



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Mon
625.8
Z95
2012

**CURSO DE TITULACIÓN:
DISEÑO DE OBRAS VIALES**

TEMA:

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA TRAMO DE 16 KM DE
CARRETERA DE SAN RAFAEL DEL NORTE A SAN SEBASTIÁN DE YALÍ.

**TESINA PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

Elaborado por:

Br. Luisa Amanda Jiménez Narváez
Br. Danny Benjamín Moncada Ramírez

TUTOR:

ING. ISRAEL MORALES

Managua, Nicaragua

Mayo de 2012.

Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a mi Creador, Padre Eterno, mi Compañía, Sustentador de la vida, Proveedor, Pastor, Excelente en Sabiduría y Alentador: Dios Jehová de los Ejércitos, por permitirme culminar una etapa más de mi vida y porque hasta aquí me ha ayudado.

“Tomó luego Samuel una piedra y la puso entre Mizpa y Sen, y le puso por nombre Eben-ezer, diciendo: Hasta aquí nos ayudó Jehová” 1 Samuel 7:12

No puedo dejar de agradecer a mis Padres: Lucio Jiménez Guzmán y Sonia Narváez Salazar, que durante todos mis años han estado conmigo, enseñándome con su ejemplo invaluable valores de amor, respeto, perseverancia, honestidad, y más que todo por sus enseñanzas conforme a la palabra de Dios.

Gracias a toda mi familia, a mis hermanos en Cristo, a mis amistades por sus oraciones, consejos y palabras de ánimo.

Luisa Amanda Jiménez Narváez

Dedicatoria

Quiero dedicar este documento al que cumple sus promesas, al único fiel y perfecto en todo: el Señor Dios todo poderoso. Es para ti, te lo entrego con todo mi corazón. Te amo Padre, Hijo y Espíritu Santo de Dios.

Dedico así mismo este trabajo a mis Padres Lucío Jiménez Guzmán y Sonia Narváez Salazar, por ser los excelentes padres que Dios designó para mi vida, a quienes admiro por su esfuerzo y dedicación para con la Familia que Dios les ha otorgado.

Luisa Amanda Jiménez Narváez

Agradecimiento

Alabad a Jehová, porque él es bueno; porque para siempre es su misericordia. Sal. 118:1

En primer lugar quiero agradecer al Rey de Gloria el Señor Jesucristo, quien me dio sabiduría y entendimiento, para comprender cada una de las materias que tiene esta profesión, por haberme dado paciencia, disciplina, nuevas fuerzas, llevándome de victoria en victoria para la gloria de su nombre y por enseñarme que en él todo es posible.

A mis abuelos Santiago Ordóñez y a la memoria de Elba Jirón Murillo (q.e.p.d), por tan valioso apoyo incondicional, consejos y motivación a terminar mis estudios.

A mis padres Benjamín Moncada y Luz Marina Ramírez, por ser excelentes padres, apoyarme incondicionalmente y comprenderme siempre, agradezco al Señor por ellos.

A mis hermanos Olga Marina y Jorge Mario Moncada que me animaron y apoyaron, a mis hermanos en Cristo por sus oraciones Josué Ananías Mendoza, Raúl Josué Hernández e Ismael López.

A mi compañera de Tesina Luisa Amanda Jiménez por su disciplina, motivación y esfuerzo para poder concluir este trabajo ¡El Señor te bendiga más!

A la Ing. Claudia Guevara, por haber sido parte también en la culminación y revisión de este trabajo.

Al tutor de esta Tesina Ing. Israel Morales, así como a todos los Ingenieros docentes de la FIC-UNI-RUPA que me impartieron clases.

Danny Benjamín Moncada Ramírez

Dedicatoria

¡A aquel que es poderoso para hacer más infinitamente las cosas, cuanto creemos o entendemos, a Jesucristo Rey de Reyes y Señor de Señores, el testigo y amigo fiel, el primogénito de los muertos y el soberano de los reyes de la tierra. Al que nos amó y nos lavó de nuestros pecados con su sangre. El Alfa y la Omega, el principio y el fin, a él sea la gloria por los siglos de los siglos!

Amén

A todos aquellos que fueron partícipes para poder terminar mis estudios.

A los compañeros que ocuparán este trabajo para guiarse.

Danny Benjamín Moncada Ramírez

ÍNDICE

	<i># de Pág.</i>
RESUMEN EJECUTIVO _____	6
Resumen Ejecutivo _____	7
CAPITULO I: GENERALIDADES _____	10
I.1.- Introducción _____	11
I.2.- Antecedentes _____	12
I.2.1- Características Físicas-Naturales _____	12
I.2.1.1- Geomorfología _____	12
I.2.1.2- Clima _____	13
I.2.1.3.- Precipitaciones _____	13
I.2.1.4.- Temperatura _____	13
I.2.1.5.- Hidrología _____	14
I.3.- Localización _____	14
I.4.- Justificación _____	18
I.5.- Objetivos _____	19
I.5.1.- Objetivo General _____	19
I.5.2.- Objetivos Específicos _____	19
CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO _____	20
II.1.- Conceptos Generales _____	21
II.1.1.- Estimaciones de Aforo Vehicular _____	21
II.1.2.- Clasificación del Tránsito _____	21
II.1.3.-Tipo de Tráfico _____	22
II.1.4.- Proyección de Tránsito _____	23
II.1.5.- Tránsito de diseño _____	23
II.1.6.- Factor de crecimiento _____	23
II.1.7.- Factor carril _____	24
II.1.8.- Factor direccional _____	24
II.1.9.- Tránsito Promedio Diario (TPD) _____	24
II.1.10.- Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) _____	24
II.1.11.- Cargas equivalentes _____	24
II.2.- Estudio de Tránsito del tramo _____	25
II.2.1.- Conteo Vehicular _____	25
II.2.2.- Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual TPDA _____	26
II.2.2.1.-Tránsito Promedio Diario _____	26
II.2.3.- Proyección del tránsito _____	32
II.2.3.1.- Panaroma económico Mundial _____	32

II.2.3.2.- Tasa de crecimiento del país (PIB)	37
II.2.3.3.- Tasa de crecimiento poblacional	40
II.2.3.4.- Tasa de crecimiento vehicular	41
II.2.3.5.-Tasa de crecimiento del Proyecto	41
II.2.3.6.-Periodo de Diseño	42
II.2.3.7.- Cálculo de la proyección del Tránsito	43
CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELOS	46
III.1.- Conceptos Generales	47
III.1.1.- Sub-rasante	47
III.1.2.- Clasificación de los suelos	47
III.1.3.- Pruebas más aplicables en la pavimentación de carreteras y aeropistas.	48
III.1.3.1.- Determinación del contenido de humedad	48
III.1.3.2.- Análisis Granulométrico	48
III.1.3.3.- Determinación del Límite plástico	49
III.1.3.4.- Determinación del Límite Líquido	49
III.1.3.5.- Índice de plasticidad	49
III.1.3.6.- Peso específico	49
III.1.3.7.- Ensayo de compactación	49
III.1.3.8.- Máxima densidad	50
III.1.3.9.- Optimo contenido de Humedad	50
III.1.3.10.- Determinación de la resistencia de los suelos	50
III.2.- Estudio geotécnico del proyecto	50
III.2.1.- Trabajos de campo y laboratorio	50
III.2.1.1.- Sondeos Manuales sobre la Línea	51
III.2.1.2.- Resultado de los Ensayos sobre la línea	52
III.2.1.3.- Sondeos de los Bancos de Materiales	54
III.2.1.4.- Resultados de los Ensayos de los Bancos	55
CAPITULO IV: DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE	60
IV.1.- Conceptos	61
IV.1.1.- Pavimento	61
IV.1.2.- Variables de Diseño	61
IV.1.2.1.- El Tránsito	61
IV.1.2.2.- Confiabilidad	63
IV.1.2.3.- Desviación estándar	63
IV.1.2.4.- Serviciabilidad (Δ PSI)	63
IV.2.- Propiedades de los Materiales	64
IV.2.1.- Superficie de Rodamiento (Carpeta Asfáltica)	64
IV.2.1.1.- Estabilidad de Marshall	64
IV.2.1.2.- Coeficiente Estructural (a_1)	64
IV.2.2.- Base	65
IV.2.2.1.- CBR	65

IV.2.2.2.- Coeficiente Estructural (a_2)	65
IV.2.2.3.- Módulo de Resiliencia	65
IV.2.3.- Sub base	66
IV.2.3.1.- CBR	66
IV.2.3.2.- Coeficiente Estructural (a_3)	66
IV.2.3.3.- Módulo de Resiliencia	66
IV.2.4.- Subrasante	67
IV.2.4.1.- CBR de Diseño	67
IV.2.4.2.- Módulo resiliente (caracterización del material de subrasante)	69
IV.3.- Determinación del número estructural (SN)	69
IV.3.1.- Ecuación de diseño	69
IV.3.2.- Nomograma	70
IV.4.- Coeficiente de Drenaje	71
IV.5.- Espesores del Paquete Estructural	72
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
V.1.- Conclusiones	75
V.1.1.- Espesores Finales	75
V.1.2.- Resultados de suelos sobre la Línea	75
V.1.3.- Resultados de los Bancos de Materiales	75
V.1.4.- Análisis del TPDA del Tramo en Estudio para el año base y proyección.	76
V.2.- Recomendaciones	76
V.2.1.- Capa de rodamiento	76
V.2.2.- Sub-Rasante	77
V.2.3.- Base	78
V.2.4.- Tránsito y Mantenimiento	79
V.2.5.- Taludes	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

INDICE DE ANEXOS

<u>ILUSTRACIONES</u>	<u>No. Pág</u>
Figura II.1.- Localización del camino y de las estaciones de conteo Volumétrico de tráfico	84
Figura II.2.- Diagrama de Cargas Permisible_____	86
Figura II.3.- Nota de Prensa BCN_____	87
Figura III.1.- Ubicación de Bancos Materiales a lo largo de la línea_____	90
Figura III.2.- Requerimientos de Calidad de los materiales._____	91
Figura III.3.- Requisitos Mínimos de Compactación para Sub-bases, bases y superficie de revestimiento_____	93
Figura IV.1.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a1 para la carpeta asfáltica_____	97
Figura IV.2.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a2 para una capa base material granular_____	98
Figura IV.3.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a3 para una capa sub-base material granular_____	99
Figura IV.4.- Nomograma para calcular SN_____	100

<u>TABLAS</u>	<u>No. Pág.</u>
Tabla II.1. -Peso por ejes_____	85
Tabla II.2.- Serie Histórica de Estaciones de Conteo Volumétrico de Tráfico_____	88
Tabla II.3.- Tasas de Crecimiento_____	88
Tabla III.1.- Clasificación de Suelos Sistema AASHTO_____	88
Tabla III.2.- Resultados de Ensaye CBR sobre la Línea_____	89
Tabla III.3.- Clasificación según CBR_____	91
Tabla III.4.- Graduación requerida para cada capa._____	92
Tabla III.5.- Requisitos Graduación para el mejoramiento de la Subrasante_____	93
Tabla IV.1.- Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes sencillos._____	94

Tabla IV.2.- Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes dobles. _____	95
Tabla IV.3.- Niveles de Confiabilidad _____	96
Tabla IV.4.- Rangos Desviación Estandar _____	96
Tabla IV.5.- Estabilidad de Marshall _____	96
Tabla IV.6.- Coeficiente de Drenaje para pavimentos Flexibles _____	101
Tabla IV.7.- Espesores mínimos de concreto Asfáltico y Base Granular _____	101
Tabla IV.8.- Resumen _____	101

CÁLCULOS

No. Pág.

<i>Anexo IV. Cálculo de espesores del paquete estructural</i> _____	102
--	------------

Cálculo IV.1.- OPCION A _____	103
Cálculo IV.2.- OPCION B _____	105
Cálculo IV.3.- OPCION C _____	106
Cálculo IV.4.- OPCION D _____	107

OTROS

No. Pág.

Otros III. 1.- Ensayes de laboratorio, estratigrafía, Esquema de Bancos y Fotografías del Proyecto _____	109
--	-----

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de
Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

RESUMEN EJECUTIVO

Resumen Ejecutivo

El presente estudio consiste en el diseño de 16 km de estructura de Pavimento Flexible para el tramo de carretera San Rafael del Norte-San Sebastián de Yalí, ubicado en el departamento de Jinotega, por el método de la Asociación Americana Oficial de Transportes y Carreteras AASHTO-93 (American Association of State Highway and transportation Officials) de manera que los espesores que constituyen la estructura de pavimento soporten las cargas de los ejes equivalentes que transitarán en dicha carretera para el periodo de diseño.

Proceso de Diseño:

El proceso de diseño va a constar de los siguientes estudios a desarrollar:

- I. **Estudio de Tránsito:** Para calcular el tránsito total de vehículos que circulará en la estructura de un pavimento durante la vida útil de diseño propuesto, se ha tomado en cuenta los factores que influyen en el cálculo como:
 - a) Tasa de Crecimiento del Proyecto de 3% para vehículos livianos y 2.50% para vehículos pesados, que fueron estimadas de acuerdo al comportamiento del 1. Producto Interno Bruto suministrada por el Banco Central de Nicaragua, 2. Datos Históricos del Tránsito vehicular del periodo 2004-2010 del Anuario de Aforos 2010 del MTI, 3. Crecimiento Poblacional Proyectado del Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE).
 - b) Para el tramo en estudio se ha asignado un periodo de diseño de 15 años, considerando el gran potencial, actualmente el tramo forma parte de la ruta Eco turística del café y se está impulsando la ruta Sandino, también el desarrollo agropecuario y teniendo presente que el país cuenta con financiamientos para carretera por parte del BID y otros fondos de apoyo económico.
 - c) Factor direccional con un valor de 0.5 y Factor carril con un valor de 1 para 1 carril en cada dirección.

- d) Se analizó el tránsito promedio diario anual mediante el conteo de campo el cual corresponde a 275 vehículos.
- e) Para estimar este volumen de vehículos se utilizaron los factores de día, semanales y de temporada que proporciona el MTI, para la estación sumaria N° 305 San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí.
- f) Finalmente el tráfico del tramo proyectado a 15 años corresponde a 513,851 vehículos.

II. Estudio Geotécnico: De los resultados de la firma Geonic se ha analizado lo siguiente:

- a) **A lo largo de la línea:** Los suelos de sub-rasante corresponden en su mayoría a materiales de buena capacidad soporte. Con respecto a la granulometría la capa superficial compuesta por suelos gravosos y arenosos no cumple con los requisitos de graduación de agregado para una subrasante.
- b) Se considera que se mantendrá las características del trazado actual del camino, fundamentalmente en relleno evitando cortes para así acomodar los nuevos espesores de la estructura de pavimento.
- c) De los **Bancos de Materiales**, se ha propuesto como material base el Banco El Boniche. Éste presenta dos tipos de materiales, uno que corresponde al descapote y a otros sectores del banco material que no va a ser utilizado ya que no cumple con las especificaciones y otro que puede ser utilizado como Base, parte Rocosa material tipo bolón mayoritario del banco. No tiene Plasticidad, y sus partículas pasan en dependencia del grado de trituración que se requiera por lo cual deberá apearse según las especificaciones NIC-2000 Sección 1003.09 cuadro 1003-3 de graduación, (ver Fig. III.2 y Tabla III.4 en anexos). El CBR de este banco es del 100%, material granular triturado correspondiendo a una base excelente, (ver Tabla III.3 en anexos).

El material rocoso de trituración, tiene un Desgaste Los Ángeles de 23.0%, y un resultado de Intemperismo Acelerado de 5.57% cumpliendo con los requisitos para agregado de base.

III. Diseño de Pavimento

Una vez analizado el tránsito proyectado se calculó los Ejes Estándar Equivalentes (ESAL), que en este caso resulta en 318,530 ejes, escogido el material de los Bancos a utilizar para la capa Base y analizando la subrasante, tomando en cuenta las características físico - mecánicas de los materiales a lo largo de la línea y de los Bancos de materiales, se procede a calcular los espesores correspondientes por el método ASSHTO 93. Así mismo es importante señalar conceptos influyentes en este cálculo como Confiabilidad que se ha seleccionado un valor de 85%, Desviación Estándar de 0.45, Serviciabilidad de 2.2 y un coeficiente de drenaje de $m = 1$.

Se calcularon 4 opciones considerando estabilidad de Marshall de 1200 lbs y 1800 lbs, haciendo pruebas con espesores mínimos de 2.5 pulg para la carpeta asfáltica.

El paquete estructural del tramo de carretera estudiado quedará conformado por:

- a) Carpeta Asfáltica de 2.5 pulg para fines de ahorro, ya que inicialmente resulta en 5”.
- b) Base aumentada a 10 pulg del Banco de Materiales El Boniche, para reponer el material reducido en la carpeta asfáltica.
- c) Total de la Estructura: 12.5 pulg.

CAPITULO I: GENERALIDADES

I.1.- Introducción

Actualmente Nicaragua presenta oportunidades en crecimiento por las siembras de café para ser exportadas y el desarrollo del turismo. Los sistemas de transportes en su conjunto forman parte de la cadena productiva del País aportando a ésta uno de los eslabones más importantes, además que por sí solo el transporte es un inductor del desarrollo económico y social de las zonas donde ejerce su competencia, permitiendo los desplazamientos de objetos y personas, desde las zonas de producción y habitacionales hacia los diferentes mercados de consumo y centros laborales, por lo que su eficiencia y costo de producción está asociado directamente con las facilidades que se le brinden para su operación. Por lo tanto esto sugiere rehabilitación de carreteras para dar respuesta a estas oportunidades.

De acuerdo al Inventario de la Infraestructura de transporte realizado por la División General de Planificación del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en el año 2010, la Red Vial Nacional registra un total de 22,111.052 kms de carreteras de las cuales 659.686 kms (2.98%) son adoquinados, 2,140.98 kms (9.68%) asfaltados, 3,730.33 kms (16.87%) revestidos, 8,388.45 kms (37.94%) todo tiempo, 7,178 kms (32.46%) estación seca y 13,539 kms (0.061%) concreto Hidráulico.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), dentro de su programa de mejoras y ampliaciones de la red vial nacional, tiene contemplado mejorar y/o ampliar el tramo de camino de tierra revestido tipo macadam, que enlaza las poblaciones de San Rafael del Norte, San Sebastián de Yalí del Departamento de Jinotega.

La presente tesina de investigación aborda, estudios de Tránsito, estudios de suelos y Diseño de pavimento flexible para el tramo de 16 km a partir del poblado de San Rafael del Norte y culmina en el poblado de San Sebastián de Yalí. Esta tesina se realiza con el fin de aportar una guía conteniendo la información básica para el diseño de una estructura de pavimento flexible.

Para realizar el análisis de estos estudios se necesitará ir a fondo respecto al suelo actual del tramo y bancos de materiales más cercanos al sitio, proyectar el tránsito para la vida útil del tramo de acuerdo a las tasas de crecimiento, calculando en base a estos datos los espesores del pavimento.

I.2.- Antecedentes

El tramo de camino a pavimentar San Rafael del Norte-San Sebastián de Yalí, se encuentra ubicado en el departamento de Jinotega, en los municipios de San Rafael del Norte y San Sebastián de Yalí, este tramo se observa en general tiene una capa de revestimiento de material granular tipo Macadam de mediana calidad, producto del mantenimiento periódico rutinario que el Gobierno proporciona a través del FOMAV (Fondo de Mantenimiento Vial), básicamente la estructura del camino no tiene sub base ni base. Sin embargo, las épocas lluviosas han estado afectando la capa de rodadura de este tramo, sobre todo cuando el agua de las cunetas se cruza sobre el camino.

I.2.1- Características Físicas-Naturales

I.2.1.1- Geomorfología

El área de estudio está ubicada en la porción centro occidental de la provincia geomorfológica Tierras Altas del Interior, que se extiende desde el borde Oriental de la Depresión Nicaragüense hasta la Llanura Atlántica. Las Tierras Altas del Interior, también es conocida con los nombres Región Montañosa o Provincia de las Cordilleras. Dentro de ella, el relieve del terreno, en gran parte es montañoso y accidentado. Existen parches de relieve casi plano (pequeños sectores localizados al oriente y Sur de San Rafael del Norte) y ondulados. La topografía es bien accidentada y desordenada, lo que indica una evolución por procesos por deslizamientos frecuentes.

I.2.1.2- Clima

Las características climáticas de los distintos sectores del área estudiada son variables, debido a la altitud y la presencia de cordilleras y montañas. El clima varía entre Tropical de Sabana (inmediaciones de San Rafael del Norte) y Tropical de Altura (alrededores de San Sebastián de Yalí).

I.2.1.3.- Precipitaciones

En el área de San Rafael del Norte y sus alrededores inmediatos la distribución promedio mensual de la precipitación, en el año, da origen a tres estaciones; una lluviosa, de 6 meses de duración (Mediados de Mayo – Mediados de Noviembre) donde cae casi el 85.15% de la precipitación total anual; una segunda de transición lluviosa – seca denominada Apante, de 3 meses de duración (Mediados de Noviembre – Mediados de Febrero) donde se precipita 17.55% y una tercera seca, de 3 meses de duración que va de (Mediados de Febrero – a Mediados de Mayo) donde cae 14.86%. En esta zona no se registra canícula.

I.2.1.4.- Temperatura

La temperatura media anual de San Rafael del Norte es de 22.6 °C. Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de Abril y Mayo, precisamente a finales del período seco e inicio del período lluvioso, con valores de 23.7 y 24.3 ° C. Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre Diciembre y Enero, con magnitudes que oscilan entre 21.4 °C y 21.0 °C.

En el municipio de San Rafael del Norte, las localidades situadas por encima de los 1050 msnm presentan valores medios anuales de temperatura inferiores a 20 °C, lo que indica que estas zonas muy elevadas muestran un comportamiento del régimen térmico que está condicionado por las características del clima subtropical. A como lo es el clima tropical de montaña.

