



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**“Diseño de los espesores de la estructura de pavimento Semi- Rígido de
4.72 km. Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, Departamento de Madriz,
empleando el método de la AASHTO-93”**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Katy Lisseth Machado Briones.

Br. Eblin Joel Tercero Torrez.

Tutor

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Managua, Noviembre 2015

Managua, Noviembre del 2015.

Dr. Oscar Gutiérrez Somarriba.
Decano
Facultad de Tecnología de la Construcción.
Universidad Nacional de Ingeniería.

Estimado Dr. Gutiérrez:

He leído la versión final de la Tesina **“Diseño de los espesores de la estructura de pavimento Semi- Rígido de 4.72 km. Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, departamento de Madriz, empleando el método de la AASHTO-93”**

Elaborada por los bachilleres: **Katy Lisseth Machado Briones y Eblin Joel Tercero Torrez**, y de la cual soy Tutor.

Una vez que he leído y revisado, dicha Tesina, la encuentro satisfactoria para que haga la defensa ante las autoridades académicas correspondientes.

Sin más a que hacer referencia, aprovecho la oportunidad para desearle éxito en su gestión.

Atentamente:

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga
TUTOR

C.C. Archivo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.194
Managua, mayo 21 de 2014.

Bachilleres
KATY LISSETH MACHADO BRIONES
EBLIN JOEL TERCERO TORREZ
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado **"DISEÑO DEL ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMI RIGIDO DE 4.72 KM. LAS SABANAS- CHIGUAGUA – EL ZAPOTE, DEPARTAMENTO DE MADRIZ, EMPLEANDO EL METODO DE LA AASHTO-93,** Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. **JOSE FERNANDO BUSTAMANTE ARTEAGA,** sea el tutor de su monografía.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 29 de agosto de 2014.

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 INVESTIGACIÓN + DESARROLLO**

HOJA DE CONCLUSION DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Katy Lisseth Machado Briones 2) Eblin Joel Tercero Torrez
NOMBRE DEL CURSO: <p style="text-align: center;">Obras Viales 2011-2012</p>
NOMBRE DE LA TESINA: <p style="text-align: center;">“Diseño de los espesores de la estructura de pavimento Semi- Rígido de 4.72 km. Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, departamento de Madriz, empleando el método de la AASHTO-93”</p>
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1) Estudio de Transito 2) Estudio de Suelos 3) Estructura de Pavimento.
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1. 2. 3.
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Agradecimiento:

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino del bien hasta ahora y por haberme dado las fuerzas necesarias para concluir este trabajo de tesina; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi Madre y mis hermanos les doy gracias por haberme ayudado durante todo estos años y siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional para seguir mis estudios; así como el cariño de mis 2 sobrinos que han llenado de luz mi hogar y me han motivado para seguir adelante. Por último a mi compañero de tesina porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi tutor de tesis quién nos brindó su apoyo en todo momento Ing. Fernando Bustamante.

Cariñosamente

Katy Lisseth Machado Briones.

Agradecimiento:

Este trabajo lleva un profundo agradecimiento primeramente a:

Dios por darme la vida, la sabiduría y así con su ayuda, poder alcanzar mis triunfos académicos y con la culminación de mi trabajo el valorar en mi corazón las grandes amistades que pude encontrar en los momentos malos y en los gratos, sabiendo que ese amor de mi parte hacia ellos es el mayor tesoro que pude encontrar.

Ms padres , por su gran sacrificio y su confianza en mi persona al darme todo su apoyo y entrega, haciéndoles ver que sus luchas hoy se ven en triunfo al estar a punto de coronar mi profesionalidad.

A mis hermanos físicos y espirituales, por ser mi motor, los impulsores de positivismo de llenura espiritual, al hacerme ver que en las tristezas, decaimientos que pude encontrar, Dios, ahí estaba, esperando que el hiciera saber cuánto yo necesitaba de consuelo, de fortaleza de extenderme su mano y hacerme ver que mis triunfos son posibles, gracias al Rey de Reyes mi padre celestial.

Cariñosamente

Eblin Joel Tercero Torrez.

Dedicatoria:

Ha sido el omnipotente, quien ha permitido que la sabiduría dirija y guíe nuestros pasos. Ha sido el todopoderoso, quien ha iluminado nuestro camino cuando más oscuro ha estado, Ha sido el creador de todas las cosas, el que nos ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer hemos estado; por ello, con toda la humildad de nuestro corazón dedicamos primeramente nuestro trabajo a Dios.

De igual forma, dedicamos esta tesina a nuestros padres, pilares fundamentales en nuestras vidas. Quienes han sabido formarnos con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual nos ha ayudado a seguir siempre el mejor camino. Sin ellos, jamás hubiésemos podido conseguir lo que hasta ahora. Su lucha incansable ha hecho de ellos el gran ejemplo a seguir no solo para mí, sino también para mis hermanos.

Katy Lisseth Machado Briones.

Eblin Joel Tercero Torrez

ÍNDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
I.1 Introducción	2
I.2 Ubicación geográfica	3
I.3 Macro localización	4
I.4 Micro localización	5
I.5 Antecedentes	6
I.6 Justificación	7
I.7 Objetivos	8
CAPITULO II: ESTUDIO DE TRANSITO	9
II Estudio de Transito	10
II.1 Volumen de transito	10
II.1.1 Composición de transito	11
II. 1.2 TPD Transito Promedio diario	13
II.2 Tasa de crecimiento Vehicular (tc)	14
II.2.1 Producto Interno bruto	14
II.2.2 Crecimiento Poblacional	15
II.2.3 Historial de Transito	16
II.3 Periodo de Diseño	18
II.4 Proyección de transito de Diseño	18
II.4.1.2 Factor direccional	19
II.4.1.3 Factor carril	20
II.4.2 Transito de Diseño	20
II.5 Calculo de Ejes Equivalentes	21
II.6 Calculo del ESAL	25
CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO	26
III.1 Introducción	27
III.1.2 Sondeos sobre la vía	27
III.2 Trabajo de laboratorio	28
III.3 Descripción del suelo y perfil estratigráfico	29
III.4 Análisis del Estudio	32
III.5 Valoración del material que conforma la terracería	32
III.6 Sondeos de los bancos de materiales	33
III.7 CBR de diseño	34
III.8 Estabilización base suelo cemento	36
CAPITULO IV: DISEÑO DE PAVIMENTO	38
IV Introducción	39
IV Variables de diseño a considerarse en el método AASHTO -93	40

IV 3.2.1 cálculo de ejes Estándares de diseño	41
IV 3.2.3 Niveles de Confiabilidad	42
IV 3.2.4 Desviación Estándar	42
IV 3.2.4 Serviciabilidad	43
IV.4 Materiales que conforman el pavimento	44
IV.5 Coeficiente de drenaje	45
IV 6 Coeficiente estructural de capa	46
IV.7 Calculo de los espesores de pavimento	51
IV.7.1 Programa Pavement Analysis Software	51
CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
V.1 Conclusiones	55
V.2 Recomendaciones	56
V.3 Referencias bibliográficas	57
ANEXOS	



Aspecto General

Capitulo I

I.1 Introducción

Hoy en día la ingeniería civil tiene como finalidad encontrar y planificar soluciones óptimas a las necesidades de la población, con el objetivo de ayudar a erradicar las diferentes problemáticas sociales que vive nuestro país.

La necesidad de transporte es tan antigua como la historia misma de la humanidad, desde sus orígenes, la raza humana ha sentido la necesidad de trasladarse de un sitio a otro por un sin número de motivos: alimentación, salud, trabajo, economía, educación, turismo, etc., por lo que desarrollamos carreteras como infraestructuras de transporte diseñadas y acondicionadas dentro de una franja de terreno, que recibe el nombre de derecho de vía, con el propósito de permitir la adecuada circulación vehicular a través de la seguridad y comodidad con los mejores niveles de servicio.

El municipio de las Sabanas, Departamento de Madriz, está desarrollando programas de mejoramientos viales impulsados desde el Gobierno Central. Por ende, este municipio desea tener vías con mejores niveles de servicio, lo cual traerá beneficio para el comercio y la producción local, implicando un menor costo en la circulación vehicular.

Los programas de mejoramiento vial cuentan con el enfoque de brindar calles y caminos óptimos para la circulación vehicular, así mismo aportar a la economía del municipio y del país.

El presente trabajo consistirá en el diseño de la estructura de pavimento semi-rígido utilizando las especificaciones del método de la "AASHTO" en dependencia de las condiciones de suelo existente y de las proyecciones de tránsito en el área de análisis.

I.1.2 Ubicación Geográfica Del Tramo en Estudio.

El municipio de las Sabanas (**Figura N° 1**) pertenece al Departamento de Madriz, y se encuentra a 235 Km. de la Ciudad de Managua, Capital de la República de Nicaragua y ubicado a 19 Km de Somoto cabecera departamental del municipio de Madriz, pertenece a la Región de las Segovia, en el extremo fronterizo del norte del País.

El municipio está a una altura promedio de 1200 metros sobre el nivel del mar y posee una extensión territorial de 69 km². Y con una población de 4,732 habitantes de los cuales 922 habitantes en la zona urbana equivalente al 19.5%, y 3810 habitantes en la zona rural equivalentes al 80.5%.

Figura N° 1

Mapa de macro – localización del proyecto.

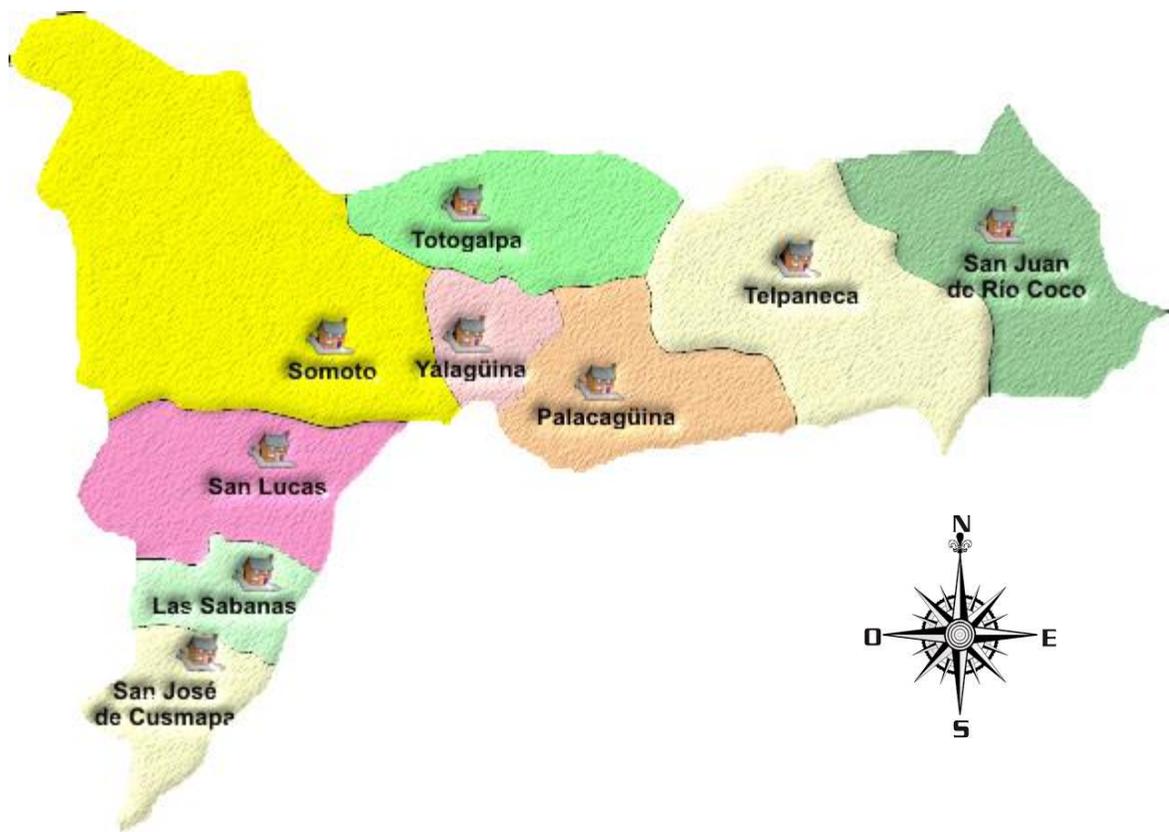


Fuente: Caracterización municipal de INIFOM 2012.

Los límites geográficos del municipio de las Sabanas (Figura N° 2) Limita al **Norte**: con el municipio de San Lucas. Al **Sur**: con el municipio San José de Cusmapa. Al **Este** con el municipio de Pueblo Nuevo (Dpto. de Estelí), Al **Oeste**: con la República de Honduras.

Figura N° 2

Límites Geográficos del municipio de las sabanas.



