



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUIN)
EMPLEANDO EL METODO AASHTO 93 DEL TRAMO EMPALME HERMANOS
CRUZ – EL REGADIO (3KM) DEPARTAMENTO DE ESTELI.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado Por

Br. José Javier Tercero Fuentes.

Br. Jonathan Antonio Benavides Parrales.

Tutor

Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga

Asesor

Lic.Luby Karelia Castellanos.

Managua, Nicaragua. Mayo 2015



HOJA DE CONCLUSION DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Br. José Javier Tercero Fuentes 2) Br. Jonathan Antonio Benavides Parrales
NOMBRE DEL CURSO: <p style="text-align: center;">Obras Viales</p>
NOMBRE DE LA TESINA: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUIN) EMPLEANDO EL METODO AASHTO 93. DEL TRAMO EMPALME HERMANOS CRUZ – EL REGADIO (3KM) DEPARTAMENTO DE ESTELI.
ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA: 1) Estudio de Suelo 2) Estudio de Tránsito 3) Diseño de la Estructura de Pavimento
FECHA DE DEFENSA:
VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR -----

DEDICATORIA

“LA POSIBILIDAD DE REALIZAR UN SUEÑO ES LO QUE HACE QUE LA VIDA, SEA INTERESANTE.”

PABLO COELHO.

Con este pensamiento queremos dedicar nuestro trabajo al Arquitecto Universal, creador de todas las cosas visibles e invisibles, dado que a lo largo de nuestras vidas hemos luchado por hacer realidad uno de nuestros sueños: coronar nuestra carrera universitaria.

Soñar es posible cuando tenemos a nuestro lado a personas como nuestros Padres quienes no sólo nos dan la vida, nos acompañan en el largo caminar, nos tienden la mano cuando nos caemos, nos impulsan cuando no queremos seguir; por ello les dedicamos lo más hermoso de este momento que con mucho esfuerzo hemos conquistado: Nuestra Formación Profesional.

Esta dedicatoria es extensiva a otros seres queridos, que son parte del núcleo familiar, quienes nos demuestran su cariño y apoyo incondicional, sin importar nuestras diferencias de opiniones, al igual que nuestros amigos, amigas, quienes también en algún momento han sido y son parte de nuestro gran sueño, como dice Pablo Coelho: “...lo que hace que la vida sea más interesante”

José Javier Tercero Fuentes.

Jonathan Antonio Benavides Parrales.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de nuestra formación profesional, queremos agradecer en primer lugar a nuestra casa de estudios: Recinto Universitario Augusto C. Sandino, sede regional del norte, Estelí – Nicaragua, quien nació con el objetivo de contribuir a la formación de profesionales en el ramo de la Ingeniería con alta calidad científica, tecnológica, humanística y compromiso social para formar especialistas altamente calificados.

De manera particular nuestro agradecimiento a nuestro tutor de tesis: Msc. Ing. José Bustamante Arteaga, quien nos brindó su tiempo, sus conocimientos y habilidades científicas y humanas para que nuestro trabajo culminara con éxito.

Agradecemos a la Lic. Luby Castellanos Corrales, quien nos brindó asesoría científica y consejos oportunos que nos sirvieron para realizar nuestras tareas con eficacia y eficiencia, al igual que nos brindó su atención sin límite de tiempo.

José Javier Tercero Fuentes.

Jonathan Antonio Benavides Parrales.

INDICE

I CAPITULO GENERALIDADES

1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	3
1.3	Justificación	5
1.4	Objetivos	6

II CAPITULO ESTUDIO DE SUELO

2.1	Introducción	7
2.2	Consideraciones para el diseño	7
2.2.1	Consideraciones para sub-rasante	8
2.2.2	Consideraciones para sub-base	8
2.2.3	Consideraciones para base	9
2.2.4	Consideraciones para carpeta de rodamiento	10
2.3	Trabajos de campo y laboratorio	10
2.3.1	Sondeos en la vía	10
2.3.2	Análisis Granulométrico	12
2.3.3	Determinación de los Límites de Consistencia	14
2.3.4	Clasificación de suelos	15
2.3.5	Análisis de resultados de ensayos realizados de la vía	16
2.4	Sondeos de los bancos de préstamo	17
2.4.1	Ubicación de los bancos de préstamo	17
2.4.2	Resultados de los ensayos de laboratorio de los bancos	18
2.4.3	Análisis de resultados de ensayos en bancos de materiales	18
2.5	Estabilización con suelo cemento a los bancos de préstamo	19
2.5.1	Procedimiento para la estabilización con suelo cemento:	20
2.5.2	Ensayo de Proctor Modificado	22
2.6	Ensayo de Valor Soporte California (CBR)	22
2.6.1	Selección del CBR de diseño	23
2.6.2	Metodología para la seleccionar el CBR a utilizar:	23
2.7	Determinación de Módulo Resiliente	25

III CAPITULO ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1	Introducción	26
------------	---------------------	-----------

3.2	Metodología	26
3.3	Recopilación de datos	26
3.3.1	Clasificación vehicular	27
3.3.2	Clasificación vehicular de acuerdo a sus ejes	27
3.4	Procesamiento de información	28
3.5	Análisis de la información obtenida	30
3.5.1	Tránsito promedio diario anual (TPDA)	30
3.5.2	Clasificación vehicular	31
3.5.3	Determinación de la tasa de crecimiento	32
3.5.4	Variables relacionadas con el crecimiento de tráfico	33
3.6	Correlación de variables	34
3.6.1	Correlación de variables TPDA y el PIB	37
3.6.2	Correlación de variables TPDA y el POB	38
3.6.3	Correlación de variables TPDA y el IPC	39
3.7	Proyección de tráfico	40
3.8	Estimación de tránsito a futuro	42
3.8.1	Crecimiento Normal del Tránsito (CNT)	42
3.8.2	Tránsito Generado (TG)	43
3.8.3	Tránsito Desarrollado (TD)	44
3.8.4	Incremento del Tránsito	45
3.9	Consideración para el carril de diseño	46
3.9.1	Clasificación de la vía	46
3.9.2	Periodo de diseño	47
3.9.3	Tránsito de Diseño	47
3.9.4	Transito inicial del año 0 (T_0)	48
3.9.5	Factor de Crecimiento (FC)	48
3.9.6	Factor de distribución por dirección (FD)	49
3.9.7	Factor de distribución por carril (fc)	49
3.9.8	Tránsito en el año n (T_n)	50
3.9.9	Calculo de tránsito para el carril de diseño	51
3.10	Índice de Serviciabilidad	51
3.10.1	Índice de Serviciabilidad inicial (po)	51
3.10.2	Índice de Serviciabilidad final (Pt)	52
3.10.3	Perdida de Serviciabilidad (Δpsi)	52
3.11	Ejes Equivalentes ESAL'S	52
3.11.1	Número estructural asumido (SN)	52
3.11.2	Factor de Equivalencia (ESAL's)	53
3.11.3	Ejes Equivalentes (ESAL's o W18)	53

IV CAPITULO DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO

4.1	Introducción	55
4.2	Clasificación de los pavimentos	55
4.2.1	Pavimentos flexibles.	55
4.2.2	Pavimento rígido	56
4.2.3	Pavimento semirrígidos	56
4.2.4	Pavimento articulado	56
4.3	Método para el diseño de pavimento flexible (AASHTO 93)	57
4.4	Variables que se tienen que considerar en este método	57
1.1.1	Variables en función del tiempo	57
4.4.1	Variables en función del tránsito	57
4.4.2	Módulo de Resiliencia (MR)	59
4.4.3	Número estructural (<i>SN</i>)	60
4.4.4	Coficiente de capa (<i>a1, a2, a3</i>)	60
4.4.5	Coficiente de drenaje (<i>mn</i>)	61
4.5	DETERMINACION DE COEFICIENTES DE CAPA	62
4.5.1	Carpeta de rodamiento <i>a1</i>	62
4.5.2	Base tratada con cemento <i>a2</i>	62
4.5.3	Sub-base <i>a3</i>	62
4.5.4	Drenaje (<i>m</i>)	62
4.6	DETERMINACION DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN)	62
4.7	CALCULO MANUAL DE ESPESORES	63
4.8	COMPROBACIÓN DE CÁLCULOS CON EL PROGRAMA PAVEMENT ANALYSIS SOFTWARE VERSIÓN 3.3	65

V CAPITULO CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	66
5.2	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	68

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1: Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo	11
Tabla No. 2: Ensayes de laboratorios sobre la línea	12
Tabla No. 3: Clasificación de suelos según tamaño de partículas	12
Tabla No. 4: Resultados de análisis granulométrico de sondeos sobre la línea	13
Tabla No. 5: Clasificación de suelo según índice de plasticidad	14
Tabla No. 6: Límites de consistencia del tramo en estudio	15
Tabla No. 7: Correlación de tipos de suelo AASHTO - SUCS	15
Tabla No. 8: Clasificación de suelos	16
Tabla No. 9: Ensayes en fuentes de materiales	17
Tabla No. 10: Cuadro resumen de identificación de bancos de materiales	19
Tabla No. 11: Límites para la selección de resistencia	23
Tabla No. 12: Valores de CBR de menor a mayor.	24
Tabla No. 13: Resumen de volumen de tránsito promedio diario semanal.	29
Tabla No. 14: Resultados del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	31
Tabla No. 15: Variables sin el logaritmo natural y variable con el logaritmo natural	36
Tabla No. 16: Variables a proyectar	40
Tabla No. 17: Cálculos de proyección	41
Tabla No. 18: Porcentajes de la elasticidad de la demanda	41
Tabla No. 19: Tasa de crecimiento a emplear	41
Tabla No. 20: Crecimiento normal del tránsito	42
Tabla No. 21: Tránsito Generado	43
Tabla No. 22: Tránsito Desarrollado	44
Tabla No. 23: Incremento del Tránsito	45
Tabla No. 24: Clasificación funcional de carreteras	46
Tabla No. 25 : Periodo de diseño	47
Tabla No. 26: Factor de distribución por dirección	49
Tabla No. 27: Factor de distribución por carril	50
Tabla No. 28: Tránsito para el carril de diseño	51

Tabla No. 29: Cálculo de esal's de diseño	54
Tabla No. 30: Valores para nivel de confianza según la clasificación funcional.	58
Tabla No. 31: Desviación Estándar.	59
Tabla No. 32. Clasificación de acuerdo a su Serviciabilidad.	59
Tabla No. 33. Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles.	61
Tabla No. 34: Datos de entrada para cálculo de espesores.	63
Tabla No. 35: Datos de entrada para cálculo de espesores.	65

LISTA DE GRAFICAS

Grafica No. 1: Selección de CBR	24
Grafica No. 2: Variación vehicular por día.	30
Grafica No. 3: Clasificación vehicular.	32
Grafica No. 4: Correlación de variable TPDA Condega-Shell Palacagüina	35
Grafica No. 5: Correlación de variable TPDA la Sirena-Empalme El Regadío	35
Grafica No. 6: Correlación de variables sin aplicar logaritmo natural.	37
Grafica No. 7: Correlación de variable aplicando el logaritmo natural.	37
Grafica No. 8: Correlación de variable sin aplicar logaritmo natural.	38
Grafica No. 9: Correlación de variable aplicando logaritmo natural.	38
Grafica No. 10: Correlación de variable sin aplicar logaritmo natural.	39
Grafica No. 11: Correlación de variable aplicando logaritmo natural	39

LISTA DE FIGURAS

Figura No 1: Macro y micro localización del tramo	2
Figura No 2: Estructura de pavimento articulado	65

RESUMEN

El tramo en estudio se ubica en el departamento de Estelí, municipio de Estelí, inicia en la estación 0+000 Empalme Hermanos Cruz y finaliza en la comunidad de El Regadío, Estación 3+000.

El camino es de gran importancia ya que la zona es altamente productiva donde se destaca la pre-industria del tabaco como principal fuente de trabajo; de igual manera se destacan la agricultura, la ganadería, turismo y comercio.

Según la clasificación funcional del MTI por el tipo de construcción, obedece a un camino de todo tiempo, mientras que la SIECA lo considera como una colectoras secundaria de acuerdo al tránsito que circula por esta vía. Y está enumerada como la NIC 32 A.

El tramo en estudio tiene una longitud de 3 Km. Actualmente, el camino posee una sección transversal promedio de 5.50 m y un derecho de vía de 8 a 12 m, la topografía de este tramo es montañoso. La superficie de rodamiento actual es de regular a buena, ya que el FOMAV realizó trabajos de mantenimiento en el tramo durante el año 2013 que consiste en el mejoramiento de la superficie a través de bacheo con material selecto, conformación y nivelación.

Actualmente este camino posee un nivel de tráfico promedio de 60 vpd, y con una alta concentración de vehículos liviano de 48% y un 47% de vehículos pesados y un 5% de vehículos de tracción animal, basado en los tráficos históricos y observaciones hechas en campo.

CAPITULO I. GENERALIDADES: En este capítulo abordamos aspectos como: Introducción, Antecedentes, Justificación y Objetivos.

CAPITULO II. ESTUDIO DE SUELO: En este capítulo analizamos las características físico – mecánicas de las muestras obtenidas en los sondeos sobre la línea, para la determinación de su uso en las capas de sub-rasante, sub-base y base, donde se practicaron los siguientes ensayos de acuerdo a las normas AASHTO Y SUCS como son: granulometría, límites de consistencia, clasificación

de suelos y ensayo CBR así mismo a las muestras realizadas a las posibles fuentes de materiales.

CAPITULO III. ESTUDIO DE TRÁNSITO: En este capítulo abordaremos aspectos relacionados a la metodología: Recopilación de datos, procesamiento de información y análisis de la información obtenida, necesario para determinar el número de ESAL's de diseño.

La recopilación de los datos por medio de conteo volumétrico que consiste en aforos manuales, clasificación de los vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes.

De la información obtenida se determinaron: El Tránsito Promedio Diario Anual, la tasa de crecimiento de acuerdo a las variables PIB, IPC y POB, clasificación de la vía, periodo de diseño, tránsito de diseño, tránsito inicial del año 0, factor de crecimiento, factor de distribución por carril, factor de distribución por dirección, tránsito en el año n, índice de Serviciabilidad, número estructural asumido SN, Factor de Equivalencia (ESAL's)

CAPITULO IV. DISEÑO DE ESPESORES: El diseño de estructura de pavimento se realizó mediante el método de la AASHTO 93. Utilizando: El programa de computación Pavement Analysis Software versión 3.3, para comprobar los SN calculados en el nomograma.

Para el cálculo de los espesores se tomarán en cuenta los siguientes factores:

Índice de Serviciabilidad, pérdida de Serviciabilidad, análisis de cargas y ejes equivalente para el diseño de pavimento, confiabilidad, desviación estándar, coeficiente de drenaje, módulo Resiliente y coeficientes estructurales o de capas.

Obteniendo como resultado un paquete estructural compuesto por una carpeta de rodamiento de adoquín de 10 cm de espesor, con un colchón de arena de 5 cm y una base estabilizada con cemento de 15 cm (6") de espesor.



**I CAPITULO
GENERALIDADES**

1.1 Introducción

La comunidad de El Regadío perteneciente al municipio de Estelí está ubicado a 19 kilómetros al noroeste de la misma con coordenadas geográficas: latitud 13°11'28.78"N longitud 86°26'15.70"W, y con altura de 950 msnm, con temperatura de 25 a 30 grados Celsius; tiene como referencia los siguientes puntos limítrofes: al Norte con la comunidad El Pino, al Sur la comunidad San Francisco, al Este la comarca Hermanos Cruz y al Oeste La Cascada.

Está dividida en dos valles bien conocidos como Valle arriba y Valle abajo y a la vez estos subdivididos en 4 barrios: barrio Olivas Torres, Andino Obregón, Pedro Barrientos y Orlando Hernández; según registros cuenta con una población de aproximadamente 2000 habitantes teniendo una tasa de crecimiento del 2.5% según el último censo nacional realizado por el INIDE, la mayoría dedicada a la actividad agrícola considerado como uno de las fundamentales pilares para el sustento familiar pero en ella también hay que destacar otras actividades como el comercio variado y la industria del tabaco.

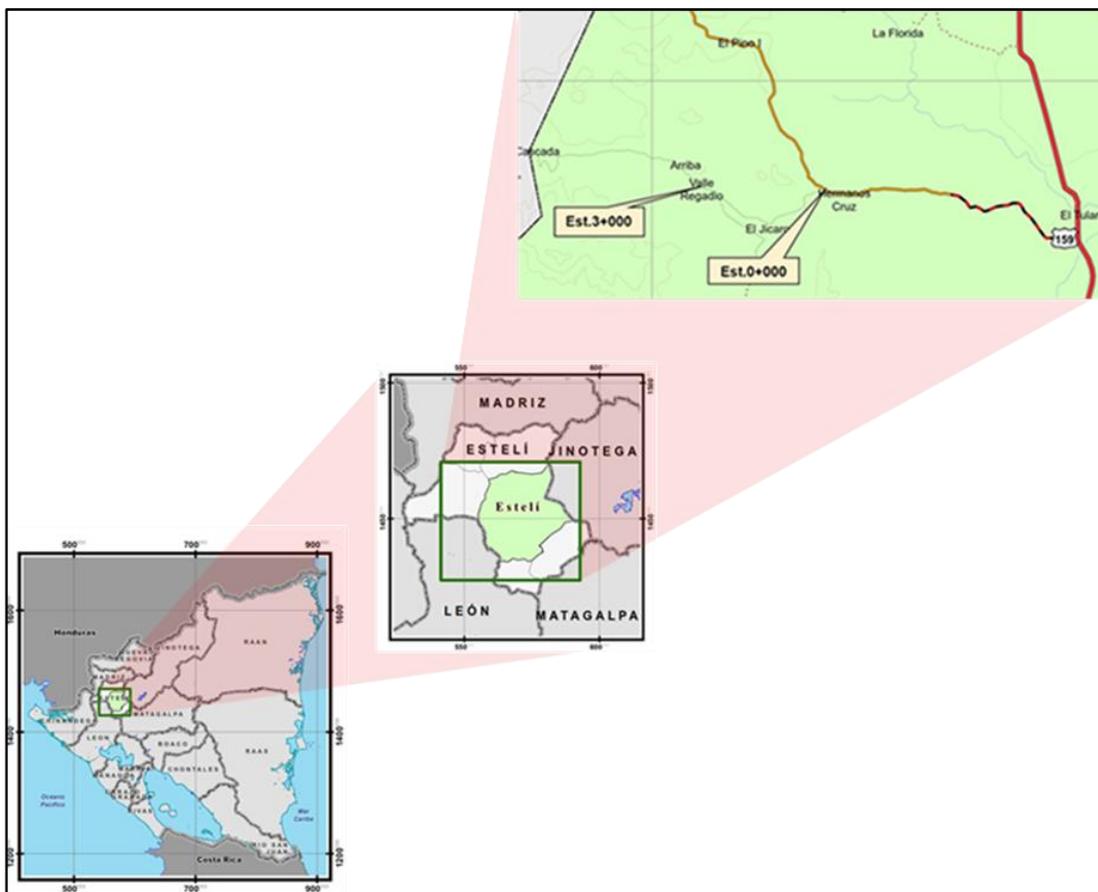
En la comunidad El Regadío se cuenta con una escuela primaria y secundaria, un puesto de policía, dos iglesias (una evangélica, una iglesia católica), algunas pulperías, un puesto de salud, además de contar con la existencia de dos empresas que se dedican a la producción de tabaco.

La situación actual de la red vial del **Empalme Hermanos Cruz- Comunidad El Regadío**, su problemática, su conservación y desarrollo son temas de vital importancia para el desarrollo económico de la zona, por lo tanto es una necesidad básica poseer caminos con adecuados diseños de espesores que soporten el tráfico vehicular que por éstas circulan, asociadas todas ellas a actividades económicas importantes en el desarrollo del municipio. El diseño de pavimento articulado de 3 Km en el tramo Empalme Hermanos Cruz – El Regadío es una alternativa viable ya que beneficiaría a toda la población de esta comunidad asegurando el desarrollo de la misma.

Para este diseño nos basamos en método de la guía AASHTO 93 que es el método más utilizado en nuestro país relacionado con el diseño de pavimento flexible con una adaptación para el diseño de adoquín, cuya aplicación se ha venido utilizando en diversos diseños de pavimentos. También se debe a que nuestro país tiene mayor experiencia en la construcción de pavimento articulado (adoquín).

Con esta propuesta pretendemos obtener el diseño de una estructura de adoquín para una carretera que cumpla con las especificaciones de diseño y niveles de servicio, así también las cargas a las que estará expuesta durante su periodo de diseño.