I.2.1.5.- Hidrología

El área estudiada es drenada superficialmente por 5 ríos y 4 quebradas. Las quebradas son de pendientes altas, de régimen torrentosos; unas permanentes, otros efímeras.

El río San Rafael, es el producto de la confluencia de las quebradas Brellera y el Jordán. Dichas quebradas nacen en el cerro Azul (1701 msnm). Ellas fluyen en dirección preferencial noroeste – sureste. La longitud del río desde las cabeceras de las quebradas que le dan origen, hasta la confluencia, es de 10 km. La confluencia mencionada se hace en el punto conocido como Los Encuentros situado a una elevación topográfica de 880 msnm y distante unos 600 m de la esquina noroeste del poblado San Rafael del Norte. Este río a la altura del poblado La Concordia toma el nombre de río Viejo.

I.3.- Localización

El Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí se localiza en la porción Centro Occidental del país, precisamente ocupando la porción suroccidental del Departamento de Jinotega, pertenece a la carretera NIC – 3 y corre cerca del lindero del área estudiada.

Más específicamente, dicha área está enmarcada por las coordenadas 587000 y 597000 metros al oeste y las coordenadas 1461000 y 1474000 metros al norte, en sistema proyectado UTM-NAD27, zona 16N.

Este camino de 16 km de longitud, tiene su inicio en la Ciudad de San Rafael del Norte y finaliza en el casco urbano del municipio San Sebastián de Yalí.

Dista 228 km de Managua y está comunicada con ella mediante tres tramos de carretera pavimentados, que son: a) Panamericana Norte (Nic – 1) (Managua – Sébaco), b) Sébaco – Chaguitillo – Guayacán y c) Guayacán – Jinotega – San Rafael del Norte. (Ver figura No.1, 2 y 3).



Fuente: Elaboración Propia

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

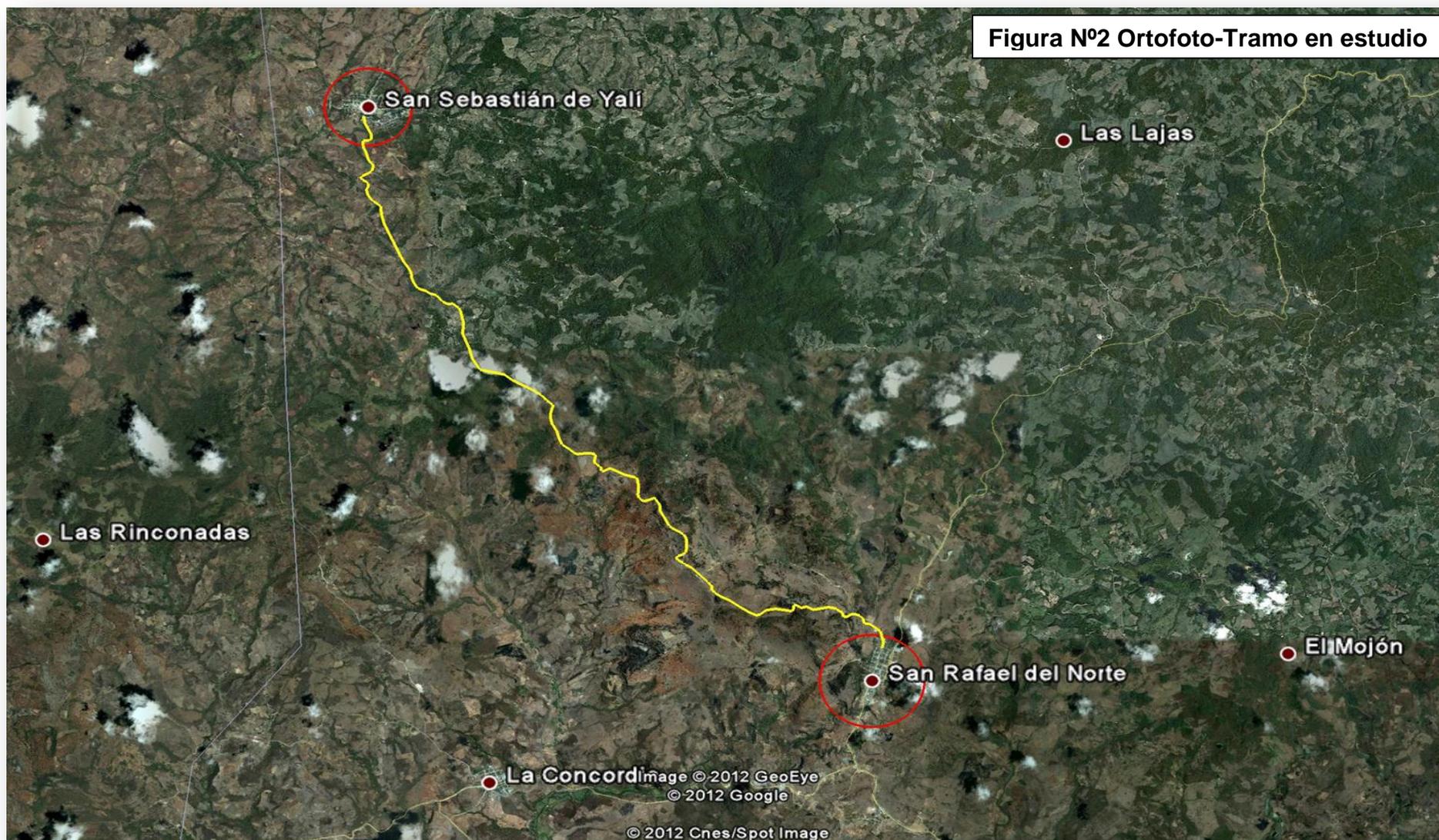
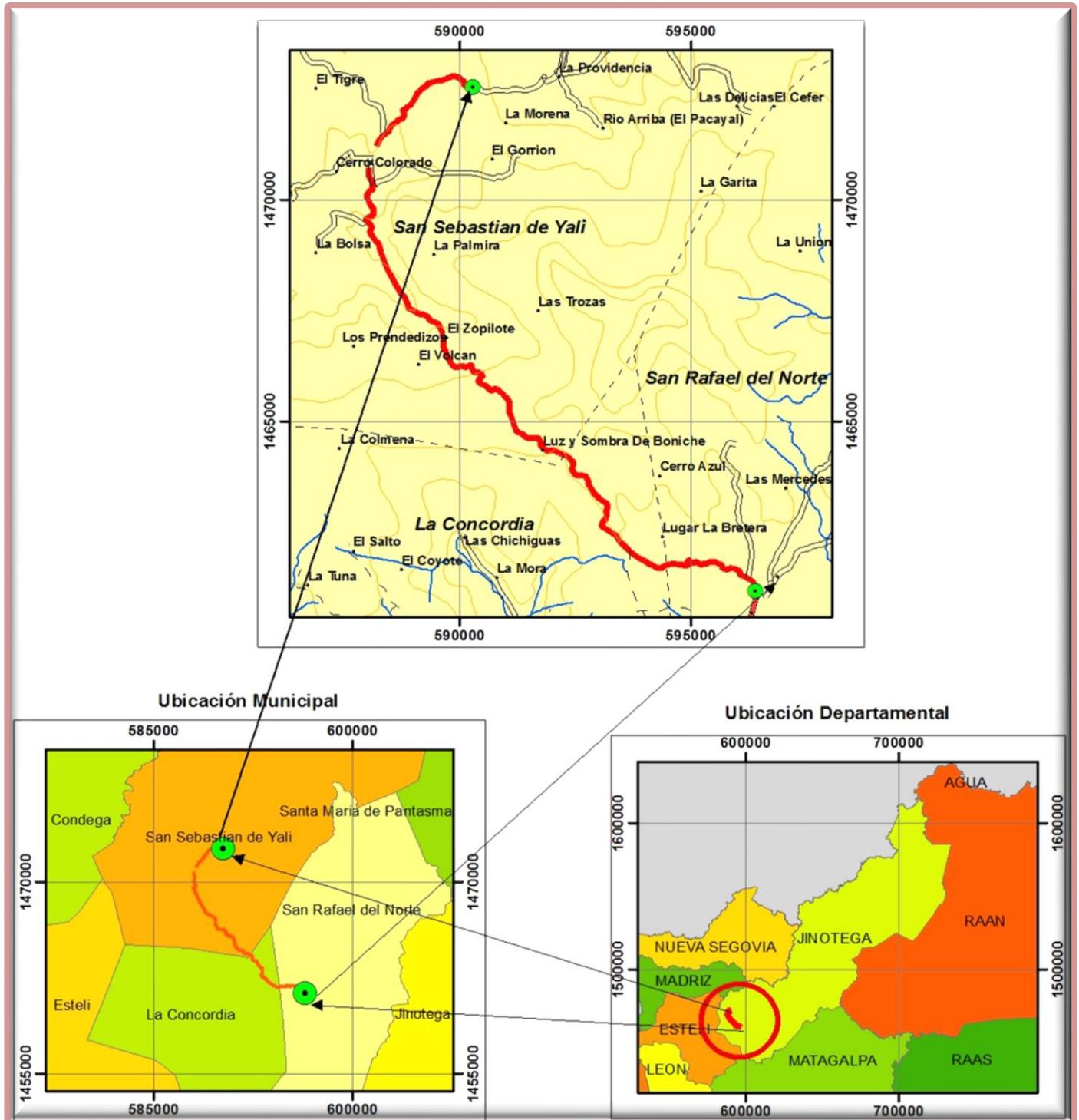


Figura N° 3. Microlocalización carretera San Rafael del Norte-San Sebastián de Yalí.



I.4.- Justificación

La población económicamente activa de la zona estudiada, se dedica especialmente al comercio (existen tiendas pequeñas, pulperías, bares y cafetines); a la agricultura, siendo los granos básicos (maíz y frijoles), café, caña de azúcar para consumo personal, hortalizas (cebolla, papas) y pastos, los principales cultivos. En menor grado, se dedican a la ganadería.

La zona en la que se encuentra este tramo posee un gran potencial ya que se está impulsando la Ruta de Sandino y la ruta Eco-turística del café con riquezas turísticas, ecológicas y de apoyo a la producción agropecuaria por lo tanto este diseño de pavimento servirá de apoyo para estos atractivos.

Así mismo el tramo de carretera ya tiene una infraestructura importante que requiere de una intervención mayor que la de un simple mantenimiento, para prestar un mejor servicio como el que da en las condiciones actuales.

Servirá como vía de acceso hacia otros mercados alternativos y zonas de intercambio comercial (Estelí, Condega, Ocotal, Madriz y los países del norte de Centroamérica) a través de la carretera Panamericana Norte (NIC. – 1), a los departamentos de Jinotega y Matagalpa, lo que ayudará a mejores oportunidades de negocio, les generará mayor grado de dinamismo a la actividad productiva, económica y social que le facilitará el desarrollo en todos sus órdenes, mejorando la calidad de vida de los pobladores de las comunidades localizadas en la zona de influencia directa e indirecta a la vía en estudio.

I.5.- Objetivos

I.5.1.- Objetivo General

Diseñar espesores de la estructura de pavimento flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí, por el método AASHTO – 93.

I.5.2.- Objetivos Específicos

- ⇒ Conocer las características físico-mecánicas del subsuelo a lo largo del tramo y de los bancos de materiales aledaños a la zona.
- ⇒ Analizar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) del Tramo en Estudio para el año base y proyectarlo para la vida útil del proyecto.
- ⇒ Determinar espesores de la estructura del pavimento tomando en cuenta el comportamiento del suelo y el tránsito de diseño.

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO

II.1.- Conceptos Generales

El tránsito es la variable más importante en el diseño de una vía, si bien es cierto el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento.

La metodología AASHTO (American Association of State Highway and transportation Officials), considera que la vida útil de un pavimento está relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final.

II.1.1.- Estimaciones de Aforo Vehicular

La selección de las estaciones de aforo (conteo vehicular) se basa en buscar polos generadores de viajes o sea puntos ubicados en los tramos de carretera que influyen en el incremento del tráfico del proyecto en estudio.

II.1.2.- Clasificación del Tránsito

El Tránsito vehicular se clasifica en tres categorías:

Tránsito Liviano: Este se da cuando el tránsito promedio diario es inferior a 250 vehículos, con un máximo del 20% de camiones con carga igual a la máxima.

Tránsito Mediano: El tránsito promedio diario en esta categoría está comprendido entre 250 y 750 vehículos con un máximo del 20% de camiones con carga por rueda igual a la máxima.

Tránsito Pesado: La cantidad de vehículos promedio diario en esta categoría supera los 750 o cuando el número de camiones con carga por rueda igual a la máxima es mayor de 250.

Las cargas máximas se clasifican en tres tipos:

Carga máxima de 4 toneladas: Para carreteras con remota posibilidad de circulación de vehículos pesados.

Carga máxima de 5 toneladas: Para carreteras con moderada circulación de vehículos pesados.

Carga máxima de 6 toneladas: Para carreteras en regiones altamente industrializadas.

II.1.3.-Tipo de Tráfico

El conteo vehicular debe tener en cuenta la clasificación vehicular que comprende vehículos Livianos, Vehículos Pesados de Pasajeros y los Pesados de Carga:

- ⇒ Bicicletas: Son vehículos de dos ruedas no motorizados.
- ⇒ Motos: Son vehículos automotores de dos ruedas.
- ⇒ Vehículos Livianos: Son los vehículos automotores de cuatro ruedas, que incluyen los Automóviles, Camionetas, Pick – Ups, Jeep y Microbuses de uso particular.
- ⇒ Vehículos Pesados de Pasajeros: son los vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros), Microbuses Medianos (hasta 25 pasajeros) y los Buses medianos y grandes.
- ⇒ Vehículos Pesados de Carga: son los vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres Toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (C_xR_x) y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T_xS_x).

- ⇒ Vehículos Pesados: Incluyen los vehículos de construcción y los vehículos agrícolas.
- ⇒ Otros: Son los Vehículos livianos con un tráiler.
- ⇒ Vehículos de Tracción Animal: Incluyen los carretones y carretas halados por animales de tiro.

II.1.4.- Proyección de Tránsito

Esta debe ser desarrollada en base a estimaciones de factores socioeconómicos tales como el PIB (Producto Interno Bruto), crecimiento Poblacional, además el historial de conteo vehicular.

II.1.5.- Tránsito de diseño

Es el tránsito total de vehículos que circulará en la estructura de un pavimento durante la vida útil de diseño, tomando en cuenta el factor de crecimiento, factor direccional, factor carril así como el tránsito inicial.

$$TD = Tn * FC * FD * FC'$$

Tn = Tránsito actual "n".

TD = Tránsito de diseño.

FD = Factor direccional.

FC = Factor de crecimiento.

FC' = Factor Carril.

II.1.6.- Factor de crecimiento

Su valor se calcula de la siguiente manera:

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

i: Tasa de Crecimiento (tasa de crecimiento vehicular la cual puede variar en dependencia del tipo de vehículo).

n: Periodo de diseño (es el tiempo en el cual la estructura de pavimento resista las cargas del tránsito antes de que requiera rehabilitación).

II.1.7.- Factor carril

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

II.1.8.- Factor direccional

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 (según las normas de la AASHTO). La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro.

II.1.9.- Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es el número total de vehículos que pasa durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día dividido entre el número de días del período.

II.1.10.- Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el número de vehículos que pasa por un lugar dado durante un año dividido entre el número de días del año.

II.1.11.- Cargas equivalentes

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de carga, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. La anterior consideración, plantea un problema muy complejo que hace necesario recurrir a simplificaciones prácticas.

Dado que la estimación de daño producido por las diversas cargas por eje es muy compleja, y que la única fuente confiable de información para afrontar este problema es el "AASHTO ROAD TEST", de cuyos resultados se derivaron una serie de factores de equivalencia, la carga tomada como patrón es un eje sencillo 8.2 toneladas.

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL: Ejes de Carga Estándar Equivalentes).

Los valores de peso y ejes se obtienen respectivamente de los diagramas de Cargas Permisibles suministrado por el MTI-Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones, mostradas en los anexos (Tabla II.1 y Fig. II.2).

II.2.- Estudio de Tránsito del tramo

II.2.1.- Conteo Vehicular

A partir de los datos del conteo de flujo vehicular realizado por el consultor EDICO (Estudios y Diseños Ingenieros Consultores) se estimó el tránsito que circulará por la vía. El conteo vehicular se llevó a cabo estableciendo dos puntos de control ubicados en zonas con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, de manera que permitiesen captar el tráfico en ambos sentidos de la vía donde se realizaron aforos de conteo y clasificación vehicular. Las Estaciones de aforo de tráfico, se localizaron en los dos extremos del camino fuera de la influencia del tráfico de agitación de las respectivas zonas urbanas.

Realizaron cinco días consecutivos de conteos y clasificación, por períodos de 12 horas entre las 06:00 horas y las 18:00 horas, donde se incluyó el tráfico de fin de semana, comenzando la actividad a partir del día viernes 16 de Abril del 2010 al día martes 20 de Abril del 2010 (5 Días).

La ubicación de las estaciones donde realizaron estos conteos de tráfico se observa en la Tabla 1. (Ver Ubicación geográfica en Fig. II.1 en anexos).

Tabla 1
Ubicación de Estaciones de Aforo de Tráfico

Camino: NIC-3		
Tramos: San Rafael del Norte - San Sebastián de Yalí		
Estación N°	Ubicación	Días de 12 Horas de CVT
N° 1	A 1.0 km. de la salida de San Rafael del Norte, hacia San Sebastián de Yalí (carretera)	Vi, Sab, Do, Lu y Ma.
N° 2	A 800.0 m de la salida de San Sebastián de Yalí hacia San	Vi, Sab, Do, Lu y Ma.

Fuente: Estudio de Tráfico EDICO

II.2.2.- Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual TPDA

El procedimiento para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual se describe a continuación.

II.2.2.1.-Tránsito Promedio Diario

De la información de campo se obtuvieron los volúmenes de tráfico existente en el camino donde se realizó el conteo por día, clasificados por tipo de vehículo.

Los resultados del TPD y TPDS de cada estación se presentan en las Tablas 2 y 3 para cada una de las Estaciones de conteo vehicular.

Tabla 2
Resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.0 horas)
(vpd)

Estación: N° 1 (San Rafael del Norte)																			
Día	Vehículos Livianos					Pesados de Pasajeros					Pesados de Carga				Veh. Pesados			Total (vpd)	
	Bicic.	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx ?5e.	CxRx ?4e	CdRx ?5e.	VA	VC	Otros		
Lunes	7	86	5	7	64	0	0	10	6	10	0	0	0	0	0	0	0	1	188
Martes	5	77	4	7	79	0	3	12	7	10	1	0	0	0	0	0	0	0	200
Viernes	32	49	3	4	64	0	0	16	17	6	1	0	0	0	0	0	0	0	160
Sábado	14	47	5	7	46	0	0	15	4	17	2	2	0	0	0	0	0	0	145
Domingo	7	44	1	4	30	1	1	13	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	104
Total	65	303	18	29	283	1	4	66	39	48	4	2	0	0	0	0	0	1	797
TPDS (vpd)	13	61	4	6	57	0	1	13	8	10	1	0	0	0	0	0	0	0	161
Porc. por Tipo de Vehículo		37.9	2.5	3.7	35.4	0	0.6	8.1	5	6.2	0.6	0	0	0	0	0	0		100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO)

El conteo de la estación N° 1 San Rafael del Norte realizado durante los cinco días, presentado en el Tabla 2, el que refleja un 79.50 % de vehículos livianos, del Total del Tráfico promedio diario de doce horas, el 8.70 % corresponden a vehículos de Pasajeros del transporte público y un 11.80 % de vehículos pesados de Carga. Del total de vehículos livianos, la mayor cantidad la representan las motos y las camionetas Pick Up, en el transporte público de pasajeros los buses representan la mayoría y con menor presencia los microbuses, en el transporte pesado de carga, la presencia de este tipo de vehículos está restringido a camiones C2 livianos y pesados.

En esta estación, se contabilizaron un total de 65.0 bicicletas, haciendo un promedio diario de 13.0 bicicletas por día y ningún vehículo de tracción animal, lo cual representa un flujo despreciable de vehículos no motorizados.

Tabla 3
Resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.0 horas)
(vpd)

Estación: N° 2 (San Sebastián de Yalí)																		
Día	Vehículos Livianos					Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga					Veh. Pesados			Total (vpd)
	Bicic.	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx ?5e.	CxRx? 4e	CxRx ?5e.	VA	VC	Otros	
Lunes	14	149	0	15	82	0	0	15	4	13	0	0	0	0	0	0	4	278
Martes	22	119	1	4	95	0	0	14	6	4	1	0	0	0	0	0	0	244
Viernes	11	160	7	14	83	0	0	13	12	17	2	0	0	0	0	0	0	308
Sábado	32	107	4	8	60	0	1	15	7	11	0	2	0	0	0	0	7	215
Domingo	9	101	0	8	38	1	2	12	7	10	0	0	0	0	0	0	0	179
Total	88	636	12	49	358	1	3	69	36	55	3	2	0	0	0	0	11	1,224
TPDS (vpd)	18	127	2	10	72	0	1	14	7	11	1	0	0	0	0	0	2	245
Porc. por Tipo de Vehículo		52	1	4	29.2	0.1	0.2	5.6	2.9	4.5	0.2	0.2	0	0	0	0		100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí

En el Tabla 3, se presenta el TPD de los cinco días contabilizados de la estación N° 2 (San Sebastián de Yalí), donde el 86.20 % del total de vehículos eran vehículos livianos, un 6.0 % eran vehículos de transporte público de pasajeros y el 7.80 % correspondían a pesados de carga. La estructura porcentual del TPD de 12 horas de esta estación está mayoritariamente conformada por motocicletas, con el 52.0 %.

La presencia de las Bicicletas en el camino es un poco mayor que en la primera estación, contabilizándose durante los cinco días un total de 88.0 bicicletas, lo que hace un promedio por día de 18.0 unidades lo cual no es muy representativo dentro de la corriente del tráfico.