Fuente: Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INITER).

En la siguiente Figura de Micro localización del proyecto Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, departamento de Madriz. Encontraremos la ubicación exacta del proyecto en su estación inicial 0+000km y la estación final 4+720km.

Figura N° 3
Micro localización



Fuente Google Earth, Creacion Propia

I.2 Antecedentes

Según el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la red vial de Nicaragua tiene aproximadamente 17,490.2 km, de los cuales actualmente no tiene un estándar de seguridad vial adecuada, debido al rápido crecimiento de la flota vehicular y la mezcla del tráfico entre vehículos, peatones y animales.

Desde el punto de vista del estado funcional, la red vial se puede clasificar de regular, pero estructuralmente se encuentra en mal estado por falta de mantenimiento en su mayor parte, de la cual sin duda Madriz comparte las mismas características.

El proceso de urbanización que ha experimentado este municipio en las últimas décadas ha demandado espacio físico para su crecimiento y el mejoramiento de la infraestructura vial.

En años anteriores la alcaldía municipal, ha hecho grandes esfuerzos por mejorar las condiciones del tramo en estudio, invirtiendo en el mantenimiento, no así en las condiciones básicas que debe cumplir su diseño.

El tramo Las Sabanas El Zapote, se ha convertido en un sitio de mucha importancia para la economía del municipio por diferentes razones. Una de las principales es que en dicha zona se encuentra en el círculo cafetalero más productivo del departamento, industrias de Hortalizas, Turismo, la conexión con los demás municipios de Madriz entre otros.

Esto no ha sido suficiente para que las autoridades presten real importancia a la problemática que viven cada invierno los usuarios del tramo. El tramo actualmente está revestido con material selecto, las condiciones son desfavorables debido a la presencia de baches y de inmensas charcas que se forman en periodo de invierno así como la falta de diseño y construcción de obras de drenaje de la carretera, que han provocado desgastes en la capa de rodadura resultado de la erosión del árido.

I.3 Justificación

Para que toda ciudad avance económica, social y turísticamente debe contar con una red vial con niveles de servicios óptimos en todas sus instancias, es por ello que proponemos este proyecto para aportar nuestro grano de arena ante el auge del crecimiento de este municipio.

Este proyecto vial tiene como objetivo primordial llevar progreso a este sector y ayudar a mitigar el impacto negativo que en época de invierno el acceso vehicular es malo debido a la erosión hídrica provocada por grandes flujos de aguas pluviales que al paso por estos caminos arrastran sedimentos, dejando el camino completamente erosionado con estancamientos de agua.

Este proyecto con lleva el diseño de toda la capa de rodamiento, un tramo de 4.72 Km, que se encuentran en un nivel de servicio por debajo de lo normal, este tramo de camino abarca comunidades de gran importancia para la economía nicaragüense, debido a que forma parte de la red vial que comunica al círculo cafetalero.

La ejecución del mismo, traería beneficiarios directos a tres comunidades que se ven afectadas con el no poder sacar su producción cafetalera en tiempo y forma, al turismo puesto que esta vía conduce a una de las Reservas Naturales “TEPESOMOTO-LA PATASTA”, que es Promovida como destino turístico por el instituto nicaragüense de Turismo y por ende mejorar las condiciones de Vida de la población en este sector, las comunicadas con beneficio directo son:

- Buena Vista Apanaje
- Castillito, El Castillo.
- El Encino, La Patasta

I.4 Objetivos

Generales

- “Diseñar los espesores de la estructura de pavimento Semi- Rígido de 4.72 km. Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, departamento de Madriz, empleando el método de la AASHTO-93”

Específicos:

- Realizar un estudio de tránsito, a través de un aforo, para conocer el flujo vehicular, el vehículo de diseño y las cargas que soportara esta vía producto de su uso.
- Realizar un estudio de las características Físico – Mecánicas del sub – suelo en el tramo de carretera en estudio y los bancos de materiales.
- Diseñar los espesores de las capas de la vía en base al ESAL´S de diseño. por medio del método de la AASHTO-93



Capitulo II

II.1 Estudio de Transito

El estudio de tráfico es un elemento principal ya que la elaboración de cualquier tipo de diseño, tenemos que analizar las características del tramo en estudio.

Es necesario para llevar a cabo el análisis de las diferentes variantes para estimar el tránsito. Con estos datos se procederá a proyectar el tránsito que se estime, lo que permitirá calcular el espesor de pavimento necesario para soportar las cargas.

Este desarrollo contempla los siguientes alcances:

- Evaluación del Transito Existente.
- Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA).
- Proyecciones de Transito Futuro.

II.2 Volúmenes de Transito

El buen diseño de una carretera solo puede lograrse si se dispone de la adecuada información sobre la intensidad del movimiento vehicular que se utiliza hasta el término del periodo de diseño seleccionado.

La medición de los volúmenes del flujo vehicular se obtiene, normalmente y a veces de manera sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos de tránsito en las carreteras, lo mismo mediante investigaciones de Origen y Destino (O/D), que dependiendo de la metodología utilizada, arrojaran datos sobre la estructura, distribución, naturaleza y modalidad de los viajes.

II.2.1 Composición del Transito

La clasificación vehicular en cada una de las estaciones de aforo comprendió a los vehículos livianos, vehículos pesados de pasajeros y los pesados de carga. Se clasifican de la siguiente manera:

II.2.2.1 Vehículos de Pasajeros

Incluye todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de pasajeros y algunos acondicionados para realizar tal actividad o función.

- ❖ Motos: Se consideraron todos los tipos de motocicletas incluyendo las acopladas con Side - Car.
- ❖ Autos: Se consideraron todos los tipos de automóviles de 4 puertas (Sedan) y de 2 puertas (Coupé).
- ❖ Jeep: Conocidos también como Vehículos Automotor Rústico , incluyeron toda la gama de Jeeps de diferentes marcas.
- ❖ Camioneta: Comúnmente determinadas como Pick Up (Utilitario) y que sirven para el transporte de mercancía liviana. Se consideraron además aquellas camionetas que en el momento solo contaban con el conductor.
- ❖ Microbús (M.B.): Se consideraron todos los tipos y marcas de microbuses con capacidades oscilante entre menos de 18 Pasajeros Y más de 18 pasajeros.
- ❖ Autobús: Tipificación que a su vez se dividió en Mediano con una capacidad oscilante entre los 25 y los 42 pasajeros y Grande con una capacidad superior a los 42 pasajeros.

II.2.2.2 Vehículos de Carga

Incluyó todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de mercancías livianas y pesadas.

- Camión Sencillo: Incluyó a los camiones de tipo C-2 (2 ejes) y del tipo C-3 (tres ejes).

Ver Tabla N° 1

Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la Oficina de Diagnostico y Evaluación de Pavimentos PMS

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tras en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad 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. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T ₁ -S ₂ =4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T ₁ -S ₂ =4.
	T ₁ -S ₂ =5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C ₂ -R ₂ =4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C ₂ -R ₂ =4
	C ₂ -R ₂ =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, también se incluyen los halados por tracción animal (Sermovientes).

Ministerio de transporte e infraestructura, MTI Nicaragua.

II.2.3 Transito Promedio Diario (TPD)

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Transito Promedio Diario, conocido en forma abreviada como TPD, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor a un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho tiempo de medición.

Para la cuantificación de la cantidad de ejes equivalentes que circula por el tramo Las Sabanas –El Zapote Est. 0+200 empalme a chihuahua, se realizo un aforo de 12 horas continuas de 6:00 am y 6:00 pm, durante 5 días. Obteniendo los siguientes datos.

Tabla N° 2: Resumen de 5 días de 12 Horas por Tipo de Vehículo

Día	Mot o	Aut o	Jee p	Cam .	Liv2.5 T	McB<15 p	Bu s	C2.5 T	C 3	Tx- sx=4 e	Tx- sx=5 e	T
L	32	4	3	32	0	7	6	4	14	0	2	104
M	29	3	3	14	1	3	6	2	9	0	1	71
MI	16	2	2	17	2	1	6	2	11	1	0	60
J	23	2	0	14	0	6	6	1	5	1	0	58
V	21	2	1	20	1	4	5	0	13	1	0	68
T/PD 12 H	25	3	2	20	1	5	6	2	11	1	1	77
%T	33	4	3	26	1	6	8	3	14	1	1	100

Fuente: Elaboración Propia

II.3.1 Tasa de Crecimiento Vehicular (Tc)

Este valor expresado en porcentaje que se utiliza para efectuar proyecciones de tránsito a mediano y largo plazo, a partir de datos estadísticos existentes y perspectivas de desarrollo de la zona.

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

II.3.2 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.

El crecimiento del producto interno bruto (PIB) en los años del 2012-2013 fue mayor del 5%, el 4% para el año 2011 así como también presentó en el 2004 2.30%. Sin embargo, a partir del año 2005 las cifras fueron muy variables en los cuales presentó en los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 valores de 4.0, 4.1, 3.7, 3.8, -2.2 y 3.2 respectivamente, según datos del Banco Central de Nicaragua (BCN).

La variabilidad en el porcentaje de crecimiento del PIB presentado en los últimos años, se debe en gran medida a la dependencia que el país tiene hacia el petróleo y sus derivados; cuyos precios han estado variando constantemente lo cual causa un impacto directo en la economía del país. En la siguiente tabla ilustramos los diferentes porcentajes del PIB.

Tabla N°3: Producto Interno Bruto.

Año	Crecimiento PIB %
2004	2.30
2005	4.0
2006	4.1
2007	3.7
2008	3.8
2009	-2.2
2010	3.2
2011	4.0
2012	5.2
2013	5.3

Fuente: Banco Central de Nicaragua.

Dado que el producto interno bruto (PIB) es muy variable, para efectos de análisis de proyección de tránsito, se usara como tasa anual de crecimiento, el promedio de las tasas del PIB Promedio es 3.3.

II.3.3 Crecimiento Poblacional

El crecimiento poblacional es la segunda variable a analizar, 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.

Tabla n° 4: Tasa de Crecimiento Poblacional (2001- 2010).

AÑO	TASA CREC. %	AÑO	TASA CREC. %
2001	2.15	2006	1.89
2002	2.10	2007	1.86
2003	2.03	2008	1.82
2004	1.97	2009	1.78
2005	1.92	2010	1.74
Promedio			1.92

Fuente: Estimaciones y proyecciones de población. INIDE. Año 2007.

II.3.4 Historia de Transito

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, en base a estudios anteriores del tramo en estudio u otras vías de naturaleza similar.

Para el presente tramo se ha encontrado información histórica o estadística de tráfico en el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) que pueda ser de utilidad.

El proyecto en estudio presenta los siguientes registros históricos en el período (2002 – 2011), durante este ha presentado un comportamiento variable que va de 83vpd en el año 2002, a 218 vpd en el año 2011.

Este comportamiento irregular del flujo vehicular se debe o se considera que ha sido principalmente, producto de las diferentes condiciones físicas que ha presentado en este periodo, la superficie de rodamiento a lo largo del tramo.

Tabla N°5: Historial de Transito Estacional de Control N° 7703 Estación san Lucas las sabanas Madriz

AÑO	TPDA
2002	83
2003	97
2006	137
2009	210
2011	218

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2011.

Al realizar una comparación de los históricos de TPDA de la estación de conteo permanente 7703 San Lucas – Las Sabanas, que es la más próxima a la vía en estudio, se refleja una tasa de crecimiento 3.80% en su última evaluación.

II.3.5 Selección de la Tasa de Crecimiento

Tras haber analizado las tres variables necesarias para la tasa de crecimiento vehicular, se puede notar que:

Tabla N°6: Porcentaje de tasa de crecimiento.

Variables	% de Crecimiento
PIB Producto Interno Bruto	3.3
Crecimiento Poblacional	1.92
Historial de transito	3.80
Valor Promedio de Tasa de Crecimiento	3.00

Fuente: Elaboración Propia

Para efectos de este estudio la tasa de crecimiento a utilizar será del 3.00 %, en base a un historial de crecimiento de las variables analizadas desde el año 2001-2013

II.4 Periodo de Diseño

Es el lapso durante el cual la estructura que se diseña deberá funcionar con un nivel de serviciabilidad superior al mínimo, sin requerir de acciones de conservación diferentes a la de un mantenimiento rutinario.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectora rural, es de 10 a 20 años.

Para efectos de diseño el periodo a utilizar es de 20 años.

Tabla N° 7: Periodo de Diseño.

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Auto pista Regional	20-40 años
Trocales sub-urbanas	15-30 años
Trocales Rurales	
Colectoras Sub –Urbanas	
Colectoras Rurales	10-20 años

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Carreteras Regionales, SIECA 2001.