Figura No 1: Macro y Micro localización del Tramo



Fuente: Elaboración Propia

1.2 Antecedentes

Los orígenes de la comunidad El Regadío datan aproximadamente de siglo y medio, por el resultado de la migración de quienes según la historia fueron la familia Rodríguez provenientes de Terrabona, Matagalpa; fundando en estas tierras un pequeño asentamiento, el cual con el transcurso del tiempo se convirtió en caserío que se comunicaba con el resto de asentamientos poblacionales a través de caminos vecinales transitados a pie y a lomo de bestias; con el paso del tiempo y el crecimiento poblacional estos caminos se convirtieron en vías de acceso hacia otros polos de desarrollo, aumentando la circulación a otros tipos de transporte como el vehicular, así poco a poco esta comunidad fue evolucionando hasta convertirse en una comunidad con sello propio, ejemplo vivo de perseverancia y lucha por un porvenir productivo.

En los últimos años ha venido aumentando la necesidad de caminos en buen estado en todo tiempo, debido a que esta zona perteneciente al municipio de Estelí, está sufriendo un crecimiento acelerado en la producción. La alcaldía realizó en el 2011 un mejoramiento con pavimento de adoquín en las principales calles de esta comunidad equivalente a 1km, así también la construcción de cunetas de concreto; pero no así en su ruta de acceso, que se ve afectada año con año por las lluvias y el tráfico vehicular.

El caso de comunidades como El Regadío que por la cantidad de población que supera los 1500 habitantes, así como el trazado de calles y contar con redes de agua potable y de energía eléctrica, su propio centro de salud, escuelas, etc. ya puede ser considerada como una zona urbana a la que también se le pueden agregar datos como : ser una de las comunidades que aporta grandes cantidades de granos básicos, lácteos, cultivo y pre industria de tabaco, además de ser considerada como una reserva forestal de gran importancia, factor que muy bien comunicado se puede agregar como indicador económico en la rama turística y ecológica y que sin embargo no cuenta con infraestructura vial que les permita a sus habitantes moverse hacia la cabecera municipal sin los riesgos que conlleva la existencia de caminos en mal estado al que poco se le da el debido

mantenimiento y que sin embargo es muy transitada ya que las características económicas de dicha comunidad así lo requiere; de igual forma el impacto de los diferentes fenómenos climáticos propios de los países tropicales; se suma al deterioro de estas vías de comunicación propiciando con ello el estancamiento de los pobladores y por ende fomentando el subdesarrollo económico de la comunidad; creándose grandes baches y charcos que hacen difícil la circulación vehicular.

Dadas las características de El Regadío, es una comunidad rural que no posee alcaldía municipal, por lo que recae directamente en la Comuna del Municipio de Estelí y en el MTI, los cuales realizaron un mantenimiento rutinario que consistió en colocación de material de revestimiento en abril del 2013 debido a las pésimas condiciones de esta vía a la cual no se le practicaba ningún tipo de mejora desde 5 años atrás, por lo que existe mucha preocupación entre los pobladores que subsisten de las actividades agropecuarias principalmente, así como de los propietarios de empresas que no solo proveen puestos de trabajo, sino que realizan grandes aportes al producto interno bruto del país, entre ellos El señor Fidel Olivas, quien es uno de los grandes pilares del desarrollo socio económico de esta zona productiva, por lo que contar con una vía de acceso adoquinada permitiría mejorar las condiciones socio-económicas de la comunidad.

Cabe destacar que en el 2013 se realizó un estudio de suelo elaborado por la consultora de origen Hondureño ASP CONSULTORES, de los cuales se abordan de forma específica un análisis de la situación actual del suelo del tramo de carretera que comunica la comunidad El Regadío con la vía de acceso hacia el municipio de Limay y hacia el municipio de Estelí; además se incluyen los análisis de suelo de los bancos de préstamo en el mismo tramo, este estudio abarca: la granulometría de los suelos, clasificación por el Método de AASHTO, y el Método de la SUCS, así como los CBR, límites líquidos, límites plásticos; resultados que tomaremos en cuenta para realizar el análisis y utilizarlos en nuestro diseño.

1.3 Justificación

Para que una determinada zona avance en su desarrollo socio-económico, es necesario que la misma cuente con un sistema de comunicación establecido por medio de sus vías de acceso, cumpliendo con las especificaciones técnicas y la demanda de la población. Actualmente este tramo se clasifica por su tipo de superficie como camino de todo tiempo a la vez por su funcionalidad como un camino vecinal según la red vial del MTI 2012.

El diseño vial que proponemos dará respuesta a las necesidades de la comunidad, tanto en el aspecto social (mejoramiento de los niveles de salud y calidad de vida), como en el aspecto vial (aumento de la fluidez, mayor confort, disminución del deterioro vehicular, disminución de tiempo, etc.)

Con la implementación de este proyecto se favorecerá el desarrollo económico de la zona y generará fuentes de trabajo a la población durante la ejecución del proyecto. Otros beneficiarios directos son las personas que viven en comunidades aledañas y que trabajan en el cultivo y pre-industria del tabaco o en actividades agrícolas y ganaderas, así como los visitantes a la reserva forestal, trabajadores que viajan de la ciudad de Estelí hacia El Regadío para brindar servicios profesionales, Eje. (Médicos, maestros, vendedores, turistas, transportistas etc.)

Beneficiarios indirectos: serán todas las personas que van de tránsito por esta vía.

Actualmente la alcaldía de Estelí y el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) se encuentran trabajando en la vía que conduce hacia Limay, pasando por el Empalme de El Regadío realizando un mejoramiento de pavimento de adoquín, he ahí también la idea de continuar los 3km faltantes para llegar a la comunidad y que todo el tramo hacia dicho lugar sea adoquinado. El diseño de pavimento será de adoquín por ser un sistema que tiene ventajas sobre otros materiales; como fácil manejo para su transporte y colocación, no requiere de mano de obra especializada, posee gran resistencia al desgaste lo cual brinda mayor seguridad para los peatones y el tráfico, es de gran durabilidad, mantenimiento y reparaciones de bajo costo.

1.4 Objetivos

Objetivo General.

- ✓ Diseñar la estructura de pavimento articulado (adoquín) empleando el Método AASHTO 93 del tramo Empalme Hermanos Cruz – El Regadío (3km), Departamento de Estelí.

Objetivos Específicos.

- ✓ Analizar los resultados del estudio de suelo para identificar la capacidad de soporte de suelo (CBR) a lo largo del tramo y de los bancos de préstamo cercanos.
- ✓ Realizar un estudio sobre el volumen de tránsito en el tramo de carretera para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), y las cargas que actuarán en la estructura de pavimento.
- ✓ Calcular los espesores de las capas estructurales requeridas en el diseño de Pavimento articulado (adoquín), utilizando el método de la AASHTO 93.



II CAPITULO ESTUDIO DE SUELO

2.1 Introducción

Todas las obras de ingeniería civil descansan, de una u otra forma, sobre el suelo, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán regidos, entre otros factores, por la conducta del material de asiento situado dentro de las profundidades del suelo.

Los estudios de suelo para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los suelos como son: límites de Atterberg, valor soporte (CBR), granulometría, humedad óptima. Además, suministrar información para la selección de bancos de préstamo de materiales para terracerías, sub-base y base.

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelos que nos permiten determinar las características de la sub-rasante que dará acceso a la comunidad de El Regadío, en donde posteriormente se realizará el diseño de la estructura de pavimento.

Para este aspecto nos hemos auxiliado en la información suministrada por la **Consultora de origen Hondureño ASP** quien realizó estudios en este tramo como parte de un convenio entre la alcaldía de la ciudad de Estelí y el MTI con el fin de mejorar la única vía de acceso de esta comunidad. Pero por motivos aún desconocidos solo se realizó el estudio de suelo, quedando los pobladores con un camino en mal estado, motivo por el cual consideramos útil apoyarnos en los informes de los resultados de laboratorio obtenidos por dicha consultora.

2.2 Consideraciones para el diseño

A continuación se hace mención de los materiales y características a ser utilizados en el suelo de fundación del pavimento y en las diferentes capas que componen el paquete estructural.

2.2.1 Consideraciones para sub-rasante

El factor más importante en la determinación de los espesores de diseño del pavimento es la respuesta del suelo de sub-rasante ante las cargas del tránsito. De la calidad que tenga esta capa dependerán, en gran parte, que los espesores sean pavimento flexible, articulado o rígido.

Se denomina sub-rasante al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. Esta capa puede estar formada en corte o en relleno; el pavimento dependerá en gran parte de la calidad de los materiales de la sub-rasante por lo que deberá cumplir con las siguientes características un valor de CBR mínimo de 12% se tiene que compactar al 95 % del proctor estándar, (*Ver Anexo A, Tabla No.1, pág. I*) garantizando una base de fundación suficiente para el paquete estructural.

El valor de CBR para la sub-rasante en nuestro tramo resulto de 6.03% (*Ver Grafica No.1 pág. 26*) lo que nos indica que es una sub-rasante muy pobre o mala según lo estipulado en el libro de Mecánica de Suelos, Carlos Crespo Villalaz (*Ver Anexo A, tabla No.7, pág. III*)

Como superficie de rodamiento no tiene tanto valor estructural, siendo más importante las características de esta misma, puesto que se tienen que mencionar las dos características más importantes de la sub-rasante, tal y como los son:

- ✓ Proporcionar un valor soporte mínimo a la estructura de pavimento, de forma tal que limiten las deflexiones en la estructura de pavimento.
- ✓ Proporcionar un soporte continuo, sin asentamientos significativos ni diferenciales, evitando que se produzcan desplazamientos laterales.

Los materiales apropiados para esta capa serán de preferencia granulares.

2.2.2 Consideraciones para sub-base

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda

soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que pueda afectarla.

Entre sus principales funciones están:

- ✓ Transmitir las cargas que serán sometidas la carpeta de rodamiento hacia la sub-rasante.
- ✓ Servir de capa drenante al pavimento.
- ✓ Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub-rasante.

Para esta capa no se requieren materiales de gran resistencia como los de la capa base, por lo que su módulo de elasticidad es menor que el de la capa base. Su costo es menor siendo esta una característica económica muy importante.

El material de sub-base deberá ser seleccionado y tener mayor valor de soporte ($\text{CBR} \geq 40 \%$) que el material de sub-rasante y su espesor será variable según las condiciones. Este material deberá ser de préstamo seleccionado cumpliendo con los requerimientos estipulados en las NIC 2000, en la sección 1003. (a y b) pág. 530 y pág.531(a).*(Ver resumen en Anexo A, Tabla No.2, pág. I y Tabla No. 3, pág. II).*

Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse.

2.2.3 Consideraciones para base

Es la capa de pavimento sobre la cual se coloca la capa de rodadura y tiene la función de distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la capa de sub-base y a través de ésta a la sub-rasante.

Por lo que su ubicación está muy cercana a la aplicación de cargas se requiere de materiales de gran calidad y resistencia. Una segunda función está asociada a drenar el agua proveniente de la superficie y evitar el ascenso capilar de las aguas inferiores.

Los materiales propuestos para base deberán cumplir con los requisitos que se detallan en el (*Anexo A, Tabla No.4, pág. II*) y tener un valor CBR ≥ 80 %.

Estos deberán ser provenientes de agregados triturados, de una roca dura y no intemperizada y deberá cumplir con las especificaciones de la NIC 2000 (*Ver Anexo A, Tabla No.6, pág. III*). Esta capa deberá satisfacer la condición para espesores mínimos en función de los ejes equivalentes (*Ver Anexo A, Tabla No.5, pág. II*)

2.2.4 Consideraciones para carpeta de rodamiento

Para nuestro estudio proponemos una Carpeta de Pavimento Articulado (adoquín de concreto) TIPO TRAFICO 2 que se utiliza para Tráfico Liviano debido a que el flujo vehicular es bajo según el estudio de tránsito realizado. Los cuales tendrán una resistencia de compresión a los 28 días igual o mayor 3500 psi. Y deberán cumplir con las normas estipuladas en la sección 502 y 502.02 de la Nic 2000 donde describe que el adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras, cascaduras ni cavidades. El tamaño del agregado a usar es de 19 mm, y que la ranura entre cada adoquín será de 3 a 5 mm de ancho, la que estará colocada sobre una capa de arena de 5 cm de espesor.

2.3 Trabajos de campo y laboratorio

2.3.1 Sondeos en la vía

Para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se analizaron 12 muestras realizadas a lo largo del tramo mediante la ejecución de sondeos manuales ubicados a cada 250 metros como lo estipula el Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos, MTI, Corea y Asociados, Nicaragua octubre 2008. Con una profundidad de 1.00 m ya que se encontró roca sólida a esta profundidad y no 1.50 metros como lo estipula el manual antes mencionado. (*Ver Tabla No.1 del presente capítulo*); distribuidos de manera alterna izquierda y derecha del eje central de la vía, a lo largo de los 3000 metros lineales de la misma. Todos los sitios donde se realizaron los sondeos fueron referenciados con GPS portátil para una mejor ubicación.

Tabla No. 1: Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo

Tipo De Zona	Espaciamiento (M)	Profundidad
Carreteras	250 - 500	1.20 m -1.50 m
Pistas de Aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60-90	Cortes: 3m debajo de la rasante. Rellenos : 3m debajo de la superficie del suelo
Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1.000 m ²	Cortes: 3m debajo de la rasante. Rellenos : 3m debajo de la superficie del suelo
Prestamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material no menor que 3	3 metros

Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta el Manual de Estudios geotécnicos MTI. Octubre 2008.

En dichos sondeos realizados se tomaron muestras alteradas, de los estratos de suelo encontrado a lo largo del tramo en estudio para realizarles las respectivas pruebas de laboratorio.

Una vez recolectada la información de los sondeos realizados sobre el tramo y los bancos de materiales se aplicaron los ensayos de laboratorio con el objeto de determinar las características de los suelos, aplicando las normas ASTM Y AASHTO tales como:

Tabla No. 2: Ensayes de laboratorios sobre la línea

Tipo de Ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88	D-422
Límite líquido de los suelos	T-89	D-423
Límite Plástico e índice de Plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Clasificación Highway Research Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Humedad Natural		D-3282
CBR (california Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Libro de Diseño de Pavimento AASHTO 93

2.3.2 Análisis Granulométrico

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-base de carreteras, etc. Depende de este análisis.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos.

Tabla No. 3: Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las Partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa : 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media : 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina : 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Libro de Diseño de Pavimento AASHTO 93

Una vez recolectadas y agrupadas las muestras, se realizó el análisis granulométrico para determinar su clasificación y calidad del material.

Tabla No. 4: Resultados de análisis granulométrico de sondeos sobre la línea

ESTACIÓN	LADO	PROFUNDIDAD (m)	SONDEO Nº	MUESTRA Nº	% QUE PASA POR TAMIZ									
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
0+000	IZQ	0.00 - 0.30	1	1	97	87	73	70	64	59	45	28	13	1
		0.30 - 1.00	1	2	82	79	75	71	67	65	57	50	41	33
0+250	DER	0.00 - 0.20	2	1	97	87	73	70	64	59	45	28	13	1
		0.20 - 0.80	2	2		100	98	94	90	86	71	66	54	40
0+500	IZQ	0.00- 0.80	3	1	97	87	73	70	64	59	45	28	13	1
0+750	DER	0.00 - 0.25	4	1	97	87	73	70	64	59	45	28	13	1
		0.25 - 0.80	4	2	96	89	80	72	70	68	64	58	47	30
1+000	IZQ	0.00 - 1.00	5	1	97	90	82	78	72	66	51	39	23	13
1+250	DER	0.00 -1.00	6	1	86	71	64	60	56	53	45	40	31	19
1+500	IZQ	0.00 -1.00	7	1	96	89	80	72	70	68	64	58	47	30
1+750	DER	0.00 - 0.50	8	1	98	88	79	71	62	57	44	35	23	13
2+000	IZQ	0.00 - 0.80	9	1		100	98	96	91	87	71	63	51	32
2+250	DER	0.00 - 1.00	10	1	96	89	80	72	70	68	64	58	47	30
2+500	IZQ	0.00 - 0.90	11	1				100	95	89	78	65	40	24
2+750	DER	0.00- 0.80	12	1	82	79	75	71	67	65	57	50	41	33
3+000	IZQ	0.00 - 1.00	13	1	74	60	54	53	47	45	33	29	24	20

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.3 Determinación de los Límites de Consistencia

Para la correcta caracterización del suelo, además del análisis granulométrico, se debe realizar el ensayo de Atterberg para estudiar las características de los granos de menor tamaño, estos se realizaron en la sub-rasante y en las fuentes de material.

Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

Tabla No. 5: Clasificación de suelo según índice de plasticidad

Índice De Plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual De Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimento.

Tabla No. 6: Límites de Consistencia del tramo en estudio

ESTACION	LADO	PROFUNDIDAD (m)	SONDEO Nº	MUESTRA Nº	LL	IP
					%	%
0+000	IZQ	0.00 - 0.30	1	1	36	9
		0.30 - 1.00	1	2	40	23
0+250	DER	0.00 - 0.20	2	1	30	6
		0.20 - 0.80	2	2	73	34
0+500	IZQ	0.00- 0.80	3	1	36	9
0+750	DER	0.00 - 0.25	4	1	36	9
		0.25 - 0.80	4	2	58	31
1+000	IZQ	0.00 - 1.00	5	1	31	13
1+250	DER	0.00 -1.00	6	1	45	18
1+500	IZQ	0.00 -1.00	7	1	58	31
1+750	DER	0.00 - 0.50	8	1	25	15
2+000	IZQ	0.00 - 0.80	9	1	60	26
2+250	DER	0.00 - 1.00	10	1	58	31
2+500	IZQ	0.00 - 0.90	11	1	33	10
2+750	DER	0.00- 0.80	12	1	40	23
3+000	IZQ	0.00 - 1.00	13	1	58	32

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.4 Clasificación de suelos

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudios para diseño de pavimentos de carreteras y aeropistas son la: AASHTO y SUCS.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos.

Tabla No. 7: Correlación de tipos de suelo AASHTO - SUCS

Clasificación De Suelos AASHTO M - 145	Clasificación De Suelos SUCS ASTM D-2487
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM
A-1-b	GM,GP,SM,SP
A-2	GM,GC,SM,SC
A-3	SP
A-4	CL,ML
A-5	ML,MH,CH
A-6	CL,CH
A-7	OH,MH,CH

Fuente: US Army Corps of Engineers.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la granulometría de los suelos estudiados, presentan propiedades que a continuación se detallan en la tabla No.8

Tabla No. 8: Clasificación de suelos

ESTACION	LADO	PROFUNDIDAD (m)	SONDEO Nº	MUESTRA Nº	CLASIFICACION		C. B. R.		
					H. R. B.(IG)	S.U.C.S	90%	95%	100%
0+000	IZQ	0.00 - 0.30	1	1	A-2-4 (0)	GP	12.5	32.5	47.2
		0.30 - 1.00	1	2	A-2-6 (2)	CL	8.1	18.6	27.9
0+250	DER	0.00 - 0.20	2	1	A-2-4 (0)	GM	12.5	32.5	47.2
		0.20 - 0.80	2	2	A-7-5 (8)	SM	2.80	3.08	3.85
0+500	IZQ	0.00- 0.80	3	1	A-2-4 (0)	GM	12.5	32.5	47.2
0+750	DER	0.00 - 0.25	4	1	A-2-4 (0)	GM	12.5	32.5	47.2
		0.25 - 0.80	4	2	A-2-7 (3)	GC	3.08	4.79	6.76
1+000	IZQ	0.00 - 1.00	5	1	A-2-6 (0)	GC	13.85	38.6	49.1
1+250	DER	0.00 -1.00	6	1	A-2-7 (0)	GM	2.80	3.75	5.4
1+500	IZQ	0.00 -1.00	7	1	A-2-7 (3)	GC	3.08	4.79	6.76
1+750	DER	0.00 - 0.50	8	1	A-2-6 (0)	GC	8.1	18.6	27.9
2+000	IZQ	0.00 - 0.80	9	1	A-2-7 (3)	GC	2.8	3.57	5.01
2+250	DER	0.00 - 1.00	10	1	A-2-7 (3)	GC	3.08	4.79	6.76
2+500	IZQ	0.00 - 0.90	11	1	A-2-4 (0)	GM	18.4	31.9	35.6
2+750	DER	0.00- 0.80	12	1	A-2-6 (2)	GC	8.1	18.6	27.9
3+000	IZQ	0.00 - 1.00	13	1	A-2-7 (1)	GC	3.18	4.7	5.27

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.5 Análisis de resultados de ensayos realizados de la vía

En base a los resultados de laboratorio mencionados en las tablas No. 4,6 y 8 del presente capítulos, podemos concluir lo siguiente:

En general los materiales que componen la superficie de rodamiento de la carretera son materiales gravosos y arenosos con arcillas de media a alta plasticidad se nota la presencia de suelos tipo A-2-4 hasta A-2-7.