En ninguna parte del tramo de la carretera donde estaban localizadas las dos estaciones, ameritan la construcción de ciclo vías, ya que la inversión no sería justificable con relación al volumen de bicicletas que circulan diariamente.

Estos volúmenes de tráfico diario de doce horas se expandieron a tráfico de 24.0 horas, haciendo uso de los factores de expansión a 24.0 hora y el factor semana de la estación de Sumaria N° 305.

Expansión a 24.0 Horas:

- ⇒ Para la expansión del conteo de tráfico de 12 horas a tráfico de 24.0 horas, de las dos estaciones; se hizo uso de los factores de expansión de la Estación Sumaria N° 305 localizada sobre el tramo de la NIC. – 3, San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí correspondientes a registros del año 2008, presentados en la Revista “Anuario de Aforos de Tráfico 2008”.

Corrección Estacional

- ⇒ Para cada Estación el volumen vehicular diario de veinticuatro horas, se multiplicó por el factor semana y el estacional obtenido de los registros de la Estación de Sumaria N° 305, con los que finalmente se calculó el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) para el Camino: San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí.

La tabla 4 presenta los factores, día, semana y temporada utilizados para el cálculo del TPDA del camino, los que corresponden a la Estación Sumaria N° 305 del PMS del MTI/NIC–3, San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí.

Tabla 4
Factores de Expansión y Temporada, Estación N° 305

Camino: NIC-3																	
Tramo: San Rafael del Norte - San Sebastián de Yalí																	
Grupos	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga					Equipo Pesado			Otros	
	Motos	Autos	Jeep	Cam.	MbBus	MnBus	Bus	Liv. 2-5 t	C2 5+t	C3	TxSx 74e	TxSx 75e.	CxRx 74e	CxRx 75e.	VA		VC
Factor Día	1.22	1.37	1.29	1.3	1.22	1.25	1.2	1.35	1.45	1.52	1	1.37	1	1	1	1	1.2
Factor Semana	1.03	1.03	1	0.95	1.07	1.21	1.01	0.91	0.92	0.81	1	0.88	1	1	1	1	0.9
Factor Temporada	0.8	0.9	0.93	0.96	0.81	0.92	1.03	0.82	1.02	0.77	1	0.82	1	1	1	1	0.82

Fuente: Estudio de Tráfico y Anuario de Aforos de Tráfico 2008 (MTI)

La expansión a Tráfico Promedio diario de 24.0 horas, se multiplicaron cada tipo de vehículo por el factor día de la estación N° 305, para ambas estaciones. Los resultados se presentan en las tablas 5 y 6:

Tabla 5
Resultados del Cuento y Clasificación por Día (24.0 horas) (vpd)

Estación: N° 1 (San Rafael del Norte)																		
Día	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Veh. Pesados			Otros	Total (vpd)	
		Autos	Jeep	Cla	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx 75e.	CxRx 74e	CxRx 75e.	VA	VC			
Lunes	105	7	9	83	0	0	12	8	15	0	0	0	0	0	0	0	1	240
Martes	94	5	9	103	0	4	14	9	15	2	0	0	0	0	0	0	0	255
Viernes	60	4	5	83	0	0	19	23	9	2	0	0	0	0	0	0	0	205
Sábado	57	7	9	60	0	0	18	5	25	3	3	0	0	0	0	0	0	187
Domíngo	54	1	5	39	1	1	16	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	131
Total	370	24	37	368	1	5	79	52	71	7	3	0	0	0	0	0	1	1,018
TPDS (vpd)	74	5	7	74	0	1	16	10	14	1	1	0	0	0	0	0	0	203
Composición del TPDS por Tipo de Vehículo (%)	36.5	2.5	3.4	36.5	0	0.5	7.9	4.9	6.9	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO).

Tabla 6
Resultados del Conteo y Clasificación por Día (24.0 horas)
(vpd)

Estación: N° 2 (San Sebastián de Yalí)																	
Día	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga				Veh. Pesados				Total (vpd)
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx 75e.	CxRx 74e	CxRx 75e.	VA	VC	Otros	
Lunes	182	0	19	107	0	0	18	5	19	0	0	0	0	0	0	5	355
Martes	145	1	5	124	0	0	17	8	6	2	0	0	0	0	0	0	307
Viernes	195	10	18	108	0	0	16	16	25	3	0	0	0	0	0	0	390
Sábado	131	5	10	78	0	1	18	9	16	0	3	0	0	0	0	8	280
Domíngo	123	0	10	49	1	3	14	9	15	0	0	0	0	0	0	0	225
Total	776	16	63	465	1	4	83	49	80	5	0	0	0	0	0	13	1,558
TPDS (vpd)	155	3	13	93	0	1	17	10	16	1	0	0	0	0	0	3	312
Composición del TPDS por Tipo de Vehículo (%)	49.7	1	4.2	29.8	0	0.3	5.4	3.2	5.1	0.3	0	0	0	0	0	1	100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí – La Rica.

Con el TPD expandido a 24 horas, se procedió a multiplicarlo por un factor semana y un factor de temporada de la Estación Sumaria N° 305, respectivamente para las estaciones de conteo vehicular determinando así el Transito Diario Anual para cada estación, cuyos resultados se presentan en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7
Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) con Factor Semana y Factor Temporada de la Estación 1.
(vpd)

Estación: N° 1 (San Rafael del Norte)																	
Grupo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga				Veh. Pesados				Total (vpd)
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx 75e.	CxRx 74e	CxRx 75e.	VA	VC	Otros	
TPD	74	5	7	74	0	1	16	10	14	1	1	0	0	0	0	0	203
Factor Semana	1.03	1.03	1	0.95	1.07	1.21	1.01	0.91	0.92	0.8	0.88	1	1	1	1	0.9	
Factor Temporada	0.8	0.9	0.93	0.96	0.81	0.92	1.03	0.82	1.02	0.8	0.82	1	1	1	1	0.82	
TPDA (vpd)	61	5	7	67	0	1	17	7	13	1	1	0	0	0	0	0	180
% TPDA	33.89	2.78	3.89	37.22	0	0.56	9.44	3.89	7.22	0.56	0.56	0	0	0	0	0	100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO)

Tabla 8
Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) con Factor Semana y Factor Temporada de la Estación 2.
(vpd)

Estación: N° 2 (San Sebastián de Yalí)																	
Grupo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Veh. Pesados			Total (vpd)	
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx ?5e.	CxR ?4e	CxRx ?5e.	VA	VC		Otros
TPDS	155	3	13	93	0	1	17	10	16	1	0	0	0	0	0	3	312
Factor Semana	1.03	1.03	1	0.95	1.07	1.21	1.01	0.91	0.92	0.8	0.88	1	1	1	1	0.9	
Factor Temporada	0.8	0.9	0.93	0.96	0.81	0.92	1.03	0.82	1.02	0.8	0.82	1	1	1	1	0.82	
TPDA (vpd)	128	3	12	85	0	1	18	7	15	1	0	0	0	0	0	2	272
% TPDA	47.06	1.1	4.41	31.25	0	0.37	6.62	2.57	5.51	0.37	0	0	0	0	0	0.74	100

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO)

El tráfico promedio diario anual del tramo: San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí, resulta de seleccionar el mayor número de vehículos por cada tipo de vehículos entre ambas estaciones, esto para fines de diseño y no usar un promedio de ambas estaciones ya que se estaría diseñando para otro tipo de tránsito y no el real. Así mismo, San Sebastián de Yalí es generador de más viajes, igualmente hay que tomar en cuenta que entre los dos poblados existen otras comarcas aledañas que también son generadoras de viaje que usan la vía y que los vehículos no necesariamente se tienen que desplazar por todo el tramo. El resultado del TPDA se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9
Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), del Camino:
San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (vpd)

Tráfico del Camino: San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí.																	
TPDA (vpd)	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Veh. Pesados			Total (vpd)	
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	TxSx ?5e.	CxR ?4e	CxRx ?5e.	VA	VC		Otros
Norte	61	5	7	67	0	1	17	7	13	1	1	0	0	0	0	0	179
San Sebastián de Yalí	128	3	12	85	0	1	18	7	15	1	0	0	0	0	0	2	272
del Camino (vpd)	128	5	12	85	0	1	18	7	15	1	1	0	0	0	0	2	275
% TPDA	46.55	1.82	4.36	30.91	0	0.36	6.54	2.54	5.45	0.36	0.36	0	0	0	0	0.73	100

Nota: Análisis Propia

El tramo correspondiente de 16 km tiene un Tránsito Promedio Diario Anual – (TPDA) de **275.0 vpd**, clasificándose como tránsito liviano.

II.2.3.- Proyección del tránsito

Los factores utilizados para las proyecciones del tráfico hasta el horizonte del tramo del proyecto y que impactan fuertemente; son los crecimientos poblacionales, el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), y tasas de crecimiento vehicular histórico, por lo que mínimas variaciones en los datos que se asumen de estas variables socioeconómicas pueden provocar cambios significativos en el volumen vehicular proyectado y su composición.

II.2.3.1.- Panorama económico Mundial

Como parte del estudio general y local del crecimiento económico de Nicaragua, es preciso primeramente considerar el entorno económico mundial para conocer la influencia del comportamiento económico de los países desarrollados en las economías regionales de Centroamérica y por lo tanto en Nicaragua.

Las perspectivas de la economía mundial no son optimistas para 2012, considerando que persisten los problemas de deuda soberana en Europa, la expectativa de un crecimiento económico moderado del resto de países desarrollados y un menor impulso de las economías emergentes.

Las proyecciones están dominadas por los acontecimientos económicos de Europa. Los fuertes ajustes fiscales que deben realizar España, Italia, Grecia y Portugal para lograr un equilibrio fiscal sostenible implican probablemente una caída en la demanda y el inicio de una recesión económica. Para reducir el impacto, el Banco Central Europeo puede disminuir su tasa de interés y aplicar una política monetaria expansiva, pero difícilmente evitará que algunos países europeos entren en recesión en 2012. Para el FMI algunos países de Europa podrían entrar en contracción económica, pero a nivel de zona euro el organismo espera que el crecimiento de las grandes economías como Alemania compense el bajo desempeño de ciertas naciones.

Además de los ajustes fiscales, los países europeos deben enfrentar los problemas de disturbios sociales de grupos de personas descontentas con las medidas de ajustes aplicadas. España tiene una situación compleja debido a que su alta tasa de desempleo excede el 20 por ciento de la fuerza de trabajo. Asimismo, España debe reducir su déficit fiscal del 8 al 2 por ciento respecto al PIB, lo que implica recortes de gastos y aumento de impuestos, empeorando el nivel de desempleo.

Por otra parte, aunque la economía estadounidense mantiene un débil crecimiento, la situación se puede ver beneficiada por el proceso electoral presidencial, el cual va generalmente asociado a estímulos que ayudan al sector real.

En cuanto a la economía japonesa, se espera que continúe recuperándose de los efectos del terremoto y de la crisis nuclear de Fukushima ocurrida en marzo del año pasado. Sin embargo, la recuperación puede verse limitada, considerando la alta dependencia que tiene esa economía de sus exportaciones y los riesgos asociados a una menor demanda global por los problemas económicos europeos y el débil desempeño de Estados Unidos, y sus principales socios comerciales.

De igual manera, el dinamismo económico chino dependerá de lo que suceda en Europa y Estados Unidos. Por su parte, América Latina seguirá creciendo en 2012, pero a una tasa menor que 2011.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) estimó un crecimiento en la región de 3.7 por ciento para 2012 frente al 4.3 por ciento proyectado en 2011. El impacto de la crisis se manifestaría en las exportaciones, precios de materia prima, inversión extranjera, remesas y turismo. Asimismo, podría generarse una mayor volatilidad en la salida de capitales y dificultades en el acceso al crédito. El desempeño económico de la región latinoamericana será liderado por Haití, Panamá, Ecuador, Perú y Argentina, entre otros. Brasil, la

mayor economía de Latinoamérica, crecerá 2.9 por ciento en 2011 y 3.5 por ciento en 2012 según CEPAL. Brasil sigue siendo considerado uno de los principales motores de los mercados emergentes y está profundamente integrado a la economía mundial. Asimismo, según la CEPAL, los países de Centroamérica seguirán creciendo entre 2.0 y 3.5 por ciento para 2012, mostrando una leve desaceleración con respecto a 2011, a excepción de Guatemala que estima un crecimiento de 1.4 por ciento en 2011 y 2.0 por ciento en 2012. Finalmente, en lo que respecta a la inflación mundial, se esperaría que con la desaceleración de la demanda global los riesgos inflacionarios disminuyan.

Tabla 10
Indicadores de la economía Mundial

Indicadores de la economía mundial										
Al 31 de diciembre 2011										
Variables	Promedio							Variación %		
	2008	2009	2010	2011	Dec-10	Nov-11	Dec-11	Anual	Interanual	Mensual
<i>Precios futuros ^{1/}</i>										
Café (centavos dólar por libra)	132.5	125.4	164.7	253.3	223.0	232.5	221.7	34.6	(0.6)	(4.7)
Petróleo WTI (dólares por barril)	100.3	62.2	79.4	95.2	89.3	97.8	97.8	23.1	9.5	0.0
Azúcar (centavos por libra)	11.9	17.8	22.3	27.0	31.4	24.2	23.4	4.6	(25.5)	(3.6)
Carne (dólares por libra) ^{2/}	1.5	1.3	1.7	2.1	1.7	1.9	2.0	21.9	16.6	4.6
Ganado en pie (dólares por libra)	0.9	0.8	0.9	1.2	0.9	1.1	1.2	27.8	26.5	4.5
Camarón 16/20 (dólares por libra) ^{2/}	6.5	5.1	5.9	6.6	6.7	6.3	5.6	(5.4)	(16.2)	(11.7)
Camarón 61/70 (dólares por libra) ^{2/}	2.9	2.7	2.8	2.7	2.7	2.6	2.3	(17.3)	(15.7)	(11.9)
Oro (dólares por onza)	870.6	979.0	1,228.7	1,567.1	1,391.1	1,739.6	1,620.0	31.8	16.5	(6.9)
Arroz (dólares por tonelada) ^{2/}	643.4	558.3	478.6	521.0	495.7	586.4	564.5	18.0	13.9	(3.7)
Maíz (dólares por tonelada) ^{2/}	229.0	220.9	221.0	294.4	249.9	272.7	258.3	16.9	3.4	(5.3)
Trigo (dólares por tonelada) ^{2/}	347.2	165.2	185.4	321.0	303.8	314.5	275.7	48.7	(9.2)	(12.3)

Fuente: Bloomberg / Foodservices / Nymex / Comex / Cscs / Cme / Nybot / Gerencia Internacional

Debido a la estrecha vinculación del país con los mercados internacionales como Estados Unidos y Europa como consecuencia a la crisis económica financiera se puede anticipar que la economía Nicaragüense podría verse afectada en exportaciones, remesas e inversión. Estados Unidos es uno de los principales socios de Nicaragua, así mismo Nicaragua es uno de los socios más privilegiados de la Unión Europea en América Latina en términos de cooperación de desarrollo.

El entorno externo va a afectar el crecimiento de Nicaragua generando menos creación de empleos, menos producción, menos exportaciones y menos financiamiento.

Sin embargo, hoy Latinoamérica aparece como una región más resguardada de la crisis con mayor capacidad para enfrentar los impactos externos que hace una década. Algunos países no le hicieron caso al FMI y decidieron ser fondo monetaristas sin el FMI realizando reformas estructural y de disciplina financiera.

Tabla 11

Proyecciones CEPAL
(Tasas de variación)

País	2009	2010	2011^a	2012^b
Argentina	0.9	9.2	9.0	4.8
Brasil	(0.3)	7.5	2.9	3.5
Chile	(1.7)	5.2	6.3	4.2
Costa Rica	(1.3)	4.2	3.8	3.5
Cuba	1.4	2.1	2.5	2.5
Ecuador	0.4	3.6	8.0	5.0
El Salvador	(3.1)	1.4	1.4	2.0
Guatemala	0.5	2.8	3.3	3.0
Haití	2.9	(5.1)	4.5	8.0
Honduras	(2.1)	2.8	3.2	3.0
México	(6.3)	5.6	4.0	3.3
Nicaragua ^c	(1.5)	4.5	4.5	3.5
Panamá	3.9	7.6	10.5	6.5
Perú	0.9	8.8	7.0	5.0
República Dominicana	3.5	7.8	4.5	4.5
Venezuela	(3.2)	(1.5)	4.2	3.0
América Latina y el Caribe	(2.0)	5.9	4.3	3.7

a/: Estimación.

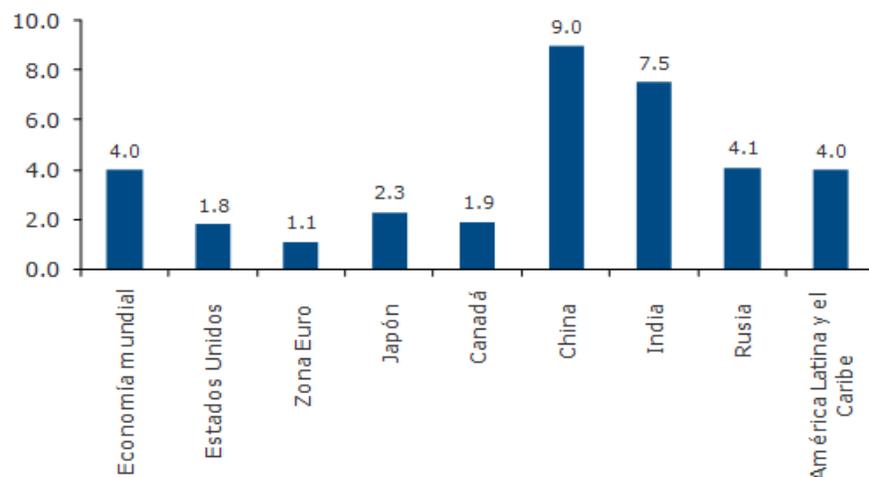
b/: Proyección.

c/: La estimación oficial de crecimiento para 2011 es 4.7%.

Fuente: CEPAL.

Tabla 12

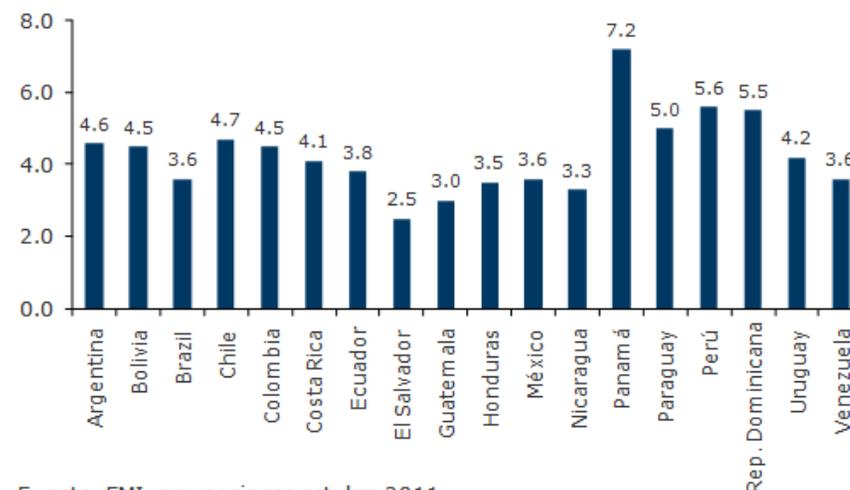
Economía mundial: Perspectivas 2012
(variación porcentual anual)



Fuente: FMI, proyecciones octubre 2011

Tabla 13

América Latina: Proyección del PIB 2012
(Variación porcentual anual)



Fuente: FMI, proyecciones octubre 2011

Venezuela es el segundo mercado para exportaciones de Nicaragua. El ascenso de las exportaciones a Venezuela tiene lugar como resultado de la Alianza Bolivariana para los pueblos de América (ALBA). El alza en el intercambio con Venezuela se distingue por los precios justos para los productos nicaragüense y el respaldo en el suministro de hidrocarburos con facilidades de pago a largo plazo. La producción ganadera se transformó en una las principales fuentes de divisas y empleos en Nicaragua gracias una creciente demanda de carne y lácteos por parte de Venezuela y Estados Unidos.

Esta actividad representa aproximadamente el 27% de las exportaciones totales de Nicaragua.

Cabe señalar que existe protocolo firmado por Venezuela y Nicaragua por 30 años por medio de cual se paga de forma inmediata la mitad y la otra a 25 años por el barril de petróleo importado.

II.2.3.2.- Tasa de crecimiento del país (PIB)

La página Web del Banco Central de Nicaragua BCN, presenta para el período 2000 - 2008, un crecimiento promedio del Producto Interno Bruto (PIB), del 3.26 %¹.

Si bien es cierto, otras iniciativas de cooperación económica como el ALBA auspiciaron proyectos de infraestructura económica, ésta no fue lo suficientemente sólida, como para absorber la carga económica dejada por el grupo de apoyo (crisis mundial generalizada), generando una violenta desaceleración económica reduciendo el crecimiento económico de Nicaragua a cifras en el 2009 de un PIB de -1.50 %, según cifras del Banco Central de Nicaragua BCN.

En el 2010 el PIB se sitúa en un 4.5% según informe coyuntural del Banco Central de Nicaragua del año 2012.

¹ Página Web BCN.