II.5 Proyección de Tránsito de Diseño

A partir del conteo realizado, la tasa de crecimiento vehicular definida anteriormente (3.00%) y el periodo de diseño de 20 años, se calcula el Tránsito Promedio Diario Anual para el año 2015 y luego se procederá a efectuar la proyección de diseño para el año 2035; haciendo uso de la ecuación:

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

Donde:

T_n = Tránsito Promedio Diario para el año n .

T_o = Tránsito Promedio del año base.

i = Tasa de Crecimiento Vehicular.

n = Número de años del periodo de diseño.

II.5.1 Factores de Distribución del Tránsito

II.5.1.1 Factor de Crecimiento Anual (FC): está en función de la tasa anual de crecimiento y el periodo de diseño de la estructura de pavimento.

Tasa de Crecimiento= 3.00 % periodo de Diseño: 20 años

$$FC = \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} = 26.87$$

II.5.1.2 Factor Direccional (FD)

Se expresa con la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divide 50% en un sentido y 50% en el otro.

Según datos del estudio realizado, para el tramo que estamos diseñando la distribución direccional es de 50/50 esto significa que el flujo está distribuido equitativamente en los dos sentidos de circulación.

Tabla N°8: Factor Direccional.

Número de Carriles en Ambas Direcciones	LD10
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas
Para el Diseño de Carreteras Regionales,
SIECA 2001.

II.5.1.3 Factor Carril (fc)

Es el número de carriles por sentido, para los cuales se está diseñando.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, el factor carril para un sentido es 1

Tabla N°9: Factor Carril (fc).

Número de Carriles en una sola Dirección	Factor LD11
 1	1
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

II.5.2 Tránsito de Diseño (TD)

Es el número de vehículos que circulan durante todo el periodo de diseño, para determinarlo se utiliza la formula siguiente:

$$TD = TPDA * FC * FS * fc * 365$$

Donde:

TD = Transito de Diseño.

TPDA = Transito del año Inicial.

FC = Factor de Crecimiento Anual.

Fc = Factor Carril.

FS = Factor Direccional.

II.6 Cálculo de Ejes Equivalentes de Diseño

Una vez obtenido el tránsito de diseño se procedió a calcular la cantidad de ejes equivalentes para cada tipo de vehículo que se esperan durante la vida útil del proyecto.

Se debe tener en cuenta que: el tipo de carretera que se está analizando que es del tipo local urbana, que los volúmenes de tránsito generados son medios y que generalmente estos tipos de carreteras son diseñados para dos carriles.

En las tablas presentadas a continuación se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito.

- Ver tabla N° 10, Factores de Crecimiento de la estación 7703.

Tabla N 10

<i>Factores de crecimiento de la estación 7703</i>				<i>Estacion San lucas -Las sabanas</i>													
<i>Descripcion</i>	<i>Moto</i>	<i>carro</i>	<i>jeep</i>	<i>camioneta</i>	<i>MicBus</i>	<i>MinBus</i>	<i>Bus</i>	<i>C2L</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>T-S<=4</i>	<i>T-S>=5</i>	<i>C-R<=4</i>	<i>C-R=>5</i>	<i>V.A.</i>	<i>VC</i>	<i>Otros</i>
<i>factor dia</i>	1.24	1.48	1.28	1.33	1.40	1.13	1.20	1.22	1.28	1.11	1.00	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16
<i>Factor semana</i>	0.95	1.03	1.07	1.00	0.95	0.96	0.98	0.91	0.86	0.87	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.29
<i>Factor fin de semana</i>	1.14	1.19	1.12	1.22	1.20	0.98	1.08	1.03	0.94	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.02
<i>Factor Temporada</i>	1.13	0.98	0.94	0.98	0.90	0.80	1.00	1.00	1.02	1.09	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.60
Datos del Anuario de trafico 2011																	

Fuente: Datos factores de Crecimiento Revista Anuario 2011

- Ejemplo como calcular el tránsito proyectado.

$$T_n = T_o (1+i)^n, T_o = 5 (1+0.030)^{20} = 9$$

- Ejemplo como calcular el factor de crecimiento

$$F.C = ((1+i)^n - 1/i), F.C = ((1+0.030)^{20} - 1/0.030) = 26.87$$

- Ejemplo como calcular el tránsito para el carril de diseño.

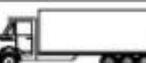
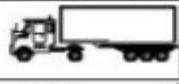
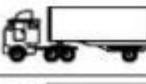
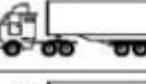
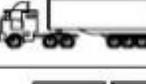
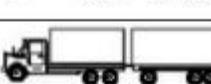
$$TCD_{(Autos)} = (T_o * F_c * 365 * F_c * F_s), TCD_{(Autos)} = (5 * 26.87 * 365 * 0.5 * 1) = 24,519.00$$

$$TCD_{(Camioneta)} = (T_o * F_c * 365 * F_c * F_s), TCD_{(Camioneta)} = (32 * 26.87 * 365 * 0.5 * 1) = 156,923$$

Tabla N°13

REPUBLICA DE NICARAGUA
MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE VIALIDAD

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 11		4.50	9.00					13.50
C3 12		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		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 Cx-Rx>5		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 Cx-Rx>5		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: Dirección general de vialidad MTI Nicaragua

- Ver tabla 14 Cálculo del ESAL 'S del carril de diseño.

Tabla N° 14

Calculo ESAL 'S del Carril de Diseño									
Asumimos un Número Estructural (SN=5), tc=3,00 , n=20 años									
Tipo de Vehículos	Peso X Eje(Ton.met)	Peso X Eje (Kips)	Tipo de Eje	To. 2015	Tn.2035	TD	TD Corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2,200.00	Simple	5.00	9	24,519.00	24,519.00	0.0004	10
	1.00	2,200.00	Simple					0.0004	10
Jeep	1.00	2,200.00	Simple	3.00	6.00	14,712.00	14,712.00	0.0004	6
	1.00	2,200.00	Simple					0.0004	6
Camionetas	1.00	2,200.00	Simple	32.00	58.00	156,923.00	156,923.00	0.0004	63
	2.00	4,400.00	Simple					0.002	314
Liv. 2-5 ton	2.00	4,400.00	Simple	1.00	2.00	4,904.00	4,904.00	0.002	10
	5.00	11,000.00	Simple					0.1385	680
McBus<15 pas	2.00	4,400.00	Simple	7.00	13.00	34,327.00	34,327.00	0.002	69
	3.00	6,600.00	Simple					0.01	344
MnBus 15-30 pas	3.00	6,600.00	Simple	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0
	5.00	11,000.00	Simple					0.088	0
Bus	4.50	9,900.00	Simple	8.00	14.00	39,231.00	39,231.00	0.061	2394
	5.00	11,000.00	Simple					0.088	3453
C2 5 +ton	5.00	11,000.00	Simple	2.00	4.00	9,808.00	9,808.00	0.034	334
	10.00	22,000.00	Simple					0.360	3531
C3	5.00	11,000.00	Simple	12.00	22.00	58,846.00	58,846.00	0.1385	8151
	16.50	36,300.00	Doble					1.38	81208
Tx-Sx<=4e	5.00	11,000.00	Simple	1.00	2.00	4,904.00	4,904.00	0.061	300
	9.00	19,800.00	Simple					0.623	3056
	16.00	35,200.00	Doble					0.260	1276
Total ESAL 'S de Diseño(W18)									105,215.00

Fuente: Elaboración Propia.

- Ejemplo como calcular el ESAL de Diseño para Vehículo Liviano

ESAL (Camionetas) Eje Simple= TD Corregido * Factor ESAL = 25,519 * 0.0004= 10 redondeado

- Ejemplo como calcular el ESAL de Diseño para Vehículo Pesado

ESAL (C3 Eje Simple= TD Corregido * Factor ESAL = 58,846 * 0.1385= 8,151 redondeado

ESAL (C3 Eje doble= TD Corregido * Factor ESAL = 58,846 * 1.38= 81,208 redondeado

Resultado:

El ESAL 'S obtenido del resultado de este estudio de transito es 105,215.00



Capitulo III

III.1 ESTUDIO DE SUELO

En lo que se refiere a las construcciones y a su levantamiento las condiciones que ofrece el suelo es uno de los puntos más importantes; pues dependiendo de esto se determina si es o no apto construir una obra en un terreno, por lo tanto para conocer las condiciones de este, es necesario hacer un estudio de suelo.

Para conocer estas propiedades se necesita un muestreo muy amplio que abarque toda la traza, del proyecto. Además de localizar los bancos de materiales para préstamos se aplicaron las respectivas pruebas para determinar las características de estos.

III.2 Sondeos sobre la vía.

Según los informes del **Laboratorio de Suelos ASP Consultores**, en la recolección de muestras se realizaron sondeos manuales a profundidades de 1.0 m, ya que los siguientes estratos eran homogéneos, alternados a uno y otro lado de la vía y distribuidos a lo largo de los 4.72 km de la misma. El equipo que se utilizó para realizar este proceso fueron:

- Palín doble.
- Poteadora.
- Pala simple redonda.

En todos los sondeos realizados se tomaron muestras alteradas de los estratos de suelos encontrados para ser ensayados posteriormente, con el fin de utilizarlos para determinar los espesores a colocar en la vía en estudio.

III.3 Trabajos de laboratorios.

Una vez recolectadas y agrupadas las muestras, se aplicaron los ensayos de laboratorios para determinar las características de los suelos, aplicándose las normas AASHTO presentadas a continuación.

Tabla N°15: Pruebas de laboratorio.

Ensayo	Especificación AASHTO
Granulometría de los suelos	T – 2788
Límite Líquido de los suelos	T –8990 y 9087
Índice de Plasticidad de los suelos	T – 9097
Humedad	
Ensayo CBR.	T – 193 – 81

Fuente: Elaboración propia

III.4 Descripción del subsuelo y del perfil estratigráfico.

La secuencia estratigráfica del subsuelo del sitio en estudio se puede describir considerando siete agrupaciones de materiales (*ver Anexo1, tabla N°5, pág. 1*). Las principales características físicas y mecánicas de estos se describen a continuación.

Suelo A-2-4

En los seis primeros sondeos manuales realizados se pudo verificar que la capa superior del suelo corresponde a material de terracería, clasificado como una arena limosa con presencia de grava A-2-4 con índice de grupo de Cero (0) según la AASHTO, de color café, medianamente plásticos y con un límite líquido entre 29 y 39%. Esta agrupación de suelos está conformada por un 33% de partículas relativamente gruesas que no pasan el tamiz #4 con un tamaño máximo de 3 ½”, un 39% de arenas y un 31% de partículas finas. Suelos con

estas características se encontraron hasta alcanzar una profundidad promedio de 0.32 metros.

En los estratos encontrados en los sitios de los sondeos Sm-10, Sm-11, Sm-12 y Sm-15, se encontró una agrupación de suelo que se puede clasificar como una grava limosa con arena, ó como un suelo perteneciente al grupo A-2-4 con índice de grupo de cero (0) según la AASHTO, presenta un color café, para encontrar estas muestras a una profundidad entre 0.25 - 0.55 metros. Este suelo está compuesto por un 65.85% de partículas gruesas, un 34% de arenas y un 13.33% de partículas finas, con un índice plástico de 7.2% y un límite líquido de 35.3%

Suelos A-7-5

En los sondeos Sm-1, Sm-8, Sm-13, bajo el estrato formado por la terracería se encontró un suelo con características de una Arcilla arenosa según la S.U.C.S, ó A-7-5 según la clasificación AASHTO, de color amarillento, con un elevado índice de plasticidad (IP=66%,15%,21% respectivamente), y un límite líquido de 86%,50%,66%, con un alto contenido de partículas finas por el orden del 91%, 65%, 46% con un 8.9%,30%,27.8%, de arenas y un 1%,6.9%,32.7% de partículas gruesas, con un tamaño máximo de 2". Esta agrupación se encuentra a una profundidad promedio de entre 0.25 y 1.00 metro.

En los sondeos Sm-9, formando parte del material de terracería se encontró un suelo con características de una Arcilla arenosa según la S.U.C.S ó A-7-5 según la clasificación AASHTO, de color amarillento, con un índice de plasticidad (IP=15%), y un límite líquido de 50.6%, con un alto contenido de partículas finas por el orden de 65.8%, con un 31.1%, de arenas y un 6.9%, de partículas gruesas, con un tamaño máximo de 2". Esta agrupación se encuentra a una profundidad promedio de entre 0.00 y 0.25 metro.

En los sondeos Sm-16, también se encontró una agrupación de suelo desde la terracería hasta el último estrato, con características de una Arcilla gravosa

según la S.U.C.S ó A-7-5 según la clasificación AASHTO, de color amarillento, con un índice de plasticidad (IP=17%), y un límite líquido de 53.5%, con un alto contenido de partículas finas por el orden de 43.3%, con un 21.5%, de arenas y un 40%, de partículas gruesas, con un tamaño máximo de 2". Esta agrupación se encuentra a una profundidad promedio de entre 0.00 y 1.0 metros.