Para realizar los ensayos de CBR se escogieron muestras representativas de los estratos tratando de obtener muestras a todo lo largo del tramo en estudio, estos CBR fueron realizados para densidades de 90, 95,100% proctor modificado.

Los CBR obtenidos, especialmente en los suelos, tipo A-2-7, A-7-5, son bajos con valores que oscilan entre 3 % y 4 % para el 95% de compactación lo cual nos permite recomendar que sean sustituidos por material de banco.

Utilizando siempre todos los valores de CBR obtenidos en laboratorio para realizar el cálculo de CBR de diseño.

En el Anexo A se muestra el perfil estratigráfico del suelo (Fig. № 1, pág. IX) y los ensayos realizados a los sondeos de la línea (*Ver Anexo A, Tabla №.15 pág. XIV - XVII*).

2.4 Sondeos de los bancos de préstamo

Para determinar la calidad y uso específico de los materiales procedentes de los bancos, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio.

Tabla No 9: Ensayes en fuentes de materiales

Tipo de Ensayes	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88	D-422
Límite líquido de los suelos	T-89	D-423
Límite Plástico e índice de Plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Clasificación Highway Research Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Proctor Modificado	T- 180	D-1557
CBR (california Bearing Ratio)	T-193	D-1883
Pesos Volumétricos		C-29
Desgaste Los Ángeles en muestras de materiales para base	T-104	C-131

Fuente: Libro De Diseño De Pavimentos AASHTO 93

2.4.1 Ubicación de los bancos de préstamo

Se realizó un recorrido alrededor del tramo en estudio con el objetivo de localizar y muestrear tres posibles bancos de préstamo los cuales puedan suplir material de base y/o sub-base de adecuada calidad al proyecto; tomando en cuenta los siguientes factores: facilidad de acceso, características geotécnicas y la distancia al sitio de la obra.

Los distintos bancos de préstamo que se han identificado para nuestro estudio se ubican a los lados del tramo de la carretera que conduce hacia el municipio de Limay. Cabe mencionar que cada una de las fuentes de materiales fueron geo referenciadas con GPS portátil, indicando sus coordenadas con el fin de tener un

medio de verificación de su ubicación. (Ver Anexo A, Figura No 2, 3, 4,5 pág. IX - XII)

Cabe mencionar que los tres bancos de préstamos se encuentran cerca del sitio donde realizaremos nuestro estudio, evitando así la actividad de sobre acarreo.

2.4.2 Resultados de los ensayos de laboratorio de los bancos

De los 3 bancos de préstamo se obtuvieron 9 muestras de suelo, las cuales fueron trasladadas al laboratorio. Una vez en el laboratorio se procedió a seleccionar los materiales similares y hacer sus respectivos ensayos. (Ver resultados en Anexo A, Tabla No 9 Pág. IV)

2.4.3 Análisis de resultados de ensayos en bancos de materiales

Banco No 1. Ubicado a 300 m al Norte del Emp. Hermanos Cruz. Est 0+000

Con la finalidad de conocer las cualidades del banco se tomaron muestras en la parte del frente de dicho banco, el material extraído tiene una clasificación HRB de A-1-a (0). Es no plástico y el porcentaje de partículas que pasan por el tamiz No. 4 es de 13 y 15% y las que pasan por el tamiz No.200 es de 1 y 2%. Su CBR a 95 % de compactación es de 50.25 y 51.85, por lo que cumple con los requisitos para su uso en la sub-base (Ver anexo A, Tabla No.2, pág. I y Tabla No.3, pág. II)

Banco No 2. Ubicado a 800 m al Este del Emp. Hermanos Cruz. Est 0+000

El material de este banco es clasificación HBR A-2-4 (0) con una plasticidad entre 9 y 8 %.sus partículas que pasan por el tamiz No.4 son de 54% y las que pasan por el tamiz No.200 son de 19%. Su CBR, a compactación es de 35 y 34.6 %, debido al rango del índice de plasticidad encontrado, no puede ser utilizado en las capa de sub-base como lo estipula la NIC 2000 (Ver Anexo A, Tabla No 2, pág. I y Tabla No 3, pág.

Banco № 3. Ubicado 800 m al Sur del Emp. Hermanos Cruz Est. 0+000 camino que conduce hacia Estelí.

El material encontrado en este banco corresponde a la clasificación HRB de A-2-7 (0) y A-7-6, con plasticidad que varía de alta a media y sus partículas que pasan por el tamiz No.4 varían de 22 a 100 % y las que pasan por el tamiz No.200 varían entre 8 y 40 % su CBR, a 95 % de compactación varia de 3.23 a 4.24. Por lo que no cumple con los requisitos para su utilización en la base o sub-base. Cabe mencionar que este banco de material fue descartado para su uso en el proyecto.

En resumen se ha determinado que las 3 posibles fuentes de materiales solo el banco No.1 cumple con las condiciones para su uso en sub-base, pero no así en la capa base por lo que se recomienda una estabilización química (suelo-cemento) para mejorar sus propiedades mecánicas y cumplir con las especificaciones mencionadas en el (*Anexo A, Tabla № 4, pág. II*).

Tabla No.10: Cuadro resumen de identificación de bancos de materiales

Banco №	Ubicación	Capacidad Estimada (m ³)
1	300 m al Norte del Emp. Hermanos Cruz. Est 0+000	25,000
2	800 m al Este del Emp. Hermanos Cruz. Est 0+000	10,000
3	800 m al Sur del Emp. Hermanos Cruz Est. 0+000.camino que conduce hacia Estelí.	12,000

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Estabilización con suelo cemento a los bancos de préstamo

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad.

La estabilización de suelos con cemento consiste en agregar cemento Portland a un suelo previamente pulverizado y permitir que esta mezcla se endurezca por la hidratación del cemento mejorando así sus propiedades mecánicas.

Con la experiencia obtenida en el desarrollo de proyectos de suelo – cemento en el país, se ha determinado que los suelos de un mismo tipo y extraídos de una misma profundidad pueden ser estabilizados dentro de un intervalo de 2 a 5% de cemento respecto a su peso específico.

Se propone esta alternativa ya que la estabilización con cemento es una alternativa que ha presentado buenos resultados en los proyectos viales del país. De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las 2 fuentes de materiales se considera utilizar el banco No.1 ya que alcanza las resistencias entre 22 y 43 Kg/cm² por lo que cumple holgadamente con los requisitos de la NIC 2000.

Los resultados de las pruebas, en cuanto a resistencia se presentan en el (Anexo A, Tabla №.10 *pág.V*) todas las pruebas de resistencia se realizaron con especímenes de suelo-cemento, sometido a curado de 7 días.

Según los resultados la opción más óptima es usar una dosificación del 2 % de cemento con una resistencia última a la compresión de 22 Kg/cm², en relación a su peso específico, y que es mayor al mínimo establecido en la sección 1003.23-II. (d) de la NIC 2000.

2.5.1 Procedimiento para la estabilización con suelo cemento:

1. Se perfila el camino transversal y longitudinalmente.
2. Se escarifica el suelo en el espesor adecuado de acuerdo al diseño del pavimento.
3. En caso de que se vaya a estabilizar una superficie existente se pulveriza el suelo escarificado, empleando el reciclador o (reclaimer). La pulverización se adelanta hasta que el 100 % del suelo, excluidas las

partículas de grava, pase por el tamiz de 25.4 mm. (1") Y al menos el 80 % pase por el de 4.7 mm (No.4).

4. Se distribuye el cemento Portland sobre el suelo por tratar. La distribución, en la cantidad previamente definida según los ensayos de laboratorio, puede hacerse a granel por medio de camiones o por medio de bolsas colocadas a separaciones adecuadas que es el método más utilizado en nuestro país.
5. Se mezcla el suelo con el cemento y se aplica la cantidad correcta de agua para una buena compactación y para la adecuada hidratación del cemento. El equipo más apropiado es la mezcladora en tránsito (reclaimer) de paso sencillo, máquina que en una sola pasada pulveriza el suelo, le añade el cemento y el agua, los mezcla y los deja extendidos listo para la compactación. Si no se dispone de dicho equipo, la mezcla puede hacerse con una motoniveladora siempre y cuando se supervise la realización de un buen mezclado.
6. Luego del mezclado se procede a la compactación inicial a la mayor brevedad posible en casi todos los países se prohíbe que pasen más de 2 horas entre la mezcla y la compactación este proceso se realiza pasando el rodillo vibrando por varios ciclos para compactar bien el fondo de la capa hasta alcanzar la densidad exigida por las especificaciones.
7. Se perfila la superficie con motoniveladora para obtener la rasante.
8. Compactación final se realiza con un rodillo liso, que a veces se combina con un rodillo de neumáticos para cerrar la superficie, hasta obtener el 98% de la prueba proctor estándar.
9. La última operación consiste en el curado de la capa compactada mediante un riego de agua pulverizada, para asegurar que ésta conservará la humedad suficiente para la hidratación del cemento. El curado se puede realizar aplicando una capa de emulsión asfáltica, de acuerdo especificaciones.

Aunque sea deseable mantener la capa sin tránsito por una semana, esto no es siempre posible y por lo tanto debe aplicársele un riego de arena que permita la circulación segura de los vehículos para evitar el desgaste la base estabilizada.

2.5.2 Ensayo de Proctor Modificado

En esta prueba de laboratorio se determina la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo. Este ensayo se aplicó solamente a los bancos de materiales, realizando determinaciones con diferentes grados de humedad y luego realizar la gráfica de Humedad – Densidad seca.

2.6 Ensayo de Valor Soporte California (CBR)

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. El ensayo de resistencia más utilizado en nuestro país es el CBR (Relación California de Soporte) dado por la norma AASHTO T-193 y ASTM D-1883.

El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida). Tal y como se indica a continuación.

Ecuación No. 1: Formula para ensayo de CBR

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga que produce una penetración de 2.5mm en el suelo}}{\text{Carga que produce una penetración a 2.5mm en la muestra}} \times 100$$

El método "CBR" para diseño de pavimentos fue uno de los primeros en usarse. Se basa en que a menor valor de CBR de sub-rasante, se requieren mayores espesores de pavimento para protegerlo de las sollicitaciones de tránsito.

El valor de CBR (*California Bearing Ratio*) de la sub-rasante es el más importante de definir, dado que a través de este se obtendrá el valor del MR (módulo Resiliente) a ser utilizado.

2.6.1 Selección del CBR de diseño

Para encontrar los valores de los CBR de diseño de los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como sub-rasante, se realizó el procedimiento más difundido para la determinación de este valor el Propuesto por el Instituto del Asfalto que recomienda tomar un valor total, del 60, 75, o el 85 % de los valores individuales sea igual o mayores que el de acuerdo con el tránsito que se espera que circule sobre el pavimento como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla No.11: Límites para la selección de resistencia

Nº de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para encontrar la resistencia.
< 10 ⁴	60
10 ⁴ - 10 ⁶	75
> 10 ⁶	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para carreteras. Alfonso Montejo. Segunda Edición 2001. Página 68.

Para nuestro estudio decidimos utilizar la capa superficial actual (rasante) para realizar las pruebas de CBR hasta una cota de 30 cm.

2.6.2 Metodología para la seleccionar el CBR a utilizar:

1. Ordenar los valores de CBR de menor a mayor junto con sus respectivas frecuencias o valores repetidos. (Ver Anexos A, Tabla No. 8 pág. III)
2. Se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno. (Ver Tabla No 12 de este capítulo)
3. Con los % de valores CBR mayores o iguales y los valores CBR obtenidos de laboratorio, se grafica dichos datos en papel milimetrado (Nota: en nuestro caso realizamos este procedimiento en la hoja de cálculo de Excel).

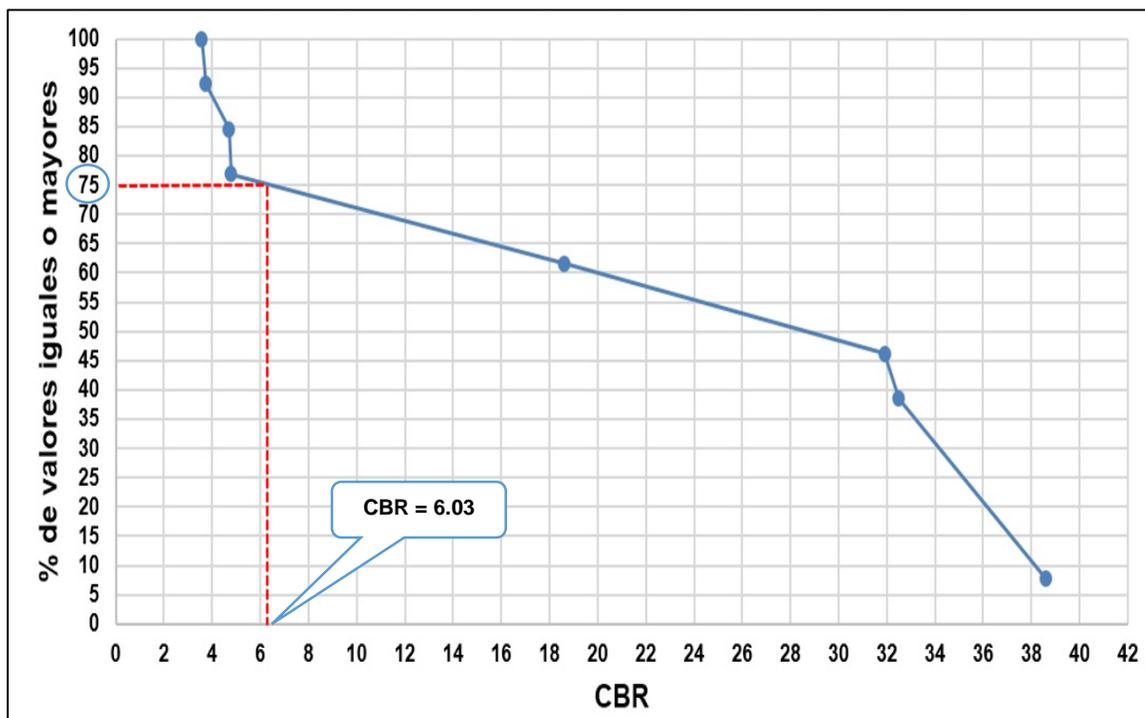
4. Aplicar recomendación del instituto del asfalto, en nuestro estudio el percentil de 75% del CBR de diseño de la capa de sub-rasante ya que nuestro valor de ESAL's es de **298,966** repeticiones (Ver Tabla No.11 del presente capítulo).
5. Introducir dicho porcentaje en la gráfica y leer el valor de CBR de diseño. Ver resultado en la Gráfica No. 1 del presente capítulo.

Tabla No.12: Valores de CBR de menor a mayor.

CBR	Nº de Valores iguales o mayores	% de Valores iguales o mayores
3.57	13	100
3.75	12	92
4.7	11	85
4.79	9	69
18.6	7	54
31.9	6	46
32.5	2	15
38.6	1	8

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 1: Selección de CBR



Fuente: Elaboración propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75 % obtenemos un CBR de 6.03 % lo que nos indica que no es óptimo establecerlo como base de fundación para todo el paquete estructural.

2.7 Determinación de Módulo Resiliente

El método de la AASHTO requiere el módulo Resiliente (Mr.) de la sub-rasante para cuantificar la capacidad de soporte del pavimento flexible, el ensayo del módulo Resiliente (Mr) proporciona una propiedad del material que representa mucho mejor el comportamiento de los suelos y bases bajo cargas en movimiento.

El procedimiento para la determinación del (Mr) está dado por la prueba AASHTO T-274, pero en Nicaragua este tipo de pruebas no se puede realizar debido a que no se cuentan con el equipamiento necesario, para ello se recurre a la propuesta de calcular el Mr por medio de otras pruebas con las cuales se relaciona, en este caso la relación se hace con el CBR (California Bearing Ratio)

Para calcular el módulo de resiliencia (Mr) a partir del CBR se han desarrollado las siguientes formulas:

Ecuación No. 2: Para materiales de sub – rasante con CBR mayor o igual.

$$M_R \text{ (Psi)} = 1500 \times \text{CBR} \dots\dots\dots \text{CBR} < 7.2 \%$$

()Información obtenida del libro Ingeniería de Pavimentos Para Carreteras, Ing. Alfonso Montejo Fonseca, pág. 265 – 266*

Aplicando la ecuación anterior se correlacionará el CBR, obtenido de los sondeos de línea y esto permitirá establecer que el CBR de diseño es 6.03 % y que el Módulo Resiliente (Mr) para sub-rasante es: **9045 psi**

$$\mathbf{Mr = 1500 \times 6.03 \% = 9045 \text{ psi}}$$

Es muy importante hacer notar que tal correlación solo son aplicables a material de la capa de la sub-rasante, ya que no se usan para materiales granulares que se consideran emplear en las capas de base



**III CAPITULO
ESTUDIO DE TRÁNSITO**

3.1 Introducción

El tránsito es una de las variables fundamentales para el diseño de pavimento.

Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de los vehículos causaran sobre el pavimento; por el cual, se debe de conocer: el número y tipo de vehículos que circulan por la vía, así como la intensidad de la carga por eje, la configuración de los ejes y el número de aplicaciones de dicha carga.

El objetivo de este capítulo es presentar la metodología para la determinación de los parámetros de tránsito que se requieren para el diseño estructural del pavimento en estudio.

3.2 Metodología

En este estudio de tránsito se realizaron tres etapas:

1. Recopilación de datos.
2. Procesamiento de información.
3. Análisis de la información obtenida.

3.3 Recopilación de datos

En esta etapa se eligió una estación de control con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía (*ver anexo B, figura 1, pág. No XVIII*), la estación de conteo se ubicó en un punto estratégico que permitió captar el tráfico que circula por el tramo de estudio, este se situó a 30m del empalme Hermanos Cruz, inicio del tramo en dirección a la comunidad El Regadío debido a que los vehículos entran y salen por el mismo sitio siendo su única vía de acceso.

Se recopilaron los datos por medio de conteos volumétricos, que consistió en medir el volumen de tráfico por medio de aforos manuales, clasificando los tipos de vehículos en livianos o pesados que circulan en ambos sentidos, durante un periodo de tiempo equivalentes a 12 horas diurna, iniciando a las 6:00 am concluyendo a las 6:00 pm., los recuentos se dividieron en 1 hora por el bajo volumen de tráfico; la recolección de datos se efectuó durante 1 semana (7 días

continuos). El período comprendido para el conteo vehicular se inició el día lunes 28 de julio hasta el día domingo 3 de agosto del año 2014.

El comportamiento del tráfico en la estación de aforo vehicular ubicada en el Empalme Hermanos Cruz inicio del tramo, se muestra de manera resumida. (*Ver Anexo B, Tabla 1, pág. No XIX*).

3.3.1 Clasificación vehicular

Para el levantamiento de información en campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos a otros; dado que actualmente, en nuestro país hay gran variedad de vehículos.

Para la mejor comprensión de este aspecto, en el *Anexo B, Tabla 2, pág. No. XX*, se muestra la terminología para la clasificación vehicular, que el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), ha designado para los vehículos que circulan a través de la infraestructura vial en el país.

3.3.2 Clasificación vehicular de acuerdo a sus ejes

Vehículo pesado

Los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, trae 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 esfuerzo y deformaciones aplicada a un determinado punto de la estructura.

En el caso de Nicaragua, el MTI ha determinado los límites de cargas por tipo de vehículo pesado. (*Ver Anexo B, Tabla 3, pág. No XXI*).

Vehículos livianos.

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 pesos por ejes. (*Ver Anexo B, Tabla 4, pág. № XXI*).

3.4 Procesamiento de información

Como parte inicial para la determinación del Tráfico Promedio Diurno TP(D), se procedió al análisis de los datos que se levantaron en el campo, los que se revisaron previamente para el control y calidad de la información para su posterior procesamiento, haciendo uso de las hojas de cálculo, creadas en el software Microsoft Excel, donde se obtuvo el resumen de la estación propuesta en el tramo de estudio.

En las tablas se muestran: los conteos de tráfico diurno, la composición vehicular y el tráfico promedio diurno semanal de ambos sentidos. (*Ver Tabla №13*).

