrasante fue de **32 %,** para convertirlo a MR empleamos la ecuación sugerida para CBR mayores al 20 %, por medio de la cual resultó un MR= 15, 233.77

Tabla N^0 29. Ecuaciones de correlación para convertir el CBR a módulo resiliente.

Valores de C.B.R	Consideración
C.B.R. < 7.2 %	$Mr = 1500 * CBR$
7.2 % < C.B.R. < 20 %	$Mr = 3000 * CBR^{0.65}$
C.B.R. > 20 %	$Mr = 4326 * Ln(CBR) + 241$

Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos

4.2.6. Coeficientes Estructurales o de Capa (a1, a2)

El método asigna a cada capa de pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN, siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento. A través de los nomogramas que sugiere la AASHTO se calcula el coeficiente estructural de cada capa según el método de diseño.

4.2.6.1. Coeficiente Estructural de la capa de rodamiento (a1)

Se consideró un coeficiente **a1= 0.45**, porque se utilizó adoquín como carpeta de rodamiento, este valor fue tomado del manual centroamericano para diseño de pavimento, capitulo 7- diseño de espesores con adoquín, método AASHTO, pag. 107.

4.2.6.2. Coeficiente estructural para base (a2)

Representa la capa base ya sea granular o estabilizada, a la que le permite convertir su espesor real a su número estructural (SN). La determinación del coeficiente de capa a2 se calculó en base a la aplicación del nomograma propuesto por la AASHTO para bases tratadas con cemento, ver Anexos

Capítulo IV- Grafico Nº 6, PAG Nº XIII. De acuerdo al resultado del nomograma se obtuvo un coeficiente **a2 =0.135**.

4.2.7. Coeficiente de Drenaje

Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil, así también en el diseño del mismo.

El coeficiente de drenaje depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua, del tiempo que pasa expuesto a la saturación. La calidad del drenaje es expresado en la fórmula del numero estructural por medio del coeficiente de drenaje m_i.

El valor asumido para este diseño fue de $m_i = 1$, debido a que las condiciones de precipitación de la ciudad de Estelí, están por encima del 25% de saturación, además este es un valor que no altera el diseño y que generalmente ha sido el factor típico adoptado para esta zona, ver tabla Nº 30.

Tabla N^0 30. Coeficiente de drenajes para pavimentos flexibles.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos 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: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

4.3. DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO.

4.3.1. Numero Estructural (SN)

Acorde a lo referido en el libro de Ingeniería de pavimentos para carreteras, el número estructural (SN) es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento, para una combinación dada de soporte de suelo (MR), del tránsito total (W18), de la serviciabilidad terminal P_t y de las condiciones ambientales.

El cálculo del número estructural (SN), fue determinado mediante el empleo del nomograma propuesto por la AASHTO, para el cual se hizo uso de los siguientes parámetros de diseño indicados en la tabla a continuación:

Tabla N^0 31. Resumen de datos obtenidos del diseño AASHTO-93.

Parámetro	Valor
Índice de Confianza (%)	75
Desviación Estándar (So)	0.45
CBR de la subrasante (%)	32
W18 (ESAL's)	329,162
Módulo Resiliente de la subrasante	15, 234 PSI
Perdida de Servicio (ΔPSI)	2.2

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado del numero estructural (SN), según el empleo del nomograma fue de **SN = 2,** ver Anexo Capítulo IV- Grafica N^{0}7, PAG N^0 XIV.

Según el libro de Ingeniería de pavimentos para carreteras, una vez determinado el número estructural, el paso a seguir consiste en identificar un conjunto de capas cuyos espesores, convenientemente combinados, proporcionen la capacidad cortante correspondiente a dicho SN, la formula a utilizar es la siguiente:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2$$

Dónde:

SN = numero estructural = 2

a_1 = Coeficiente de carpeta (adoquín) = 0.45

a_2 = Coeficiente de base Estabilizada = 0.135

D_1 = Espesor del adoquín = **-**

D_2 = Espesor de la base = **-**

4.3.2. Cálculo de Espesores de Pavimento

4.3.2.1. Espesor de Carpeta de Rodamiento (adoquín).

Para el diseño de la estructura de pavimento articulado, el espesor de la carpeta de rodamiento conformada por bloques de concreto (adoquines), ya está establecido y es de **4 pulg** equivalente a 10 cm, este valor fue tomado del manual diseño SIECA 2004, diseño de espesores en adoquines, método AASHTO-93 PAG. 107.