Suelos A-1-a

En el sondeo manual Sm-7, está formado por un material con características de una grava limosa con arena clasificado como A-1-a según la AASHTO, con un índice de plasticidad (IP=4.7), y un límite líquido (LL=27.1%). La granulometría de este suelo está compuesto por partículas gruesas de 58.9%, alcanzado un tamaño máximo de 2 1/2", un 23.7% de arenas, y 12.7% de partículas finas.

En el sondeo Sm-17, en el estrato de terracería se encontró una grava arcillosa clasificada como A-1-a, a una profundidad entre 0.00-0.60. Este material presenta un índice plástico de 15% y un límite líquido de 61.7%, compuesta por partículas gruesas en el orden de 58.9% de gravas, 30.9% de arenas y 10.2% de partículas finas.

Suelos A-2-7

En los sondeos manuales Sm-2, Sm-5 y Sm-14, el tipo de suelo que se encontró por debajo del primer estrato que lo conforma la terracería, corresponde a una Grava arcillosa con presencia de arena según la clasificación S.U.C.S, y es un suelo A-2-7, según la AASHTO, este se encontró a partir de una profundidad de entre 0.40 y 1.00 metros. Esta agrupación de suelos presenta un color café claro, con un alto índice de plasticidad del 33%, y un límite líquido de 55%. La granulometría de este suelo está compuesta por partículas gruesas que están en el orden del 55 % alcanzando tamaños máximos de 1 1/2", un 18% de arenas, y un 27% de partículas finas.

Suelos A-7-6

En los sondeos Sm-4, Sm-6, Sm-10, bajo el estrato formado por la terracería se encontró un suelo con características de una Arcilla Gravosa según la S.U.C.S, ó A-7-6 según la clasificación AASHTO, de color amarillento, con un elevado índice de plasticidad (IP=43%), y un límite líquido de 71%; con un alto contenido de partículas finas por el orden del 51%, con un 16% de arenas y un 33% de partículas gruesas, con un tamaño máximo de 3/4". Esta agrupación se encuentra a una profundidad promedio de entre 0.25 y 1.00 metro.

En el sondeos Sm-17, también se encontró una agrupación de suelo con características de una arcilla limosa según S.U.C.S, ó A-7-6 según la clasificación AASHTO, con un índice de plasticidad (IP=15%), y un límite líquido de 54.2%; con un alto contenido de partículas finas de 59.7%, con un 35.3% de arenas, y un 5% de gravas. *Esta agrupación se encuentra* a una profundidad promedio de entre 0.60 y 1.00 metros.

Suelos A-2-5

En el sondeo manual Sm-8 está formado por el estrato de terracería a una profundidad entre 0.00-0.24, clasificado como grava limosa según S.U.C.S, Y A-2-5 según la AASHTO, con un índice plástico de 9% y límite líquido de 59.3%. La granulometría está compuesta por 81.4 % de grava, 16.2% de arenas y 2.4 de partículas finas.

Mientras que en el Sm-12 el estrato bajo la terracería está clasificada como una arena limosa según la S.U.C.S, y A-2-5 según la AASHTO, con un porcentaje de arena de 71.9%, y 28.1% de partículas finas sin presencia de partículas gruesas.

Suelos A-4

En los sondeos Sm-9, Sm-11, Sm-13, Sm-14, y Sm-15, se encontró un suelo con características de un material limo arenoso según la S.U.C.S, ó A-4 según la clasificación AASHTO, de color negro, con un índice de plasticidad de 3%, 4%,

9.6%, 2%, y 4% respectivamente y un límite líquido de 23%, 28%, 52.8%, 25%, y 36% con un alto contenido de partículas finas por el orden de 40%, 57%, 40.1%, 8%, y 37%, con un 58%, 37%, 32.3%, 80%, y 63% de arenas y un 2%, 6%, 27.6%, y 12% de partículas gruesas. Esta agrupación se encuentra a una profundidad promedio de entre 0.00 y 1.00 metro.

III.5 Análisis de Resultados

Mediante el análisis de las muestras recolectadas en el sitio del estudio, el diseño de pavimento se llevará a cabo tomando como base para análisis el estrato de suelo inferior a la terracería, de esa manera podremos verificar si la capa de terracería existente es suficiente para soportar todo el tráfico que pasará por la vía, o si será necesario mejorarla o aumentar su espesor.

La agrupación de suelo encontrado bajo la terracería en los sondeos Sm-1, Sm-2, Sm-3, Sm-5, Sm-6 corresponde a una arena limosa con presencia de grava ó A-2-4, de plasticidad media; en los sondeos Sm-10, Sm-12, y Sm-15, formados por una grava limosa con presencia de arena ó A-2-4, de plasticidad media. En los sondeos Sm-7, y Sm-17, encontrada una grava arcillosa con arena ó A-1-a, y una grava limosa con arena ó A-1-a, respectivamente ambas de media plasticidad, en los sondeos Sm-4, Sm-8 y Sm-16 se encontraron arcillas clasificadas como A-7-5 y A-7-6 de alta plasticidad , y a partir de sus características y valores de CBR, se llevará a cabo el diseño estructural del pavimento.

III.6 Valoración del material que conforma la terracería.

En base a resultados de los análisis de laboratorio se conoce que el material de terracería es una Arena Limosa con presencia de grava ó A-2-4 (0); pero también tenemos suelos inestables como son los A-7-5 y A-4 respectivamente por tanto se hizo una valoración de las características de estas muestras con lo establecido en la sección II del Artículo-1003.23 de la NIC-2000, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular, después de colocado y compactado ,(Ver tabla N°13, pág33),

obteniendo como resultado que el material no cumple los requerimientos mínimos, por tanto será necesario estabilizar con cemento para su utilización en la estructura de pavimento del proyecto.

III.7 Sondeos de los bancos de materiales.

Para identificar los volúmenes de materiales disponibles con las características geotécnicas adecuadas, se realizaron los estudios de los bancos de materiales para determinar si pueden suplir las necesidades del proyecto en este aspecto.

Se extrajo muestras del banco de préstamo N° 1, ubicado a 8 km del proyecto se considera solo este banco, ya que es el más cercano y el resto se encuentra a tal distancia que encarecerían los costos del proyecto.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio (ver tabla N°21, pag.38), el material de este banco está compuesto por una arena gravosa con limo, color gris claro, clasificada según la AASHTO como A-2-5. El límite líquido de 46% e índice plástico de 7%. Sus partículas que pasan el tamiz N° 4 son de 65% y el tamiz N° 200 son de 16%. Su peso volumétrico seco es de 1650 kg/m³, la humedad optima de 18.7% y su peso volumétrico seco de 1168 kg/m³. Como no cumple con las especificaciones de las NIC-2000 sección 1003.09 (a y b) y 1003.23 II (b), para utilizar como base se propone estabilizar con cemento para mejorar sus capacidad de resistencia CBR y propiedades mecánicas.

Tabla N°16: Especificaciones para materiales de Base según NIC-2000

N°	Propiedad	Especificacion según Normas NIC 2000	Metodologia
1	Limite liquido	max 25%	AASHTO T 89
2	Indice plastico	max 10%	AASHTO T 90
3	Desgaste, Los Angeles	máx. 50%	AASHTO T 96
4	CBR 95%	min 80%	AASHTO T 180
5	Intemperismo acelerado	max 12%	AASHTO T 104

Fuente: NIC-2000 sección 1003.09 (a y b) y 1003.23 II (b)

III.8 CBR de Diseño

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO 93.

El CBR se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo, y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra patrón de piedra triturada (Trujillo, 2013).

Según el valor más difundido para la determinación del valor de la resistencia del diseño (CBR de diseño para la subrasante), se recomienda utilizar un valor total percentil de acuerdo al total de ejes ESALs equivalentes que se muestran a continuación:

Tabla N°14: Límites para la selección de resistencia

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%
$> 10^6$	87.5%

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Fonseca Montejo. Segunda Edición 2001. Página 68.

El estudio de tráfico nos refleja un tránsito para el carril de diseño de 105,215 lo cual se detalla en el **Capítulo II. Estudio de Tráfico**, por tanto el percentil que se usará es el 75%.

La profundidad de la subrasante será de 0.30 m, ya que a esta profundidad encontramos el estrato inferior a la capa de terracería existente.

A continuación se muestra el cálculo del CBR de diseño para la sub rasante.

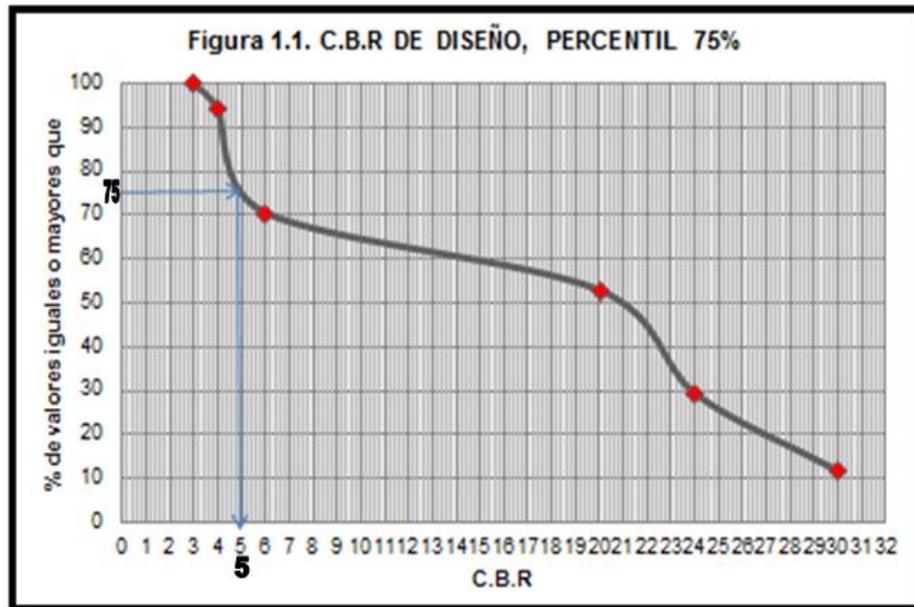
Tabla 17. Valores y porcentajes de CBR de la sub rasante.

CBR	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	%
3	17	100
4	16	94.11
6	12	70.58
20	9	52.94
24	5	29.41
30	2	11.76

Fuente: Elaboración propia.

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

Gráfica N° 17: Porcentajes de CBR vs Porcentajes de valores



Fuente: Elaboración propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% para la subrasante obtenemos el **CBR DE DISEÑO.....5**

Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

III.8 Estabilización de la base con cemento.

La estabilización de suelos es una técnica cuyo fin es modificar sus características mediante la incorporación de un conglomerante (cal ó cemento) para permitir su aprovechamiento. Esta técnica nos permite mejorar las propiedades mecánicas del suelo, así como su capacidad de soporte.

Se escogió un mejoramiento de suelo con cemento ya que el material de banco no cumplía con las especificaciones requeridas para base además es el método más utilizado en el país, por tanto se tiene una mayor experiencia trabajando con cemento, y los resultados observados son muy buenos.

Según la dosificación de suelo-cemento proporcionada por las pruebas de laboratorio (tabla N°18 anexos capítulo III pág. 3), la opción más óptima es usar una dosificación de 5% de cemento con una resistencia última a la compresión de 27.1 Kg/cm² ya que es mayor al mínimo establecido por las normas **NIC-2000 sección 1003.23-II.d**, que especifica que después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia última a la compresión de por lo menos, **1800 KN/m², que equivale a 19 Kg/cm²** medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio, con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180) y el material tratado deberá tener un Índice de Plasticidad menor de 6 y un Módulo de Plasticidad menor de 250.



Capitulo IV

IV.1 Diseño de Pavimento.

El diseño de Pavimento articulado consiste en determinar los espesores de cada capa que integran la estructura del mismo basándose en obtener un número estructural del pavimento que pueda soportar el nivel de carga esperado.

La capacidad estructural del pavimento articulado depende de la habilidad de cada capa para transferir, distribuir y reducir la intensidad de los esfuerzos antes de que lleguen a la siguiente capa o a la sub-rasante.

En Nicaragua se utilizan 4 tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfáltica, de concreto y adoquinado. Debido a su fácil trabajabilidad y otras características se eligen adoquines de hormigón en este estudio. En todo caso resulta una alternativa económica y de fácil mantenimiento.

El cálculo de espesores del pavimento articulado se realizara de acuerdo al Método desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials correspondiente a la versión de 1993 (AASHTO, 1993), mediante el programa computarizado: "Pavement Analysis Software", Pavement Design and Analysis, versión 3.3.

IV.2.- Variables de Diseño a considerarse en el Método AASHTO – 93.