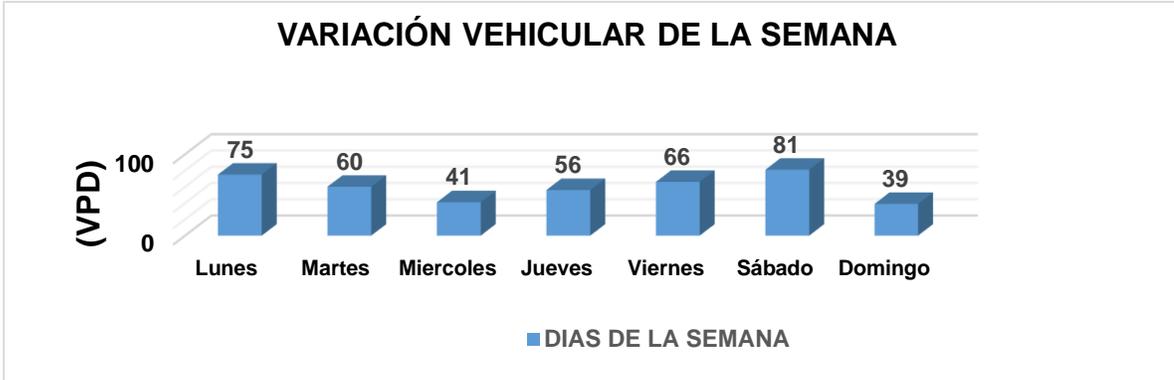
Tabla No. 13: Resumen de volumen de tránsito promedio diario semanal.

TRAMO CARRETERO: Emp. Hermanos Cruz - El Regadío. DURACIÓN: 12 Hrs FECHA DE CONTEO: 28/07/2014 - 03/08/2014 ESTACIÓN: ECS 3211 Nic 32A SENTIDO: Ambos sentidos AFORADOR: Jonathan Antonio Benavides Parrales José Javier Tercero Fuentes												
Día	Bicicletas	Vehículos Livianos				Pesados de Carga					Veh. Trac. Animal	TOTAL (vpd)
		Motos	Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Bus	C2 Liv.	C2 >5 ton	C3	Veh. Agríc.		
Lunes	22	11	2	4	11	4	6	1	4	1	9	75
Martes	20	7	2	2	8	4	3	5	5	2	2	60
Miércoles	9	3	1	3	6	4	4	1	3	2	5	41
Jueves	20	6	0	3	11	4	0	5	3	2	2	56
Viernes	15	6	1	5	15	4	4	8	2	2	4	66
Sábado	12	19	2	4	17	4	8	6	6	2	1	81
Domingo	7	6	0	2	7	2	3	7	2	0	3	39
TOTAL	105	58	8	23	75	26	28	33	25	11	26	418
TP Diurno Semanal	15	8	1	3	11	4	4	5	4	2	4	60

Fuente: Elaboración propia.

En siguiente gráfico se muestra el comportamiento diario total del tráfico en un periodo de una semana. (Ver Gráfico No 2)

Grafica No. 2: Variación vehicular por día.



Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis de la información obtenida

3.5.1 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual consiste en convertir los valores de los conteos realizados durante periodo de tiempo limitados a valores característicos y representativos del ciclo anual. En el cuadro anterior nos muestra el Tráfico Promedio Diurno Semanal TP(D)S. Como esto no es aun nuestra realidad se requiere estimar el comportamiento anualizado del tránsito, el cual es necesario expandir los resultados obtenidos utilizando: factor día y factor temporada en nuestro caso no utilizamos el factor semana porque el periodo de conteo se realizó durante una semana completa de 12 horas.

Para poder encontrar los factores de expansión es necesario realizar conteos de 24 horas para poder calcular los factores, dado que no se cuenta con un conteo de 24 horas y en nuestro caso se cuenta con conteos de 12 horas por ende se usarán los factores de ajustes de las revistas de tráfico publicada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Los factores de ajuste que se utilizarán para encontrar el TPDA del tramo en estudio se encuentran en la estación de conteo sumaria 3211, NIC-32A, La Sirena-Empalme El Regadío, perteneciente a la estación de mayor cobertura 300,

NIC-3, Sébaco-Quebrada Honda. (Ver Anexo B, Tabla 5, pág. XXII). Se eligió dicha estación por presentar un tráfico similar y por ser la más cercana al sitio de aforo. La tabla de los factores de ajustes de la estación antes mencionada se encuentra en el anuario de tráfico 2010 publicada por el (MTI). (Ver Anexo B, Tabla 6, pág. XXIII). En los anuarios de tráfico actuales de los años 2011 y 2012, no aparece la tabla de factores de ajustes de la estación sumaria La Sirena-El Regadío. Por tal motivo se trabajará con el anuario antes mencionado.

En la siguiente tabla mostramos los resultados del tráfico promedio diario anual (TPDA), y el porcentaje de vehículos pesado y liviano del tramo en estudio. (Ver Tabla No 14).

Tabla No. 14: Resultados del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

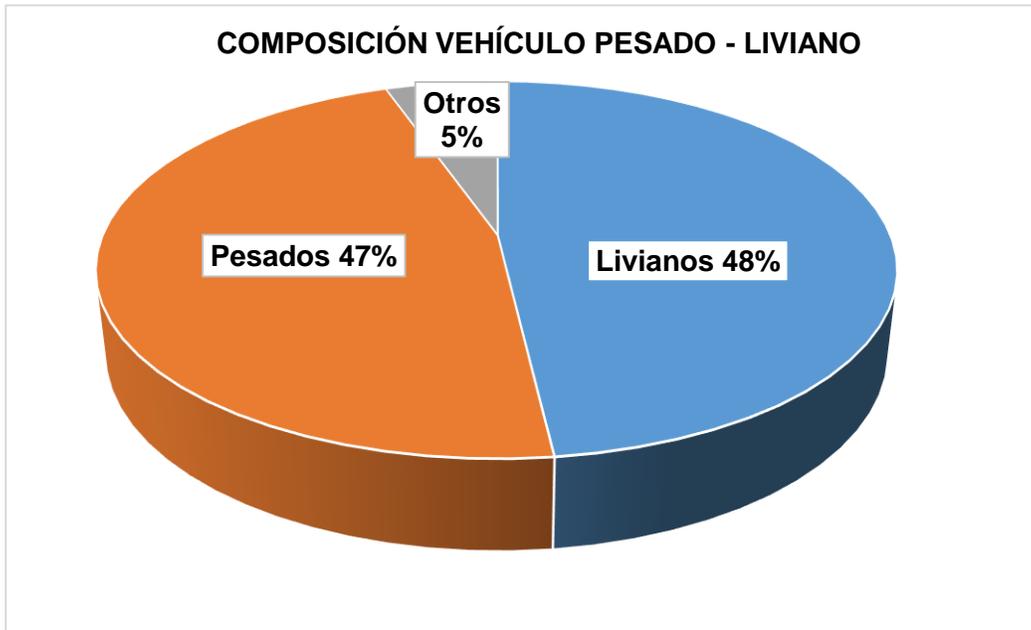
Grupo	Motos	Autos	Jeep	pick up	Bus	C2 Liv	C2 >5 Ton	C3	Veh. Agri	veh. Tracción animal	Total (vpd)
TP Diurno Semanal	8	1	3	11	4	4	5	4	2	4	45
FACTOR DIA	1.21	1.42	1.3	1.27	1.16	1.24	1.25	1.15	1	1.06	
FACTOR EXPANSIÓN	0.98	1.04	0.95	0.97	1.08	0.99	1.16	1.24	4	0.82	
TPDA	10	2	4	13	5	5	7	5	6	3	60
%TPDA	16%	3%	7%	22%	8%	8%	11%	9%	11%	5%	100%
	48%				47%					5%	
	% LIVIANOS				% PESADOS					% OTROS	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Clasificación vehicular

La clasificación del flujo vehicular, presenta una alta concentración de vehículos de transporte liviano en el flujo vehicular con el 48%, mientras que los vehículos de transporte de carga representan el 47% y en menor proporción los vehículos de tracción animal con solamente el 5% del total de vehículos clasificados. (Ver Gráfico No 3).

Grafica No. 3: Clasificación vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Determinación de la tasa de crecimiento

Para la definición de las tasas de crecimiento del tráfico antes mencionado, se parte de la definición de las variables que intervendrán en el proceso de determinación de las tasas de crecimiento para cada uno de los tipos de tráfico que intervendrán.

Para el caso de los estudios de tráfico se cuenta con los registros históricos del **TPDA** de las estaciones de conteos volumétricos del Sistema Nacional de Conteos de Tráfico que lleva a cabo la Dirección de Administración Vial del MTI, otra variable importante y muy relacionada con el crecimiento del tráfico es el; Producto Interno Bruto (**PIB**), que es un dato que identifica el comportamiento socio-económico de nuestro país por consiguiente se puede vincular con el crecimiento del tráfico, se tiene además la variable del Índice de Precio al Consumidor (**IPC**) y la Población (**POB**), que tiene relación estrecha con el crecimiento de tráfico vehicular.

3.5.4 Variables relacionadas con el crecimiento de tráfico

3.5.4.1 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de datos históricos de tráfico en base a estudios anteriores en el tramo en estudio u otras vías de naturaleza similar.

Para el presente tramo, Empalme Hermanos Cruz- El Regadío se ha encontrado información histórica o estadística de tráfico en las revistas del MTI. Utilizando la revista 2012 como la más actual.

Para el cálculo del (TPDA) se hará uso de las siguientes estaciones: Estación de conteo sumaria 3211, NIC-32A, La Sirena-Empalme El Regadío. (*Ver Anexo B Tabla 7, pág. XXIV*). Y la Estación de corta duración 111, NIC-1, Condega-Shell Palacagüina. (*Ver Anexo B, Tabla 8, pág. XXIV*).

En la estación sumaria 3211 la más cercana a la zona y con volumen de tráfico similar al tramo en estudio se encontraron con pocos datos del TPDA o muy dispersos entre los años 2002 y 2010 por lo tanto los años q no tengan datos serán interpolados. Por dichos motivos de la estación 3211 que no se cuenta con la suficiente información se tomará en cuenta la estación de corta duración 111 ya que presenta datos estadísticos más completos entre los años 2001 y 2012.

3.5.4.2 Producto Interno Bruto (PIB):

El PIB es el valor a precio de mercado de la producción corriente de bienes y servicios finales dentro del territorio nacional durante un periodo de tiempo. La estimación del PIB puede obtenerse desde el valor bruto de producción de las distintas actividades económicas. Por tanto se utilizará para proyección del transporte de carga. De la información disponible del Banco Central de Nicaragua (BCN), se muestran datos donde se aprecia el comportamiento histórico del (PIB), desde el año 2001-2012. (*Ver Anexo B, Tabla 9, pág. XXV*).

3.5.4.3 Índice de Precio al Consumidor (IPC):

El IPC mide la evolución de los precios de un conjunto de bienes y servicio representativo del gasto de consumo de los hogares. Es un indicador clave

particularmente para medir la tasa de inflación y para ajustar los principales precios, incluyendo los salarios. Esta variable se efectuará para proyectar el tráfico liviano, criterio que tomamos en cuenta debido a la consideración de que la gente puede tener su propio vehículo en la medida que tenga dinero. De la información disponible (BCN), se ha elaborado la siguiente tabla donde se aprecia el comportamiento histórico del (IPC), partiendo desde el año 2001-2012. (Ver Anexo B, Tabla 10 pág. XXV).

3.5.4.4 Población (POB):

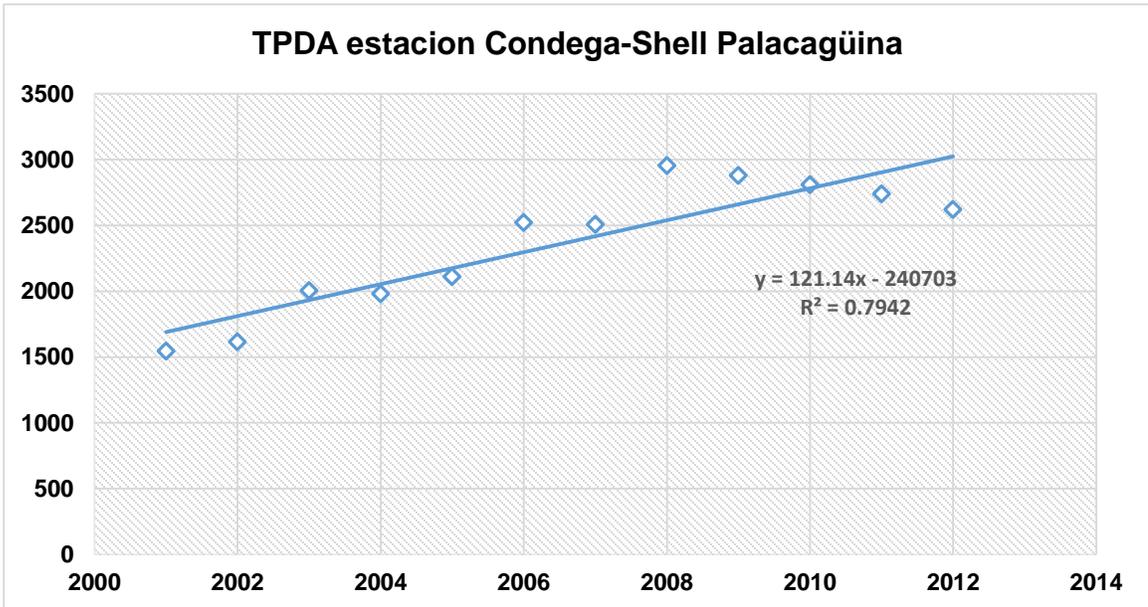
Otra de las variables que se analizará será la población del país que ha aumentado aceleradamente entre los años 1950-2005. De igual manera la población se puede efectuar para proyectar el tráfico pesado de pasajero considerando de que no todas las personas conservan un vehículo propio. De la información disponible del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), se ha elaborado la siguiente tabla donde se aprecia el comportamiento histórico de la (POB) en miles, partiendo desde el año 2001-2012. (Ver Anexo B, Tabla 11, pág. XXVI).

3.6 Correlación de variables

Para la definición de la tasa de crecimiento las variables antes mencionadas serán sometidas a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación entre ellas, de forma que se establezca su crecimiento con los diferentes tipos de tráfico a los cuales se deben de realizar proyecciones.

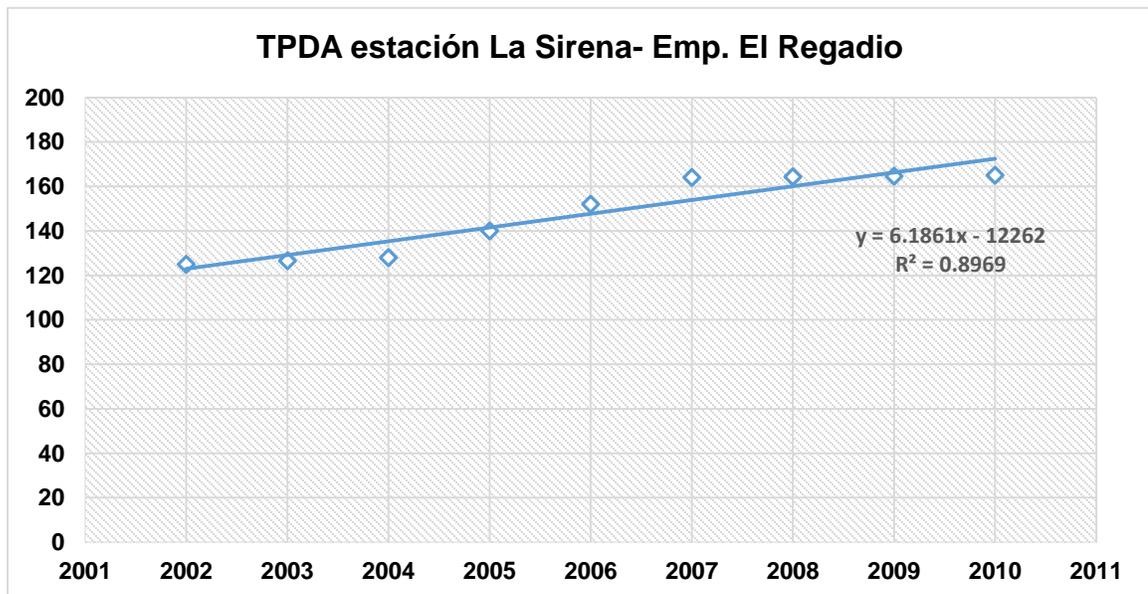
Correlación de variables de TPDA entre la estación de corta duración 111, Condega-Shell Palacaguina y la estación sumaria 3211, La Sirena- Empalme El Regadío. (Ver Gráfico No 4 y Gráfico No 5).

Grafica No. 4: Correlación de variable TPDA Condega-Shell Palacagüina



Fuente: Elaboración propia

Grafica No. 5: Correlación de variable TPDA La Sirena-Empalme El Regadío



Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar con la elaboración de la recta de regresión se calculó el coeficiente de correlación de las variables del TPDA históricos, de la estación de corta duración N° 111 Condega-Shell Palacaguina, existe una correlación no adecuada o muy baja $R^2=0.79$. Comparándola con el TPDA histórico de la

estación sumaria N^o 3211 que presenta una mejor correlación de $R^2=0.896$. Tomaremos como indicador de proyección el TPDA de la estación sumaria N^o 3211 considerando que mientras más cercano al 100% se obtengan resultados indicará una mejor correlación entre dichas variables.

Para las correlaciones de las variables antes mencionadas se les aplicará el logaritmo natural para mejorar el % de elasticidad de la demanda (Y).

A continuación se presenta el cálculo realizado, de los logaritmos natural previo al cálculo de la correlación de las variables. (Ver Tabla No 15).

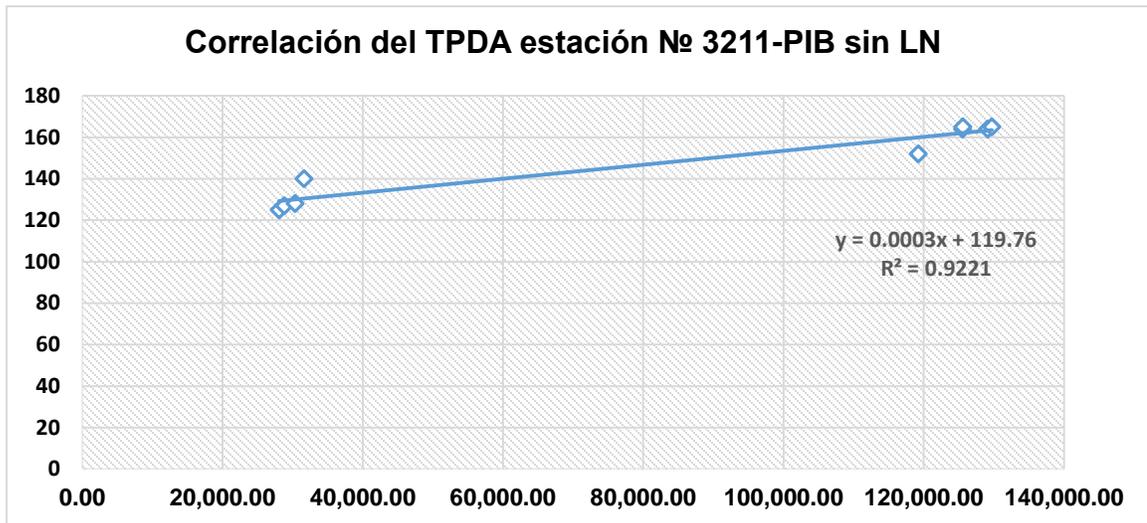
Tabla No. 15: Variables sin el logaritmo natural y variable con el logaritmo natural

Año	Variables sin el Logaritmo Natural (LN).				Variables con el Logaritmo Natural (LN)			
	PIB (M - C\$)	POB EN MILES	IPC \$	TPDA EST. La Sirena-El Regadío	PIB (M - C\$)	POB EN MILES	IPC \$	TPDA EST. La Sirena-El Regadío
2002	28,087.00	5244.694	767.60	125	10.24	8.56	6.64	4.83
2003	28,795.00	5312.750	772.00	127	10.27	8.58	6.65	4.84
2004	30,325.00	5380.510	829.80	128	10.32	8.59	6.72	4.85
2005	31,623.00	5450.393	893.90	140	10.36	8.60	6.80	4.94
2006	119,235.20	5637.965	1203.70	152	11.69	8.64	7.09	5.02
2007	125,540.08	5707.938	1306.60	164	11.74	8.65	7.18	5.10
2008	129,120.12	5778.779	1469.40	164	11.77	8.66	7.29	5.10
2009	125,557.42	5850.499	1432.50	165	11.74	8.67	7.27	5.11
2010	129,703.82	5923.109	1509.00	165	11.77	8.69	7.32	5.11

Fuente: Elaboración propia.