SN = 2

a1 = 0.45

D1 = 4 pulg

4.3.2.2. Espesor de capa Base.

Si el espesor del adoquín es de 4 pulg, entonces sustituimos en la ecuación del SN:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2$$

$2 = 0.45\ (4\ pulg) + 0.135\ (D_2)$

$$D_2 = \frac{2 - (0.45 * 4\ pulg)}{0.135}$$

D_2 = 1.50 pulg

Según el libro de diseño de pavimentos AASHTO-93 PAG. 175, debido a que generalmente es impráctica y antieconómica la colocación de capas de pavimento muy delgadas, el método recomienda los siguientes mínimos.

Tabla N^0 32. Espesores mínimos para capas de concreto asfaltico y Base granular en función del tránsito

Espesores mínimos (pulg.)		
No. de ejes equivalente (millones)	Concreto asfáltico	Base granular
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05 - 0.15	2.0	4
0.15 - 0.50	2.5	4
0.50 - 2.00	3.0	6
2.00 - 7.00	3.5	6
> 7.00	4.0	6

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO-93 PAG 175

Unido a lo anterior, según los espesores minimos propuestos por la AASHTO-93 el espesor de la capa base corresponde a 4 pulg, sin embargo cuando la capa de base es muy delgada la carga del vehiculo se transfiere mas rapido a la subrasante que en presencia de arcillas saturadas puede crear deflexión.

De igual manera en el proceso constructivo un espesor pequeño puede fracturarse rapidamente con el actuar de una compactadora de rodillo mecanica; por tal razon con espesores pequeños y mal funcionamiento de las obras de drenaje la base puede ceder mas rapido y provocar colapsos en la toda la estructura.

Tomando en cuenta criterios constructivos basados en experiencias de proyectos con la misma problematica, constructivamente es insuficiente una base de 4 pulgadas de espesor ya que en este tipo de caminos han funcionado de manera satisfactoria espesores de al menos 8 a 10 pulgadas como minimo.

Por lo antes mencionado se recomienta un espesor de base tratada con cemento de **8 pulgadas.**

4.3.2.3. Espesor de la capa de arena.

Acorde a lo indicado por las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000, en la sección 502.02, inciso C, PAG. 273; define que la arena que servirá de colchón para los adoquines deberá tener un espesor que no sea menor de 3 cm ni mayor de 5 cm, según esta norma se asumió una capa de arena con un espesor de **5 cm**.

4.4. VERIFICACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO MEDIANTE EL SOFTWARE AASHTO.

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los calculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento, utilizando el programa **“Pavement Design & Analysis Life”,** que esta basado en la guia para estructuras de pavimentos AASHTO, ya que resulta una herramienta util que agiliza y facilita los calculos para el diseño.

Como se puede apreciar en los Anexos Capítulo IV- Ilustraciones Nº 1 y Nº 2, PAG Nº XV, el resultado del SN calculado es mayor que el SN requerido, lo que indica que los espesores determinados cumplen con los requerimientos necesarios para un pavimento articulado.

SN Calculado = 2.33

SN Requerido = 1.95

2.33 > 1.95 ¡ok!..

En base a lo anterior la estructura de paviemto articulado quedó conformada de la siguiente manera:

Tabla N^0 33. Resultados de espesores de pavimento articulado

Capas	Espesor (PULG)
Carpeta de rodamiento (adoquín)	4
Colchón de Arena	2
Base tratada con Cemento	8

Fuente: Elaboración Propia.

V. CONCLUSIONES

Después de haber analizado los resultados obtenidos en el diseño de 2 km de pavimento articulado, en el tramo de camino que comunica al municipio de Estelí con la comunidad el Quebracho y fundamentado en los objetivos propuestos de la presente tesina se concluye que:

- ✓ Basado en las propiedades físico-mecánicas de las muestras de línea, los suelos encontrados fueron A-2-7, A-2-6, A-2-4 y A-6, el CBR de diseño de la subrasante resultó de 32 %, así mismo en la fuente de material se encontró el tipo de suelo A-2-4, con un valor de CBR de 80.4 %.