IV.2.1.- Variables en Función del Tránsito.

IV.2.1.1.- Factores Equivalente de Carga (FE_i):

Una carga estándar para diseño de pavimentos articulado de carreteras y calles es el eje de 8.2 Ton. (18,000 LBS). El efecto de cargas diferentes a esta se tiene en cuenta para el diseño aplicado los llamados Factores de Equivalencia de Carga por Ejes, los cuales se obtienen en base a los resultados de AASHTO Road Test.

IV.2.1.2.- Método de diseño

El diseño con este modelo está basado primordialmente en identificar un “número estructural SN” para el pavimento articulado del tramo en estudio que pueda soportar el nivel de carga solicitado, la determinación de este valor también se puede encontrar haciendo uso de ábacos o de fórmula, la única diferencia radica en la precisión. Siendo el nomograma que es más rápido pero de poca precisión.

La ecuación utilizada para obtener el SN se expresa de la siguiente forma:

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

Donde:

A_i = Coeficiente estructural de la capa i, el cual depende de las características del material con que aquella se construya.

D: Espesor propuesto de la capa i en pulgadas.

M: Coeficiente de drenaje.

Esta ecuación no tiene una única solución, existen muchas combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, no obstante se dan normativas tendientes a dar espesores de capas que puedan ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes.

IV.2.1.3 Cálculo de los ejes estándares equivalentes de diseño (esal's, equivalent standard axial load)

Definiremos como ESAL'S de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18,000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del Factor de Equivalencia de Carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (ver tabla N° 11 pagina 24).

Tal como se muestra en la tabla N°12 de la página 25 el ESAL'S de diseño es de **105,215**.

Para el análisis de las cargas a las que será sometido el pavimento tomaremos como base los resultados obtenidos en el estudio de tránsito (descrito en el capítulo II), así como de la siguiente consideración:

IV.2.1.4 Factor de equivalencia de carga (factor esal's)

El factor de equivalencia (factor daño) de las cargas está en función de su intensidad y de la configuración de los ejes (sencillos, dobles o triples).

Los ejes acumulados por cada tipo de vehículo (W_{18}) se estiman con la siguiente fórmula:

$W_{18} = T_d \times \text{Factor ESAL'S}$

El factor ESAL'S es obtenido haciendo uso de la tabla de la A.A.S.H.T.O., para una serviciabilidad final (P_t) de 2.0, y asumiendo un número estructural (SN) de 5.

IV.3.1.- Peso por ejes.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) hace uso de medidas que regulan la cantidad de carga por ejes, esto debido a la gran cantidad de vehículos pesados. Los pesos de cada eje para los diferentes tipos de vehículos (ver anexos capítulo IV, Hoja XV de anexos.)

IV.3.2. Confiabilidad (R).

Se entiende por confiabilidad de un proceso de diseño y comportamiento de un pavimento, a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportara satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Para el diseño se usara una **R =80%**. Porque es una carretera rural.

Tabla N°27

NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACION FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO POR LA AASHTO PARA CARRETERAS
Carreteras Interestatal o Autopista	80-99.9
Red Principal o Federal	75-95
Red Secundaria o Estatal	75-95
Red Rural o Local	 50-80

Fuente: Manual de Normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA 2001)

IV.3.2.1.- Desviación Estándar (So).

La desviación estándar del sistema toma en cuenta las variaciones en las ecuaciones, las mediciones y los materiales. Se selecciona un nivel de confiabilidad para determinar conque confianza se espera que el pavimento dure el periodo de tiempo para el que fue diseñado.

Tabla N° 28

DESVIACION ESTANDAR (So)	
Condición de Diseño	Desviación estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento(sin error de trafico)	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación de trafico	0.35-0.50

Fuente: Diseño de Pavimentos- AASHTO 93

Los valores de desviación estándar (So) desarrollados en el **AASHTO Road Test** no incluyeron error por el transito. El método recomienda que para pavimentos flexibles la desviación estándar este en un rango de **0.40 a 0.50**.

Para este estudio se asume un valor promedio de **So = 0.45**.

IV.3.2.2.- Serviciabilidad.

Se define como la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos. El índice de serviciabilidad varía de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo).

El método **AASHTO – 93** predice el porcentaje de pérdidas de serviciabilidad (Δ PSI), para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI), mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

La pérdida de serviciabilidad (**Δ PSI o Present Serviciability Index**) es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Dónde:

P_o = Serviciabilidad Inicial, es la condición inmediata después de la construcción.

P_t = Serviciabilidad Final, es la condición final que tendrá el pavimento de fallar.

Los valores que la AASHTO recomienda dependiendo del tipo de camino son los Sigüientes:

Índice de Serviciabilidad Inicial:

Para pavimentos flexibles..... $P_o = 4.2$
para pavimentos rígidos..... $P_o = 4.5$

Índice de serviciabilidad final:

Para autopista..... $P_t = 2.5$ ó 3.0
Para vías de primer orden..... $P_t = 2.5$
Para vías secundarias. $P_t = 2.0$

Para el presente diseño se utilizara:

Para pavimentos flexibles..... Po = 4.2

por tratarse de una vía secundarias..... Pt = 2.0

Por lo tanto: el valor de la pérdida de la serviciabilidad para nuestro diseño es:

$$\Delta \text{ PSI} = 4.2 - 2.0$$

$$\underline{\Delta \text{ PSI} = 2.2}$$

IV.4.- Características de los Materiales que Conforman el Pavimento.

IV.4.1.- Modulo de Resiliencia (MR)

La base para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método es el Modulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR.

El valor del Módulo Resiliente para sub-rasante se obtiene por medio de la ecuación

MR = B*CBR; Si CBR < 7.2% B = 1,500. Por medio del CBR promedio, se escogieron los valores de CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca (DMS) del Proctor Modificado (AASHTO T-180). En Nuestro caso el CBR calculado por medio del percentil 75 fue de 5% y Un valor de MR=7,500 PSI obtenido aplicando la ecuación de correlación $Mr=1500*CBR$ mostrada en la tabla – 29.

TABLA 29: CALCULO MODULO RESILIENTE

Valores de C.B.R	Consideración.
C.B.R <7.2%	Mr = 1500 * CBR
C.B.R > 20%	Mr = 4326 * Ln(CBR) + 241

Fuente: Manual de Diseño de pavimentos AASHTO 93. Pag.92 del manual.

Utilizamos la primera ecuación del cálculo de $MR = CBR < 7.2\%$,

$$MR = 1500 \cdot CBR$$

$$MR = 1500(5)$$

$$MR = 7,500$$

El Modulo de Resiliencia de la Base se encuentra por medio del nomograma la cual es una capa mejorada con suelo cemento, obteniendo como resultado un valor de $MR = 5.8 \times 10^5$

IV.5. -Drenaje: (m_i)

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

El coeficiente de drenaje se expresa en la fórmula del número estructural por medio del drenaje (m_i) que toma en cuenta las capas no ligadas. (Ver, Tabla N°30).

TABLA 30: Coeficiente de Drenaje para Pavimentos Flexible.

Coeficiente de Drenaje (m)

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 – 0.80	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.95	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993.

Debido que las muestras sometidas a un cien por ciento de saturación El valor asumido en nuestro diseño es de $m=1$

IV.6 Coeficientes Estructurales de Capa (a_1 , a_2 y a_3)

Los Coeficientes Estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite 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.

IV.6.1 Carpeta de rodamiento: (a_1)

El Coeficiente estructural a_1 es la superficie de Rodadura, en este caso este coeficiente no es calculado puesto que ya está dado por el manual de Diseño SIECA, donde es $a_1:0.45$

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.45 \\ D_1 &= 4 \quad \text{Plg} \\ SN_1 &= a_1 \times D_1 = 1.8 \end{aligned}$$

Nota: Este valor no se corrige por que el espesor del adoquín no varia .

D_1 : este valor no se corrige porque el espesor del adoquín ya está dado por el Manual de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA página 107

IV.6.1.2 Coeficiente estructural a_2 , Módulo Resiliente, para Base:

Como el material del banco de préstamo a utilizarse no cumple con las especificaciones de la AASHTO, se procedió a estabilizar el material con Cemento.

Los 27.1 KG/CM² los convertimos a Lbs./Pg² para poder graficar en el nomograma de Bases tratadas con cemento. Obteniendo 384.64 lb/pg²

Figura-1: Nomograma para el cálculo de a₂ y MR para la Base estabilizada con suelo cemento

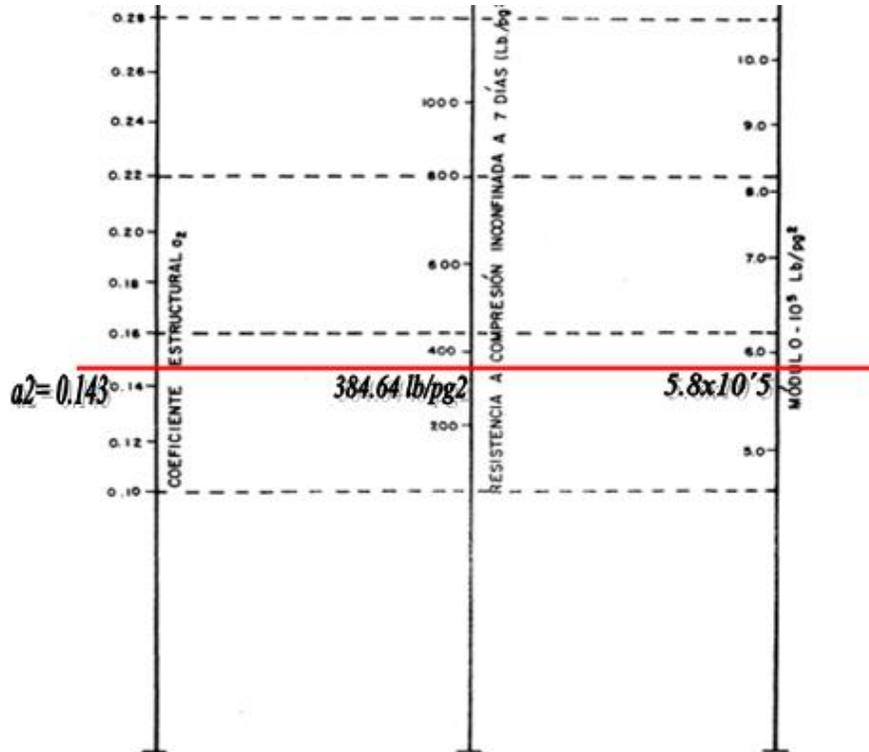


Figura 5.30 - Variación de a₂ en bases tratadas con cemento para diferentes parámetros de resistencia.

A través del nomograma obtuvimos un a₂=0.143, y Mr base: 5.8 x10⁵

Como se explica en el capítulo estudio geotécnico la **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS, CALLES Y PUENTES. NIC 2000 establece ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS, CALLES Y PUENTES. NIC 2000 sección 1003.23-II.d**, que especifica que después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia última a la compresión de, por lo menos, **1800 KN/m²**, que equivale a **19 Kg/cm² que equivale a 270 PSI** medida después de 7 días por lo que el diseño de suelo cemento al 5% (ver Anexo Tabla n°18) y una resistencia a la compresión de 384.64 psi cumple con las especificaciones.

3.1.1. Número Estructural Requerido:

El Número Estructural de cada Capa de la Estructura de Pavimento son empleados en el método de AASHTO 93 para la carpeta de rodamiento utilizaremos $SN_1=1.8$, Para la base debemos de conocer el valor de D_2 el cual se calculará mediante el despeje de la siguiente ecuación $SN_{req}=a_1 \cdot D_1 \cdot m_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2$ el cálculo mediante el nomograma del $SN_{req}=3.1$ se muestra en la figura-3 ya que es una base tratada con suelo cemento.

Utilizando la gráfica de diseño para pavimentos flexibles, basada en valores promedios de los diferentes datos de entrada

Valores a Utilizar:

	ESAL=105,215
	MR=7,500
R=80	MR= 5.8 x 10⁵
	Δ PSI = 2.2
	S₀ =0.45

Figura-3: Calculo del Número Estructural de diseño SNreq para la subrasante.