Tabla 14
Crecimiento Económico (BCN)



Centroamérica: crecimiento económico
(variación porcentual)

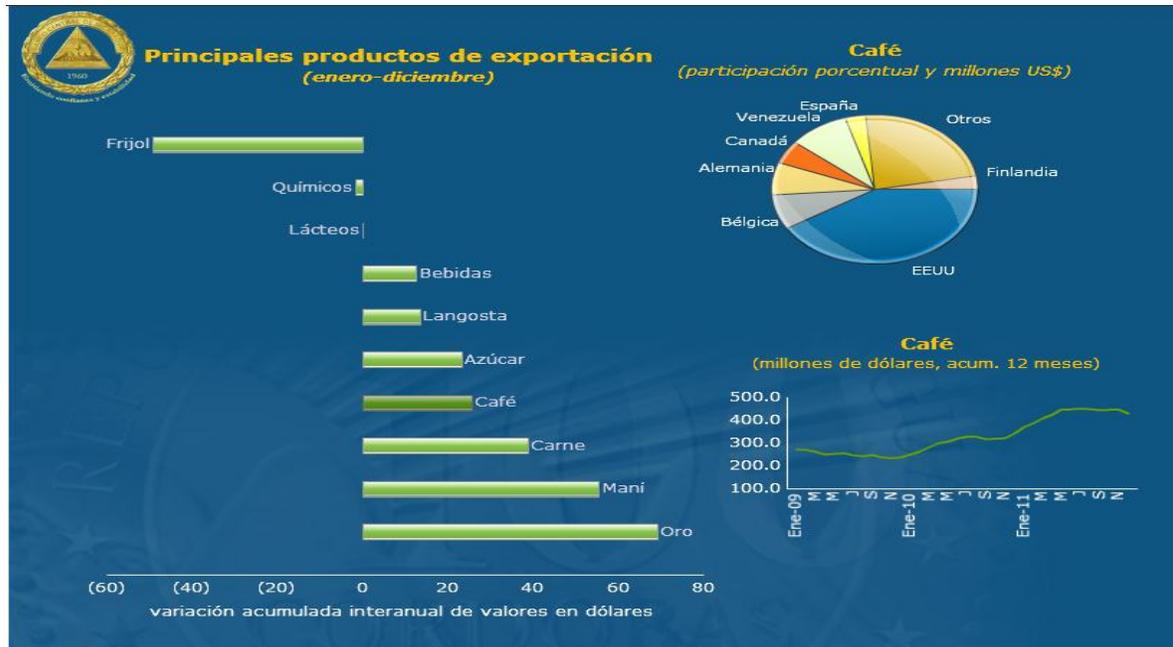
País	2009	2010 ^p	2011 ^e	2012 ^f
Costa Rica	(1.3)	4.2	3.8	3.5
El Salvador	(3.1)	1.4	1.4	2.0
Guatemala	0.5	2.8	3.3	3.0
Honduras	(2.1)	2.8	3.2	3.0
Panamá	3.9	7.6	10.5	6.5
República Dominicana	3.5	7.8	4.5	4.5
Nicaragua ¹	(1.5)	4.5	4.7	3.5-4.0
América Latina y el Caribe	(2.0)	5.9	4.3	3.7

p: preliminar / e: estimado / f: proyectado
1/: Datos BCN
Fuente: CEPAL

Fuente: página Web BCN: Informe coyuntural 2012.

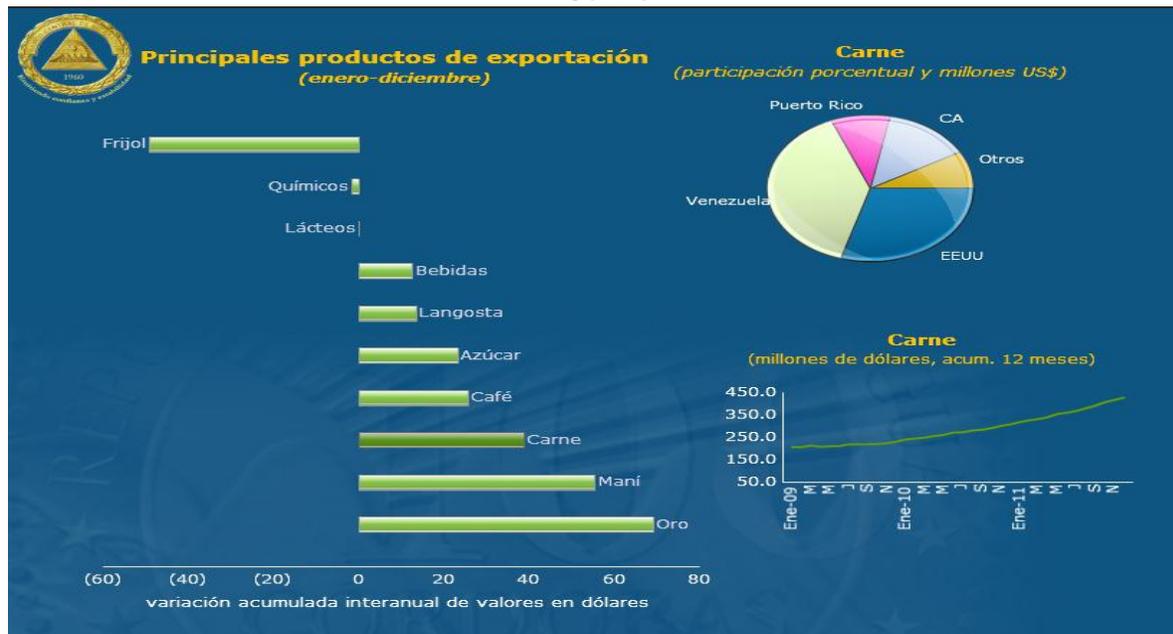
Así mismo el BCN presentó un informe preliminar de cierre de los principales indicadores económicos 2011 y las perspectivas para el año 2012 lo cual se estima una tasa de crecimiento real de 4.7 por ciento en 2011, reflejando un dinamismo transversal de los diversos sectores económicos. Con respecto al 2012, el BCN proyecta que la economía nacional continúe presentando tasas de crecimiento positivas, calculadas en un rango de 3.5-4.0 por ciento, ver Fig. II.3 en anexos.

Figura 4
Principales productos de exportación (BCN)
Café



Fuente: página Web BCN: Informe coyuntural 2012

Figura 5
Principales productos de exportación (BCN)
Carne



Fuente: página Web BCN Informe Coyuntural 2012

Nueva etapa de la Ruta del Café

En el ámbito eco turístico inició oficialmente la segunda etapa de la Ruta del Café con una inyección de 9,100,000 dólares para el periodo 2012-2016, la cual abarcará los 5 departamentos del norte del país: Jinotega, Matagalpa, Estelí, Nueva Segovia y Madriz. Esta segunda etapa es financiada por el Gran Ducado de Luxemburgo que aporta 7.2 millones de dólares y el estado 1.9 millones de dólares, por lo que traerá incremento en la economía a la zona en estudio. En cuanto a las cuotas que le tocará a cada departamento, estas serán variadas. Para Jinotega en esta etapa obtendrá 1.2 millones de dólares.

II.2.3.3.- Tasa de crecimiento poblacional

Según "Proyección de Población de los municipios de San Rafael del Norte y San Sebastián de Yalí" realizado en Marzo del 2008 por el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE), la tasa de crecimiento proyectada para el municipio de San Rafael del Norte del periodo del 2010-2015 es de 1.0%. La tasa de crecimiento para el municipio de San Sebastián de Yalí es de 1.4% en el mismo período (Ver Tabla 15 y 16).

Tabla 15
Tasa de Crecimiento San Rafael del Norte

Tasa de Crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
2005-2010	1.5	1.4	1.6
2010-2015	1	0.9	1.1
2015-2020	1.1	1.1	1.2

Fuente: San Rafael del Norte en cifras (INIDE-2008)

Tabla 16
Tasa de Crecimiento San Sebastián de Yalí

Tasa de Crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
2005-2010	1.9	1.8	2.1
2010-2015	1.4	1.3	1.5
2015-2020	1.6	1.6	1.7

Fuente: San Sebastián de Yalí en cifras (INIDE-2008)

II.2.3.4.- Tasa de crecimiento vehicular

Se ha experimentado también en el tráfico un incremento en las principales carreteras donde se ubican las estaciones de conteo volumétrico de tráfico permanentes del Sistema de Administración de Pavimentos – PMS, de la División General de Planificación - DGP del Ministerio de Transporte e Infraestructura – MTI, se estima una tasa de crecimiento del 4.94 %² en la Estación permanente N° 300 “Sébaco Quebrada Onda” (la más cercana respecto al tramo), para el periodo 2004-2010. Ver Tabla II.2 y II.3 en anexos.

Esta tasa fue calculada de acuerdo con la ecuación:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Donde:

Tc: Tasa de Crecimiento

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Anual Actual

TPDA_o: Tráfico Promedio Diario Anual Año Base

n: diferencia de años

II.2.3.5.-Tasa de crecimiento del Proyecto

Del panorama económico Mundial se concluye que la crisis actual que enfrenta Europa y Estados Unidos afectará las economías en desarrollo como la de Nicaragua lo cual tiende a ser poco alentadora. Sin embargo considerando que actualmente el país cuenta con un buen clima para inversiones, además posee altos índices de seguridad con respecto a otros países de la región, también que se está implementando el desarrollo del turismo y hay financiamiento para este rubro, así como construcción de carreteras y para otros sectores como el Agrícola, exportaciones de carne hacia Venezuela y Estados Unidos, esta atmósfera de oportunidades permitirá a Nicaragua un crecimiento moderado favorable en su economía.

² Corresponde a la Tasa de Crecimiento se la Estación Permanente N° 300, Anuario de Aforos 2010

De acuerdo con la estimación de la tasa del PIB del BCN para el año 2012, los datos históricos del tránsito vehicular del periodo 2004-2010 (tasas) y poblacional del sector periodo 2005-2010, se ha estimado una tasa de crecimiento variada de 3% para vehículos livianos y 2.50% para vehículos pesados, ya que existe una mayor presencia de vehículos livianos, según el comportamiento del tráfico.

II.2.3.6.-Periodo de Diseño

Para nuestro estudio se define que el período de diseño es de 15 años, de acuerdo a la Tabla 17:

Tabla 17
Periodos de Diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	15 - 30 años
Colectora Suburbanas	10 - 20 años
Colectora Rurales	10 - 20 años

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2011

Siendo conservadores se ha escogido este periodo de diseño de 15 años, debido a que este tramo es de mucha importancia para el país, posee un gran potencial por estarse impulsando la Ruta de Sandino y la ruta Eco-turística del café con riquezas ecológicas y de apoyo a la producción agropecuaria. Nicaragua presenta financiamiento disponible por parte del BID y otros fondos. De acuerdo al informe de 3 Adolfo Pastrán de 100% Noticias indica que para el periodo 2011-2012 se inyectará un préstamo de 172 millones de dólares anuales para operaciones del sector público, de los cuales 34 millones de dólares se destinarán para la construcción de caminos y carreteras.

Así como también existe actualmente un financiamiento para el ámbito eco turístico para la Ruta del Café con una inyección de 9,100,000 dólares para el periodo 2012-2016, dato suministrado por la prensa, en la sección de activos. Este financiamiento también será de gran aporte para la zona en estudio.

II.2.3.7.- Cálculo de la proyección del Tránsito

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

Donde:

T_n : Cantidad de vehículos para el año estimado (2012).

T_o : Tránsito en el año cero (2010).

i : Tasa de crecimiento anual, 3% vehículos livianos, 2.5% vehículos pesados.

n : cantidad de años (2).

Aplicando la fórmula se obtiene el tránsito para el primer año en servicio del proyecto (2012).

El tránsito de estudio corresponde al mes de Abril del 2010. En la tabla 18 se presenta el Tránsito para el año 2012:

**Tabla 18
Tránsito 2012**

Año		To 2010	Factor	T 2012
Vehículos Livianos	Motos	128	1.0609	136
	Autos	5	1.0609	5
	Jeep	12	1.0609	13
	Cta	85	1.0609	90
Pesados de Pasajeros	Mb> 15 P	1	1.050625	1
	Bus	18	1.050625	19
Pesados de Carga	Liv C2	7	1.050625	8
	C2	15	1.050625	16
	C3	1	1.050625	1
Otros		2	1.050625	2
Total (vpd)		275		291

Fuente: Elaboración Propia

$Factor = (1 + 0.03)^2 = 1.0609$ **Vehículos livianos**

$Factor = (1 + 0.025)^2 = 1.050625$ **Vehículos pesados**

Factor de crecimiento

Para el estudio se obtienen dos factores de crecimiento:

$$F_c = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i} = 365 * \frac{(1 + 0.03)^{15} - 1}{0.03}$$

$$= 6788.6036 \text{ (veh. livianos)}$$

$$F_c = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i} = 365 * \frac{(1 + 0.025)^{15} - 1}{0.025}$$

$$= 6545.1532 \text{ (veh. pesados)}$$

Factor direccional:

Para la vía en estudio se asignó el valor de 0.5 (La distribución direccional se asigna 50% del tránsito a cada dirección).

Factor carril

El tramo en estudio es una vía de un solo carril en el sentido de circulación de diseño, según la norma AASHTO se tomó el valor de 1, ver Tabla 19.

Tabla 19
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: Libro de diseños de pavimentos ASSTHO-93

Tránsito de diseño

El número de vehículos que circulará en todo el periodo de diseño de la carretera se obtiene mediante la ecuación:

$$TD = T_o * F_c * F_d * F_c'$$

Ver tabla de resultados de Tránsito de Diseño (Tabla 20).

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

Tabla 20
Tránsito de Diseño

Clasificación de Vehículos	Tipos de Vehículos	Peso por eje (lbs)	promedio diario (To-2012)	Factor de Crecimiento FC	FD	Fcarril	TD
Vehículos Livianos	Autos	2200	5	6788.6036	0.5	1	16,972
	Jeep	2200	13	6788.6036	0.5	1	44,126
	Cta	2200	90	6788.6036	0.5	1	305,487
Pesados de Pasajeros	Mb> 15 P	8800	1	6545.1532	0.5	1	3,273
	Bus	11000	19	6545.1532	0.5	1	62,179
Pesados de Carga	Liv C2	8800	8	6545.1532	0.5	1	26,181
	C2	11000	16	6545.1532	0.5	1	52,361
	C3	11000	1	6545.1532	0.5	1	3,273
TOTAL (VEHICULOS)							513,851

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELOS

III.1.- Conceptos Generales

III.1.1.- Sub-rasante

Es la capa en donde descansa toda la estructura de pavimento, de la calidad de esta capa depende el espesor que requiere o debe tener un pavimento. Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad de un suelo a la humedad. Los cambios de volumen de un suelo subrasante de tipo expansivo, pueden ocasionar grandes daños en las estructuras que se apoyen sobre éste. Existen diferentes formas de estabilizar un suelo determinado, tratamientos con aditivos como la Cal o Cemento.

La resistencia de la sub-rasante es un factor básico en la determinación de los espesores de las capas de pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio del C.B.R.

III.1.2.- Clasificación de los suelos

Teniendo en cuenta que en la naturaleza existe una gran variedad de suelos, la Ingeniería de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene prácticamente su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado.

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos en estudio para diseños de los pavimentos de carreteras y aeropistas son el de la American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO) y el Unified Soils Classification System conocido como Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS.

De acuerdo al sistema AASHTO los suelos están clasificados en 8 grupos designado por los símbolos A-1 al A-8, en este sistema los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos, que van del A-1 al A-7 (ver Tabla III.1 en anexos) y estos a

su vez están divididos en un total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

En la clasificación se dividen en:

-Suelos granulares: son aquellos que tienen 35% menos del material fino que pasan por el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

-Suelos finos: contienen más del 35% de material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Otro elemento importante en la clasificación de un suelo es el índice de grupo, suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo. Por ejemplo en los suelos granulares el IG está comprendido entre (0-4), para los suelos limosos el IG oscila entre 8 - 20 y los suelos arcillosos entre 11 – 20 o más. Este índice cuando se indica hay que colocarlo entre paréntesis.

III.1.3.- Pruebas más aplicables en la pavimentación de carreteras y aeropistas.

III.1.3.1.- Determinación del contenido de humedad

Permite determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en término de su peso en seco. El conocimiento de la humedad natural, no sólo permite definir a priori el tratamiento a darle durante la construcción, sino también permite estimar su posible comportamiento como sub-rasante, pues si el contenido natural de agua de un suelo esta próximo al límite líquido, es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si por el contrario, el contenido de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

III.1.3.2.- Análisis Granulométrico

Es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas de suelo. Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo.

Por ejemplo, para clasificar por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más rápido es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil, teniéndose entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

III.1.3.3.- Determinación del Límite plástico

Se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

III.1.3.4.- Determinación del Límite Líquido

Es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.

III.1.3.5.- Índice de plasticidad

Indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido. El cálculo del IP es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

III.1.3.6.- Peso específico

Se define como peso específico de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desaloje. El valor del peso específico, queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, determinación de la densidad de equilibrio de un suelo y corrección de la densidad en el terreno por la presencia de partículas de agregado grueso, interviene en la mayor parte de los cálculos de mecánica de suelos.

III.1.3.7.- Ensayo de compactación

Se entiende por compactación a todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más

impermeable. Para efecto del control de la compactación, es necesario efectuar pruebas que permiten conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de los diferentes tipos de suelos.

III.1.3.8.- Máxima densidad

Es el máximo peso seco obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.

III.1.3.9.- Optimo contenido de Humedad

Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.

III.1.3.10.- Determinación de la resistencia de los suelos

Conocido comúnmente como C.B.R. es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de pavimento flexible. El C.B.R. se expresa en porcentaje como la razón entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón dentro del suelo al esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida.

III.2.- Estudio geotécnico del proyecto

La información de los suelos a lo largo de la línea del proyecto y de los bancos cercanos para la fase de construcción fue obtenida de la firma GEONIC Ingenieros consultores.

III.2.1.- Trabajos de campo y laboratorio

Los trabajos geotécnicos de campo corresponden básicamente en la realización de sondeos manuales a lo largo del rodamiento del camino, ubicados a cada 100 m uno de otro. Igualmente, la toma de muestras de al menos cuatro (4) bancos de materiales, necesarios para la etapa de construcción del Proyecto.

Una vez tomadas las muestras de suelo de los sondeos de línea y de los bancos de materiales, éstas fueron resguardadas y llevadas al laboratorio donde se analizaron de acuerdo con los métodos mostrados en Tabla 21.

Tabla 21
Ensayes y Normas

Tipo de ensaye	Designación Norma
Granulometría	ASTM C 136 , C 117 , AASHTO T 27-88
Límites de Atterberg	ASTM D 4318, AASHTO T89-90, T 90-87
Clasificación de suelos por el Método del Highway Research Board	ASSHTO M 145
Proctor Estándar	ASTM D 698, AASHTO T99-90
CBR	ASTM D 1883 AASHTO T 193-63
Proctor Modificado	ASTM 1557-91, AASHTO T 180-90

A las muestras de los Bancos de Materiales se le realizó los mismos tipos de ensayos de las muestras de los sondeos de línea, con la diferencia de que el Próctor en vez de Estándar, fue Modificado (ASTM D 1557). Además, a la muestra rocosa del Banco El Boniche, se le realizaron ensayos de Desgaste Los Ángeles (ASTM C 131 – AASHTO T-104) y de Intemperismo Acelerado (ASTM C 88).

II.2.1.1.- Sondeos Manuales sobre la Línea

Para realizar el estudio, se efectuó un total de ciento cincuenta y siete (157) sondeos manuales, con profundidades máximas de 1.5 metros, limitados muchos de ellos por el basamento rocoso sub-yacente, y el cual en algunos sitios aflora a los lados del camino, en las cunetas del Proyecto. La ubicación de los sondeos fue de cada cien metros entre uno y otro, ubicados alternadamente al centro, izquierda y derecha, de la carretera. (Ver Estratigrafía en Anexos, en la sección de Ensayes de laboratorio, estratigrafía, Esquema de Bancos y Fotografías del Proyecto).

Las muestras de los sondeos en número de ciento cincuenta y seis (156) muestras típicas para el tramo en estudio, que fueron trasladadas al laboratorio con el objeto de su clasificación definitiva una vez realizados los análisis y ensayos correspondientes.

El criterio de la agrupación de los suelos para los ensayos de CBR, fue el de formar grupos en tramos de cada 2 km del Proyecto con suelos similares que tengan igual clasificación ASSHTO (HRB). De esta manera salieron 29 grupos de CBR. Los resultados de los ensayos de CBR con 0.2" de penetración fueron en general similares o un poco mayor que con los obtenidos con 0.1" de penetración del pistón. Los resultados de CBR seleccionados fueron el promedio de ambas penetraciones. Cabe mencionar que las muestras para ensayo de CBR se saturaron por 4 días antes de ejecutar el ensaye. (Ver Tabla III.2 en anexos).

III.2.1.2.- Resultado de los Ensayos sobre la línea

Los suelos existentes a lo largo del Proyecto, de acuerdo a los sondeos realizados y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera general las características siguientes: Superficialmente existe una capa de rodamiento compuesta de (gravas limosa con arena y arena limosa con grava tipo A-2-4 (0) y A-1-a(0)), de (arenas limosas con grava tipo A-1-b (0)), (grava arcillosa con arena, arena arcillosa con grava de baja compresibilidad tipo A-2-6(0)) y (grava limo arcillosa con arena y grava mal graduada tipo A-2-7 (0)), con coloraciones café claro, gris y blanquecino. La plasticidad en general de estos suelos superficiales varía de 23 a 47% de Límite Líquido, de 3 a 19% de Índice de Plasticidad. Las partículas de los suelos gravosos pasan de 62 a 100% el tamiz de 2", entre 7 y 78% el tamiz No.4, y entre 2 y 23% el tamiz No.200. Las partículas de los suelos areno limosos con grava pasan entre 57 y 81% el tamiz No.4, y entre 5 y 22% el tamiz No.200.

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento, compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Estándar, fue del orden de 10 a 19%, de 13 a 28% y de 20 a 35%, respectivamente.

Debajo de los suelos descritos anteriormente, que fueron encontrados superficialmente, subyacen suelos grava arcillosos con arena, areno arcillosos con grava, así como suelos arcillosos y limo arcillosos con grava de media a baja compresibilidad tipo A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7-5 y A-7-6 con

coloraciones café, café amarillento, gris oscuro y blanquecino. También subyacen algunos suelos arcillosos y limo arcillosos de alta compresibilidad tipo A-7-5 y A-7-6 con Índice de Grupo hasta de 29. Estos suelos arcillosos de alta compresibilidad tienen de 42 a 65% de Límite Líquido y de 55 a 86% que pasa el tamiz No.200.