- ✓ Se realizó un estudio de tránsito en el cual se determinó una cantidad de ESAL′s de 329,162 repeticiones esperadas, para un periodo de diseño de 15 años.

- ✓ Se diseñaron los espesores de la estructura de pavimento, mediante el empleo del método AASHTO-93, la cual quedo conformada con un paquete estructural de 4 pulgadas de carpeta de rodamiento, 2 pulgadas de cama de arena y 8 pulgadas de base tratada con cemento.

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se especifican algunas recomendaciones relacionadas con el diseño y construcción del pavimento:

- ✓ Se recomienda la alternativa de estabilizar a base de cemento el material procedente del Banco Santa Cruz, debido a que este banco en su condición natural no cumple con las especificaciones requeridas según la NIC-2000 para base granular.

- ✓ Aunque los cálculos y el software dieron como resultado un espesor para base de 4 pulgadas, constructivamente es insuficiente para este tipo de caminos, por lo que se recomiendan espesores de 8 a 10 pulgadas como mínimo.

- ✓ Emplear adoquín de TIPO TRÁFICO, “incluyendo las cuchillas”, y utilizar arena que servirá de colchón a los adoquines, según las especificaciones generales para caminos calles y puentes NIC- 2000, Sección 502.

- ✓ Respetar la calidad de los materiales a emplear, de igual forma utilizar los espesores obtenidos en el diseño del tramo, garantizando así que la estructura cumpla su función de manera satisfactoria.

VII. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO-93, American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Diseño de pavimetos AASHTO.*

Agudelo Ospina, J. J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías.* Medellín.

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mécanica de suelos y cimentaciones 5a Edición .* México: Limusa S.A .

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras II Edición.* Bogotá, D.C: Stella Valbuena de Fierro.

MTI, Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2009). *Anuario de aforos de de Tráfico.* Managua.

MTI, Ministerio de transporte e Infraestructura. (2013). *Anuarios de aforo de tráfico.* Managua.

NIC-2000. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes.* Nicargaua.

Rafael Cal y Mayor, R. S. (1994). *Ingeniería de tránsito, Fundamentos y aplicaciones 7a. Edición.* México D .F: Alfaomega S.A de C. V.

SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos.* Guatemala.

SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales 2da Edición.* Guatemala.

ANEXOS

FOTOS DEL TRAMO ESTELÍ-EL QUEBRACHO

Foto Nº.1. Estado actual del tramo de camino Estelí – El Quebracho, Estación 0+100.



Fuente: Fuente Propia.

Foto Nº.2. Punto de aforo Vehicular, Estación 1+000



Fuente: Fuente Propia.

Foto Nº.3. Clasificación Vehicular: Vehículos livianos JEEP (izquierda), Vehículo pesado de pasajeros Bus (Derecha). Estación 1+000.



Fuente: Fuente Propia.