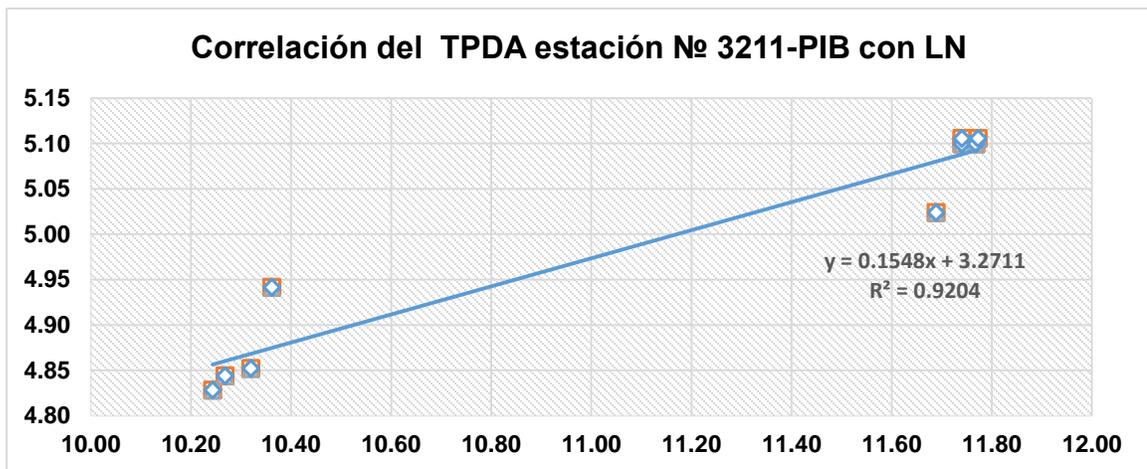
3.6.1 Correlación de variables TPDA y el PIB

Grafica No. 6: Correlación de variables sin aplicar logaritmo natural.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica No. 7: Correlación de variable aplicando el logaritmo natural.

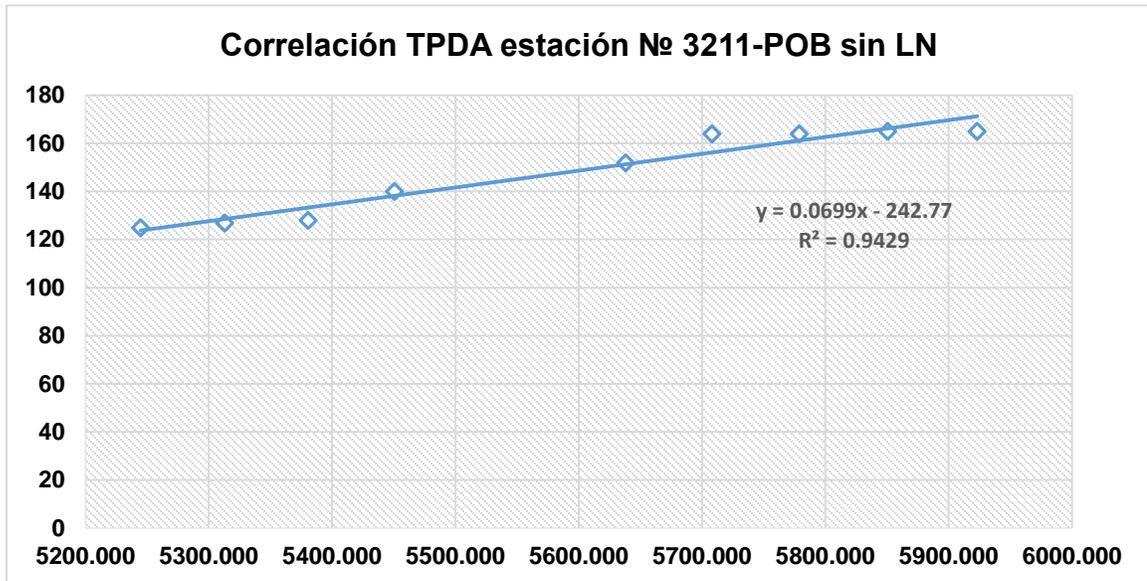


Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de correlación entre el TPDA y el PIB, resultando que ambas tienen una excelente correlación $R^2 = 92.21\%$ sin aplicar LN y 92.04% aplicando el LN. Como se observa que entre las correlaciones (R^2) no existe una diferencia muy significativa, esto indica que se puede utilizar ambas correlaciones. En nuestro caso se tomará en cuenta el cálculo de variables con el logaritmo natural considerando que el % de elasticidad de la demanda $Y = 0.1548$ es mayor en comparación con el cálculo de elasticidad $Y = 0.0003$ sin aplicar el logaritmo natural.

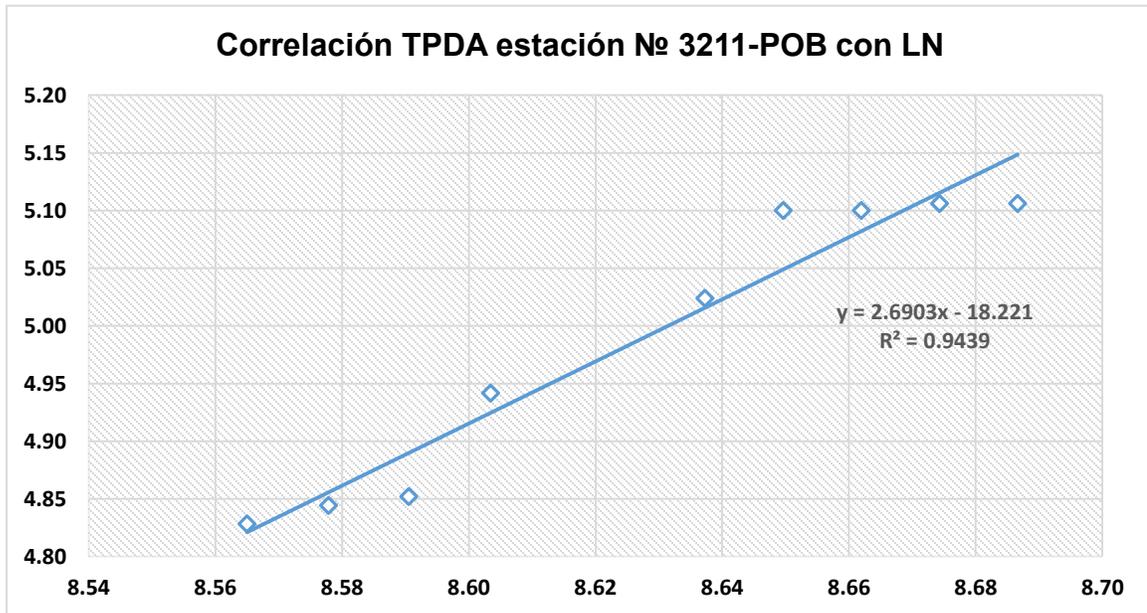
3.6.2 Correlación de variables TPDA y el POB

Grafica No. 8: Correlación de variable sin aplicar logaritmo natural.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica No. 9: Correlación de variable aplicando logaritmo natural.



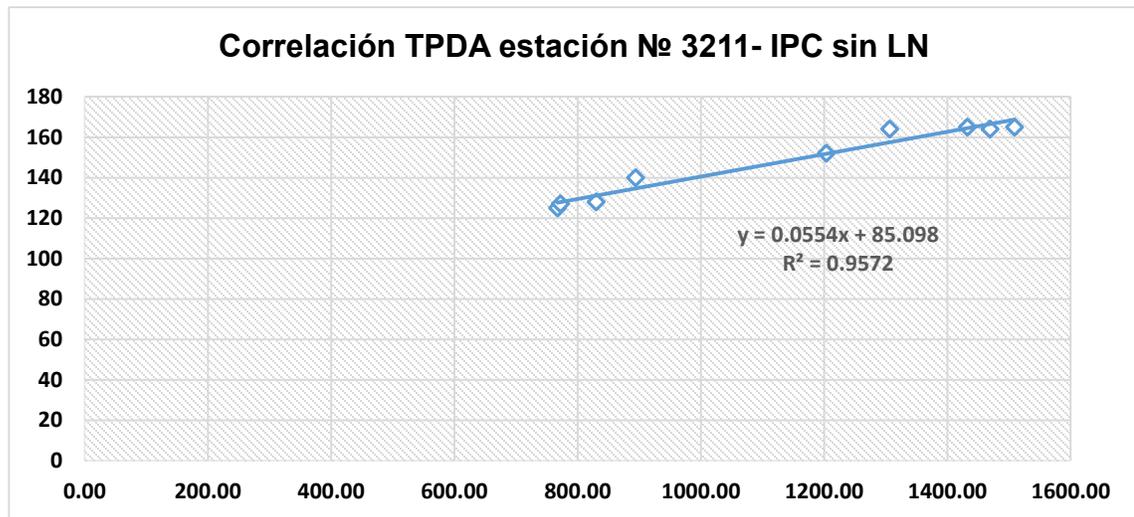
Fuente: Elaboración propia.

Ambas presentan una correcta correlación de variables en el cálculo entre el TPDA y el POB con un $R^2=94.29\%$ sin aplicar LN y 94.39% aplicando LN. Como antes se mencionó cuando la diferencia no es muy significativa se puede trabajar

con cualquiera de las dos correlaciones, pero en nuestro caso siempre tomaremos en cuenta que el porcentaje de elasticidad de la demanda sea mayor, utilizando la correlación con el logaritmo natural.

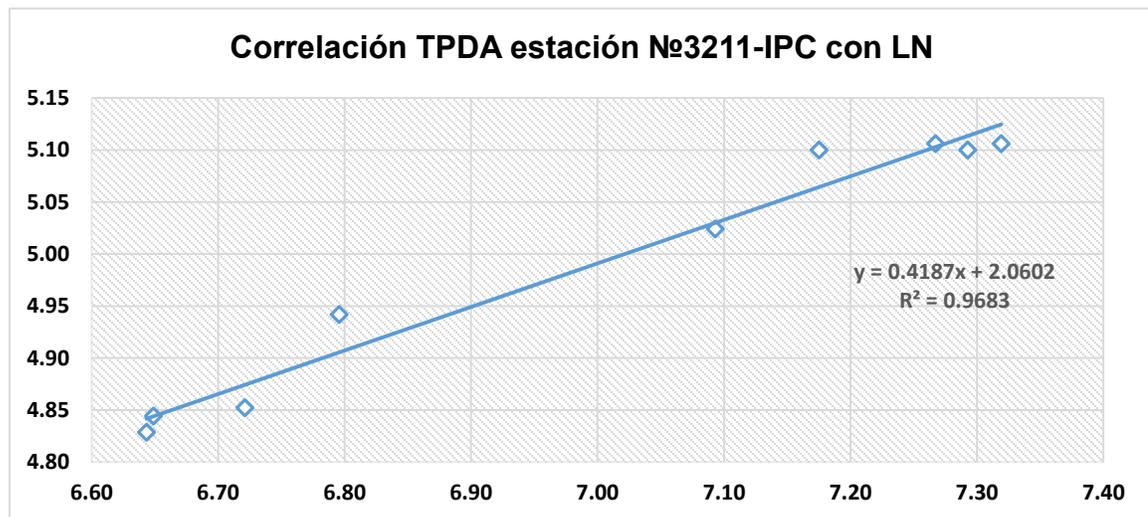
3.6.3 Correlación de variables TPDA y el IPC

Grafica No. 10: Correlación de variable sin aplicar logaritmo natural.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica No. 11: Correlación de variable aplicando logaritmo natural



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que las gráficas anteriores se relacionaron las variables del TPDA y el IPC teniendo como resultado una excelente correlación. En este proceso se tomarán en cuenta las mismas decisiones que en los cálculos de correlaciones

anteriores, se utilizará la relación con el logaritmo natural tomando en cuenta que la elasticidad es mayor.

3.7 Proyección de tráfico

Una vez calculada la elasticidad de la demanda se lleva a cabo el proceso de afectar a las tasas de crecimiento calculadas con su elasticidad, este proceso garantiza que se tomen en cuenta las variaciones en el tiempo de las tasas debido a cambios en los precios, volúmenes, y cantidades en general de las variables consideradas.

Método común para la proyección de tráfico.

- El método más común para la **Proyección de Tráfico** es la ecuación siguiente:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_t}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Donde:

TPDA_t = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA₀ = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n = La diferencia de años

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Las tasas de crecimiento se calcularán para tres grupos de vehículos: tasa de crecimiento para vehículos pesados, y otra tasa de crecimiento para vehículos livianos y pesados de pasajeros. (Ver Tabla No 16)

Tabla No. 16: Variables a proyectar

Año	TPDA Est. La Sirena- El Regadío	PIB (M - C\$)	POB en MILES	IPC \$
2002	125	28,087.00	5244.694	767.60
2003	127	28,795.00	5312.750	772.00
2004	128	30,325.00	5380.510	829.80
2005	140	31,623.00	5450.393	893.90
2006	152	119,235.20	5637.965	1203.70
2007	164	125,540.08	5707.938	1306.60
2008	164	129,120.12	5778.779	1469.40
2009	165	125,557.42	5850.499	1432.50
2010	165	129,703.82	5923.109	1509.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 17: Cálculos de proyección

Tenemos 8 Años por tanto el valor n= 8	PIB (TC)	POB (TC)	IPC (TC)
Dato final/Dato Inicial	4.62	1.13	1.97
(Dato final/Dato Inicial) 1/n	1.21	1.02	1.09
$((\text{Dato final/Dato Inicial}) 1/n)-1)*100$	21.08%	1.53%	8.82%

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar la tasa de crecimiento para el PIB es de 21.08% para la población es de 1.53% y para el IPC de 8.82% entre los años 2002 y 2010.

Afectamos la tasa de crecimiento multiplicándolas por los porcentajes de la elasticidad de la demanda. (Ver Tabla No 18)

Tabla No. 18: Porcentajes de la elasticidad de la demanda

Indicadores	Elasticidad (Y) con LN
PIB (M - C\$)	0.1548
POB EN MILES	2.6903
IPC \$	0.4187

Fuente: Elaboración propia.

Observamos los resultados de las tasas de crecimiento afectada por la elasticidad de la demanda para los diferentes tipos de vehículos que circulan en la zona en estudio. (Ver Tabla No.19)

Tabla No. 19: Tasa de crecimiento a emplear

Tasa de Crecimiento de Transporte de Carga.	3.26%
Tasa de Crecimiento de Transporte de Pasajero.	4.12%
Tasa de Crecimiento de tráfico liviano.	3.69%
Promedio.	3.69%

Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado los siguientes análisis se utilizará una tasa de crecimiento promedio del 3.5% el cual se considera como tasa de crecimiento estable y conservadora dentro de la economía del país.

3.8 Estimación de tránsito a futuro

3.8.1 Crecimiento Normal del Tránsito (CNT)

Es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de la personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que este componente del tránsito siga aumentando. Si la carretera ya se encuentra en funcionamiento y sólo experimenta crecimiento normal las proyecciones serían multiplicar la tasa de crecimiento normal del 3.5% por el TPDA: (Ver Tabla No 20).

Tabla No. 20: Crecimiento normal del tránsito

Tipo	Liviano				Pasajero	Carga			
	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Bus	C2 liv	C2>5ton	C3	Vehí. Agric.
TPDA	10	2	4	13	5	5	7	5	6
2014	10	2	4	13	5	5	7	5	6
2015	10	2	4	14	5	5	7	5	7
2016	11	2	4	14	5	5	7	5	7
2017	11	2	4	15	5	5	8	6	7
2018	11	2	5	15	5	6	8	6	7
2019	12	2	5	16	6	6	8	6	7
2020	12	2	5	16	6	6	8	6	8
2021	13	2	5	17	6	6	9	6	8
2022	13	2	5	17	6	6	9	7	8
2023	13	2	6	18	6	7	9	7	9
2024	14	2	6	19	7	7	10	7	9
2025	14	2	6	19	7	7	10	7	9
2026	15	3	6	20	7	7	10	8	9
2027	15	3	6	21	7	8	11	8	10
2028	16	3	7	21	8	8	11	8	10
2029	16	3	7	22	8	8	11	9	11
2030	17	3	7	23	8	9	12	9	11
2031	18	3	7	24	8	9	12	9	11
2032	18	3	8	25	9	9	13	9	12
2033	19	3	8	25	9	9	13	10	12
2034	20	3	8	26	9	10	14	10	13

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2 Tránsito Generado (TG)

Por ejemplo, la construcción de un camino de penetración genera tránsito al permitir la explotación de áreas que antes eran inaccesibles. Otro ejemplo, es el caso de los habitantes de predios agrícolas que al disponer de un camino en mejores condiciones deciden realizar más viajes a las zonas urbanas. Este tráfico se presenta inmediatamente después que se descubre las condiciones favorables que ofrece un camino nuevo o mejorado; atribuyendo la facilidad de acceso, conveniencia, atracción en algunos casos ahorro de tiempo de viaje. Se puede asumir un valor alrededor del 3.69% tasa de crecimiento que corresponde al promedio de los vehículos livianos, transporte de carga y transporte pesado de pasajeros, que corresponde al tránsito vehicular que se incorpora a la red vial por causa del proyecto. (Ver Tabla No 21).

Tabla No. 21: Tránsito Generado

Tipo	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Bus	C2 liv	C2>5ton	C3	Vehí. Agric.
TPDA	AQUÍ SE CONSIDERA QUE NO SE PRESENTA EL TRÁFICO GENERADO								
2014									
2015									
2016									
2017	11	2	5	15	5	5	8	6	7
2018	11	2	5	15	5	6	8	6	7
2019	12	2	5	16	6	6	8	6	7
2020	12	2	5	16	6	6	8	6	8
2021	13	2	5	17	6	6	9	6	8
2022	13	2	5	17	6	6	9	7	8
2023	13	2	6	18	6	7	9	7	9
2024	14	2	6	19	7	7	10	7	9
2025	14	2	6	19	7	7	10	7	9
2026	15	3	6	20	7	7	10	8	10
2027	15	3	6	21	7	8	11	8	10
2028	16	3	7	21	8	8	11	8	10
2029	16	3	7	22	8	8	11	9	11
2030	17	3	7	23	8	9	12	9	11
2031	18	3	7	24	8	9	12	9	11
2032	18	3	8	25	9	9	13	9	12
2033	19	3	8	25	9	9	13	10	12
2034	20	3	8	26	9	10	14	10	13

Fuente: *Elaboración propia.*

3.8.3 Tránsito Desarrollado (TD)

El incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continua actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto, este no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando valores del orden del 5% del tránsito actual. Se considera al flujo nuevo a desarrollarse como efecto directo de la mejoría de la Economía Nacional. (Ver Tabla No 22)

Tabla No. 22: Tránsito Desarrollado

Tipo	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Bus	C2 liv	C2>5ton	C3	Vehí. Agric.
TPDA	AQUÍ SE CONSIDERA QUE NO SE PRESENTA EL TRÁFICO DESARROLLADO.								
2014									
2015									
2016									
2017	11	2	5	15	5	6	8	6	7
2018	12	2	5	16	6	6	8	6	8
2019	12	2	5	16	6	6	9	6	8
2020	13	2	5	17	6	6	9	7	8
2021	13	2	5	18	6	7	9	7	8
2022	14	2	6	18	6	7	9	7	9
2023	14	2	6	19	7	7	10	7	9
2024	15	2	6	20	7	7	10	8	9
2025	15	3	6	20	7	8	10	8	10
2026	16	3	6	21	7	8	11	8	10
2027	16	3	7	22	8	8	11	8	10
2028	17	3	7	22	8	8	12	9	11
2029	17	3	7	23	8	9	12	9	11
2030	18	3	7	24	8	9	12	9	11
2031	19	3	8	25	9	9	13	10	12
2032	19	3	8	26	9	10	13	10	12
2033	20	3	8	27	9	10	14	10	13
2034	21	4	8	28	10	10	14	11	13

Fuente: *Elaboración propia.*

3.8.4 Incremento del Tránsito

Según Cal y Mayor, el Incremento del Tránsito (IT) es el volumen del tránsito que se espera usando la nueva carretera en el año futuro seleccionando como de proyecto. Este incremento se compone: del Crecimiento Normal del Tránsito (CNT), el Tránsito Generado (TG) y del Tránsito Desarrollado (TD). (Ver Tabla No 23).

El Incremento del Tránsito (IT) se expresa así: (Ver Ecuación No 4).