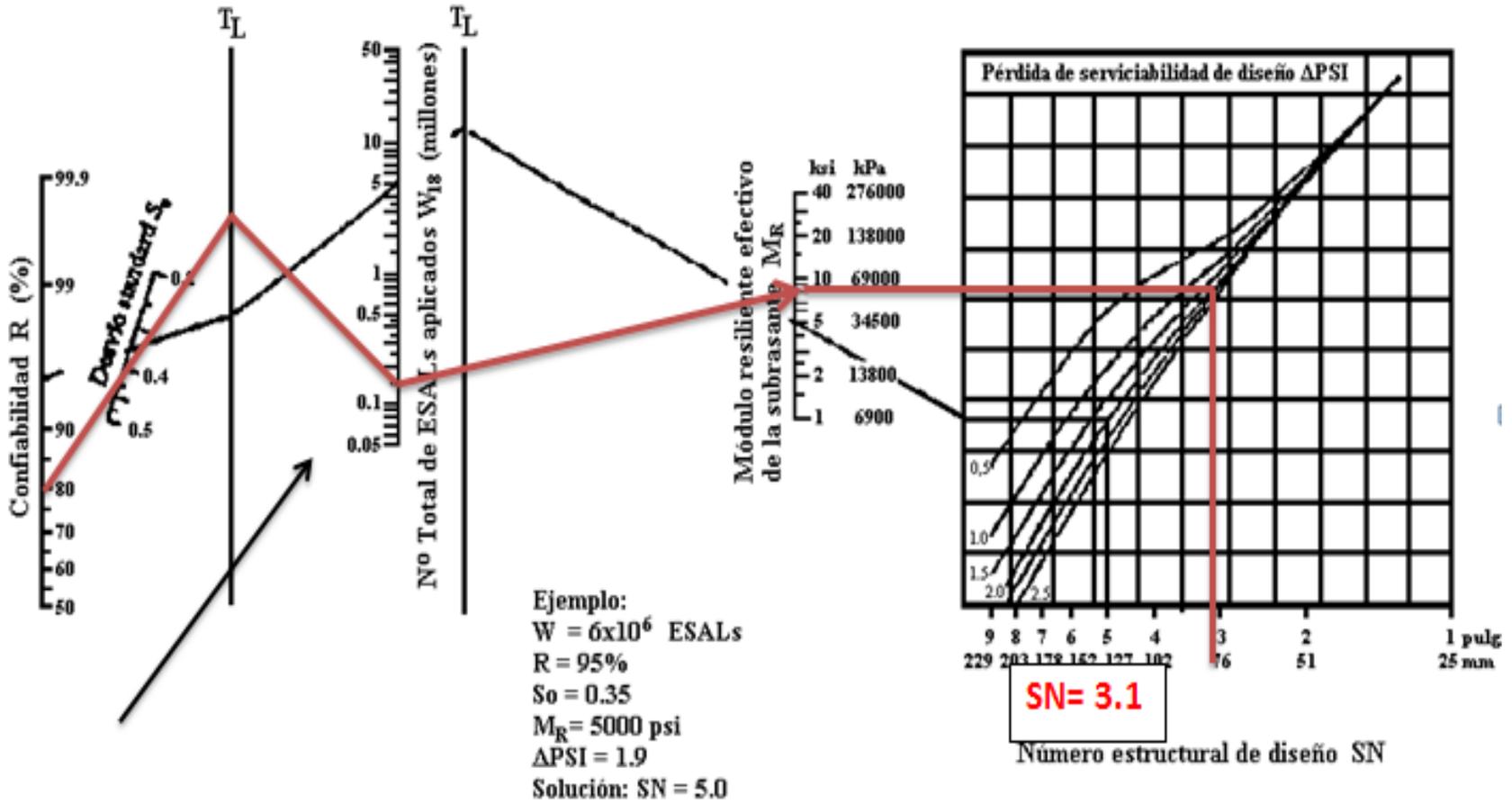


Figura-2: Calculo del Número Estructural de diseño SNreq para la subrasante

El número estructural requerido según los nomogramas es de 3.1

Cálculo del espesor D2 de la base mejorada con suelo cemento.

$$SN_{\text{subrasante}} = a_1 \cdot D_1 \cdot m_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2$$

$$\begin{aligned} m_2 &= 1 \\ a_2 &= 0.143 \\ m_1 &= 1 \\ D_1 &= 4 \\ a_1 &= 0.45 \\ S_{\text{req}} &= 3.1 \end{aligned}$$

Despejando

$$D_2 = \frac{SN_{\text{subrasante}} - a_1 \cdot D_1 \cdot m_1}{a_2 \cdot m_2}$$

$$D_2 = 9.09 \text{ Pulg}$$

En resumen al diseño de pavimento obtuvimos un espesor de 10 pulgadas, una base que consideramos aceptable ya que cumple con la base mínima establecida en el Libro de Ingeniería de pavimentos para bases estabilizadas suelo cemento es de 6"., mostrada a continuación.

Tabla-31: Espesores mínimos

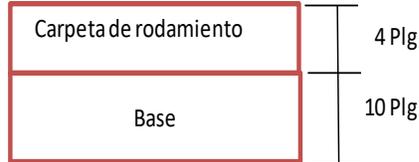
Espesores mínimos por razones constructivas	
Tipo de mezcla	Espesor mínimo (cm) Por cada capa a construir
Concreto asfáltico	2,5 veces tamaño nominal máximo del agregado en la mezcla
Base granular	10,0
Sub-base granular	10,0
Suelo-cemento	15,0

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras

IV.7 Cálculo de los espesores del pavimento

A continuación se presenta los resultados del paquete estructural diseñado:

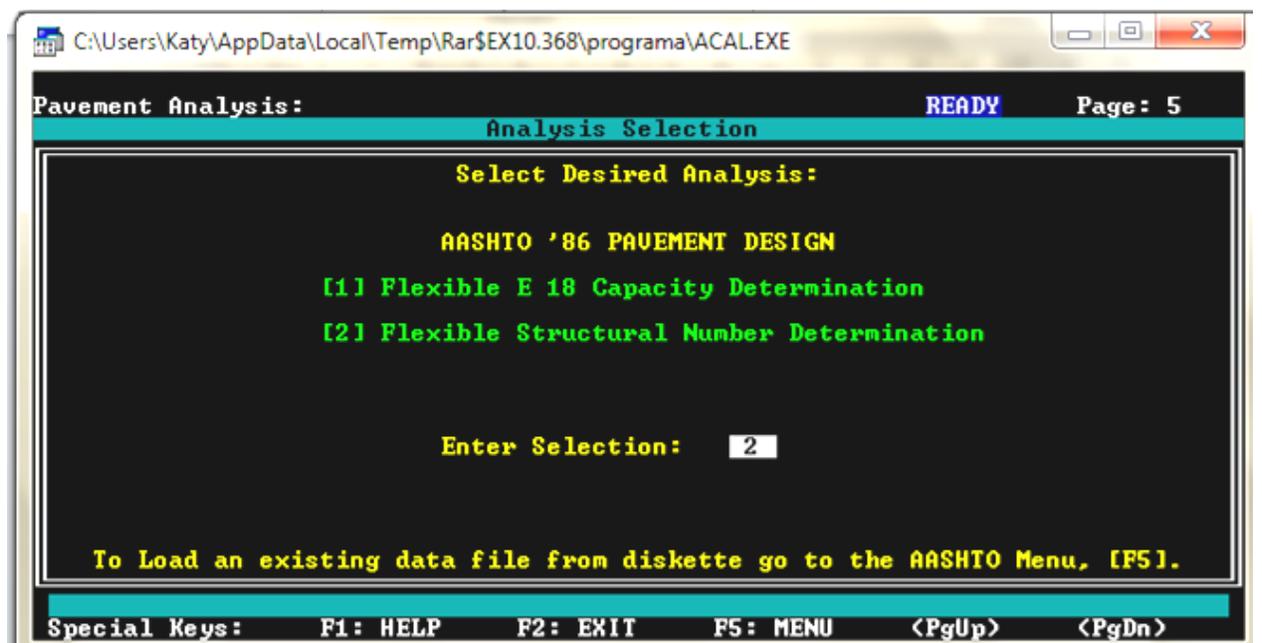
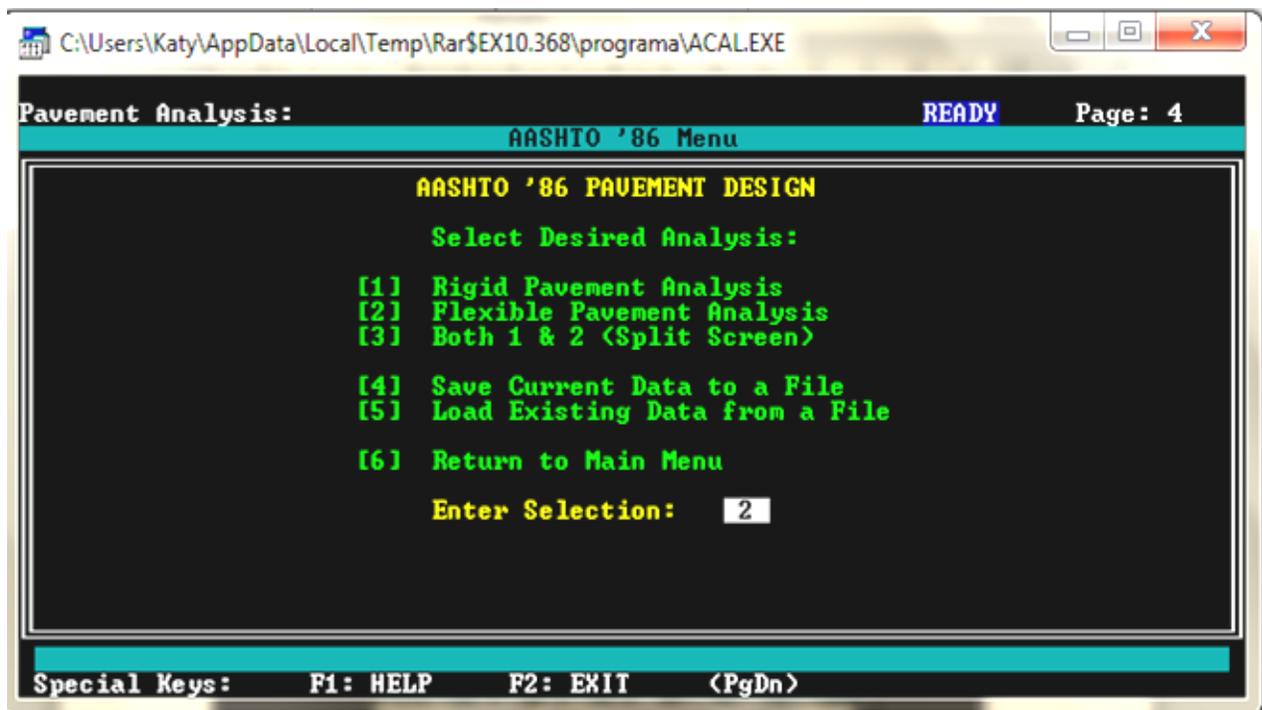
Esesor de la carpeta de rodamiento(Adoquin)=	4.00	→	10 cm
Esesor de la Base (mejorada con cemento)=	10.00	→	25 cm



IV.7 .1 Resumen de datos para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3

Variables	Valores
ESALS	105,215
Confiabilidad	80%
Desviación estándar	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2
Coeficiente de drenaje	1
Coeficiente capa a1	0.45
Coeficiente capa a2	0.143

Fuente: Elaboración Propia.



```

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

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's          105,215
[2] Reliability             80.00
[3] Overall Deviation      0.45

[4] Soil Resilient Mod.    7,500.0
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.00

Flexible Structural Number 2.19

Press Enter to Continue or <↑↓←> to Edit your Inputs

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

```

Espesores Finales

Figura-8: Determinación del SN requerido

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Pavement Analysis: Flexible Thickness Determination READY Page: 7

Layer Number      Layer Coefficient      Drainage Coefficient      Layer Thickness      a(i)*Cd*t      Thickness Needed
=====          == a (i) ==          == m (i) ==          === t ===          =====
Upper
2                 0.45                 1.00                 4.00                 1.80
3                 0.14                 1.00                 10.00                1.43
4
5
6