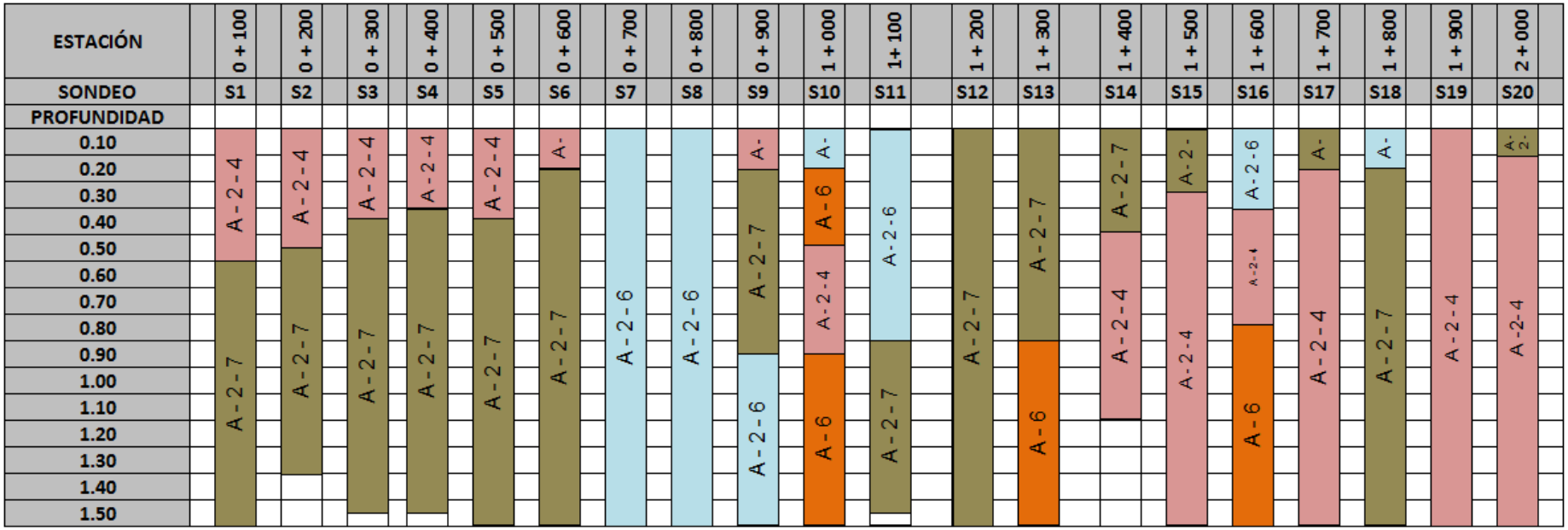
Foto Nº.4. Clasificación Vehicular: Vehículos Pesados de carga (Vehículo Agrícola). Estación 1+000.



Fuente: Fuente Propia.

ANEXOS
CAPÍTULO II

Grafico Nº1. Perfil Estratigráfico del tramo Estelí-El Quebracho



Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS, S.A

ANEXOS CAPÍTULO III

Tabla Nº12. Especificaciones de Materiales para Base Granular

N°	PROPIEDAD	ESPECIFICACIÓN	METODOLOGÍA
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Interperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

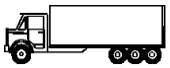
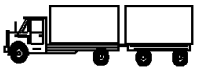
Tabla Nº13. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos.

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

Fuente: Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos.

Tabla Nº14. Diagrama de cargas permisibles aplicados en los puntos de control.

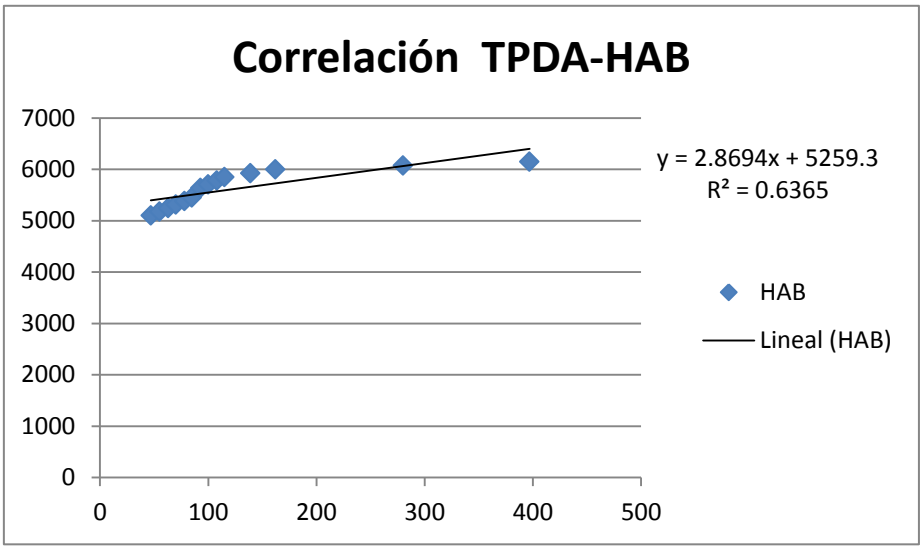
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

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

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a : *Eje sencillo llanta sencilla.*
b : *Eje sencillo llanta doble.*

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

Gráfica Nº4. Correlación entre las variables TPDA de la zona vs Crecimiento Poblacional.