Ecuación No.4: Incremento del Tránsito

$$IT = CNT + TG + TD$$

Tabla No. 23: Incremento del Tránsito

Tipo	Liviano				Pasajero	Carga			
	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Bus	C2 liv	C2>5ton	C3	Vehi.agric
TPDA	AQUÍ SE CONSIDERA QUE NO SE PRESENTA INCREMENTO DE TRÁNSITO								
2014									
2015									
2016									
2017	33	6	14	44	16	16	23	17	21
2018	34	6	14	46	16	17	24	18	22
2019	35	6	15	47	17	18	24	18	23
2020	36	6	15	49	17	18	25	19	23
2021	38	6	16	51	18	19	26	20	24
2022	39	7	16	52	18	20	27	20	25
2023	40	7	17	54	19	20	28	21	26
2024	42	7	17	56	20	21	29	22	27
2025	43	7	18	58	20	22	30	22	28
2026	45	8	18	60	21	22	31	23	29
2027	46	8	19	62	22	23	32	24	30
2028	48	8	20	64	23	24	33	25	31
2029	50	9	21	67	24	25	35	26	32
2030	51	9	21	69	24	26	36	27	33
2031	53	9	22	71	25	27	37	28	34
2032	55	9	23	74	26	28	38	29	35
2033	57	10	24	77	27	28	40	30	36
2034	59	10	24	79	28	29	41	31	38

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Consideración para el carril de diseño

3.9.1 Clasificación de la vía

La clasificación es el proceso por medio del cual las calles y carreteras son organizadas dentro de un sistema funcional, de acuerdo con el carácter de servicio que prestan y que ayude a seleccionar los factores apropiados de tránsito y otras variables que sean necesarias, según como se muestran. (Ver Tabla No 24).

Tabla No. 24: Clasificación funcional de carreteras

Clasificación funcional de las carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Numero de carriles y Tipo de Superficie de Rodadura

TPDA	>20,000		20000-10,00		10,000-3,000		3,000-500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav .	4-6	Pav.				
TS-Troncales Suburbanas	4	Pav .	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR-Troncales Rurales	4	Pav .	2-6	Pav.	2	Pav.		
CS-colectora suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR-Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

TPDA= Tránsito Promedio Diario Anual; C=Número de Carriles; S= Superficie de Rodadura; Pav.=Pavimento

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Por lo tanto la vía en estudio se clasifica funcionalmente como colectora rural-CR basándonos en el TPDA del tramo en estudio que fue de 60 vpd este resultado no cabe en ninguno de los rangos que la SIECA establece pero al que más se acerca es al rango 3000-500 TPDA por lo tanto consideramos que es una vía colectora rural.

3.9.2 Periodo de diseño

El período de diseño es el tiempo para el cual se diseña específicamente el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. (Ver Tabla No 25).

Tabla No. 25 : Periodo de diseño

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

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas, SIECA, 2001. El periodo de diseño para vías colectoras rurales es de 10 a 20 años. Para efectos de diseño el periodo a utilizar en el presente proyecto es de 20 años.

3.9.3 Tránsito de Diseño

Con este se determina la cantidad de vehículos que circulan en la vía y así obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil.

Para convertir el volumen tráfico obtenido de los conteos se usará un tránsito de diseño, que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Esta se obtiene a partir de la información básica suministrada por el tránsito promedio diario anual, el factor de crecimiento, factor de distribución y factor carril y se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación No.5: Tránsito de Diseño

$$TD = T_0 * FC * FD * fc$$

Donde:

- **TD**= Tránsito de Diseño.
- **T₀**= Tránsito inicial del año (0).
- **FC**= Factor de Crecimiento.
- **FD**= Factor de distribución por dirección.
- **fc**= Factor de distribución por Carril.

Fuente: *Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.*

3.9.4 Transito inicial del año 0 (**T₀**)

Es el TPDA inicial determinado a partir del conteo vehicular que se realizó en el tramo en estudio. Es uno de los elementos primarios más importante que se ha tomado como indicador numérico para el diseño.

3.9.5 Factor de Crecimiento (**FC**)

Está en función de la tasa anual de crecimiento y el periodo de diseño de la estructura de pavimento. El tránsito acumulado durante los “n” años se determina a través de un factor de crecimiento el cual varía según el método de diseño. Así por ejemplo para el método de AASHTO 93.

Ecuación No.6: Factor de Crecimiento

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

- **FC**= factor de crecimiento.
- **365**= son los días con que cuenta un año.
- **n**= periodo de año el cual se está proyectando.
- **i**= tasa de crecimiento.

Fuente: *Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001*

De acuerdo a la ecuación se obtiene el factor de crecimiento.

n=20

i=3.5%

$$FC = 365 * \left[\frac{(1 + 3.5\%)^{20} - 1}{3.5\%} \right]$$

$$FC = 10322$$

3.9.6 Factor de distribución por dirección (FD)

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que un 50% de los vehículos van en una dirección y el otro 50% en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito. (Ver Tabla No 26).

Tabla. 26: Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

El conteo de tránsito efectuado en el tramo en estudio se observó que los vehículos circulan por la misma vía en ambas direcciones, ya que es la única vía de acceso a la comunidad. Por lo tanto tomamos el valor de **FD=0.5**.

3.9.7 Factor de distribución por carril (fc)

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. (Ver Tabla No 27).

Tabla No. 27: Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

El factor de distribución por carril a utilizarse es del 100%, ya que estamos considerando que la vía posee 1 carril en una sola dirección. Por ende tomamos el valor de $f_c = 1.00$

3.9.8 Tránsito en el año n (T_n)

Es el Tráfico Promedio Diario Anual proyectado hacia el año n , o también se define como el tiempo total para el cual se diseña un pavimento. Para el cálculo es necesario conocer el tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño.

Ecuación No.7: tránsito en el año n

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

Donde:

- T_n = tránsito en el año n .
- i = tasa de crecimiento anual.
- n = número de año en el periodo de diseño.

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

En nuestro diseño el año base es el 2014 y se proyectará hasta el 2034, ya que nuestro periodo de diseño es de 20 años debido al tipo de carretera que se considerada como colectora rural.

3.9.9 Cálculo de tránsito para el carril de diseño

Tabla No. 28: Tránsito para el carril de diseño

Tipos de Vehículos	Tránsito Actual 2014 (To)	Tránsito Proyectado 2034	F.Crecimiento (F.C)	Factor por Carril (fc)	Factor por Dirección (fs)	Tránsito para el Carril de Diseño
Motos	10	20	10322	1	0.5	51,610
Autos	2	4	10322	1	0.5	10,322
Jeep	4	8	10322	1	0.5	20,644
Camionetas	13	26	10322	1	0.5	67,094
Bus	5	10	10322	1	0.5	25,805
C2 Liv	5	10	10322	1	0.5	25,805
C2 >5 Ton	7	14	10322	1	0.5	36,127
C3	5	10	10322	1	0.5	25,805
Veh. Agri	6	12	10322	1	0.5	30,966
TOTAL						294,179

Fuente: *Elaboración propia.*

Realizando los cálculos mediante las fórmulas correspondientes para el diseño se obtuvo un tránsito total de diseño **294,179** vehículos proyectados para el 2034.

3.10 Índice de Serviciabilidad

El índice de Serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, a un pavimento se le asigna un valor de Serviciabilidad inicial y un índice de Serviciabilidad final.

3.10.1 Índice de Serviciabilidad inicial (po)

Es la condición inmediata después de la construcción; depende del diseño y de la calidad de la construcción, la guía de la AASHTO-93 define los siguientes valores para los diferentes tipos de pavimentos:

Po= 4.5 para pavimento rígidos.

Po= 4.2 para pavimento flexibles.

En el diseño de la estructura de pavimento del tramo Hermanos Cruz- El Regadío se trabaja con un valor de: **Po**= 4.2.

3.10.2 Índice de Serviciabilidad final (Pt)

Es la condición final que tendrá el pavimento o sea es la condición en la cual el pavimento falla y necesita rehabilitación, reconstrucción o repavimentación.

Los valores recomendados por el manual AASHTO-93 son:

Pt= 2.5 para caminos muy importantes.

Pt= 2 para caminos de tránsito menor.

En el tramo Hermanos Cruz- El Regadío presento un bajo volumen vehicular, por ende se tomara un valor **Pt**=2

3.10.3 Perdida de Serviciabilidad (Δ psi)

Es la diferencia que existe entre la Serviciabilidad inicial y la Serviciabilidad final. Entre mayor sea el Δ psi mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar. Se calcula de la siguiente manera.

Ecuación No.8: perdida de serviciabilidad

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

En el diseño de la estructura de pavimento se trabaja con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2$$

3.11 Ejes Equivalentes ESAL'S

3.11.1 Número estructural asumido (SN)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido; para calcular el ESAL's o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras) se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este diseño seleccionamos un valor SN=3.

Ya que se realizaron cálculos con los distintos SN brindados por la guía AASHTO notando poca diferencia entre cada uno de los resultados de ESAL's obtenidos, por motivo seguridad decidimos seleccionar el SN anteriormente mencionado.

3.11.2 Factor de Equivalencia (ESAL's)

Se obtienen las tablas de la guía AASHTO-93, para ejes sencillos, tandem y tridem respectivamente; (Ver anexo B, Tabla № 12. Tabla № 13. Tabla № 14. De la pág. XXVI a la pág. XXVIII) Conociendo la Serviciabilidad final (**Pt=2**), el número estructural asumido (**SN=3**) y los pesos en el caso de Nicaragua, el MTI ha determinado los límites de cargas por tipo de vehículo pesado. En el anexo B, Tabla 3, pág. № XX, se muestran los pesos permitidos por tipo de eje.

Para efectos de estimaciones de cargas, seguimiento estadístico, control de tráfico y diseño, los vehículos livianos se pueden considerar los pesos por ejes. (Ver Anexo B, Tabla 4, pág. № XX).

Dado que el sitio en estudio es una zona agrícola, es evidente que la utilización de vehículos para las faenas del campo, específicamente tractores agrícolas, sea necesario; sin embargo nos encontramos que en las tablas que el MTI ha designado no se encuentran los pesos por ejes para el vehículo antes mencionado, por lo que consideramos implementar los pesos por ejes del camión C2 que corresponde a un peso mayor de 5 ton.

La clasificación vehicular de acuerdo a sus ejes se detalla en la recopilación de datos. Se obtienen los factores de equivalencia (ESAL's). Si los pesos de los ejes no se encuentran en las tablas se deben de interpolar dichos valores.

3.11.3 Ejes Equivalentes (ESAL's o W18)

Este se obtiene conociendo el tránsito de Diseño (**TD**) y los factores de equivalencia (**ESAL's**). Se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación No.9: ejes equivalentes (ESAL's o W18)

$$\text{ESAL's o W18} = \text{TD} * \text{FESAL}$$

En base a los datos anteriormente definidos y con el apoyo del software Excel se procedió a la determinación de los ejes equivalentes (ESAL's) para cada eje y tipo de vehículo. Tal como se muestra en la siguiente tabla. (Ver tabla № 29).

Tabla No. 29: Calculo de ESAL's de diseño

Tipo de Vehículo	Peso por Eje (Ton. Métricas)	Peso por Eje (Kip)	Tipo de Eje	Factor ESALs	TRÁFICO ACTUAL AÑO 2014	Tránsito proyectado	Tránsito para el carril de diseño	ESALs de Diseño
Autos	1	2.2	SIMPLE	0.00038	2	4	10,322	4
	1	2.2	SIMPLE	0.00038				4
Jeep	1	2.2	SIMPLE	0.00038	4	8	20,644	8
	1	2.2	SIMPLE	0.00038				8
Camionetas pick up	1	2.2	SIMPLE	0.00038	13	26	67,094	25
	2	4.4	SIMPLE	0.0038				255
Bus	5	11	SIMPLE	0.1395	5	10	25,805	3,600
	10	22	SIMPLE	2.35				60,642
C2 Liv	4	8.8	SIMPLE	0.117	5	10	25,805	3,019
	8	17.6	SIMPLE	0.9226				23,808
C2 >5 Ton	5	11	SIMPLE	0.1395	7	14	36,127	5,040
	10	22	SIMPLE	2.35				84,898
C3	5	11	SIMPLE	0.1395	5	10	25,805	3,600
	16.5	36.3	DOBLE	1.4325				36,966
Veh. Agri.	5	11	SIMPLE	0.1395	6	12	30,966	4,320
	10	22	SIMPLE	2.35				72,770
							TOTAL DE ESAL'S	298,966

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de la carretera en estudio se obtuvo un valor total de ESAL's de: **298,966** repeticiones dicho valor que será muy útil para el diseño de estructura de pavimento mediante el método de AASHTO-93.



**IV CAPITULO
DISEÑO DE ESPESORES DE
PAVIMENTO**

4.1 Introducción

El diseño de pavimentos consiste en determinar cada uno de los espesores de las capas que conforman la superficie de rodadura. Este diseño está basado en los estudios de tránsito y las propiedades físicas – mecánicas del suelo así como otras variables que se describen en el siguiente capítulo.

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub-rasante 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. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- ✓ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes de Intemperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la Seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto.
- ✓ Abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ✓ Debe ser económico.

4.2 Clasificación de los pavimentos

4.2.1 Pavimentos flexibles.

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

4.2.2 Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

4.2.3 Pavimento semirrígidos

Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento o similares. Su análisis es complejo debido a la diferencia de rigidez de las capas. Si el espesor no es adecuado en ocasiones reflejan las grietas preexistentes en las losas de concreto. Guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible exceptuando su componente rígido.

4.2.4 Pavimento articulado

Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la sub-rasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la sub-rasante para prevenir su deformación.

4.3 Método para el diseño de pavimento flexible (AASHTO 93)

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

El método requiere información basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

4.4 Variables que se tienen que considerar en este método

1.1.1 Variables en función del tiempo

El período de diseño: es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de Serviciabilidad.

Por otra parte, la vida útil de un pavimento puede extenderse indefinidamente con la colocación de carpetas de refuerzo y otras medidas de rehabilitación, o durar mucho menos que lo estimado en el periodo de diseño, debido a fallas prematuras, o sub-diseños del pavimento.

4.4.1 Variables en función del tránsito

4.4.1.1 Factores Equivalente de Carga (FE_i)

Es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 Kips (80 KN) o ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente ó ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga, calculados en el capítulo III.

4.4.1.2 Peso por ejes.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) hace uso de medidas que regulan la cantidad de carga por ejes, esto debido a la gran cantidad de vehículos pesados.

4.4.1.3 Confiabilidad (R)

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones bajo las situaciones del ambiente y tránsito.

Se promedia el rango de confiabilidad 75 - 99%, que se obtiene de seleccionar el tipo de camino como colectoras y ubicada en zona rural.

Para el diseño se usará una confiabilidad de $R = 85\%$. (Ver Tabla No 30).

Tabla No. 30: Valores para nivel de confianza según la clasificación funcional.

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas Interestatales Y Autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-99
Locales	50-80	50-80

Fuente: Libro para Diseño de pavimentos AASTHO 93

4.4.1.4 Desviación Estándar (So)

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

La AASHTO 93 recomienda para construcciones nuevas de pavimentos una desviación estándar. (Ver Tabla No.31)

Tabla No. 31: Desviación Estándar.

Tipos Pavimentos	Desviación estándar
Para pavimentos Flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.35 - 0.40
En sobre capas	0.5

Fuente: Manual Centroamericano Para El Diseño De Pavimentos. SIECA

Para nuestro estudio tomaremos una desviación estándar de **0.45**

4.4.1.5 Serviciabilidad

Esta variable se calculó en el capítulo III. Obteniendo un valor para la Serviciabilidad inicial de 4.2 y una Serviciabilidad final de 2 y pérdida de Serviciabilidad de 2.2

En la siguiente tabla se puede apreciar los niveles de Serviciabilidad de acuerdo a su clasificación

Tabla No. 32. Clasificación de acuerdo a su Serviciabilidad.

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy Mala

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93.

En otras palabras un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de Serviciabilidad inicial de 5 (perfecto) y un pavimento en franco deterioro o con características de los materiales que conforman el pavimento

4.4.2 Módulo de Resiliencia (MR)

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

El valor del Módulo Resiliente de la sub-rasante se calculó en el capítulo II del presente documento dando un valor de: **9,045 psi**

4.4.3 Número estructural (SN)

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

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación No.10: Numero estructural

$$\mathbf{SN: } a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de capa de carpeta, base y sub-base respectivamente.

D_1, D_2, D_3 : Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

4.4.4 Coeficiente de capa (a_1, a_2, a_3)

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

El método de la AASHTO 93, designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo del tipo de pavimento que se construya. El coeficiente estructural a_1 depende de la característica del material

con el que ella se construya, el coeficiente a_1 para carpeta de rodamiento de adoquín $a_1 = 0.45$ según el Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos. Capítulo 7-pág. 107

4.4.5 Coeficiente de drenaje (m_n)

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

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje. El método deja en libertad al ingeniero de diseño para identificar cual nivel o calidad de drenaje se logra bajo una serie específica de condiciones de drenaje.

Tabla No. 33. Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles.

Calidad de Drenaje	Tiempo requerido para remover el agua libre	Tiempo de exposición de la estructura del Pavimento a los niveles de Humedad próximos a la saturación en % del periodo de diseño			
		<1 %	1 a 5%	5 a 25 %	>25 %
Excelente	< 2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	7 días	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	No drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93.

El valor tomado en este diseño para los coeficientes m_2 y m_3 equivalen a 1.00 una calidad de drenaje buena, con un tiempo de exposición >25% lo que ayuda a la impermeabilización de la estructura de pavimento. Tomando en cuenta que el suelo existente fue estabilizado con cemento para obtener una resistencia permisible.

4.5 DETERMINACION DE COEFICIENTES DE CAPA

4.5.1 Carpeta de rodamiento a_1

Para nuestro estudio proponemos utilizar una carpeta de rodamiento de bloques de adoquín. Según el manual de la SIECA propone un coeficiente estructural de **0.45** para este tipo de material.

4.5.2 Base tratada con cemento a_2

Para la caracterización el material debe cumplir con las especificaciones de la Norma NIC 2000 que exige un CBR mínimo de 80% el cual debe ser analizado en el nomograma de la AASHTO (*Ver Anexo C, Figura No.1 pág. XXIX*) y de esta manera obtener el coeficiente a_2 y módulo Resiliente del material.

Tomando como parámetro de entrada el valor del esfuerzo a la compresión del suelo estabilizado de 312 PSI, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha con el valor de $a_2 = 0.141$ Y un módulo Resiliente de: 24,000 psi

4.5.3 Sub-base a_3

El valor del coeficiente estructural de capa de sub-base granular (a_3) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO (*Ver Anexo C, Figura No. 2 pág. XXX*). Tomando como parámetro de entrada el valor del CBR de la sub-base, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha con el valor de $a_3 = 0.127$ y un módulo Resiliente de 17,500 psi

4.5.4 Drenaje (m)

De acuerdo a lo analizado en la tabla № 34 de coeficientes de drenaje para pavimentos utilizaremos el valor de 1.00 antes mencionado.

4.6 DETERMINACION DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN)

Para la determinación de los números estructurales de cada capa se hizo uso del Ábaco de diseño AASHTO 93 (*Ver Anexo Figura No.3, pág. XXXI*) para pavimentos flexibles obteniendo los siguientes resultados:

$SN_1 \text{ Base} = 1.80$

$SN_2 \text{ Subbase} = 2.1$

$SN_3 \text{ Subrasante} = 2.50$

4.7 CALCULO MANUAL DE ESPESORES

Tabla No. 34: Datos de entrada para cálculo de espesores.

Variables	Datos
ESAL's	298,966
CBR sub-rasante	6.03
CBR sub-base	50.25
CBR base	50.25
Serviciabilidad inicial (P_o)	4.2
Serviciabilidad Final (P_f)	2
ΔPSI	2.2
Confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar (S_o)	0.45
Buen drenaje (m)	1
MR sub-rasante	9,045
MR sub-base	17,500
MR base	57,700
SN2 sub-base	2.1
SN3 sub-rasante	2.50
a1	0.45
a2	0.141
a3	0.127

Fuente: Elaboración Propia

D_1 = Espesor de Adoquin

D_2 = Espesor de base

D_3 = Espesor de subbase

a_1 = Coeficiente estructural de Adoquin

a_2 = Coeficiente estructural de base

a_3 = Coeficiente estructural de subbase

- Espesor de Carpeta de Rodamiento (Adoquín)

$D_1 = 4 \text{ plg}$ $a_1 = 0.45 \text{ plg}$

Se corrige el número estructural de la carpeta de rodamiento debido a la aproximación del espesor.

Ecuación No.11

$$SNC_1 = a_1 * D_1$$

$$SNC_1 = 4 * 0.45$$

$$SNC_1 = 1.80$$

- Calculo de espesor de la base

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SNC_1)}{a_2 * m}$$

$$D_2 = \frac{(2.1 - 1.80)}{0.141 * 1}$$

$$D_2 = 2.13 \approx 6"$$

El espesor de la base calculado por el método AASHTO no cumple con el espesor mínimo permitido, por lo que se incrementa hasta 6 Plg. Ya que es el mínimo requerido para base según el libro de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Se corrige el número estructural:

Ecuación No.12

$$SNC_2 = D_2 * a_2 * m_2$$

$$SNC_2 = 6 * 0.141 * 1$$

$$SNC_2 = 0.85$$

- Espesor de la sub-base

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SNC_1 + SNC_2)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.50 - (1.80 + 0.85)}{0.127 * 1} = -1.18$$

Los criterios de la AASHTO 93, indican que si el resultado del espesor para la sub-base posee un valor negativo, este no necesita de dicha capa.