Los suelos gruesos Tipo A-2-6 y A-2-7 tienen de 22 a 60% de Límite Líquido, de 8 a 31% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 75 a 100% el tamiz No. 2". La fracción fina tiene de 23% a 65% de límite Líquido, de 3% a 35% de índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 66% a 100% del tamiz No.4, y de 36% a 86% el tamiz No.200.

El CBR obtenido de grupos de muestras de suelos gruesos (A-2-5, A-2-6, A-2-7), compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Estándar, fue del orden de 5-16%, 9-28% y 12-33% respectivamente.

El CBR de grupos de muestras de suelos finos compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Estándar, fue del orden de 3-10%, 4-17% y 6-22%, respectivamente.

Los suelos arcillosos de alta compresibilidad se encontraron en los sondeos y profundidades presentados en la Tabla 22.

Tabla 22
Localización de suelos arcillosos

Sondeo	Profundidad, cm	Tipo de Suelo
Tramo: San Rafael del Norte-San Sebastián de Yalí		
1	30 a 148	A-7-6 (16)
2	23 a 150	A-7-6 (16)
3	42 a 150	A-7-6 (16)
8	70 a 150	A-7-6 (15)
12	30 a 150	A-7-6 (11)
17	19 a 150	A-7-6 (11)
32	16 a 150	A-7-5 (29)
59	60 a 150	A-7-6 (11)
85	9 a 150	A-7-6 (20)
88	11 a 150	A-7-6 (20)

Fuente: Estudios de suelos, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO)

Por otro lado, es de señalar que muchos sondeos no alcanzaron la profundidad nominal de 150 cm debido a la existencia de suelos densos muy consolidados o basamento rocoso, tal como en el sector del banco El Boniche (Est. 7+500) donde la proyección rocosa del banco se observa sirviendo de cuneta a la carretera.

Finalmente, es oportuno indicar que en los sondeos de la Est. 6+900, superficialmente, en la Est. 7+100, a 0.80 m de profundidad, y en la Est. 13+500, superficialmente, se encontró agua freática.

III.2.1.3.- Sondeos de los Bancos de Materiales

Se tomaron muestras de cuatro (4) Bancos de Préstamo, los cuales se ubican según la Tabla 23 (ver también en anexos Fig. III.1).

Tabla 23
Localización de Bancos de Préstamo

No.	Nombre	Ubicación	Coordenadas UTM GWS-84 ZONA 16
1	Cerro Los Muertos	De San Rafael del Norte, 300 m este	596923 E – 1460464 N
2	Los Encuentros	Est.1+350, l/i	595622 E – 1462009 N
3	El Boniche	Est.7+500, l/i	591198 E - 1465205 N
4	Las Viejitas	Est.14+500, l/d	588240 E – 1469762 N

Fuente: Estudios de suelos, Camino San Rafael del Norte – San Sebastián de Yalí (EDICO)

Los Bancos son de uso conocido en la zona y ya han estado en explotación, presentando cortes. En cada Banco se realizaron de 3 a 4 calicatas de 3.0 m de profundidad, y además se tomaron muestras en varios sitios de los cortes existentes.

Los materiales obtenidos de los Bancos de Préstamo, de acuerdo a la exploración realizada y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan las características siguientes características:

III.2.1.4.- Resultados de los Ensayos de los Bancos**Banco de préstamo No. 1: Cerro de los muertos**

Este Banco de Materiales se ubica en San Rafael del Norte, unos 800 m al Este. El material de este Banco tomado del corte existente de 0.4 a 6.0 m de profundidad, corresponde a una grava con poco fino arcilloso tipo A-2-7 (0) color amarillento rojizo. Tiene de 45 a 46% de Límite Líquido, 19 a 21% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 74 a 96% el tamiz de 2", de 10 a 17% el tamiz No.4, y 3 a 5% el tamiz No.200. Otra muestra obtenida del corte existente de 6.0 a 8.0 m de profundidad, como de la calicata 4 a partir de 1.95 m de profundidad, corresponde a una grava mal graduada con muy poco fino arcilloso tipo A-2-6 (0) color amarillento. Tiene 40% de Límite Líquido, 16% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 76% el tamiz de 2", 2% el tamiz No.4, y 0% el tamiz No.200. Su PVS máx. es de 1,890 kg/m³ y su Humedad óptima de 9.6%. Su PVSS es de 1,355 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.39.

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 50x10x30 m, para un Vol.± de 15,000 m³. Tiene un descapote según el pozo No.4, de 1.95 m. En los pozos 1, 2 y 3, hasta una profundidad de 3.0 m, no se encontró material.

Banco de Préstamo No. 2: Los Encuentros

El Banco de Materiales No. 2 se ubica en la Est. 1+350, L/I. Este Banco es de uso conocido en la zona, y su propietario es el Sr. Camilo Zeledón. Este Banco tiene varios tipos de materiales, dos de ellos corresponden a una arena limosa con grava tipo A-1-b (0) y A-2-5 (0) color gris claro. Tienen de 28 a 42% de Límite Líquido, de 4 a 9% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 81 a 100% el tamiz de 1/2", de 56 a 70% el tamiz No.4, y de 12% el tamiz No.200. Otros materiales corresponden a una arena limosa tipo A-5 (1) color rosado y arena limosa con grava tipo A-2-7 (0). Tiene de 45 a 48% de Límite Líquido, de 1 a 2%

de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 95 a 100% el tamiz de 1/2", de 72 a 88% el tamiz No.4, y de 24 a 39% el tamiz No.200.

El CBR obtenido en muestras compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, fue de 14%, 21% y 32%, respectivamente. Su PVS máx. es de 1,533 kg/m³ y su Humedad Optima de 15.4%. Su PVSS es de 987 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.55.

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 125x10x30 m, para un Vol.± de 37,500 m³. Tiene un descapote de 1.1 a 1.5 m de espesor.

Banco de Préstamo No. 3: El Boniche

El Banco de Materiales No. 3 se ubica en la Est. 7+500, L/I. Este Banco es de uso conocido en la zona, y su propietario es el Sr. Benito Zeledón. Este Banco tiene dos tipos de materiales, uno de ellos que prácticamente es el descapote tipo cascajo, el cual corresponde a una grava con arena limo arcillosa tipo A-2-7 (0) con coloraciones gris claro, rojizo y blanquecino. El material tomado de los pozos 1 y 2, a una profundidad de 0.20 a 0.60 m, tiene 52% de Límite Líquido, 13% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 94% el tamiz de 2", 32% el tamiz No. 4, y 16% el tamiz No. 200. De la cata No. 3, de 1.6 a 3.0 m de profundidad, se tomó una grava limo arcillosa con arena de baja plasticidad color rojiza. Tiene 42% de Límite Líquido, 10% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 89% el tamiz de 2", 38% el tamiz No. 4, y 12% el tamiz No. 200. De la cata No. 4, de 1.6 a 3.0 m de profundidad, se tomó una grava limosa con arena color blanco. Tiene 57% de Límite Líquido, 9% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 1", 56% el tamiz No. 4, y 17% el tamiz No. 200.

El material tipo bolón tomado superficialmente y en calicata No. 3, que es el mayoritario del Banco, corresponde a una formación rocosa color gris oscuro. No tiene Plasticidad, y sus partículas pasan en dependencia del grado de trituración que se requiera.

El CBR de los materiales de préstamo, obtenido en muestras compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, fue de 30%, 37% y 41%, respectivamente. Su PVS máx. es de 1,847 kg/m³ y su Humedad Optima de 14.1%. Su PVSS es de 1,420 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.30.

El material rocoso de trituración, tiene un Desgaste Los Ángeles de 23.0%, y un resultado de Intemperismo Acelerado de 5.57%.

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 150x20x60 m, para un Vol.± de 180,000 m³. El material de descapote de la roca en las catas 1 y 2, tiene un descapote de 0.2 m de espesor. En los sitios de las catas 3 y 4, a partir de 1.6 a 3.0 m de profundidad, se encuentra material gravo limoso con arena color blanco.

Banco de Préstamo No. 4: Las Viejitas

El Banco de Materiales No. 4 se ubica en la Est. 14+500, L/d. Este Banco es de uso conocido en la zona, y su propietario es el Sr. Marcos Úbeda.

El material de este Banco corresponde a una grava con limo arcilloso de baja compresibilidad tipo A-2-4 (0) color café. Tiene 33% de Límite Líquido, 9% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 2", 29% el tamiz No. 4, y 9% el tamiz No. 200. Otra muestra tomada de la cata No. 3, de 0.85 a 3.0 m de profundidad, tiene 39% de Límite Líquido, 15% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan 100% el tamiz de 3/8", 62% el tamiz No. 4, y 13% el tamiz No. 200. El CBR obtenido en muestras compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, fue de 37%, 80% y 120%, respectivamente. Su PVS máx. es de 2,009 kg/m³ y su Humedad Optima de 7.6%. Su PVSS es de 1,308 kg/m³, y su Factor de Abundamiento de 1.54.

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 64x10.5x30 m, para un Vol.± de 20,160 m³. El descapote tiene un espesor aproximado de 0.85 m.

Se presenta en la Tabla 24 de manera resumida las principales características de los Bancos de Materiales estudiados en el Proyecto.

Tabla 24
Resumen de Resultados de Bancos de préstamo

No.	Nombre del Banco	Pasa Tamiz	Pasa Tamiz	Pasa Tamiz	LL, %	IP, %	CBR, %		
		2"	No.4	No.200			90%	95%	100%
1	Cerro Los Muertos	74-96	2-17	3-5	15-46	19-21			
2	Los Encuentros	100	56-88	12-39	28-48	1-12	14	21	32
3	El Boniche	89-100	32-56	12-17	42-57	9-13	30	37	41
4	Las Viejitas	98-100	8-62	2-13	32-39	9-15	37	80	120

Analizando los resultados de laboratorio a lo largo de la línea, los suelos de subrasante corresponden en su mayoría a materiales de buena capacidad soporte.

El diseño geométrico realizado por los consultores (Geonic), define que la proyección del nuevo trazado geométrico coincide en la mayoría de las características del estado actual del tramo, evitando cortes.

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento compactadas al 95% de Próctor Estandar oscila entre 13 y 28% ubicándose según estos resultados como una subrasante buena y muy buena. (Ver Tabla III.3 en Anexos).

Con respecto a la granulometría la capa superficial compuesta por suelos gravosos y arenosos no cumple con los requisitos de graduación de agregado para una subrasante.

Los suelos debajo de la capa superficial no cumplen con los requerimientos de una subrasante, mayoritariamente estos suelos son finos arcillosos altamente compresibles y para mejorar sus propiedades mecánicas deberán ser estabilizados con Cal.

Del resultado de los bancos de materiales tenemos que el material del Banco Las Viejitas cumple parcialmente con las exigencias de una sub base según las especificaciones NIC-2000 de la sección 1003.09 inciso a y b (cuadro 1003.03 de granulometría y Limite Líquido), ver Fig. III.2 y Tabla III.4 en anexos. No cumple en el caso de la granulometría del material que pasa el tamiz No. 4, así como en el límite líquido. Por lo que se deberá mejorar la granulometría y tratar la plasticidad con algún aditivo.

El CBR de este material a una compactación del 95% según mínimos de compactación es del 80% ubicándose con una resistencia de capa base buena, excelente material para sub-base, ver Tabla III.3 y Fig. III.3 en anexos.

El Banco El Boniche que está propuesto como material de base, presenta dos tipos de materiales, uno que corresponde al descapote y a otros sectores del banco material que no va a ser utilizado ya que no cumple con las especificaciones de la Nic-2000 de la sección 1003.09 inciso a y b (cuadro 1003.03 de granulometría y Limite Líquido) ver Fig. III.2 y Tabla III.4 en anexos y otro que puede ser utilizado como Base, parte Rocosa material tipo bolón mayoritario del banco. No tiene Plasticidad, y sus partículas pasan en dependencia del grado de trituración que se requiera por lo cual deberá apearse según las especificaciones NIC-2000 Sección 1003.09 cuadro 1003-3 de graduación, ver Fig. III.2 y Tabla III.4 anexos.

El CBR del 100% material granular triturado correspondiendo a una base excelente, ver Tabla III.3 en anexo.

El material rocoso de trituración, tiene un Desgaste Los Ángeles de 23.0%, y un resultado de Intemperismo Acelerado de 5.57% cumpliendo con los requisitos para agregado de base.

CAPITULO IV: DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE

IV.1.- Conceptos

IV.1.1.- Pavimento

Está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construye técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. El método a utilizar en el estudio es el ASSHTO-93.

Las variables que intervienen en el diseño de los pavimentos son de mucha importancia ya que por medio de ellas se pueden realizar diseños confiables y óptimos al mismo tiempo.

IV.1.2.- Variables de Diseño

IV.1.2.1.- El Tránsito

Número equivalente de ejes sencillos de 8.2 toneladas (18,000 lbs.) acumulados durante el periodo de diseño. Se hará uso de las cargas por ejes de cada tipo de vehículo permitidas por el MTI (ver Tabla II.1 y Figura II.2 en anexos).

Existe un factor correspondiente para cada eje de vehículos según tablas de la ASSHTO del apéndice D, Diseño de estructura de pavimento D-3 y D-4, para ejes sencillos y dobles (Ver tabla IV.1 y IV.2 en anexos), la cual sugiere utilizar un número abstracto (SN) que expresa la resistencia estructural de un pavimento, transformando la carga por eje a un número de eje equivalente. Se asume para este estudio $SN=5$.

El número estimado de ejes equivalentes de 8.2 ton para el periodo de diseño de 15 años del tramo de carretera en estudio San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí es de 3.185×10^5 .

El cual se obtiene multiplicando el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo por su respectivo factor de equivalencia. El resultado final ESAL (W_{18}) se obtiene de la sumatoria total de las multiplicaciones antes realizadas.

$$W_{18} = \text{factor ESAL} * TD$$

Cálculo de Ejes Estándar Equivalentes (ESAL) mostrado en la Tabla 25:

**Tabla 25
ESAL DE DISEÑO**

Clasificación de Vehículos	Tipos de Vehículos	Peso por eje (lbs)	TD	Factor ESAL	ESAL DE DISEÑO
Vehículos Livianos	Autos	2200	16,972	0.00038	6.4492
		2200	16,972	0.00038	6.4492
	Jeep	2200	44,126	0.00038	16.7679
		2200	44,126	0.00038	16.7679
	Cta	2200	305,487	0.00038	116.0851
		4400	305,487	0.0034	1038.6563
Pesados de Pasajeros	Mb> 15 P	8800	3,273	0.0502	164.2833
		17600	3,273	0.9206	3012.7340
	Bus	11000	62,179	0.1265	7865.6379
		22000	62,179	2.35	146120.5459
Pesados de Carga	Liv C2	8800	26,181	0.0502	1314.2668
		17600	26,181	0.9206	24101.8723
	C2	11000	52,361	0.1265	6623.6951
		22000	52,361	2.35	123048.8807
	C3	11000	3,273	0.1265	413.9809
		36300	3,273	1.425	4663.4217

TOTAL (VEHICULOS)	513,851	318,530.49
--------------------------	----------------	-------------------

Fuente: Elaboración Propia

ESAL DE DISEÑO	3.185E+05
-----------------------	------------------

IV.1.2.2.- Confiabilidad

Comportamiento del pavimento ante condiciones ambientales y de tránsito. Probabilidad de que un pavimento se desarrolle satisfactoriamente durante su vida útil. Para el diseño se seleccionó un valor de confiabilidad de 85% según ASSHTO-93 (PAG. II-9), con una clasificación funcional de la vía en estudio como colectora rural. Ver tabla IV.3 en anexos.

IV.1.2.3.- Desviación estándar

Considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito, también toma en cuenta los datos de construcción (variabilidad en las propiedades de los materiales del suelo, condiciones climáticas y calidad de construcción).

Para pavimento flexible de $0.40 < S_o < 0.50$, según ASSHTO-93, para el diseño presente se tomará un valor de 0.45. Ver Tabla IV.4 en anexos.

IV.1.2.4.- Serviciabilidad (ΔPSI)

Pérdida de la calidad de servicio que ofrece un pavimento

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

El índice de servicio presente varía de 0 (carretera imposible de transitar) hasta 5 (carretera perfecta).

La ASSHTO sugiere un $P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles valor que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, ahora sugiere un valor de $P_t = 2.5$ para las autopistas y vías principales; $P_t = 2$ para las demás carreteras.

Se ha tomado para el diseño un valor de 4.2 para serviciabilidad inicial (P_o) y 2 para serviciabilidad final (P_t). De manera que $\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2$.

Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

IV.2.- Propiedades de los Materiales

IV.2.1.- Superficie de Rodamiento (Carpeta Asfáltica)

Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Cuando la carpeta está hecha de concreto asfáltico colabora a la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante.

IV.2.1.1.- Estabilidad de Marshall

El Valor de la estabilidad de Marshall está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. Las mezclas con valores muy altos de estabilidad, son con frecuencia pocos deseables, debido a que los pavimentos contienen este tipo de mezcla tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grande de tránsito. La clasificación del tránsito para el proyecto está catalogado como mediano, condiciones del tránsito que resultan en un EAL de diseño entre 10^4 y 10^6 , según serie de manuales No. 22 (MS-22), pág. 98 Fig. 3.19, criterios del Instituto del asfalto. Ver Tabla IV.5 en anexos

$$ESAL = 318,530 \sim 3.18 \times 10^5$$

$$10^4 < \mathbf{3.185 \times 10^5} < 10^6$$

El valor de la estabilidad de Marshall será de **1200 lbs**.

IV.2.1.2.- Coeficiente Estructural (a_1)

El coeficiente estructural a_1 para carpetas asfálticas en caliente está en función de su módulo de elasticidad y a su vez de la estabilidad Marshall.

En nuestro Diseño utilizaremos un valor de $a_1 = 0.33$ para la carpeta asfáltica, según ASSHTO-93. Ver Fig. IV.1 en anexos.

IV.2.2.- Base

Es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores los esfuerzos producidos por el tránsito de una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduce a través de la carpeta o por los hombros del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

IV.2.2.1.- CBR

Esta puede ser granular o estabilizada. El material propuesto a utilizar proviene del banco EL BONICHE, que corresponde a un material en su mayoría rocoso con un CBR del 100% (ver Tabla 26) correspondiendo a una base excelente, ver Tabla III.3 en anexos.

Tabla 26
CBR diseño para Base

Base Tipo	CBR diseño %
Piedra partida bien graduada	100
Macadam c/agua	100
Macadam seco	100
Bases bituminosas intermedias y superficiales en caliente	100
Roca Caliza	80 - 100
Estabilizado granular	80

Fuente: Libro de Diseño de Pavimento AASHTO-93

IV.2.2.2.- Coeficiente Estructural (a_2)

Este material estará representado por un coeficiente Estructural a_2 . En este diseño el coeficiente a_2 es 0.14, determinado mediante el gráfico. Ver Fig. IV.2 en anexos.

IV.2.2.3.- Módulo de Resiliencia

El modulo de resiliencia para la Base se determina a partir del CBR, en este caso con un valor de CBR = 100%, por ser material tipo roca triturada, resultando un $M_r = 30,000$ PSI (ver Fig. IV.2 en anexos).

IV.2.3.- Sub base

Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, por ejemplo, cambios volumétricos asociados con los cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. También actúa como drenaje para desalojar el agua que se infiltra al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base. Otra de las principales funciones es que sirve de transición entre el material de base, generalmente granular a materiales menos gruesos y la propia sub-rasante, generalmente formada por materiales más finos. La subbase es más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la sub-rasante.

El material de Sub-Base podrá provenir del Banco de Préstamo Las Viejitas analizado en el estudio, el cual cumple parcialmente con las especificaciones NIC-2000 de la sección 1003.09 inciso a y b (cuadro 1003.03 de granulometría y Límite Líquido), ver Fig. III.2 y Tabla III.4 en anexos. Siempre y cuando se mejore la granulometría y la plasticidad con algún aditivo.

IV.2.3.1.- CBR

El CBR de diseño a una compactación del 95% es del 80% ubicándose con una resistencia de capa base buena, excelente material de sub-base. (Ver Tabla III.3 y Fig. III.3 en anexos).

IV.2.3.2.- Coeficiente Estructural (a_3)

El material de esta capa está representado por un coeficiente estructural a_3 que permite convertir su espesor real a su número estructural. Se utilizará un valor de a_3 : 0.13, determinado a partir del CBR en la gráfica. Ver Fig. IV.3 en anexos.

IV.2.3.3.- Módulo de Resiliencia

El Módulo de Resiliencia para la sub-base se determina a partir del CBR, en este caso con un valor de CBR = 80% de acuerdo a los resultados del Banco Las Viejitas, un $M_r = 19,210$ PSI (ver Fig. IV.3 en anexos).

IV.2.4.- Subrasante

Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería. La resistencia de la sub-rasante es un factor básico en la determinación de los espesores de las capas de pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio del C.B.R.

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento, compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Estándar, fue del orden de 10 a 19%, de 13 a 28% y de 20 a 35%, respectivamente.

Los suelos de sub-rasante corresponden en su mayoría a materiales de buena capacidad soporte.

IV.2.4.1.- CBR de Diseño**Determinación del CBR de Diseño**

Para determinar el CBR de diseño se hace necesario realizar varias pruebas cuyo número depende de la importancia del proyecto y de la longitud del mismo. Todas estas pruebas son de esperar que den resultados diferentes a causa de las variaciones naturales de los suelos y a las imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos. El valor a tomar debe ser representativo de los materiales existentes, en el tramo de camino a considerar en el diseño de pavimento, por lo que existen muchos criterios, para seleccionar el CBR adecuado, siendo el más utilizado el del Instituto del Asfalto, quien recomienda tomar un valor tal, que el 60, el 75 ó el 87.5% de los valores individuales sea mayor o igual que él, de acuerdo con el tránsito que se espere circule sobre el pavimento, como se muestra la tabla 27:

Tabla 27
Límites para la selección del CBR de diseño

Número de Ejes de 8.2 toneladas en el carril de Diseño	Percentil a seleccionar para hallar el CBR de Diseño (%)
< 10 ⁴	60
10 ⁴ a 10 ⁶	75
>10 ⁶	87.5

En este caso, el percentil a seleccionar es de 75%.