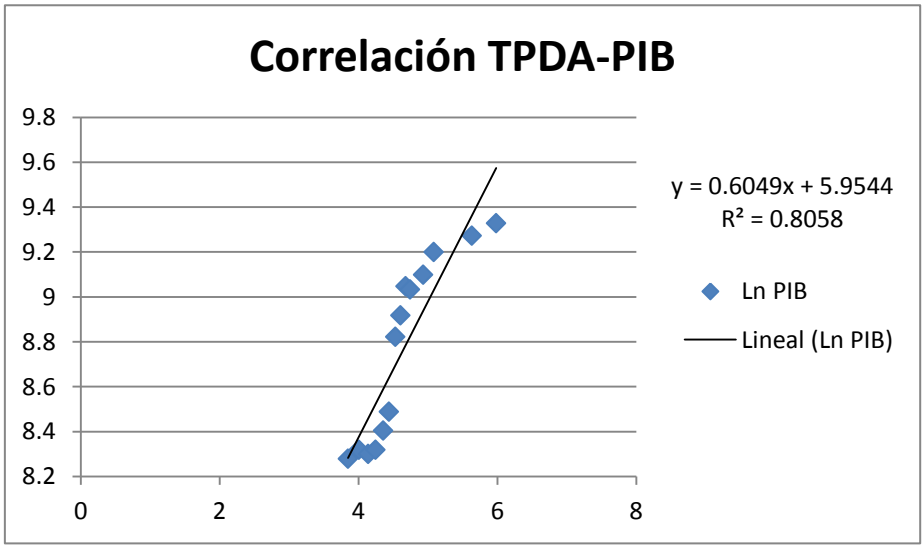


Fuente: Elaboración Propia.

Población= 1.34 % Elasticidad= 2.8694

Tasa (Transporte de pasajeros)= 3.84 %

Gráfico Nº5. Correlación entre las variables TPDA de la zona vs Producto Interno Bruto (PIB).



Fuente: Elaboración Propia.

PIB= 7.84 % Elasticidad= 0.6049

Tasa (Transporte de Carga)= 4.75 %

ANEXOS
CAPÍTULO IV

Tabla Nº 25. Factores Equivalencia de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt= 2

Carga p/eje (kips)[6]	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

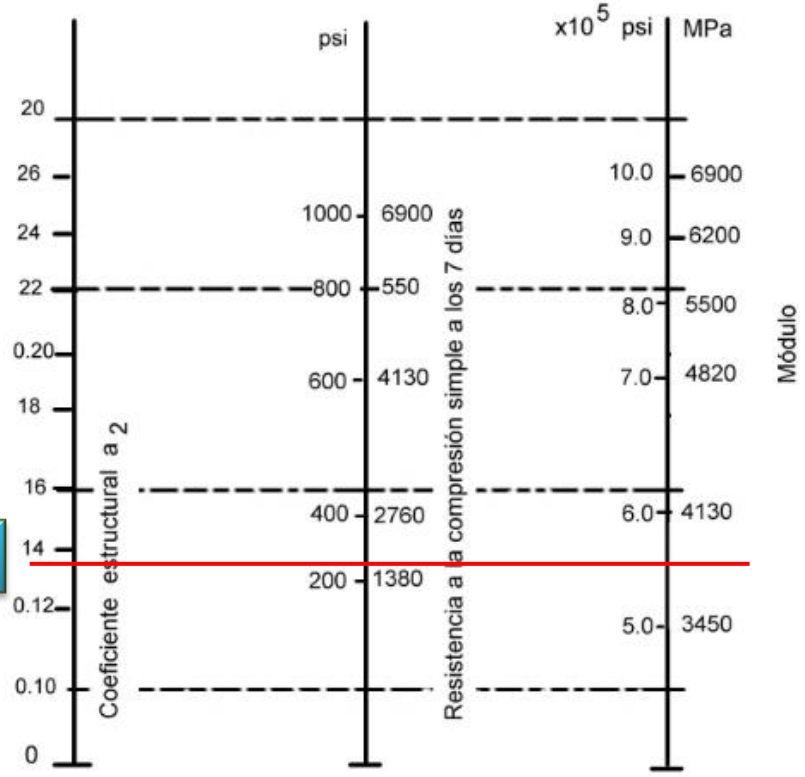
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tabla Nº 26. Factores Equivalencia de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt= 2