De lo calculado 6 " es el espesor que requiere la base para resistir 298,966 ejes equivalentes durante el periodo de diseño de la vía que será de 20 años.

4.8 COMPROBACIÓN DE CÁLCULOS CON EL PROGRAMA PAVEMENT ANALYSIS SOFTWARE VERSIÓN 3.3

Tabla No. 35: Datos de entrada para cálculo de espesores.

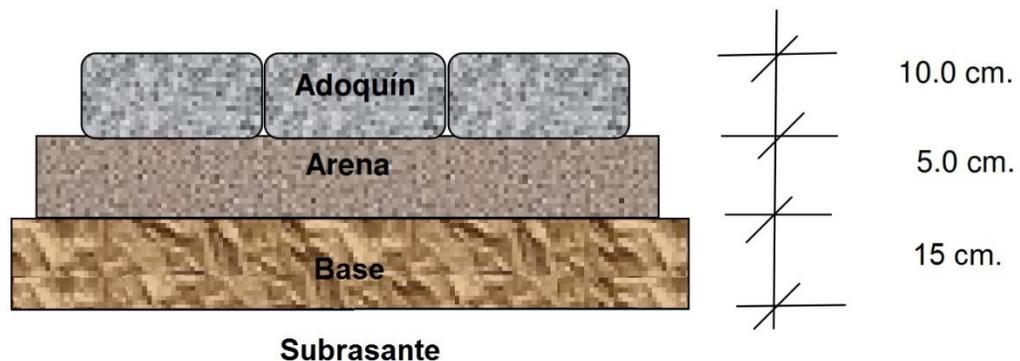
Variables	Valores
ESAL's W18	298,966
Confiabilidad (R)	85%
desviación estándar (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Inicial (Pf)	2
Coefficiente de drenaje (m)	1
a1	0.45
a2	0.152
a3	0.127

Fuente: Elaboración Propia

Mediante el Software de la AASHTO se comprobó que los cálculos son aceptables debido a que el $SN_{Calculado} \geq SN_{Requerido}$. (Ver Anexo C, Figura No.5 Pág. XXXIII)

Después de haber comprobado los cálculos antes mencionados la estructura de pavimento tendrá las siguientes dimensiones:

Figura No 2: Estructura de pavimento Articulado



Fuente: Elaboración Propia



**V CAPITULO
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos inicialmente planteados se ha concluido:

✓ **Estudio de suelo**

1. Del estudio de suelo se concluye que los materiales existente en la línea corresponde a suelos que varía desde A-2-4 hasta a A-7-5, con predominio de los del tipo A-2-4 (0) que son arenas gravosas con calidad de buena a excelente, según AASHTO, con CBR's entre 3.57 y 38.6 %. pero debido a sus altos índices de plasticidad y su bajo CBR de diseño no es apto para emplazar la estructura de pavimento.
2. De los ensayos realizados a los 3 bancos de materiales se concluye que se hará uso del Banco No.1 para su uso en la sub-base y para el caso de la capa base adicionándole cierto porcentaje de cemento para alcanzar las resistencias requeridas para dicha capa.
3. Se realizó un recorrido en la zona y no se encontraron más fuentes de materiales en los próximos 5 Km, aparte de las detalladas en el capítulo II del presente documento.

✓ **Estudio de transito**

1. En relación al segundo objetivo específico el volumen de tránsito promedio diurno semanal del tramo de carretera en estudio es de 60vpd incluyendo las bicicletas y el tráfico promedio diario anual TPDA es de 60 vpd.
2. En relación a las cargas que actuaran en la estructura de pavimento se obtuvo un valor total de ESAL's de: 298,966 repeticiones valor que será muy útil para el diseño de las capas estructurales de pavimento del tramo en mención.

✓ **Diseño de Pavimento Articulado**

1. En el diseño de estructura de pavimento articulado, se utilizó el método de AASHTO-93, obteniendo como resultado una carpeta de rodamiento de adoquín de 4plg de espesor, y una base mejorada de 6plg de espesor. Esto debido a la baja capacidad de carga del material de sub-rasante.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Hacer uso del Banco No.1 ya que cumple con los 3 factores importantes tales como cercanía al sitio de la obra, el volumen de material a ser requerido y las especificaciones técnicas necesarias para su uso en las capas superficiales.
- ✓ Debido a la falta de más fuentes de materiales cercanos al tramo en estudio se recomienda estabilizar este material para base adicionándole un 2% de cemento respecto a su peso, el cual garantiza una resistencia mayor de 21 Kg/cm².
- ✓ Asegurar el cumplimiento de las especificaciones NIC 2000 y especificaciones complementarias abordadas en este documento para la construcción de las capas de la estructura de pavimento que se soliciten.
- ✓ Garantizar la proporción y mezclado adecuado de cemento para obtener las resistencias a la compresión especificadas para la sub-base y la base de acuerdo a la sección 304.02 de las Nic 2000.
- ✓ En relación del segundo objetivo, una vez construida la vía se recomienda que por parte de los dirigentes comunitarios de la población beneficiada, el MTI y la alcaldía municipal realicen constantes medidas de control para la circulación vehicular, con los objetivos de evitar que vehículos no incluidos en el diseño que excedan los límites de carga, transiten y provoquen daño en la vía.
- ✓ Observar la cantidad de vehículos que circulan en la vía y así poder determinar el tipo de mantenimiento que tendrá ésta, ya sea a corto o largo plazo, de forma preventiva o permanente.
- ✓ Retomando los datos calculados se recomiendan los siguientes espesores: carpeta de rodamiento (adoquín)= 4 plg, colchón de arena que servirá a los adoquines no deberá ser menor de 3cm ni mayor de 5cm según las normas de la NIC-2000 y una base mejorada con el 2% de cemento de 6 plg.

BIBLIOGRAFÍA

- Corasco. (2008). *Manual Para la Revisión de Diseño de Pavimentos*. Managua, Nicaragua.
- Cal, R. y. (1994). *Ingeniería de Tránsito*. México.
- Consultores, B. D. (2013). *Manual de Carreteras Suelos, Geología y Pavimento*. Perú.
- Corasco), (. y. (2008). *Manual para la Revisión de Pavimento*. Managua.
- Cordo, I. O. (2006). *Libro de Diseño de Pavimento AASHTO 93*. La paz.
- Escobar, L. M. (2012). *Diseño de Pavimento Flexible Y Rígido*. Armenia.
- Fonseca, A. M. (2001). *Libro de Ingeniería de Pavimentos Para Carreteras*.
- Iturbide, I. J. (2002). *Manual Centro americano para el Diseño de Pavimento*. Guatemala.
- Mendoza, M. D. (Junio 2008). *Tesis Base y subbase*. Colombia.
- MTI. Ministerio de Transporte e Infraestructura (2000). *Especificaciones técnicas para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. Managua.
- MTI. Ministerio de Transporte e Infraestructura (2010). *Anuario de Aforo de Tráfico*. Managua.
- MTI. Ministerio de Transporte e Infraestructura (2012). *Anuario de Aforo de Tránsito*. Managua.
- MTI. Ministerio de Transporte e Infraestructura (2013). *Indicadores Estadísticos de Transporte e Infraestructura*. Managua.
- TYPSA-AZTECO. (2008). *Informe de Diseño Final San Juan de Limay- La Sirena*. León, Nicaragua.



ANEXO A
ESTUDIO DE SUELO

Tabla No.1: Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de sub-rasante.

Nº	Propiedad	Terraplenes	Sub – rasante	Metodología
1	% de malla Nº 200	40 % máx.	30 % máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30 % máx.	AASHTO T-89
3	Límite Plástico	15 % máx.	10 % máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10 % min.	12 % min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-99)	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T-283 (in situ)

Fuente: Especificaciones NIC 2000 sección 203.11 (b).

Tabla No. 2: Especificaciones de materiales para sub-base.

Nº	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite líquido	25 % máx.	AASHTO T-89
2	Índice Plástico	6 % máx.	AASHTO T-90
3	CBR	40 % min.	AASHTO T-193
4	Desgaste de los Angeles	50 % máx.	AASHTO T-96
5	Intemperismo acelerado	12 % máx.	AASHTO T-104
6	Compactación	95% min. Del peso volumétrico seco Max. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-99)	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: Especificaciones NIC 2000 Sección: 1003.09 (a y b) ,1003.23.II (a).

Tabla No. 3: Granulometría sugerida para sub-base.

Tamiz	% que pasa
50 mm (2")	100
37.5 mm (1 1/2")	70 - 100
25 mm (1")	60 - 100
12.5 mm (1/2")	46 - 90
9.5 mm (3/8")	40 - 70
4.78 mm (No. 4)	30 - 60
2.0 mm (No.10)	20 - 45
4.25 um (No.40)	10 - 15
75 um (No.200)	5 - 15

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Carlos Crespo Villalaz 2008.

Tabla No. 4: Especificaciones de materiales para base granular.

Nº	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25 % máx.	AASTHO T-89
2	Índice Plástico	6 máx.	AASTHO T-90
3	CBR	80 % min.	AASTHO T-193
4	Desgaste de Los Angeles	50 % máx.	AASTHO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12 % máx.	AASTHO T-104
6	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado	AASTHO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: Especificaciones NIC 2000 Sección: 1003.09 (a y b) ,1003.23.II (b).

Tabla No. 5: Granulometría sugerida para base.

Tamiz	% que pasa
50 mm (2")	100
37.5 mm (1 1/2")	97 - 100
25 mm (1")	79 - 90
12.5 mm (1/2")	67 - 81
9.5 mm (3/8")	48 - 65
4.78 mm (No. 4)	28 - 47
2.0 mm (No.10)	20 - 34
4.25 um (No.40)	8 - 16
75 um (No.200)	0 - 6

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Carlos Crespo Villalaz 2008.

Tabla No. 6: Especificaciones de materiales para agregados de capas base y sub-base.

Nº	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Desgaste de Los Ángeles	50 % máx.	AASHTO T-96
2	Intemperismo Acelerado	Perdida 12% máx.	AASHTO T-104
3	Índice de Durabilidad (Grueso)	35 % min.	AASHTO T-210
4	Índice de Durabilidad (Fino)	35 % min.	AASHTO T-210
5	Caras Fracturadas FLH	50 % min.	AASHTO T-507

Fuente: Especificaciones NIC 2000 Sección: 1003.09 (a).

Tabla No.7: Clasificación y uso de suelo según el valor de CBR

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre	Sub-rasante	OH,CH,MH,OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL,CL,ML,SC	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM,GC,W,SM	A1-b, A2-5, A3
			SP,GP	A-2-6
> 50	Excelente	Base	GW,GM	A1-a, A-2-4, A3

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Carlos Crespo Villalaz 2008.

Tabla No. 8 CBR de sub-rasante con sus respectivas frecuencias.

Estación	CBR
0+000	32.5
	18.6
0+250	32.5
	3.08
0+500	32.5
0+750	32.5
	4.79
1+000	38.6
1+250	3.75
1+500	4.79
1+750	18.6
2+000	3.57
2+250	4.79
2+500	31.9
2+750	18.6
3+000	4.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla No.9: Ensayes en bancos de préstamo.

INFORME DE PRUEBAS DE SUELO



PROYECTO: Rehabilitación y Mantenimiento Tramo: Hermanos Cruz – El Regadío (3.00 km)

SONDEO: Bancos de materiales

SONDEO Nº	ESTACIÓN	MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD (M)	% QUE PASA POR EL TAMIZ										LL	IP	C.B.R			CLASIFICACIÓN H.R.B
				2 "	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200			%	%	90%	
1	Banco Nº 1. 300 m al norte de la Est.0+000	1	0.00 - 0.80	76	57	46	36	29	24	13	5	2	1	NP	NP	17	50.25	92.3	A-1-a(0)
1		2	0.80 - 2.50	80	58	47	39	28	25	15	7	3	2	NP	NP	15.35	51.85	96.6	A-1-a(0)
1	Banco Nº 2. 800 m al Este de la Est.0+000	1	0.00 - 0.50	97	90	81	71	60	47	32	31	27	18	49	17	32.40	40	49.6	A-2-7(0)
1		2	0.50 - 3.00		100	88	78	71	65	54	50	36	19	27	9	25.20	57.7	75.3	A-2-4(0)
2		1	0.00 - 0.70		100	89	76	70	62	55	49	34	18	26	8	25.80	58.95	77.55	A-2-4(0)
2		2	0.70 - 3.00		100	86	72	57	46	28	18	8	3	27	9	24.40	40.1	99.9	A-2-4(0)
1	Banco Nº 3. 800 m al Sur de la Est. 0+000	1	0.00 - 0.98	72	47	40	37	34	32	24	17	11	8	46	21	2.80	4.24	4.9	A-2-7(0)
1		1	0.98 - 2.00	100	93	87	86	81	77	57	40	25	16	57	21	2.91	3.08	4.34	A-2-7(0)
2		2	0.00 - 0.70								100	80	71	40	42	19	2.42	3.23	3.91

Fuente: ASP, consultores.

Tabla No.10: Recomendaciones de uso bancos Empalme Hermanos Cruz – El Regadío.



Proyecto: Rehabilitación y Mantenimiento Tramo: Hermanos Cruz – El Regadío (3.00 Km)

Sondeo: Bancos de materiales.

Recomendaciones de uso

Banco	Clasificación HRB	IP	CBR 95 %	Resistencia a compresión KG/CM ² (2%)	Resistencia a compresión KG/CM ² (4%)	Recomendación de uso
1	A-1-a (0)	NP	50.25	22	43	sub-base sin cemento y base con cemento
2	A-2-4 (0)	9	35	8	19	sub-base con cemento

Fuente: ASP, Consultores.

Tabla No.11: Clasificación de suelos según AASHTO.

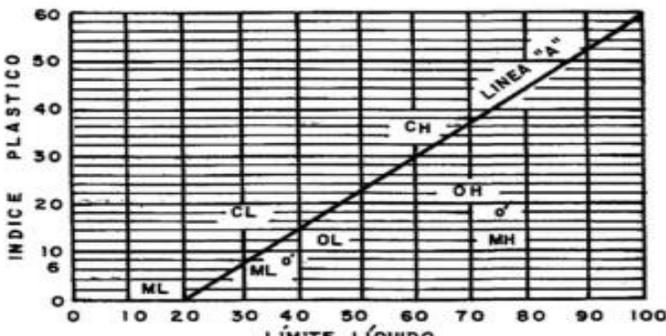
Clasificación General	Materiales Granulares (35 ó menos pasan la malla No. 200)							Materiales Limo-Arcilla (Más del 35% pasan malla No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Análisis de Mallas, (%) que pasan por la:											
No. 10....	50 Máx.		51 Mín.								
No. 40....	30 Máx.	50 Máx.	10 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.
No. 200....	15 Máx.	25 Máx.									
Característica de la fracción que pasan la malla No. 40											
Límite Líquido (%)				40 Máx.	41 Máx.	40 Máx.	41 Mín.	40 Máx.	41 Mín.	40 Máx.	41 Mín.
Índice de Plasticidad (%)	6 Máx.		N.P	10 Máx.	10 Máx.	11 Mín.	11 Mín.	10 Máx.	10 Máx.	11 Mín.	11 Mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 Máx.		8 Máx.	12 Máx.	16 Máx.	20 Máx.
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Grava y Arena Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación General como Subrasante	Excelente a Bueno						Regular a Pobre				
<p>PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridos y disponibles de prueba, procédase de Izquierda a Derecha en la carta y, por proceso de eliminación se encontrará el grupo correcto. El primer grupo de la Izquierda, en el cual coinciden los datos de las pruebas, será la Clasificación correcta.</p> <p>El I.P. del sub-grupo A-7-5 es igual o menor que el LL. menos 30.</p> <p>El I.P. del sub-grupo A-7-6 es mayor que el LL. menos 30.</p>											
$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F - 15) (IP - 10)$											

Fuente: Libro De Diseño De Pavimento, AASHTO 93.

Tabla No.12: Clasificación de suelos según SUCS

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO							
<p>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº200 (φ)</p> <p>(USESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)</p>	<p>ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4</p> <p>(Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)</p>	<p>GRAVAS LIMPIAS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)</p>	<p>GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)</p>	<p>GW</p> <p>GP</p> <p>GM</p> <p>GC</p>	<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRA - NULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC</p>	<p>COEF DE UNIFORMIDAD (C_u) COEF DE CURVATURA (C_c) C_u = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 4 C_c = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, ENTRE 1 y 3</p>	
		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW					
		LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I _p MENOR QUE 6					
		LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I _p MAYOR QUE 6					
		<p>C_u = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 6 C_c = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, ENTRE 1 y 3</p>					
	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW						
	LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I _p MENOR QUE 6						
	LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I _p MAYOR QUE 6						
	<p>SUELOS DE PARTICULAS FINAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA LA MALLA Nº200</p> <p>(USESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)</p>	<p>LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50</p>	ML	CL			<p>EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G. GRAVA M. LIMO O. SUELOS ORGÁNICOS W. BIEN GRADUADOS L. BAJA COMPRESIBILIDAD S. ARENA C. ARCILLA P_t TURBA P. MAL GRADUADA H. ALTA COMPRESIBILIDAD</p>
			<p>LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50</p>	OL			
CH		OH					
P _t							
<p>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</p>							

COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO



Fuente: Libro De Diseño De Pavimento, AASHTO 93.

Tabla No.13: Signos convencionales para perfil de suelos, AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

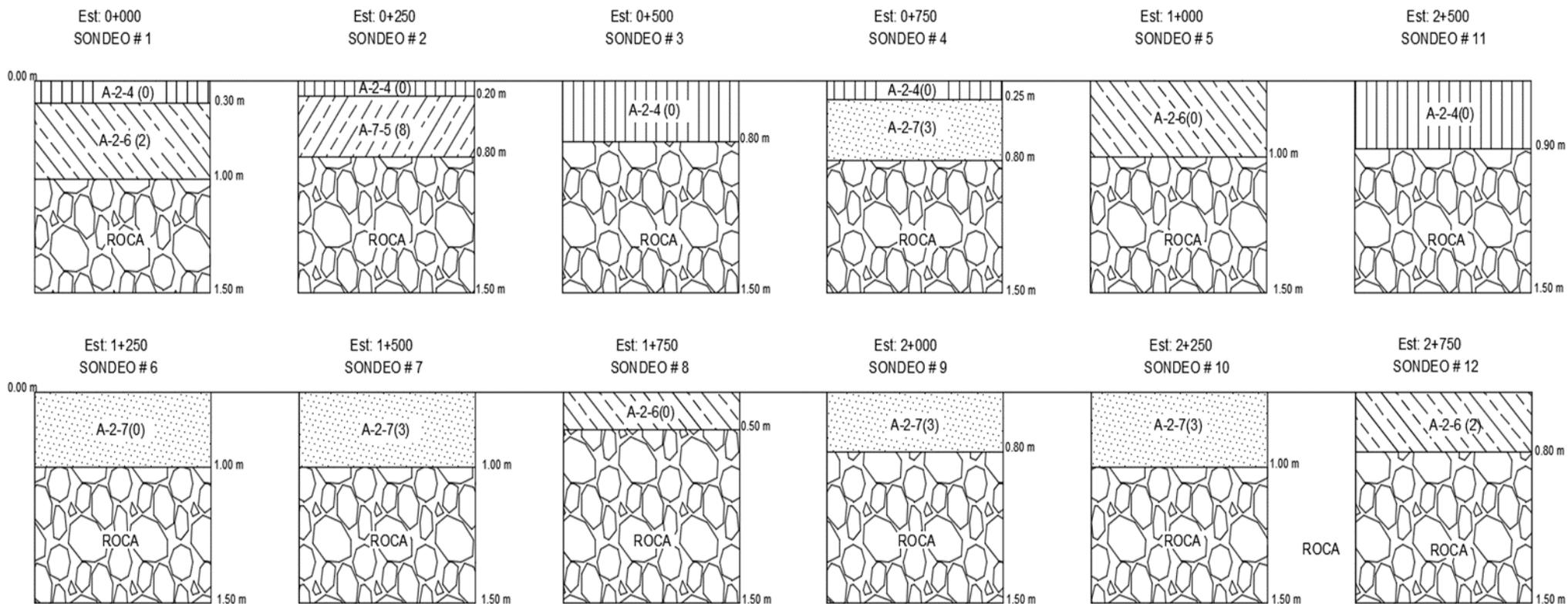
Fuente: Libro De Diseño De Pavimento, AASHTO 93