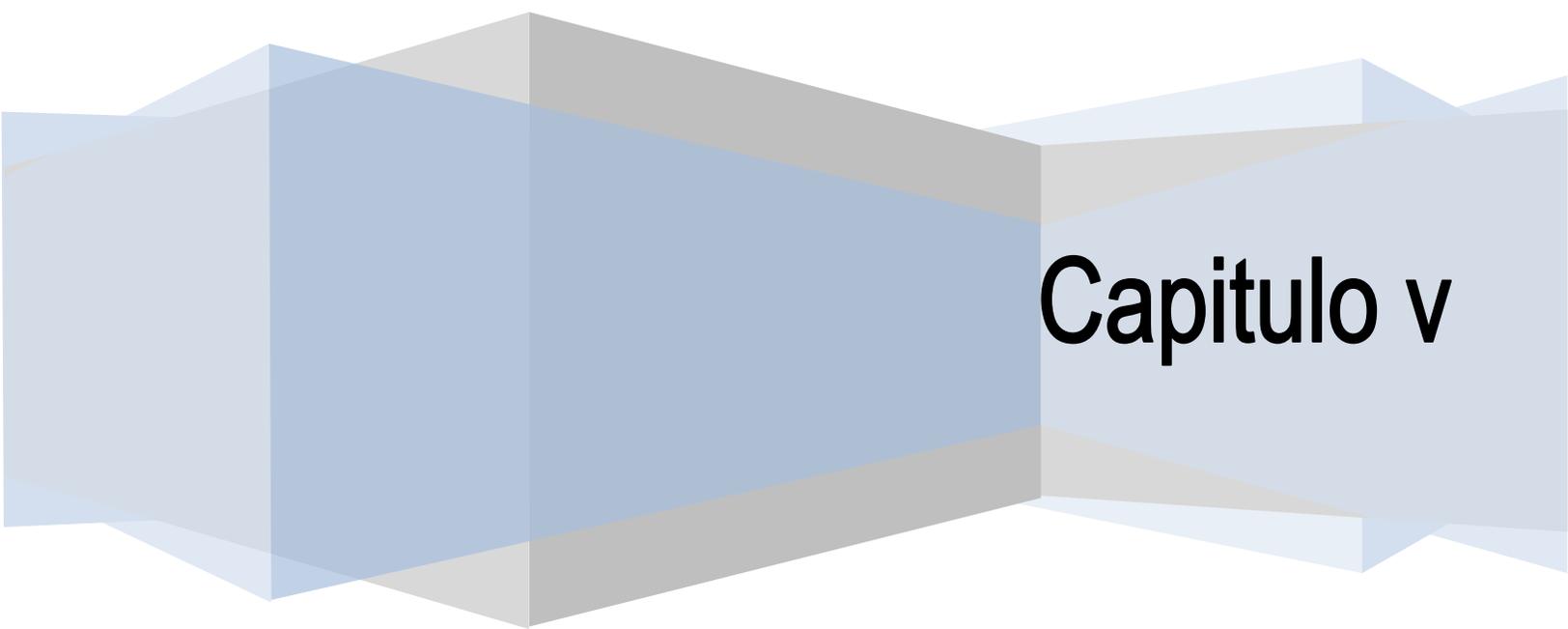
                                     =====
                                     δ 3.23
SN Required = 2.19 <Ok>

Press [F10] to Clear an Input & <PgDn> to Continue when finished.