La metodología para la elección del CBR a utilizar consiste en:

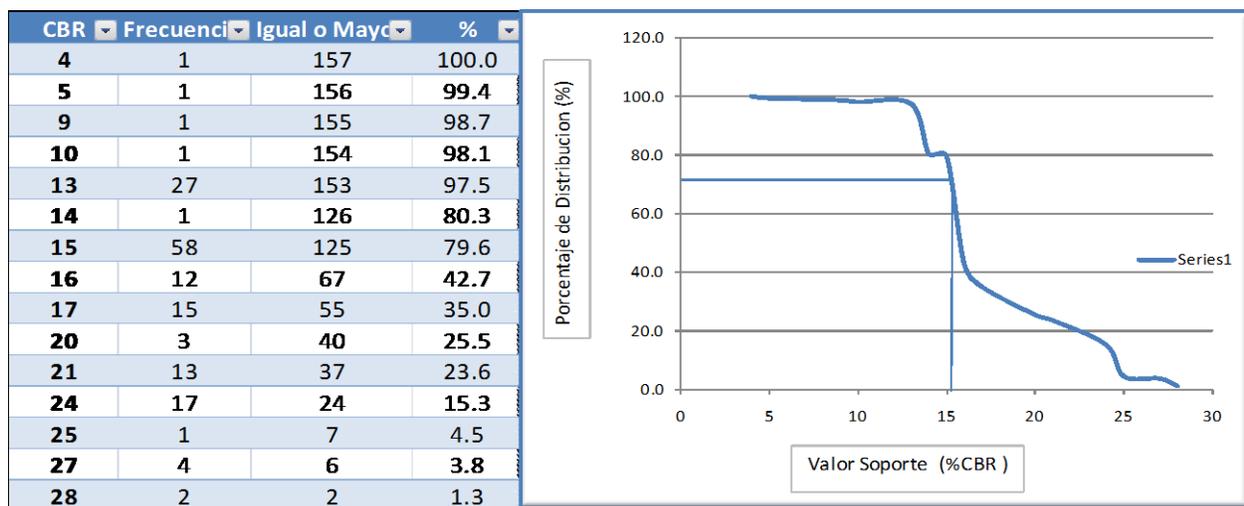
- 1) Se ordenan los valores de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores que cada uno.
- 2) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes anteriormente calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR para el percentil elegido, de acuerdo al número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

El percentil obtenido para el Tramo San Rafael del Norte-San Sebastián de Yalí, es el siguiente:

**Figura 6
CBR obtenido**

PROYECTO: CARRETERA SAN RAFAEL DEL NORTE - YALÍ

PORCENTAJES DE DISTRIBUCION DE C.B.R AL 95%



Σ 157

PERCENTIL AL 75 % = 15.00 %

Fuente: Elaboración Propia

Clasificándose como una subrasante regular CBR: 15% a una compactación del 95% (ver Tabla III.3 en anexos).

IV.2.4.2.- Módulo resiliente (caracterización del material de subrasante)

Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos, se han encontrado una relación entre el MR medido en el campo y el CBR de laboratorio para la misma densidad. **MR (psi) = 1500 x CBR**, expresión que se considera razonablemente aproximado para suelos finos con un CBR sumergido no mayor de 10 y **MR (psi) = 4326 x ln CBR + 241** expresión considerada para suelos granulares.

En el presente estudio con valor de CBR del 15% con características de suelo granular se usará la relación:

$$\text{MR (psi)} = 4326 \times \ln \text{CBR} + 241 = 4326 \times \ln (15) + 241 = 11,956 \text{ PSI} = 11.96 \text{ KSI}$$

IV.3.- Determinación del número estructural (SN)

La ecuación de diseño recomendada por la AASHTO permite la obtención del número estructural, a partir de los siguientes parámetros:

- 1 Tránsito estimado durante el período de diseño (W_{18})
- 2 El nivel de confiabilidad (R). Debe recordarse que la aplicación de este nivel implica la utilización de promedios en los datos de entrada.
- 3 La desviación estándar (S_o).
- 4 El módulo resiliente de la subrasante (M_R)
- 5 La pérdida de nivel de servicio durante el período de diseño, $\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$

IV.3.1.- Ecuación de diseño

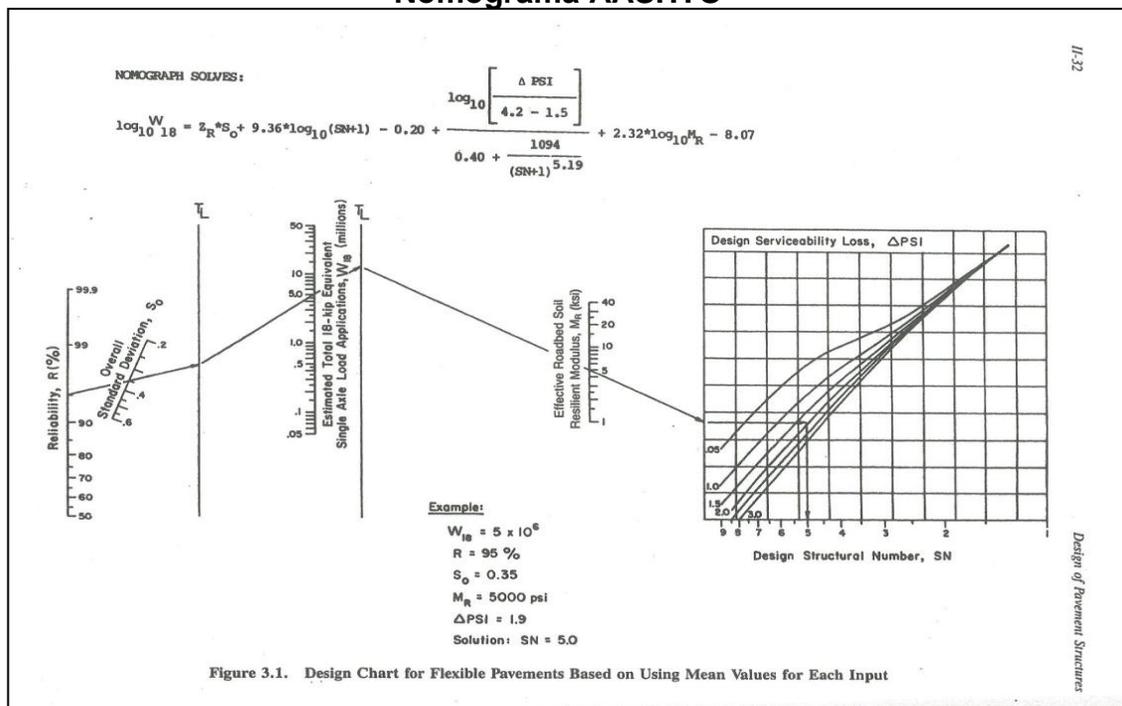
La Ecuación de Diseño para Pavimentos Flexibles corresponde a la Ecuación (1.2.1) descrita en la página I-5, Parte I, de la Guía ASSHTO-93 para el Diseño de Pavimentos y toma la configuración siguiente:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

IV.3.2.- Nomograma

Una manera de resolver la ecuación o conocer el Número Estructural (SN), es con el método gráfico o nomograma AASHTO que se presenta en figura 7.

**Figura 7
Nomograma AASHTO**



Fuente: AASHTO, sección 3.1.1, pág. II.32

Este método es más rápido aunque menos preciso por los errores al trazar las líneas. Este representa el valor de SN para la base como para la carpeta de rodamiento.

Por medio de los números estructurales (SN) se determina los distintos espesores de capas que conformarán la estructura de pavimento.

El estudio define para la carpeta $SN_1 = 1.58$, para la base $SN_2 = 2.10$ y para la subbase $SN_3 = 2.27$ al realizar los trazos en la gráfica de diseño, ver Fig. IV.4 en anexos.

IV.4.- Coeficiente de Drenaje

La humedad tiene una gran influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen el paquete estructural y sobre el comportamiento de los pavimentos en general. La presencia del agua juega un papel tan importante que en el método AASHTO-93 incorpora un coeficiente de drenaje (m) en la ecuación de diseño, que afectaba a base y sub-base.

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

La zona en estudio es de Clima de Sabana Tropical de Altura. Corresponde a zonas localizadas en alturas superiores a los 1,000 msnm, La precipitación pluvial para la zona de acuerdo a datos de INETER, es de 1,200 a 1,600 mm/año.

Se asumirá que más del 25% del tiempo el pavimento estará expuesto a diferentes de humedad cercana a la saturación por lo cual se considera la calidad de drenaje como buena, coeficiente de drenaje $m = 1$, de acuerdo a la Tabla IV.6 de los anexos.

IV.5.- Espesores del Paquete Estructural

En esta sección se presentan 4 opciones a considerar, esto debido al espesor inicialmente calculado (opción A) de la carpeta Asfáltica, lo cual es de 5 pulg. En razón de economía en la carpeta asfáltica, se disminuye su espesor aumentando la estabilidad de Marshall a 1800 lbs (opción B), así mismo se usa el espesor mínimo para carpetas de asfalto para el rango de 150,000 a 500,000 ESAL`s de Diseño (Ver Tabla IV.7 en anexos), que es de 2.5pulg con una estabilidad de Marshall de 1200 lbs (opción C). También se prueba con una estabilidad de Marshall de 1800 lbs con el espesor mínimo de carpeta asfáltica de 2.5pulg (opción D).

En la Tabla 28 se presentan los resultados de manera resumida de las opciones, los cálculos se observan en la sección de cálculos de los anexos.

Tabla 28

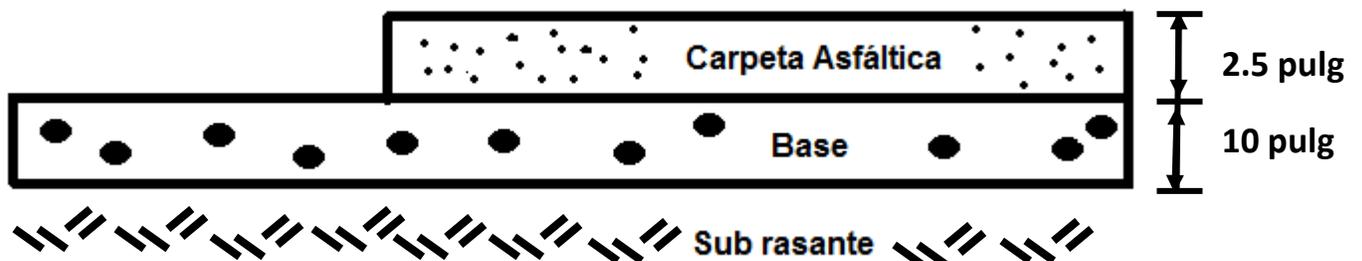
ESPEORES DE CAPAS			TOTAL
OPCION A	Estabilidad de Marshall	1200 lbs	
	Espesor de Carpeta Asfáltica	Calculado	
	Resultados:		
	Espesor Carpeta Asfáltica	5.00 pulg	9.50 pulg
	Espesor Base	4.50 pulg	
OPCION B	Estabilidad de Marshall	1800 lbs	
	Espesor de Carpeta Asfáltica	Calculado	
	Resultados:		
	Espesor Carpeta Asfáltica	4.00 pulg	8.50 pulg
	Espesor Base	4.50 pulg	
OPCION C	Estabilidad de Marshall	1200 lbs	
	Espesor de Carpeta Asfáltica	Mínimo	
	Resultados:		
	Espesor Carpeta Asfáltica	2.50 pulg	12.50 pulg
	Espesor Base	10.00 pulg	
OPCION D	Estabilidad de Marshall	1800 lbs	
	Espesor de Carpeta Asfáltica	Mínimo	
	Resultados:		
	Espesor Carpeta Asfáltica	2.50 pulg	11.50 pulg
	Espesor Base	9.00 pulg	

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

De acuerdo a estos resultados, se ha escogido la opción C, que corresponde a un espesor de carpeta asfáltica de 2.5 pulg y un espesor de base de 10 pulg, con una estabilidad de Marshall de 1200 lbs. Para este caso, se logra una disminución de la carpeta asfáltica reduciendo costos de construcción. El total de espesores de carpeta y base es por 12.5 pulg, equivalente a 31.75 cm. (Ver Resumen en Tabla IV.8).

Figura 8
Esquema de capas de la estructura de pavimento



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1.- Conclusiones

La estructura de pavimento flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí, por el método AASHTO – 93 estará conformada por:

V.1.1.- Espesores Finales

1. Carpeta Asfáltica con un espesor de 2.5”
2. Base Granular de 10”, el material propuesto a utilizar proviene del banco EL BONICHE, que corresponde a un material en su mayoría rocoso con un CBR de diseño del 100% correspondiendo a una base excelente.

V.1.2.- Resultados de suelos sobre la Línea

Los suelos de sub-rasante corresponden en su mayoría a materiales de buena capacidad soporte. El CBR obtenido de las muestras de rodamiento compactadas al 95% de Próctor Modificado oscila entre 13 y 28% ubicándose según estos resultados como una subrasante buena y muy buena.

Los suelos debajo de la capa superficial no cumplen con los requerimientos de una subrasante, mayoritariamente estos suelos son finos arcillosos altamente compresibles.

Es importante señalar que la nueva carretera se establecerá sobre un camino existente por lo tanto el nivel de subrasante actual del camino, corresponde con el trazado que tendrá la nueva subrasante.

V.1.3.- Resultados de los Bancos de Materiales

El CBR del material del Banco Las Viejitas a una compactación del 95% según mínimos de compactación es del 80%. Se ubica con una resistencia de capa base buena, excelente material para sub-base.

El Banco El Boniche, presenta material que puede ser utilizado como Base, parte Rocosa material tipo bolón mayoritario del banco. No tiene Plasticidad, y sus

partículas pasan en dependencia del grado de trituración que se requiera. El CBR del 100% material granular triturado correspondiendo a una base excelente.

V.1.4.- Análisis del TPDA del Tramo en Estudio para el año base y proyección.

Las tasas de crecimiento que se utilizaron para el diseño fueron 3% para vehículos livianos y 2.5% para vehículos pesados, valores que resultaron del análisis y comportamiento de variables socioeconómicas de Nicaragua y del sector estudiado. El periodo de diseño corresponde a 15 años.

El tráfico proyectado a estos años da como resultado un total de 513,851 vehículos. Los vehículos livianos predominantes corresponden a camionetas, con 305,487 veh. que equivale a 59.45%. De los vehículos pesados, los buses son los que sobresalen con 62,179 buses, representados en un 12.10%. Con respecto a los pesados de carga, los C2 son la mayoría, con 52,361 camiones de carga con 10.19%.

Los ejes estándar Equivalentes (ESAL) de las camionetas ejercen un efecto en la estructura de 0.40%, los buses a 48.34% y los C2 a 40.71%, por lo tanto las camionetas son las que generarían un impacto mínimo en comparación con los otros tipos.

V.2.- Recomendaciones

Construir los espesores de pavimento indicados en esta tesina, los que se determinaron en función del uso de la vía y de acuerdo a los tipos de suelos encontrados a lo largo del camino investigado.

V.2.1.- Capa de rodamiento

Realizar control de calidad del material, diseño de mezcla y los procesos de construcción como la compactación de esta carpeta para alcanzar la estabilidad de Marshall de 1200 lbs.

Producto de las lluvias, se aprecian cruces de agua, nivel freático, como emanación de agua del lecho del camino, en ciertos sitios. Estos casos afectan la estructura del pavimento, por lo que se deben tomar muy en cuenta en el diseño.

Para contrarrestar estas situaciones, se necesitará construir satisfactoriamente obras de drenaje subterráneas y superficiales tales como subdrenes y cunetas que permitan interceptar el agua y evacuarla.

V.2.2.- Sub-Rasante

Considerando que la sub-rasante de diseño coincide con el nivel actual de la carretera, antes de colocarse el material de préstamo de Base, se recomienda limpiar y escarificar la superficie de sub-rasante o rodamiento existente al menos en 15 cm de profundidad y compactarla a un mínimo de 95% Próctor Estándar (ASTM D 698).

Igualmente a lo largo del Proyecto se deberá, y considerando sobre todo que el muestreo entre sondeos de línea fue de 100 m, controlar durante el proceso de construcción, cualquier afloramiento posible de materiales indeseables no detectado en el estudio. Así mismo se debe contar con asesoría geotécnica.

En caso se encontrara suelo inestable, debe ser sub-excavado y se deberá reponer con material del banco de préstamo Las Viejitas o El Boniche.

También se recomienda estabilización con algún aditivo como la cal para suelos arcillosos compresibles que se encontraron en el estudio, hacer una investigación previa tomando en cuenta las reacciones físicas químicas que se puedan generar, calculando una buena proporción del aditivo para obtener un mejor material.

V.2.3.- Base

Este trabajo consistirá en colocar y compactar al menos al 95% de su densidad máxima obtenida según Próctor Modificado, una capa de revestimiento de agregados seleccionados, colocada sobre la superficie de la Sub-rasante, preparada de acuerdo a las especificaciones NIC-2000. Esta compactación se hará en dos capas, 12.7cm por capa, llegando a un total de 25.4cm que es el espesor de base propuesto.

Durante la explotación de los Bancos, se deberá tener control de la calidad de los materiales con un laboratorio de campo. El banco propuesto para esta capa es El Boniche, que corresponde a material rocoso, que será triturado cumpliendo los requerimientos. Se estima que el volumen del material de este banco, cumple con el que se requiere para la construcción de esta capa, ya que es predominante.

Los agregados seleccionados deberán satisfacer los siguientes requisitos presentados en la Tabla 29 y 30:

Tabla 29
Requisitos AASHTO T-27

Tamaño del Tamiz	% en Peso que pasa según ASSHTO T-27	
	B (2")	C (1 1/2")
2"	100	
1 1/2"	70 - 100	100
1"	60 - 90	70 - 100
3/4"	-	60 - 90
1/2"	40 - 70	-
3/8"	-	-
No. 4	20 - 50	30 - 60
No. 10	15 - 40	-
No. 40	5 - 20	5 - 25
No. 200	2 - 12	2 - 15

Tabla 30
Especificaciones Adicionales de los materiales de la capa de Base
(triturada)

Propiedad	Unidad	Especificación
Límite Líquido (ASTM D-423)	%	No mayor de 25
Índice de Plasticidad (ASTM D-424)	%	No mayor de 6
Valor Soporte (ASTM D-1883)	%	Mayor de 80
Compactación	%	Mínimo de 100 de la prueba
Desgaste de los Angeles (ASSHTO T-96)	%	Menor de 40
Intemperismo Acelerado con sulfato de sodio (ASSHTO T-104)	%	Menor de 12
Adherencia Asfáltica	%	Mayor de 95

El material de Base que pasa el tamiz No.40, correspondiente a agregados naturales, deberá tener un Índice de Plasticidad que no sobrepase de 12%, y un Límite Líquido máximo de 35%. El CBR mínimo debe ser de 40%.

La construcción de la Base se recomienda se ajuste a lo indicado en la sección 304 del NIC-2000.

Analizando que si el costo de trituración de la piedra del banco el Boniche resultara muy elevado, se recomienda usar material del Banco Las Viejitas para capa Base, ya que cumple con las exigencias de CBR que es de 120 % al 100% de compactación, de 80 % al 95%. Por lo tanto podría ser viable económicamente en la etapa de construcción.

V.2.4.- Tránsito y Mantenimiento

Regular el peso de los camiones C2 y C3 que circularán sobre la carretera, esto permitirá proteger la estructura del pavimento. El servicio de carga solo operará con vehículos automotores que cumplan con las normas técnicas, cuyas características y especificaciones técnicas se establecen en el Reglamento de la Ley 524.

En todos los casos los vehículos automotores destinados para el transporte de carga deberán cumplir con lo establecido en el Certificado de Pesos y Dimensiones.

Contar periódicamente el tránsito de los vehículos y comparar el crecimiento propuesto con la realidad para corroborar el cumplimiento y actuar en caso de que el volumen sea mayor al estipulado.

Considerando el párrafo anterior, una vez construido este Proyecto, se deberá programar y ejecutar el mantenimiento periódico- rutinario necesario para el buen funcionamiento de la carretera.

V.2.5.- Taludes

En la Zona El Zopilote, se observa un talud rocoso casi vertical afectado, por fracturas verticales bastantes abiertas. También en este sitio se presenta una zona de deslizamiento activo que se evidencia por la presencia de flujos de lodo y flujo de detritos y bloques. Aquí el suelo de cobertura de textura franco arcillosa y arcilloso, se está deslizando sobre un manto rocoso. Como medida se recomienda retirar el material inestable y el deslizado (desprendido) así como uso de malla de seguridad anclada, reconstruir el talud y/o zanjas de captación.

En general, se sugiere revestir las canalizaciones de drenaje y las cunetas donde las pendientes superen los 15°. Construir cunetas al pie de los taludes y contracunetas en las cresta de los mismos y proveer de drenaje vertical revestido.

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km
de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Asphalt Institute, serie de Manuales.
- Especificaciones Nic-2000.
- Informe coyuntural 2012 página Web BCN.
- INIDE-2008.
- Libro de diseños de pavimentos ASSTHO-93.
- Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2011.
- Revista “Anuario de Aforos de Tráfico 2010”.
- AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993.