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

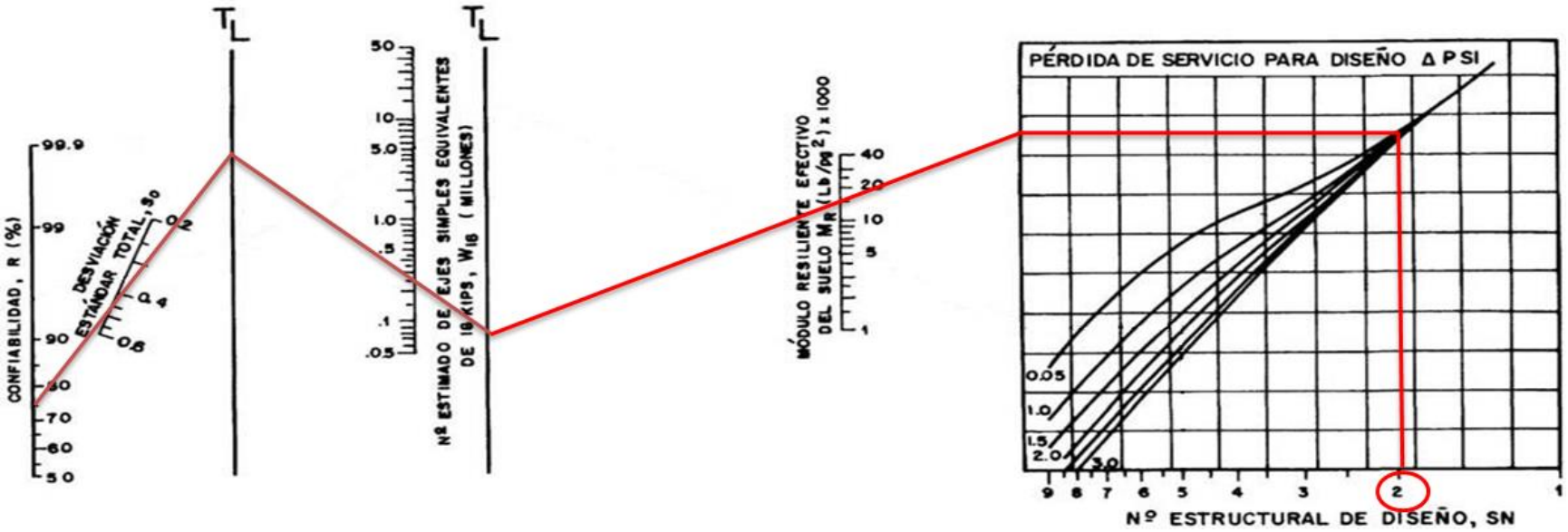
Grafica Nº 6. Determinación del coeficiente de capa a2 para bases tratadas con cemento y distintos parámetros resistentes.



a2: 0.135

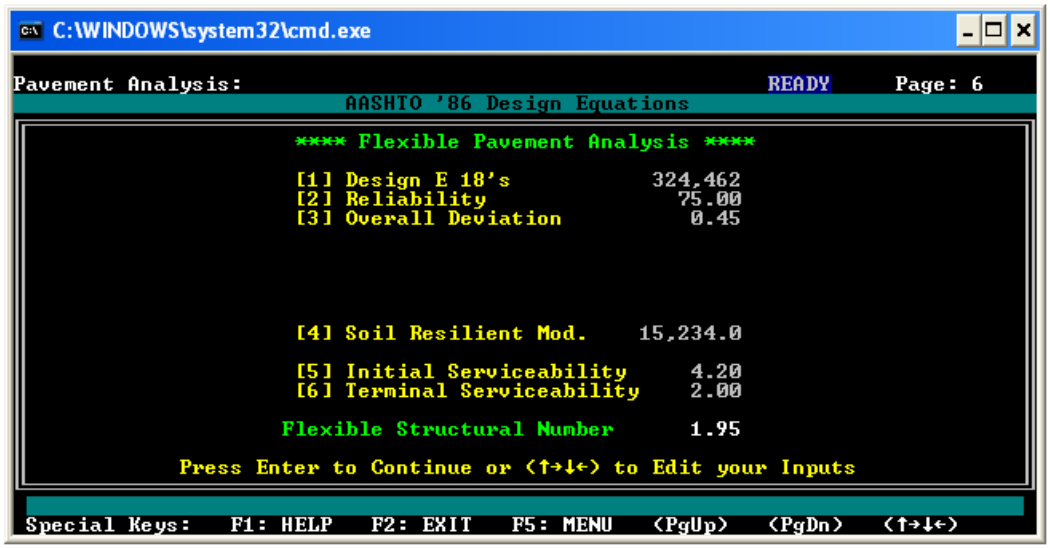
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Grafica Nº 7. Nomograma de diseño AASHTO para determinar SN de la Subrasante.