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

```

Según el programa AASHTO-93 el SN requerido es de 3.01 y el SN requerido es de 3.23 lo cual significa que esta ok.



Capitulo v

V.1 CONCLUSIONES

Luego de recopilar, revisar, analizar y procesar la información requerida para el desarrollo de los objetivos propuestos en este trabajo se concluye que:

1- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos de los cuales el 65% corresponde a esta categoría. Dentro de los factores de diseño se encuentra la tasa de crecimiento vehicular del 3.00 %, obteniendo un ESAL´s de **105,215**

2. De acuerdo a los resultados analizados en el estudio de suelos del tramo, los suelos varían desde A – 1 – b hasta A – 7 – 5, con CBR de 3% a 30% por lo que se concluye que este material no es apto para utilizarse como base y subbase debido a que sus características no cumplen con las normas establecidas por la AASHTO para tal finalidad.

El material necesario para estas capas se extraerá únicamente del banco de préstamo N°1 “El encino” con un CBR de diseño de 9.6%. Este dispone de material ya sea en su estado natural o mezclado con cemento en proporción de 5%, apto para ser usado en la capa de base del proyecto

3. Una estructura de pavimento constituida por 2 capas: la de rodadura con adoquín, y la base granular estabilizada con cemento. Debido a que el material necesario para esta se extraerá de un solo banco de préstamo, no se propone subbase. Espesores calculados

- Una capa de rodadura de 4 Pulgadas equivalentes al adoquín.
- Una capa de base 10 Pulgadas.

V.2 Recomendaciones.

Con el objetivo de garantizar que la infraestructura vial propuesta, cumpla con la vida útil, se recomiendan las siguientes especificaciones técnicas:

1- En la elaboración de la capa base, se debe constatar que el material no este contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura y a su vez se recomienda realizar una estabilización con suelo cemento, ya que el banco de material no cumple con las normas mínimas para base granular establecidas en la Normativa-NIC2000.

2- Utilizar el Banco N°1 El encino para material de base que se encuentra mucho más cerca del sitio de la obra lo que implica menores costos de transporte del material.

3- Establecer medidas de control tales como basculas y señalizaciones para la circulación vehicular sobre la vía en estudio, con el objetivo de evitar que vehículos fuera de diseño (que exceden el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.

4- Se verifiquen las proporciones indicadas del material homogenizado para obtener los resultados esperados, que cumpla con la resistencia de 27.1 KG/CM² para la cual se ha diseñado.

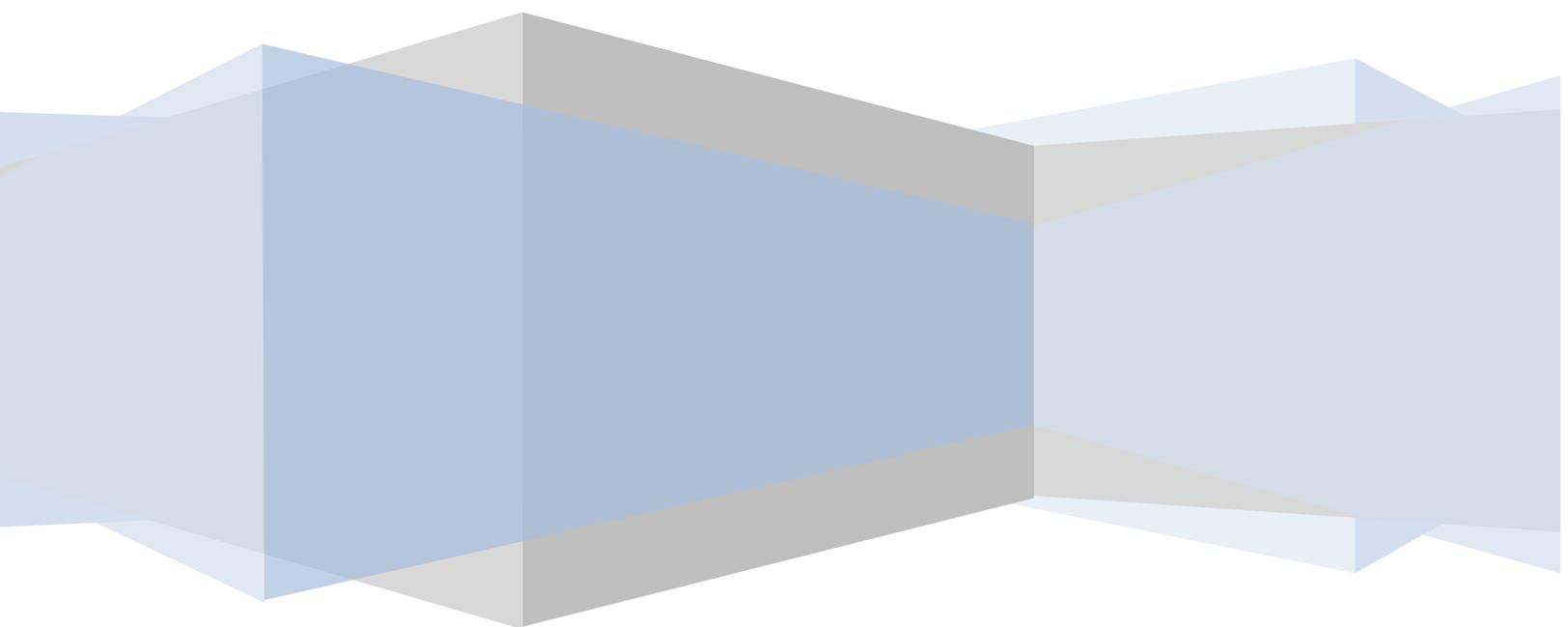
5- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida tales como adoquines de 3500 psi.

6- Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. Recomendamos el espesor de esta capa, de 5 centímetros.

V.3 Referencias Bibliográficas

- Asociación Americana de Administración de Carreteras y Transporte. (93) Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO-93.
- Ing Jorge Coronado. (2002). Manual Centro Americano para Diseño de Pavimento (Sistema de Integración Económica Centroamericana-SIECA).
- Juárez Badillo, R. r. (2005). Mecánica de suelo. En Fundamentos de la Mecánica de Suelo. México: IIMUSA S.A. de C.V
- Alfonso Montejo Fonseca. Ingeniería de Pavimentos para Carretera. 2da Edición, año 2001.
- MTI, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes. NIC 2000. Año 1999.
- PAVEMENT DESIGN & ANALYSIS: Created by Thomas P. Harman, M.S. C.E In Conjunction with Randell C. Riley. P.E & William Feltz. F.E. American Concrete Pavement Association.

ANEXOS



Anexo CAPITULO II

<i>Estructura y Carga de Vehículo por Tipo de Eje.</i>			
<i>Tipo de Vehículos</i>	<i>Peso X Eje(Ton.met)</i>	<i>Peso X Eje (Kips)</i>	<i>Tipo de Eje</i>
Autos	1.00	2,200.00	Simple
	1.00	2,200.00	Simple
Jeep	1.00	2,200.00	Simple
	1.00	2,200.00	Simple
Camionetas	1.00	2,200.00	Simple
	2.00	4,400.00	Simple
Liv. 2-5 ton	2.00	4,400.00	Simple
	4.00	8,800.00	Simple
McBus<15 pas	2.00	4,400.00	Simple
	4.00	8,800.00	Simple
MnBus 15-30 pas	4.00	8,800.00	Simple
	8.00	17,600.00	Simple
Bus	5.00	11,000.00	Simple
	10.00	22,000.00	Simple
C2 5 +ton	5.00	11,000.00	Simple
	10.00	22,000.00	Simple
C3	5.00	11,000.00	Simple
	16.50	36,300.00	Doble
Tx-Sx<=4e	5.00	11,000.00	Simple
	9.00	19,800.00	Simple
	16.00	35,200.00	Doble
Tx-Sx>=5e	5.00	11,000.00	Simple
	16.00	35,200.00	Doble
	16.00	35,200.00	Doble
Cx-Rx<=4e	4.50	9,900.00	Simple
	9.00	19,800.00	Simple
	6.50	14,300.00	Simple
	6.50	14,300.00	Simple

Fuente: Diagrama de cargas Permisibles Ministerio de Transporte e
Infraestructura MTI Nicaragua.

Anexo CAPITULO III

ESTABILIZACION CON CEMENTO PÓRTLAND.

La estabilización de suelos con cemento es una de las más utilizadas en el presente. Consiste en una mezcla de suelo pulverizado y proporciones determinadas de cemento Pórtland y agua, compactadas hasta una elevada densidad y protegidas contra las pérdidas de humedad durante un período de curado específico la mezcla previamente definida, debe cumplir con requisitos mínimos de resistencia y durabilidad.

NORMA NIC-2000 SECCIÓN 1003.23-II.d

(d) Materiales Naturales para Base Estabilizada con Cemento.

Los materiales a ser tratados deberán cumplir con los siguientes requisitos:
Gravas y Arenas Gruesas Arcillosas:

- Tamaño máximo..... 2 - 40 mm
- % que pasa por el tamiz de 0.075 mmmáx. 35%
- Coeficiente de uniformidad.....máx. 10 %
- Índice de Plasticidad.....máx. 25%

- Módulo de Plasticidad
 - Método de mezcla en el sitio.....máx. 1500
 - Método de planta estaciónmáx. 700

- CBR al 95% de AASHTO Modificado(AASHTO T - 180) y 4 días de saturación.....mín. 30%

Criterios para el diseño de mezclas:

Los ensayos determinan tres factores fundamentales para los suelos tratados con cemento:

- 1.- La cantidad de cemento necesario para endurecer adecuadamente al suelo.
- 2.- la cantidad de agua que se deberá agregar.
- 3.- el peso específico a que deberá compactarse el suelo-cemento.

Para modificar las propiedades del suelo, el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo. En cambio para obtener una estabilización más rígida, el porcentaje de cemento varía de 5 a 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, ya que resulta muy importante que éstas y la carpeta presente un modulo de elasticidad semejante y con ello se evita un probable fracturamiento de la carpeta.

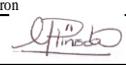
La proporción de la mezcla, para obtener la durabilidad y resistencia requeridas, se determina por un procedimiento de tanteo. Se preparan muestras del suelo con diferentes cantidades de cemento y se compactan a la humedad óptima por el método proctor Estándar.

Tabla N°18: Resultados de resistencia a la compresión a materiales estabilizado.

Grado de compactación Proctor Standard	Porcentaje Suelo cemento	Resistencia a la compresión 7 días (kg/cm ²)	Limite Liquido	Índice Plasticidad	Limite Liquido Estado NATURAL	Índice Plasticidad Estado Natural
95%	3%	12.7	40	5	46	7
	5%	27.1	36	3		
	7%	33.1	NP	NP		
100%	3%	19.5	40	5		
	5%	34.2	36	3		
	7%	40.5	NP	NP		

Fuente: Laboratorio ASP Consultores.

Tabla N°19: Informe de pruebas de suelos

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS																		
		Elaborado Por: Pamela Henríquez O.		Elaborado el:		Nombre y Firma de Aprobación: Ing. Mariana Girón 													Fecha Última Versión:	
PROYEC:		Las Sabanas-Chiguagua-El Zapote, departamento de Madriz.																		
LOCALIZACIÓN:		Laboratorio San Lucas				FECHA O PERIODO DE ENTREGA:		05/04/2013												
Resultados de Ensayes de suelos																				
EST.	Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% que pasa por el tamiz												L.L. (%)	I.P. (%)	AASHTO	CBR 95%	Descripción
				3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200					
0+000	1	1	0-0.30				100	93.3	86.7	80.3	75.9	71.5	61.4	53.4	31	35	26.4	A-2-4	24.04	Arenas con componentes arcillosos de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
0+000	1	2	0.30-1.00				100	98	96.4	86.3	74.5	65.5	99	96.2	91.1	82.6	66.4	A-7-5	5.25	suelos arcillosos
0+250	2	1	0.00-0.30				100	92	87.7	78	100	65	42	30	33	39	5	A-2-4	24.08	Arenas con componentes limoso de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
0+250	2	2	0.30-1.00				100	92	90	93	75	45	40	30	27	55	33	A-2-7	10.02	Grava y arena arcillosa
0+500	3	1	0.00-0.25				100		98.6	80.7	65.8	54.1	43.4	30.7	20.3	32.06	5.3	A-2-4	21	Arenas con componentes limoso de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
0+500	3	2	0.25-1.00				100	96.9	87.7	80.7	65.8	54.1	43.4	30.7	20.3	32.1	7.9	A-2-4	20	Arenas con componentes limoso de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
0+750	4	1	0.00-0.22				100	96.9	87.7	80.7	99	60	43.4	30.7	15	36	4	A-2-4	19.05	Arenas con componentes limosos de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
0+750	4	2	0.22-1.00						100	90	82	67	62	54	51	71	43	A-7-6	4.41	Suelos Arcillosos
1+000	5	1	0.00-0.30		100	98	96.4	86.3	74.5	65.5	100	65	31.4	21.4	33	39	2	A-2-4	20	Arenas con componentes limosos de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
1+000	5	1	0.30-1.00				100	92	90	93	75	45	40	30	27	55	33	A-2-7	12.94	Grava y arena arcillosa

Fuente: Laboratorio ASP Consultores

Tabla N°20: Informe de pruebas de suelos

Resultados de Ensayes de suelos																				
EST.	Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% que pasa por el tamiz												L.L. (%)	I.P. (%)	AASHTO	CBR 95%	Descripción
				3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200					
1+250	6	1	0.00-0.55	100	96.9	92.2	84.6	76.9	57.9	47.6	94	87	12.4	5.9	21		NP	A-2-4	24	Arenas de baja compresibilidad y de plasticidad media, color café.
1+250	6	1	0.55-1.00						100	90	82	67	62	54	51	71	43	A-7-6	5	Suelos Arcillosos
1+500	7	1	0-0.24		100	98	96.4	86.3	74.5	65.5	50.4	36.4	31.4	21.4	12.7	27.1	4.7	A-1-a	35	Gravas limosas de baja compresibilidad. Baja plasticidad
1+500	7	1	0.24-1.00		100	98	96.4	86.3	74.5	65.5	50.4	36.4	31.4	21.4	12.7	27.1	4.7	A-1-a	30.04	Gravas limosas de baja compresibilidad. Baja plasticidad
1+750	8	1	0.00-0.24		96.93	92.25	84.59	76.94	57.87	47.63	29.83	18.57	12.4	5.9	2.4	59.32	9	A-2-5	20	Gravas y arenas limosas y arcillosas
1+750	8	1	0.24-1.00								99	95	93.1	82.9	65	50	15	A-7-5	4	Arenas de alta compresibilidad, plasticidad media.
2+000	9	1	0.00-0.24								99	96.9	93.1	82.9	65.8	50.6	15	A-7-5	4	Arenas de alta compresibilidad, plasticidad media.
2+000	9	1	0.24-1.00	100	95.8	93.1	87.3	79.3	67.8	60.2	99	98	29.8	19.9	40	23	3	A-4	4	Materiales granulares, gravas limosas color café de baja compresibilidad y de nula plasticidad
2+250	10	1	0.00-0.50	100	95.8	93.1	87.3	79.3	67.8	60.2	46.2	35.2	29.8	19.9	13.1	29.85	7.2	A-2-4	20	Gravas limosas de baja compresibilidad. Plasticidad media.
2+250	10	1	0.50-1.00						100	90	82	67	62	54	51	71	43	A-7-6	4.59	Suelos Arcillosos

Fuente: Laboratorio ASP Consultores

Tabla N°21: Informe de pruebas de suelos

Resultados de Ensayes de suelos																						
EST.	Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% que pasa por el tamiz												L.L. (%)	I.P. (%)	AASHTO	CBR 95%	Descripción		
				3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200							
2+500	11	1	0.00-0.25		100	93	84.3	76.9	64.2	58.5	47.9	37.8	32.6	25.5	19.2	33.6	8.7	A-2-4	21	Gravas limosas de baja compresibilidad. Plasticidad media.		
2+500	11	1	0.25-1.00		100	93	84.3	76.9	64.2	58.5	98	94	32.6	25.5	57	18	4	A-4	6	Suelos limosos		
3+000	12	1	0.00-0.30			100	98.1	94.9	90.5	84.1	61.1	34.8	16.7	7.8	4.4	40	4	A-2-4	20	Gravas de baja compresibilidad. Baja plasticidad		
3+000	12	1	0.30-1.00										99.1	82.1	28.1	52.8	7.17	A-2-5	15	Arena de alta compresibilidad. Plasticidad media.		
3+450	13	1	0-0.45				93.5	91	86.5	84.4	79	72.4	64.3	53.5	40.1	52.8	9.6	A-4	4	Suelos limosos		
3+450	13	2	0.45-1.00			100	98.1	94.6	90.9	87.8	80.3	74	67.3	57.5	46.2	66.1	21.4	A-7-5	6	suelos arcillosos		
3+750	14	1	0.00-0.55			100	98.1	94.9	90.5	84.1	94	88	16.7	7.8	8	25	2	A-4	6	Materiales granulares, gravas limosas color café de baja compresibilidad y de nula plasticidad		
3+750	14	1	0.55-1.00				100	92	90	93	75	45	40	30	27	55	33	A-2-7	13.4	Grava y arena arcillosa		
4+000	15	1	0-0.45	100	96.57	87.07	78.64	65.93	57.73	54.32	45.52	37.78	31.8	24.4	16.6	37.7	9	A-2-4(3)	3	Materiales granulares, gravas limosas color café de baja compresibilidad y de nula plasticidad		
4+000	15	2	0.45-1.00	97.8	91.6	85.7	78.5	68.6	53.5	47.2		100	25.6	16.3	37	36	4	A-4	3	Materiales granulares, gravas limosas color café de baja compresibilidad y de nula plasticidad		
4+500	16	1	0.00-0.55		100	94.39	87.58	82.28	77.18	74.95	68.6	64.8	59.9	54	43.3	53.5	16.6	A-7-5	6	suelos arcillosos		
4+500	16	2	0.55-1.00										99.2	98.7	97.9	93.7	83.1	53.2	19.9	A-7-5	6	suelos arcillosos
4+720	17	1	0.00-0.60		100	97.5	95.47	91.73	87.58	79.25	55.2	41.1	30.5	18.2	10.2	61.67	15.2	A-1-a	30.04	Gravas arcillosas de baja compresibilidad. Baja plasticidad		
4+720	17	2	0.60-1.00										98.56	95	80.5	59.7	54.2	15.2	A-7-6	5	suelos arcillosos	

Observaciones:

LL= Limite liquido I.P= Indice de plasticidad I.G= Indice de grupo N.P= Suelo no plástico

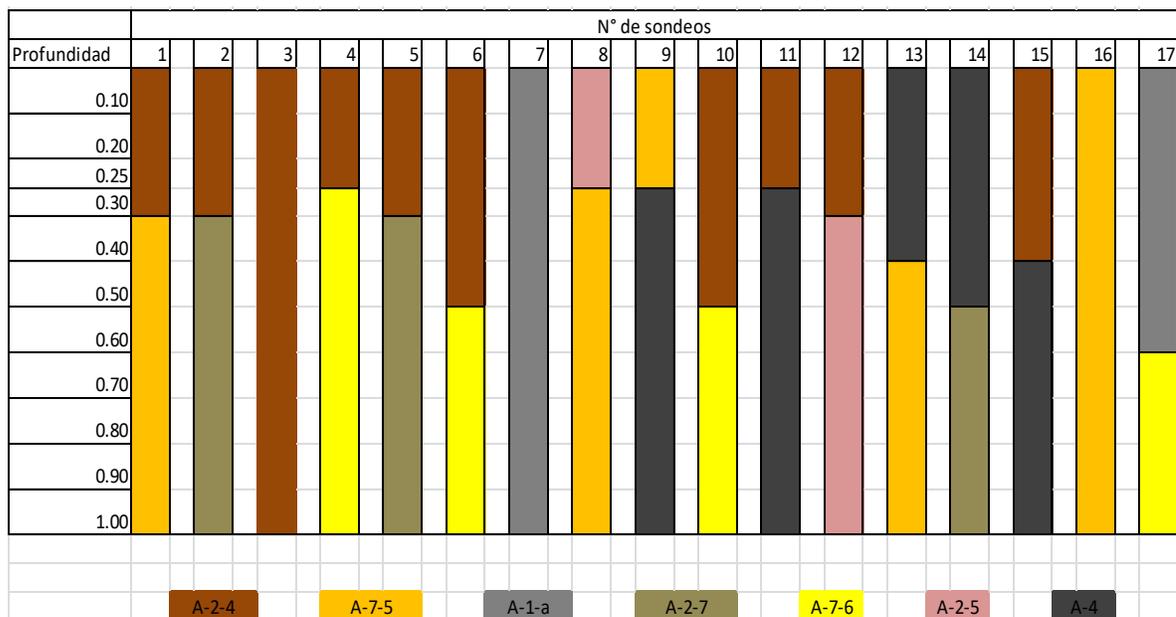
Fuente: Laboratorio ASP Consultores

Tabla N°22 Informe de pruebas de suelos a bancos de materiales

EST.	Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	PVSMAX	HOPT.	Resultados de bancos de materiales																LL (%)	I.P (%)	Clasifica AASHTO	CBR	Descripción
						3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200									
B#1	1	1		1650	18.7				100	99	96	88	81	65	50	29	16	46	7	A-2-5	30.02	Arena Con Grava y Limo, Color Gris Claro.				
B#2	1	1	0.00-1.00			97.22	92.6	86.83	80.02	73.8	67.21		46.88	29.58	20.7	10.6	4.6	NP		A-1-a	69	Fragmentos de piedra, grava y arena.				
B#3	1	1	0.00-0.30					98.1	94.9	90.5	84.1		61.1	34.86	16.74	7.83	4.38	39.99	3.9	A-2-4	37	Grava y arena limosa y arcillosa				
B#3	1	1	0.30-1.00			91.58	85.71	78.51	68.58	53.54	47.15		88	36.29	29.55	25.61	16.35	8.76	38.99	18.87	A-2-6	30	Grava y arena limosa y arcillosa			
Observaciones: LL= Limite liquido I.P= Indice de plasticidad I.G= Indice de grupo N.P= Suelo no plástico																										

Fuente: Laboratorio ASP Consultores

Tabla N° 23: Perfil estratigráfico de suelos las sabanas- Chiguagua.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo CAPITULO IV

Tabla N° 25 factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples ,Pt:2.00

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

Fuente: libro de diseño de pavimento AASHTO-93

Tabla N° 26 factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes dobles ,Pt:2.00

Carga por eje		SN		pulg	(mm)		
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: libro de diseño de pavimento AASHTO-93

Anexo CAPITULO V

Anexo N° 1: Espesores sugeridos

Número de ESAL's	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 cm	10 cm
50,000 - 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía para diseño de pavimentos, AASHTO 93. Tercera Edición. Página 175.

ANEXO FOTOS DEL SITIO DE ESTUDIO

Tramo Las Sabanas –Chiguagua-El Zapote, estado actual del camino.

Inicio del Proyecto. Entrada 0+000.



Est.1+500 tramo Las Sabanas –Chiguagua-El Zapote, estado actual del camino.



Est.3+000