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km
de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

ANEXOS

Figura II.1.- Localización del camino y de las estaciones de conteo Volumétrico de tráfico

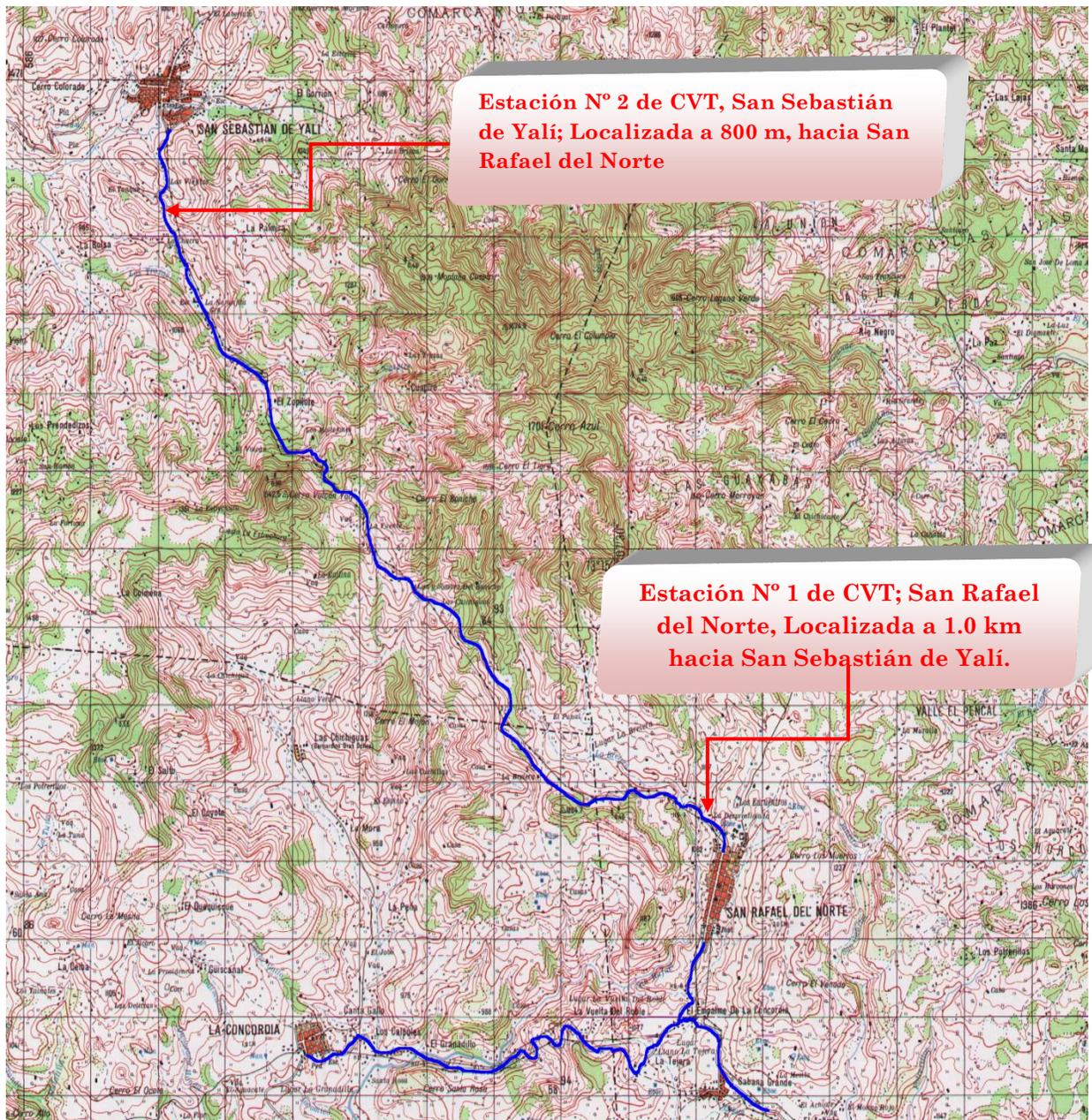


Tabla II.1. -Peso por ejes
MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DIRECCION GENERAL DE VIALIDAD

DEPARTAMENTO DE PESOS Y DIMENSIONES

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES

CARGA MOVILES: Para efectos de diseño de estructuras de pavimento de acuerdo a resultados de estudios de tráfico, laboratorios de suelos, muestreos, conteo vehicular y cálculos relacionados, se han identificado que los daños que causa los vehículos livianos a la estructura del pavimento en carreteras nuevas, producto de su desplazamiento sobre la vía, es mínimo a razón de 1 en 50,000 respecto a vehículos pesados, por tal motivo no figura en el diagrama de cargas permisibles de nuestro país, información referida al respecto.

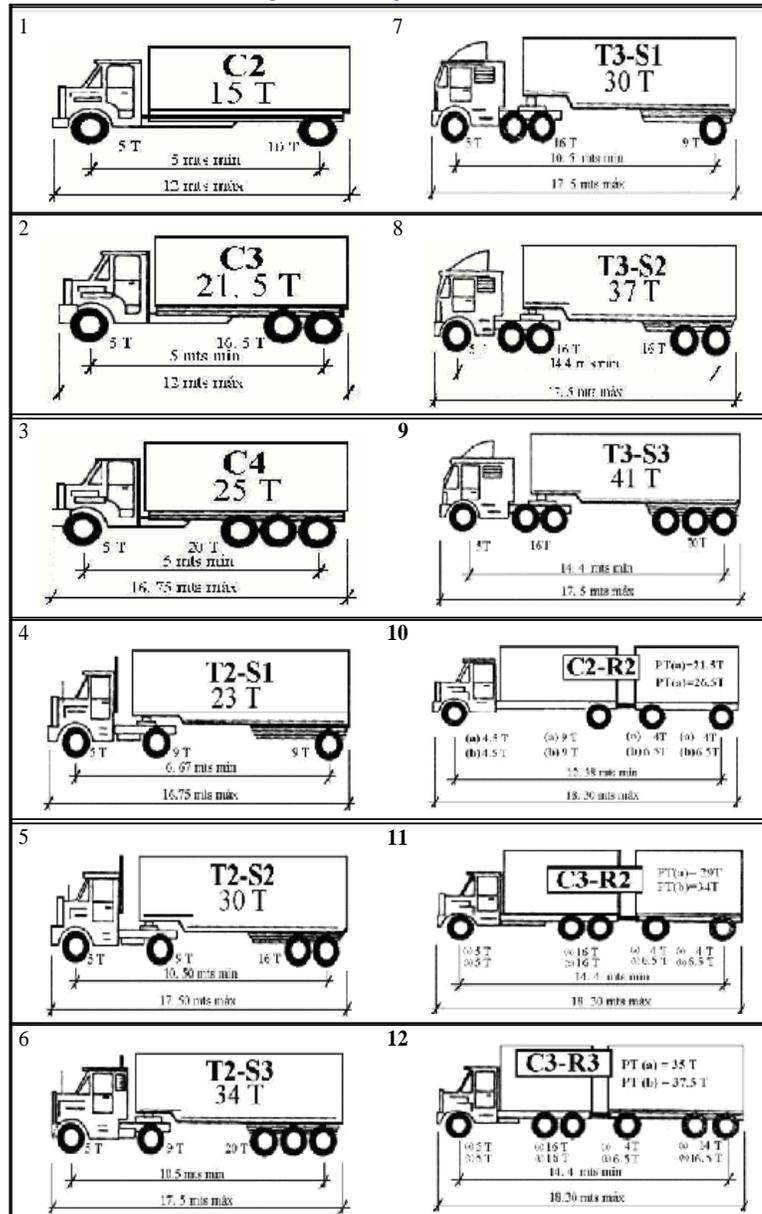
Para efectos de estimaciones de cargas, seguimiento estadístico, control de tráfico y diseño de vehículos se pueden considerar los siguientes pesos por ejes.

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs.
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: MTI

Figura II.2.- Diagrama de Cargas Permisible
MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD
 Departamento de Pesos y Dimensiones

Diagrama de Cargas Permisible



Nota: El Pesos 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

* Según vehículo cargado o descargado excederá en: Ancho: 2.60 mts, Alto 4.15 mts, Largo: 2 ejes 12 mts, 3 ejes 12 mts, semiremolque 17.50 mts, otras combinaciones desde 18.30 mts hasta 23 mts máximo.

* Para los ejes dobles (tandem) y triple la separación de centros comprendidos entre las ruedas es entre 1.0 y 1.30 mts.

Fuente: MTI

Figura II.3.- Nota de Prensa BCN



Banco Central de Nicaragua
Emitiendo confianza y estabilidad

NOTA DE PRENSA

Banco Central de Nicaragua presenta primer informe de coyuntura económica 2012

El Banco Central de Nicaragua (BCN) presentó a la población en general, a través de los medios de comunicación y su sitio de internet (www.bcn.gob.ni), un informe preliminar de cierre de los principales indicadores económicos 2011 y las perspectivas para el año 2012.

Este informe destacó que para la economía nicaragüense se estima una tasa de crecimiento real de 4.7 por ciento en 2011, reflejando un dinamismo transversal de los diversos sectores económicos. Asimismo, se señaló el cierre de la tasa de inflación a diciembre de 2011 de 7.9 por ciento, y el cumplimiento del programa monetario en línea con las estimaciones del instituto emisor.

Con respecto al 2012, el BCN proyecta que la economía nacional continúe presentando tasas de crecimiento positivas, calculadas en un rango de 3.5-4.0 por ciento, con una tasa de inflación anual entre 8.0 y 9.0 por ciento.

Managua, 19 de enero 2012

Km. 7 1/2 Carretera Sur Semáforos 150 vna. al Este
Teléfono: (505) 2255 7171 - Fax: 2265 0495
Managua, Nicaragua - www.bcn.gob.ni

Fuente: página Web BCN

Tabla II.2.- Serie Histórica de Estaciones de Conteo Volumétrico de Tráfico

NIC	lo. Estació	Tipo	Pkm	Nombre del Tramo	TPDA								
					2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
NIC-2	204	ECD	42.9	Diriamba - Jinotepe	7,746			7,906		8,206			8,192
NIC-2	205	ECD	54.8	Jinotepe - Nandaime	1,518			2,196		4,468			2,265
NIC-2	206	ECD	85.5	Nandaime - Rivas	2,214	2,325	2,373	2,594	2,679	2,649	2,805	3,897	3,624 2,982
NIC-2	207	ECD	121.6	Rivas - La Virgen	1,997		2,588			3,159			3,147
NIC-2	208	ECD	123	La virgen - Peñas Blancas	1,169		1,387			1,933			1,639
NIC-3	300	EMC	115.2	Sébaco - Quebrada Honda	2,664	2,642	2,678	2,649	2,677	2,627	2,629	2,917	3,403 3,538
NIC-3	317	ECD	117	Quebrada Honda - ENT. El Guayacán		2,881			3,048				3,601 4,510
NIC-3	301	ECD	124.7	Ent. El Guayacán - Matagalpa		2,923		2,927					3,973 4,248
NIC-3	302	ECD	131.1	Matagalpa - El Arenal		1,102			958			1,056	917
NIC-3	302A	ECD	146	El Arenal - Jinotega		1,046						1,143	762
NIC-3	318	ECD	164	Jinotega - Llano La Cruz		1,805			1,939			2,639	3,609
NIC-3	303	ECD	167	Llano La Cruz - Emp. San Gabriel		1,248			1,340			1,092	1,635
NIC-3	304	ECD	180	Emp. San Gabriel - San Rafael del Norte		401	331		518			665	951

Fuente: Revista "Anuario de Aforos de Tráfico 2010"

Tabla II.3.- Tasas de Crecimiento

No.	Estación Permanente	Tasa de Crecimiento
101B	Zona Franca - La Garita	2.08 %
107	Sébaco - Emp. San Isidro	3.04 %
200	Ent. INCAE - El Crucero	2.52 %
300	Sebáco - Quebrada Honda	4.94 %
700	Emp. Camoapa - Tecolostote	5.73 %
1205	Emp. Chichigalpa - Chinandega	4.73 %
1802	San Marcos - Masatepe	5.36 %
2803	Nagarote - La Paz Centro	1.43 %
401	Masaya - Granada	0.37 %
2404	Chinandega - Corinto	3.73 %

Fuente: Revista "Anuario de Aforos de Tráfico 2010"

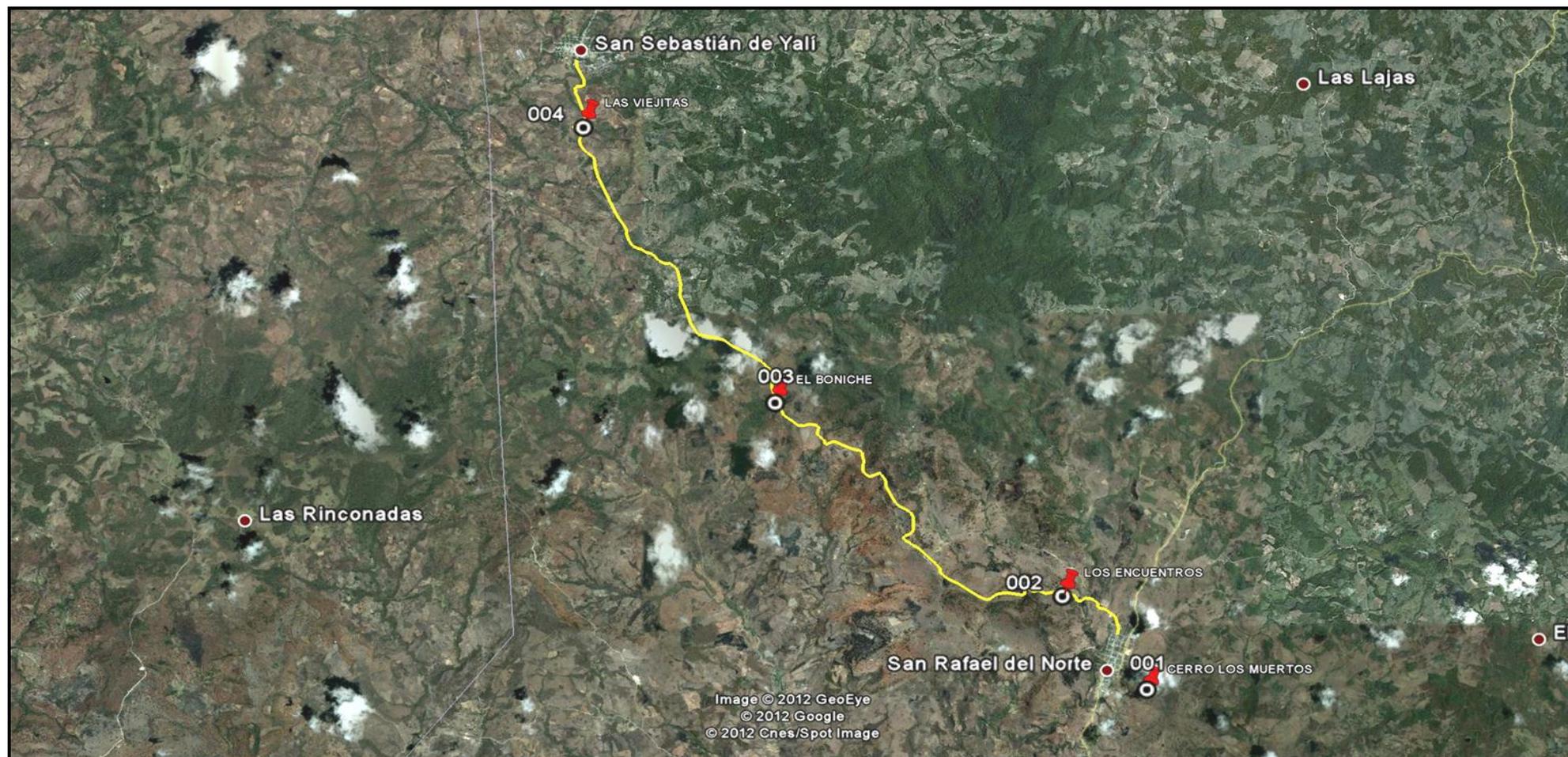
Tabla III.1.- Clasificación de Suelos Sistema AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla No. 200)										
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
% que pasa tamiz:	Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5	Columna6	Columna7	Columna8	Columna9	Columna10	Columna11
No. 10	50 máx										
No. 40	30 máx	50 máx	51 mín								
No. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo No. 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de Material	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a Malo			

Tabla III.2.- Resultados de Ensaye CBR sobre la Línea

TABLA DE RESULTADOS DE ENSAYES DE CBR											
PROYECTO:		CARRETERA SAN RAFAEL DEL NORTE - YALI									
UBICACION:		DEPARTAMENTO DE JINOTEGA,									
CLIENTE:		MTI									
FECHA:		MAYO 2010									
TRAMO: SAN RAFAEL DEL NORTE - SAN SEBASTIAN DE YALI (15.6 Km.)											
ESTACION	No. GRUPO	MUESTRAS	CLASIFICACION HRB	VALOR DE CBR %			HINCHAMIENTO %			PVS Máx. kg/m ³	HUMEDA D OPTIMA %
				90%	95%	100%	90%	95%	100%		
I EST. 0+000 - 1+900	1	1, 2, 5, 6, 14, 17, 18, 19, 22, 31, 33, 34	A-1-a, A-1-b, A-2-4	14	17	28	0.980	0.740	0.622	1,379	23.7
	2	3, 11, 12, 20, 23, 28, 29, 30	A-6, A-7-5, A-7-6	3	4	6	1.120	1.090	1.020	1,342	22.6
	3	4, 10, 13, 16, 24, 25, 26, 27	A-2-5, A-2-6	11	15	21	0.720	0.610	0.430	1,520	17.2
	4	7, 21, 35	A-4, A-5	7	13	20	0.740	0.625	0.445	1,379	21.7
	5	8, 9, 15, 32	A-2-7	12	16	25	0.780	0.654	0.535	1,538	20.6
II EST. 2+000 - 3+900	6	36, 37, 39, 40, 41, 44, 47, 49, 50, 53, 54, 55,	A-1-a, A-1-b, A-2-4	19	24	32	0.720	0.560	0.440	1,683	11.7
	7	38, 42, 46, 51, 56	A-2-7	9	14	18	0.940	0.820	0.680	1,436	21.9
	8	43, 52	A-2-6	13	28	33	0.560	0.410	0.320	1,616	11.0
	9	45, 48	A-7-5	3	4	6	1.120	1.031	0.989	1,157	29.9
III EST. 4+000 - 5+900	10	58, 59, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 69, 72, 74, 76,	A-2-6	12	21	31	0.586	0.462	0.406	1,595	20.9
	11	60, 86	A-6, A-7-5	6	13	15	0.489	0.339	0.260	1,640	18.2
	12	64, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 85	A-2-7	13	16	27	0.676	0.589	0.428	1,500	21.3
	13	66, 108	A-4	7	12	17	0.890	0.730	0.660	1,521	23.9
	14	78, 81, 83, 84	A-2-4	16	27	35	0.464	0.320	0.220	1,641	20
IV EST. 6+000 - 7+900	15	88, 89, 94, 96, 97, 101, 102	A-2-4, A-2-6	10	13	21	0.660	0.604	0.520	1,862	11.3
	16	90, 95, 99, 100	A-2-7	13	15	23	0.630	0.570	0.410	1,453	26.8
	17	92, 93, 103	A-6, A-7-5	7	11	20	1.200	1.180	1.060	1,470	26.3
	18	91, 98	A-4	6	11	14	0.994	0.901	0.884	1,385	22.8
Fuente: GEONIC EST. 8+000 - 9+900	19	104, 105, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 121	A-2-7	13	16	25	0.990	0.870	0.702	1,376	31.0
	20	106, 109, 110, 118, 120	A-2-4, A-2-6	16	20	27	0.964	0.872	0.793	1,558	24.5
	21	107, 119	A-6, A-7-6	3	5	7	1.180	1.070	1.010	1,428	23.6
VI EST. 10+000 - 11+900	22	124, 125, 126, 128, 129, 131	A-2-7	15	25	28	0.099	0.080	0.070	1,526	25.0
	23	127, 130	A-2-5	5	9	12	0.210	0.203	0.190	1,621	19.4
VII EST. 12+000 - 13+900	24	132, 136, 139, 142, 143	A-2-6	11	15	25	0.208	0.197	0.189	1,511	27.7
	25	134, 140	A-4, A-5	10	17	22	0.090	0.079	0.070	2,046	7.4
	26	123, 137, 138, 150, 156	A-6, A-7-5	6	10	15	0.101	0.090	0.082	1,472	27.4
VIII EST. 14+000 - 15+600	27	122, 144, 149, 151, 155	A-2-6	12	15	18	1.202	0.850	0.701	1,592	21.4
	28	133, 135, 145, 146, 148	A-1-a, A-2-4	11	15	20	0.088	0.078	0.066	1,794	17.3
	29	141, 147, 152, 153, 154	A-2-7	10	15	21	0.290	0.280	0.272	1,471	29.4

Figura III.1.- Ubicación de Bancos Materiales a lo largo de la línea



Fuente: Elaboración Propia

Tabla III.3.- Clasificación según CBR

CBR (%)	CLASIFICACION
0-5	Subrasante muy mala
6-10	Subrasante mala
11-20	Subrasante regular o buena
21-30	Subrasante muy buena
31-50	Subbase buena
51-80	Base Buena
81-100	Base muy buena (excelente)

Figura III.2.- Requerimientos de Calidad de los materiales.

<p>1003.09 Agregado para Capas de Subbase, Base o de Revestimientos Superficiales.-</p> <p>(a) Generalidades.- El agregado deberá ser de partículas o fragmentos, durables de piedra, escoria o grava triturados que cumplan con los siguientes requisitos:</p> <p>(1) Desgaste Los Angeles, AASHTO T 96.....50% máx. (2) Intemperismo acelerado, 5 ciclos, AASHTO T 104 (Pérdida).....12% máx. (3) Índice de Durabilidad (grueso). AASHTO T 210.....35% mín. (4) Índice de Durabilidad (fino), AASHTO T 210.....35 mín. (5) Caras Fracturadas, FLHT 507.....50% mín. (6) Libre de materia orgánica y pelotas de lodo</p> <p>No usar material que se quiebre cuando es alternativamente mojado y secado.</p> <p>La graduación del agregado deberá ser obtenida mediante los procesos de trituración, cribado y mezcla según sea necesario. El agregado fino será material que pase por el tamiz de 4.75 mm y podrá ser arena natural o triturada y partículas minerales finas.</p> <p>(b) Agregados para Subbase o Base.- Además de lo estipulado anteriormente en (a), deberá cumplir con lo siguiente:</p> <p>(1) Graduación.....Cuadro 1003-3 (2) Limite Líquido, AASHTO T 89.....25 máx.</p>	
---	--

Fuente: Especificaciones Nic-2000, pág. 520.