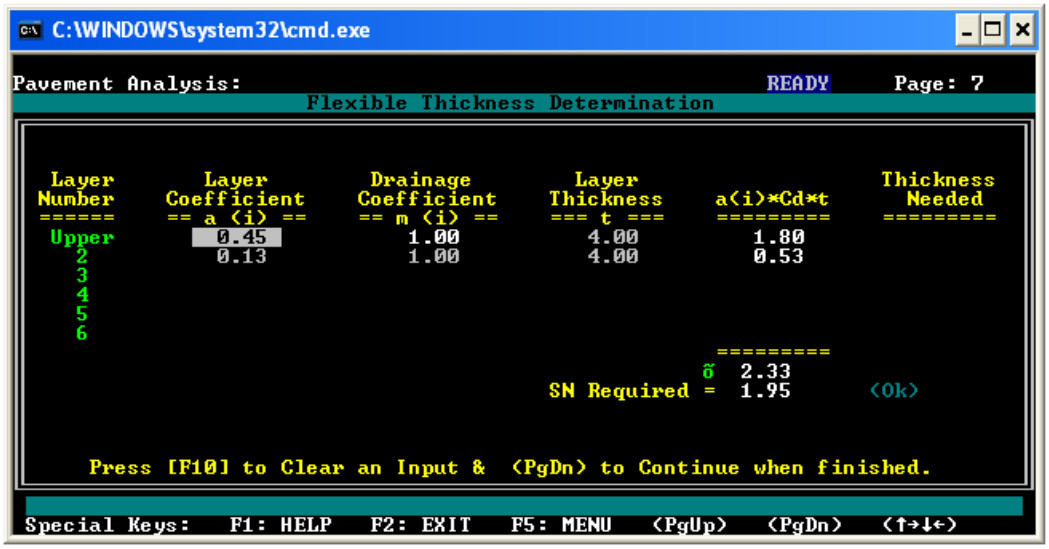
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Ilustración Nº 1. Introducción de datos al programa y cálculo de número estructural SN



Fuente: "Pavement Design & Analysis Life", AASHTO-86.

Ilustración Nº 2. Cálculo de SN calculado y SN requerido.



Fuente: "Pavement Design & Analysis Life", AASHTO-86.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
F0ACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR: CRISTHIAN ODUVER MUÑOZ GONZALEZ** Carné No.: 2009-30706 turno diurno, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL.**

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los doce días del mes de agosto del año dos mil catorce.

DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.

DIECHB/Claus*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
F0ACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR: CARMELO JOSE CASTILLO GUEVARA** Carné No.: 2009-30756 turno diurno, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es EGRESADO de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL.**

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los doce días del mes de agosto del año dos mil catorce.

SECRETARIA ACADEMICA
Managua, Nicaragua

DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.

DIECHB/Claus*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
SEDE UNI-NORTE
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2015

No. Recibo **161174** No. Inscripción **420**

NOMBRES Y APELLIDOS: Cristhian Oduver Muñoz González

CARRERA: INGENIERIA CIVIL CARNET: 2009-30706 TURNO:

PLAN DE ESTUDIO: 97 SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2015 FECHA: 24/02/2015

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

SNCORNEJOG

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

FIRMA DEL ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 24-Feb-2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
SEDE UNI-NORTE
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2015

No. Recibo **161175** No. Inscripción **419**

NOMBRES Y APELLIDOS: Carmelo José Castillo Guevara

CARRERA: INGENIERIA CIVIL **CARNET:** 2009-30756 **TURNO:**

PLAN DE ESTUDIO: 97 **SEMESTRE:** PRIMER SEMESTRE 2015 **FECHA:** 24/02/2015

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

SNCORNEJOG

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

FIRMA DEL ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 24-Feb-2015