Tabla III.4.- Graduación requerida para cada capa.

CUADRO 1003-3
Márgenes del Valor Meta para Graduaciones de Subbase, Base o Capas Superficiales de Agregados

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Peso que pasa el Tamiz Designado (AASHTO T 27 u T 11)					
	Designación de la Graduación					
	A (Subbase)	B (Subbase)	C (Base)	D (Base)	E (Base)	F Superficie
63 mm	100 ⁽¹⁾					
50 mm	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾			
37.5 mm		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾		
25.0 mm	65-79(6)			97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
19.0 mm			67-81 (6)		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾
12.5 mm	45-59(7)					
9.5 mm				56-70(7)	67-79(6)	
4.75 mm	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(6)	47-59(7)	41-71(7)
425 µm	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75 µm	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

(1) Los procedimientos estadísticos no son aplicables.

() Desviaciones Permisibles (±) de los valores meta.

Fuente: Especificaciones Nic-2000, pág. 521.

Figura III.3.- Requisitos Mínimos de Compactación para Sub-bases, bases y superficie de revestimiento

306.04 Esparcido y Compactación.- Cuando el material esté mezclado uniformemente, la mezcla deberá distribuirse en forma tal que se obtenga una superficie lisa, de espesor uniforme concordante con el espesor nominal establecido en los planos.

Inmediatamente después de terminada la distribución y la conformación del material, cada capa deberá compactarse en su ancho total por medio de aplanadoras de ruedas lisas, compactadores neumáticos u otro equipo de compactación aprobado. La compactación deberá progresar gradualmente desde las orillas hacia el centro, en sentido paralelo al eje o línea central de la vía y deberá continuar hasta que toda la superficie haya sido compactada. Cualquier irregularidad o bache que surja durante la compactación, deberá corregirse aflojando el material en ese lugar y añadiendo o quitando material hasta que la superficie quede lisa y uniforme. A lo largo de bordillos, cabezales y muros y en todos los lugares inaccesibles para el equipo de compactación autopropulsado, el material deberá compactarse íntegramente con apisonadores o compactadores portátiles aprobados. La compactación de cada capa continuará, utilizando motoniveladoras y aplanadoras hasta que se haya obtenido una superficie lisa y pareja y se haya alcanzado una densidad seca (peso volumétrico seco) no menor del 95 por ciento de la densidad seca que se haya obtenido para el mismo material, de acuerdo con el Método D de AASHTO T 180 u otro método aprobado. Ver Cuadro 306-1.

La determinación de la densidad en el sitio, se hará de acuerdo con el procedimiento AASHTO T 191, T 205, u otro método aceptado. Podrá exigirse el uso del procedimiento AASHTO T 224 para corregir la densidad determinada *in situ* por efecto del sobretamaño de ciertas partículas del material granular.

Fuente: Nic-2000, sección 306.04

Tabla III.5.- Requisitos Graduación para el mejoramiento de la Subrasante

1003.21 Agregados para el Mejoramiento de la Subrasante.- El material estará constituido por partículas duras y durables, o fragmentos de escoria, piedra o grava, cribadas o trituradas al tamaño y graduación que se requieran. A la vista, el material estará exento de materia vegetal y de terrones de arcilla, y debe satisfacer los requisitos de una cualquiera de las graduaciones que se muestran en el Cuadro 1003-10, o según se establezca en las CEC y/o en el Pliego de Licitación.

CUADRO 1003-10
Requisitos Graduación de Agregados para el Mejoramiento de la Subrasante

Designación del tamiz (mm)	Porcentajes en Peso que pasan por tamices de mallas cuadradas, según AASHTO T 27		
	A	B	C
75	100	---	---
37.5	---	100	---
25	---	---	100
4.75	30-70	30-70	40-80
75 µm	0-15	0-15	5-20

La porción del material que pase por el tamiz 4.25 µm, debe tener un Límite Líquido máximo de 30 y Índice de Plasticidad no mayor de 6, determinado por el ensaye AASHTO T-90.

Fuente: Especificaciones Nic-2000

Tabla IV.1.- Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes sencillos.

Appendix D

D-3

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.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 Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, apéndice D, Pag D-3

Tabla IV.2.- Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes dobles.

D-4

Design of Pavement Structures

Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p_i of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	.810	.823	.843	.842	.829	.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 Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, apéndice D, Pag. D-4

Tabla IV.3.- Niveles de Confiabilidad

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 Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, sección 2.1.3, pág. II-9

Tabla IV.4.- Rangos Desviación Estandar

Rango	Uso
0.30 - 0.40	Pavimento Rígido
0.40 - 0.50	Pavimento Flexible

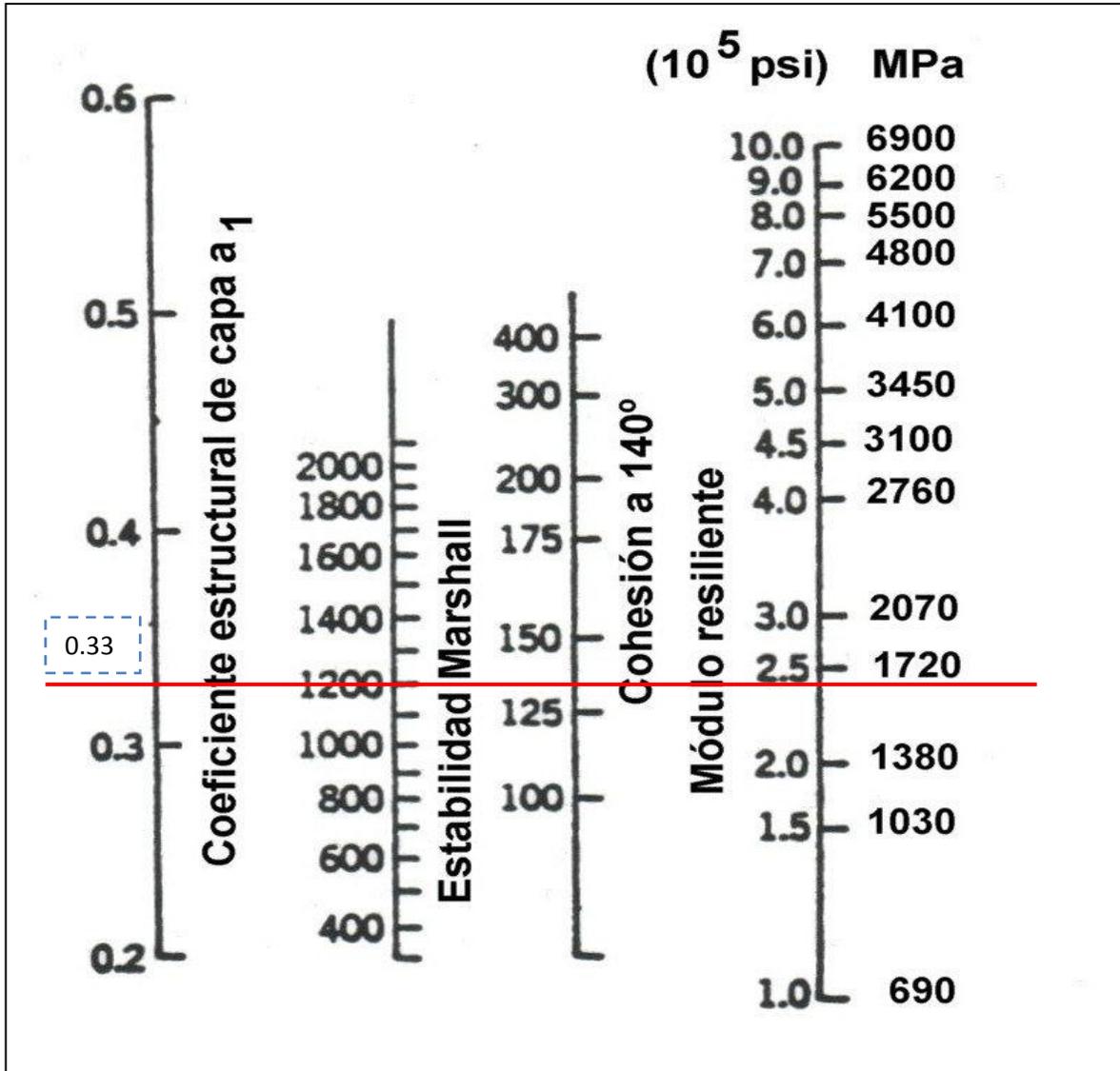
Fuente: AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, punto 4.3 (3), pág. I-62

Tabla IV.5.- Estabilidad de Marshall

No. Ejes Equivalentes (ESAL diseño)	Estabilidad de Marshall
$< 10^4$	750
$10^4 - 10^5$	1,200
$> 10^5$	1,800

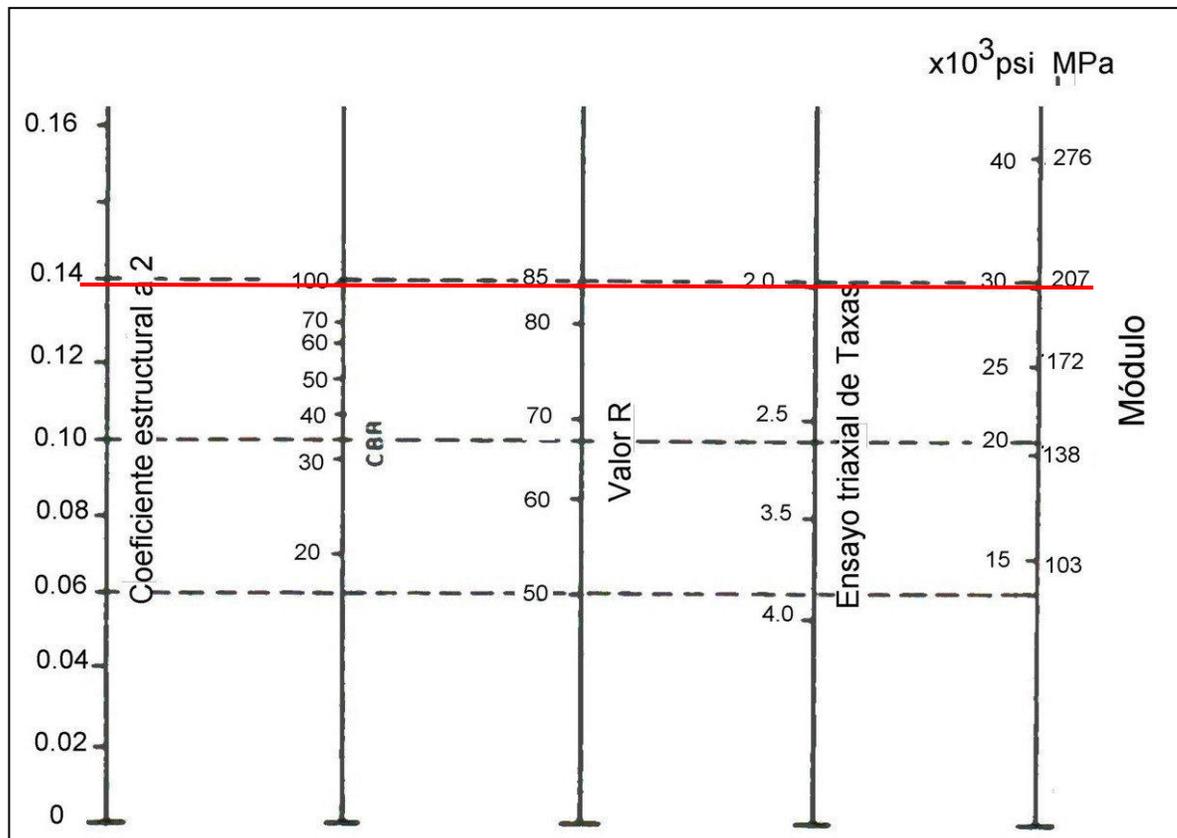
Fuente: Asphalt Institute, serie de Manuales, No. 22 (MS-22)

Figura IV.1.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a1 para la carpeta asfáltica



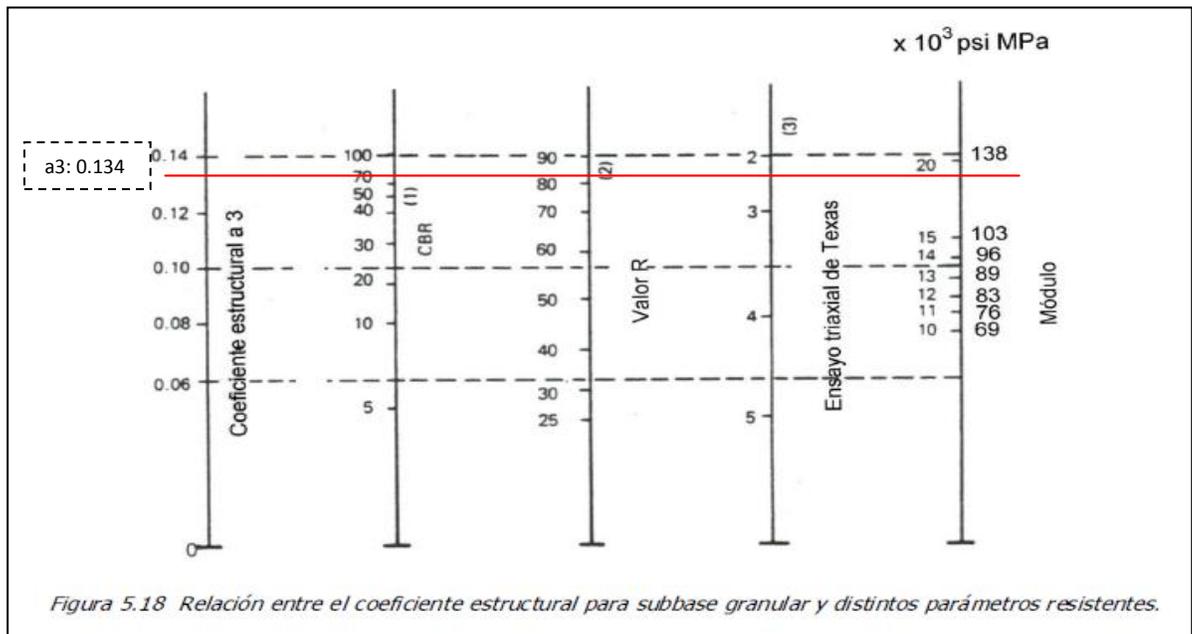
Fuente: (ASHTO-93) Requerimientos de diseño.

Figura IV.2.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a2 para una capa base material granular



Fuente: ASSHTO-93, sección 2.3.5: Coeficiente de capas, pág. II.19, fig 2.6

Figura IV.3.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_3 para una capa sub-base material granular



Fuente: ASSHTO-93, sección 2.3.5: Coeficiente de capas, pág. II.21, fig 2.7

Figura IV.4.- Nomograma para calcular SN

Tabla IV.6.- Coeficiente de Drenaje 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: ASSHTO 1993, Características estructurales de Pavimento, Capítulo 2, Parte II, pág. II.25.

Tabla IV.7.- Espesores mínimos de concreto Asfáltico y Base Granular

Número de ESAL's	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.50 cm	10 cm
50,001 - 15,000	5.00 cm	10 cm
150,001 - 500,000	6.50 cm	10 cm
500,001 - 2,000,000	7.50 cm	15 cm
2,000,001 - 7,000,000	9.00 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: ASSHTO-93, Selección de espesores mínimos, sección 3.1.4, pag. II.35

Tabla IV.8.- Resumen

RESUMEN DE DISEÑO (OPCION C)				
CAPAS	ESPESOR (PULG)	CBR (%)	MR (KSI)	SN
CARPETA ASFALTICA	2.5	-	239	-
BASE	10	100	30	1.58
SUB-RASANTE		80	11.96	2.27
TOTAL	12.5 pulg			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo IV. Cálculo de espesores del paquete estructural

Cálculo IV.1.- OPCION A

Consiste en utilizar los espesores calculados con Estabilidad de Marshall de 1200 lbs

$$a_1 = 0.33$$

$$a_2 = 0.14$$

$$a_3 = 0.13$$

$$m = 1$$

$$SN_1 = 1.58$$

$$SN_2 = 2.10$$

$$SN_3 = 2.27$$

Espesor de Carpeta

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.58}{0.33} = 4.79" \cong 5"$$

$$D_1^* = 5"$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* = 0.33 * 5 = 1.65 \geq 1.58 \text{ ok}$$

Espesor de Base

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.10 - 1.65}{0.14 * 1} = 3.21" \cong 4"$$

$$D_2^* = 4"$$

4" = 4" (espesor mínimo para un tráfico de 318,530) **ok**

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.14 * 4 = 0.56$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1.65 + 0.56 \geq 2.10$$

$$2.21 \geq 2.10 \text{ ok}$$

Espesor de Sub-base:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 * m} = \frac{2.27 - (1.65 + 0.56)}{0.13 * 1} = 0.46 \cong 1''$$

$$D_3^* = 1''$$

$$SN_3^* = a_3 * D_3^*$$

$$SN_3^* = 0.13 * 1 = 0.13$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_3$$

$$1.65 + 0.56 + 0.13 \geq 2.34$$

$$2.34 = 2.34 \text{ ok}$$

El Espesor de la base da como resultado 1'', sin embargo, para proponer una mejor alternativa económica se procede a calcular nuevamente el espesor de la Base sustituyendo SN2 por SN3:

$$\text{Si } SN_1^* + SN_2^* \cong SN_3$$

$$\text{Se incrementa la base igualando } SN_2 = SN_3$$

y se trabaja con datos de la base

$$1.65 + 0.56 \cong 2.27$$

$$2.21 \cong 2.27$$

Espesor de Base

$$D_2 = \frac{SN_3 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.27 - 1.65}{0.14 * 1} = 4.43'' \cong 4.5''$$

$$D_2^* = 4.5''$$

4.5" > 4" (espesor mínimo para un tráfico de 318,530) **ok**

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

$$SN_2^* = 0.14 * 4.5 = 0.63$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1.65 + 0.63 \geq 2.10$$

$$2.28 \geq 2.10 \text{ ok}$$

Espesores

1. Carpeta Asfáltica : 5"
2. Base : 4.5"

Cálculo IV.2.- OPCION B

Consiste en aplicar una estabilidad de Marshall de 1800 lbs.

$$a_1 = 0.41$$

$$a_2 = 0.14$$

$$a_3 = 0.13$$

$$m = 1$$

$$SN_1 = 1.58$$

$$SN_2 = 2.10$$

$$SN_3 = 2.27$$

Espesor de Carpeta

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.58}{0.41} = 3.85" \cong 4"$$

$$D_1^* = 4"$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* = 0.41 * 4 = 1.64 \geq 1.58 \text{ ok}$$

Espesor de Base

$$D_2 = \frac{SN_3 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.27 - 1.64}{0.14 * 1} = 4.5''$$

$$D_2^* = 4.5''$$

4.5" > 4" (espesor mínimo para un tráfico de 318,530) **ok**

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.14 * 4.5 = 0.63$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1.64 + 0.63 \geq 2.10$$

$$2.27 \geq 2.10 \text{ **ok**}$$

Espesores

1. Carpeta Asfáltica : 4"
2. Base : 4.5"

Cálculo IV.3.- OPCION C

Consiste en aplicar una estabilidad de Marshall de 1200 lbs con espesor mínimo de la carpeta Asfáltica.

$$a_1 = 0.33$$

$$a_2 = 0.14$$

$$a_3 = 0.13$$

$$m = 1$$

$$SN_1 = 1.58$$

$$SN_2 = 2.10$$

$$SN_3 = 2.27$$

Espesor de Carpeta

Espesor mínimo: 2.5 pulg

$$D_1^* = 2.5''$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* = 0.33 * 2.5 = 0.83$$

Espesor de Base

$$D_2 = \frac{SN_3 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.27 - 0.83}{0.14 * 1} = 10.28'' \cong 10''$$

$$D_2^* = 10''$$

10">4" (espesor mínimo para un tráfico de 318,530) **ok**

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.14 * 10 = 1.4$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$0.83 + 1.4 \geq 2.10$$

$$2.23 \geq 2.10 \text{ **ok**}$$

Espesores

1. Carpeta Asfáltica : 2.5"
2. Base : 10"

Cálculo IV.4.- OPCION D

Consiste en aplicar una estabilidad de Marshall de 1800 lbs con espesor mínimo de la carpeta Asfáltica.

$$a_1 = 0.41$$

$$a_2 = 0.14$$

$$a_3 = 0.13$$

$$m = 1$$

$$SN_1 = 1.58$$

$$SN_2 = 2.10$$

$$SN_3 = 2.27$$

Espesor de Carpeta

Espesor mínimo: 2.5 pulg

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* = 0.41 * 2.5 = 1.02$$

Espesor de Base

$$D_2 = \frac{SN_3 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.27 - 1.02}{0.14 * 1} = 8.93" \cong 9"$$

$$D_2^* = 9"$$

9">4" (espesor mínimo para un tráfico de 318,530) **ok**

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.14 * 9 = 1.26$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1.02 + 1.26 \geq 2.10$$

$$2.28 \geq 2.10 \text{ **ok**}$$

Espesores

1. Carpeta Asfáltica : 2.5"
2. Base : 9"

Tesina:

Diseño de Pavimento Flexible para tramo de 16 km de Carretera de San Rafael del Norte a San Sebastián de Yalí.

Otros III. 1.- Ensayes de laboratorio, estratigrafía, Esquema de Bancos y Fotografías del Proyecto