Tabla No.14: Signos convencionales para perfil de suelos, SUCS

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD

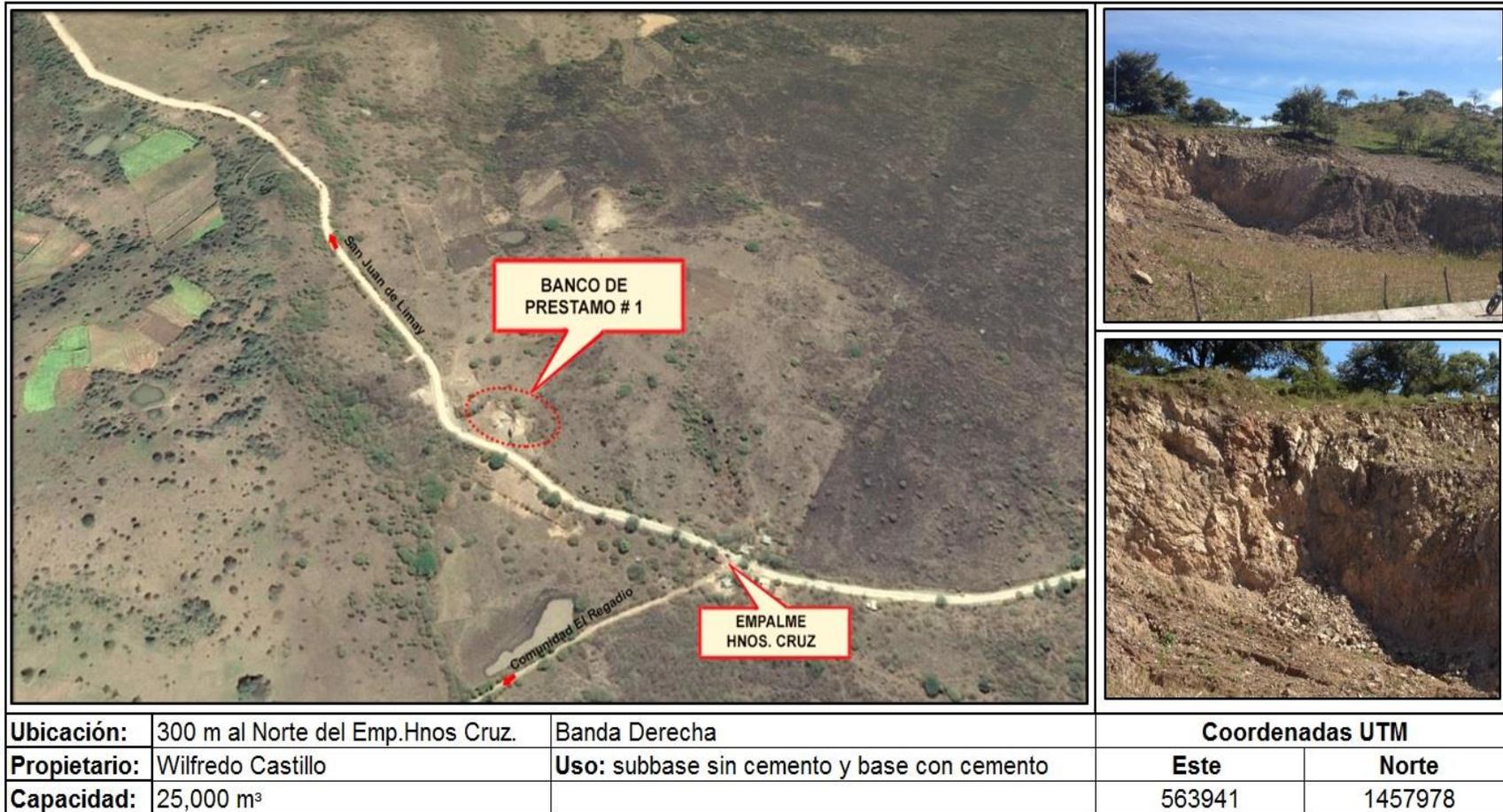
Fuente: Libro de Mecánica de suelos. Carlos Crespo Villalaz 2008.

Figura No.1. Perfil estratigráfico del tramo Hermanos Cruz – El Regadío



Fuente: Elaboración Propia.

Figura No.2: Ubicación y detalles de banco No. 1



Fuente: *Elaboración Propia y Google Earth.*

Figura No.3: Ubicación y detalles de banco No.2



Ubicación:	800 m al Este del Emp. Hnos Cruz	Banda Derecha	Coordenadas UTM	
Propietario:	Wilfredo Castillo	Uso: subbase con cemento	Este	Norte
Capacidad:	10,000 m³		563326	1458584

Fuente: *Elaboración Propia y Google Earth.*

Figura No.4: Ubicación y detalles de banco No.3



Ubicación:	800 m al Sur del Emp. Hnos Cruz camino hacia Esteli	Banda Derecha	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
Propietario:	Elmer Obregon	Uso: Descartado.	563941	1457978
Capacidad:	12,000 m ³			

Fuente: Elaboración Propia y Google Earth.

Figura No.5: Vista satelital de bancos de materiales



Fuente: Elaboración Propia y Google Earth.

Tabla No.15: Resultados de sondeos realizados sobre la línea.

INFORME DE PRUEBAS DE SUELO					
	Elaborado por:	Enriquez O. Pamela	Elaborado el:	19/07/2007	Nombre y Firma de Aprobación: Ing. Mariana Giron
			Fecha Última Versión:	05/11/2013	
PROYECTO : Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carretera Tramo: Empalme Hermanos cruz - el Regadio					
LOCALIZACIÓN:		Laboratorio Estelí	FECHA O PERIODO DE ENTREGA:		15-abril-2013
DATOS GENERALES					
FECHA DE ANALISIS	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	
CODIGO DE SOLICITUD	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-24 (001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-24 (001)	
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	SUB RASANTE	MATERIAL SELECTO	SUB RASANTE	
SONDEO	0+000	0+000	0+250	0+250	
No. DE MUESTRA	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 2, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 2, Calicata 1	
PROFUNDIDAD EN METROS	0.00 a 0.30	0.30 a 1.00	0.00 a 0.20	0.20 a 0.80	
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION					
% QUE PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA			
	2"	T 311-00 (2004), T 11-05	97	82	97
	1 1/2"		87	79	87
	1"		73	75	73
	3/4"		70	71	70
	1/2"		64	67	64
	3/8"		59	65	59
	Nº 4		45	57	45
	Nº 10		28	50	28
	Nº 40		13	41	13
Nº 200	1		33	1	
CLASIFICACIÓN UNIFICADA	D 2487-85 (A)	GP: Grava limosa con arena	CL: Grava y arena arcillosa o limosa	GM: Grava limosa con arena	SM: arena limosa con grava con bloques
CLASIFICACIÓN AASHTO	M 145-91(2004)	A-2-4(0)	A-2-6 (2)	A-2-4(0)	A-7-5(8)
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO, %	T 89-02	36	40	30	73
LÍMITE PLÁSTICO, %	T 90-00 (2004)	27	31	24	39
INDICE DE PLASTICIDAD, %	T 90-00 (2004)	9	9	6	34
OTROS ENSAYOS					
P.U. ESTANDAR COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99-01 (2004)				
P.U. MODIFICADO COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 180-01 (2004)				
DENSIDAD MÁXIMA, kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99 ó T 180	1667.44 [104.10]	1310 [81.78]	1667.44 [104.10]	1310 [81.78]
HUMEDAD ÓPTIMA, (%)	T 265-93 (2004)	19.3	33.7	19.3	33.7
COMPACTACIÓN, (%)	T 191-02 (2006)				
CONTENIDO DE HUMEDAD, (%)	T 265-93 (2004)	9.81	35.1	9.81	35.1
CBR AL 100%	T 193-99 (2003)	12.5	8.1	12.5	2.8
CBR AL 95%		32.5	18.6	32.5	3.08
CBR AL 90%		47.2	27.9	47.2	3.85
NORMA: todas las normas son AASHTO, exepto: (A) ASTM, (B) NLT					
OBSERVACIONES: muestra 1: material selecto obtenido en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor= 0.00 - 0.30mts muestra 2 material selecto obtenida en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor = 0.30 - 1.00mts					
LABORATORISTA:	Roy Bellino		INGENIERO RESPONSABLE:	Ing. David Murillo	
	NOMBRE Y FIRMA			NOMBRE Y FIRMA	

Fuente: ASP, Consultores.

Tabla No.15: Resultados de sondeos realizados sobre la línea.

INFORME DE PRUEBAS DE SUELO						
	Elaborado por:	Pamela	Elaborado el:	Página	Nombre y Firma de Aprobación:	
	Enriquez O.		19/07/2007 Fecha Última Versión 05/11/2013	1 de 1	Ing. Mariana Giron	
PROYECTO : Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carretera Tramo: Empalme Hermanos cruz - el Regadio						
LOCALIZACIÓN: Laboratorio Estelí		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: 15-abril-2013				
DATOS GENERALES						
FECHA DE ANALISIS	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	
CODIGO DE SOLICITUD	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	
SONDEO	0+500	0+750	1+000	1+250		
Nº. DE MUESTRA	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1		Muestra 1, Calicata 1		
PROFUNDIDAD EN METROS	0.00 a 0.80	0.00 a 0.25	0.25a 0.80	0.00 a 1.00		
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO		LADO IZQUIERDO		
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION						
% QUE PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA				
	2"	T 311-00 (2004), T 11-05	97	97	96	97
	1 1/2"		87	87	89	90
	1"		73	73	80	82
	3/4"		70	70	72	78
	1/2"		64	64	70	72
	3/8"		59	59	68	66
	Nº 4		45	45	64	51
	Nº 10		28	28	58	39
	Nº 40		13	13	47	23
Nº 200	1		1	30	13	
CLASIFICACIÓN UNIFICADA	D 2487-85 ^(A)	GM: Grava limosa con arena	GM: Grava limosa con arena	GC: grava arcillosa con arena	GC: grava arcillosa con arena con bloque	
CLASIFICACIÓN AASHTO	M 145-91(2004)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-7 (3)	A-2-6(0)	
LÍMITES DE ATTERBERG						
LÍMITE LÍQUIDO, %	T 89-02	36	36	58	58	
LÍMITE PLÁSTICO, %	T 90-00 (2004)	27	27	27	27	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %	T 90-00 (2004)	9	9	31	31	
OTROS ENSAYOS						
P.U. ESTANDAR COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99-01 (2004)					
P.U. MODIFICADO COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 180-01 (2004)					
DENSIDAD MÁXIMA, kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99 ó T 180					
HUMEDAD ÓPTIMA, (%)	T 265-93 (2004)	19.3	19.3			
COMPACTACIÓN, (%)	T 191-02 (2006)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, (%)	T 265-93 (2004)	9.81	9.81			
CBR AL 100%	T 193-99 (2003)	12.5	12.5	3.08	3.08	
CBR AL 95%		32.5	32.5	4.79	4.79	
CBR AL 90%		47.2	47.2	6.76	6.76	
NORMA: todas las normas son AASHTO, excepto: ^(A) ASTM, ^(B) NLT						
OBSERVACIONES: muestra 1: material selecto obtenido en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor= 0.00 - 0.30mts muestra 2 material selecto obtenida en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor = 0.30 - 1.00mts						
LABORATORISTA:	Roy Bellino			INGENIERO RESPONSABLE: Ing. David Murillo		
	NOMBRE Y FIRMA			NOMBRE Y FIRMA		

Fuente: ASP, Consultores.

Tabla No.16: Resultados de sondeos realizados sobre la línea.

INFORME DE PRUEBAS DE SUELO						
	Elaborado por:	Enriquez O.	Pamela	Elaborado el: 19/07/2007 Fecha Última Versión 05/11/2013	Página 1 de 1	Nombre y Firma de Aprobación: Mariana Giron Ing.
	PROYECTO : Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carretera Tramo: Empalme Hermanos cruz - el Regadio					
LOCALIZACIÓN: Laboratorio Estelí		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: 15-abril-2013				
DATOS GENERALES						
FECHA DE ANALISIS	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	
CODIGO DE SOLICITUD	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	
SONDEO	1+250	1+500	1+750	1+1000	2+000	
No. DE MUESTRA	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	
PROFUNDIDAD EN METROS	0.00 a 1.00	0.00 a 1.00	0.00 a 0.50	0.00 a 0.80	0.00 a 0.80	
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION						
% QUE PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA				
	2"	T 311-00 (2004), T 11-05	86	98	98	
	1 1/2"		71	88	88	
	1"		64	80	79	
	3/4"		60	72	71	
	1/2"		56	70	62	
	3/8"		53	68	57	
	Nº 4		45	64	44	
	Nº 10		40	58	35	
	Nº 40		31	47	23	
	Nº 200		19	30	13	
CLASIFICACIÓN UNIFICADA	D 2487-85 ^(A)		GM:grava y arena arcillosa o limosa	GC:grava arcillosa con arena	GC:grava arcillosa con arena con bloque	GC:grava arcillosa con arena
CLASIFICACIÓN AASHTO	M 145-91(2004)	A-2-7(0)	A-2-7(3)	A-2-6(0)	A-2-7(3)	
LÍMITES DE ATTERBERG						
LÍMITE LÍQUIDO, %	T 89-02	45	45	25	60	
LÍMITE PLÁSTICO, %	T 90-00 (2004)	27	27	10	34	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %	T 90-00 (2004)	18	18	15	26	
OTROS ENSAYOS						
P.U. ESTANDAR COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99-01 (2004)					
P.U. MODIFICADO COMP., kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 180-01 (2004)					
DENSIDAD MÁXIMA, kg/m ³ [lbs/pie ³]	T 99 ó T 180					
HUMEDAD ÓPTIMA, (%)	T 265-93 (2004)					
COMPACTACIÓN, (%)	T 191-02 (2006)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, (%)	T 265-93 (2004)					
CBR AL 100%	T 193-99 (2003)	5.4	6.76	27.9	5.01	
CBR AL 95%		3.75	4.79	18.6	3.57	
CBR AL 90%		2.8	3.08	8.1	2.8	
NORMA: todas las normas son AASHTO, excepto: ^(A) ASTM, ^(B) NLT						
OBSERVACIONES: muestra 1: material selecto obtenido en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor= 0.00 - 0.30mts muestra 2 material selecto obtenida en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor = 0.30 - 1.00mts						
LABORATORISTA:	Roy Bellino			INGENIERO RESPONSABLE: Ing. David Murillo		
	NOMBRE Y FIRMA			NOMBRE Y FIRMA		

Fuente: ASP, Consultores.

Tabla No.17: Resultados de sondeos realizados sobre la línea.

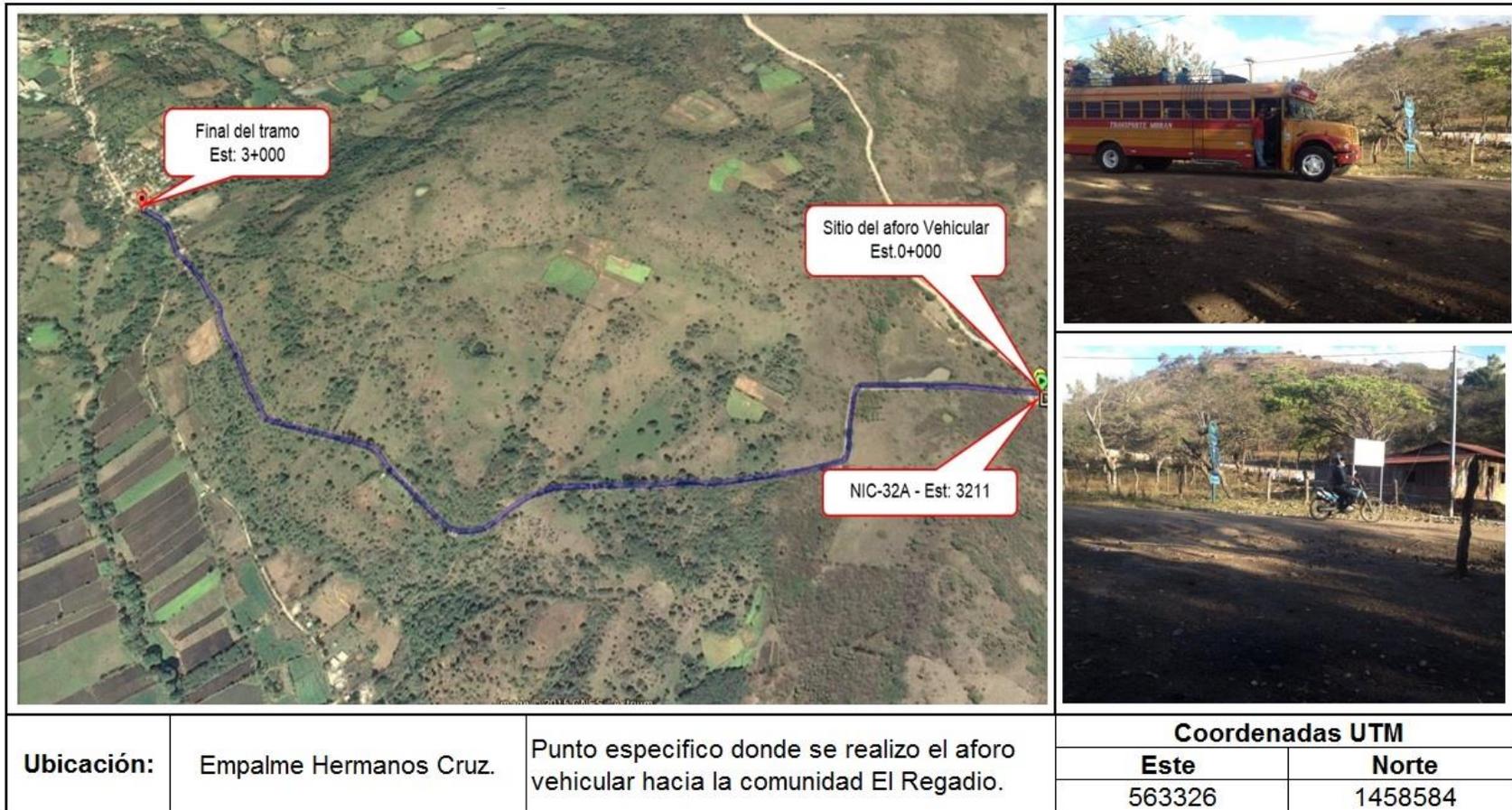
INFORME DE PRUEBAS DE SUELO						
	Elaborado por:	Pamela	Elaborado el:	Página	Nombre y Firma de Aprobación:	
	Enriquez O.		19/07/2007	1 de 1	Ing. Mariana Giron	
Fecha Última Versión: 05/11/2013						
PROYECTO : Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carretera Tramo: Empalme Hermanos cruz - el Regadio						
LOCALIZACIÓN: Laboratorio Esteli		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: 15-abril-2013				
DATOS GENERALES						
FECHA DE ANALISIS	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	12/04/2013	
CODIGO DE SOLICITUD	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	LSL-008	
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	SO-MTI-2012-53(001)	
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	
SONDEO	2+250	2+500	2+700	3+000		
No. DE MUESTRA	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	Muestra 1, Calicata 1	
PROFUNDIDAD EN METROS	0.00 a 1.00	0.00 a 0.90	0.00 a 0.80	0.00 a 1.00		
UBICACION DEL MUESTREO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	LADO IZQUIERDO	
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION						
% QUE PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA				
	2"	T 311-00 (2004), T 11-05	96		82	74
	1 1/2"		89		79	60
	1"		80		75	54
	3/4"		72	100	71	53
	1/2"		70	95	67	47
	3/8"		68	89	65	45
	Nº 4		64	78	57	33
	Nº 10		58	65	50	29
	Nº 40		47	40	41	24
	Nº 200		30	24	33	20
CLASIFICACIÓN UNIFICADA	D 2487-85 ^(A)		GC:grava arcillosa con arena	GM:grava limosa con arena	GC:grava y arena arcillosa o limosa	GC:grava y arena arcillosa o limosa
CLASIFICACIÓN AASHTO	M 145-91(2004)	A-2-7(3)	A-2-4(0)	A-2-6(2)	A-2-7(1)	
LÍMITES DE ATTERBERG						
LÍMITE LÍQUIDO, %	T 89-02	58	33	40	58	
LÍMITE PLÁSTICO, %	T 90-00 (2004)	27	23	17	26	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %	T 90-00 (2004)	31	10	23	32	
OTROS ENSAYOS						
P.U. ESTANDAR COMP., kg/m ³ [lbs/pté ³]	T 99-01 (2004)					
P.U. MODIFICADO COMP., kg/m ³ [lbs/pté ³]	T 180-01 (2004)					
DENSIDAD MÁXIMA, kg/m ³ [lbs/pté ³]	T 99 ó T 180					
HUMEDAD ÓPTIMA, (%)	T 265-93 (2004)					
COMPACTACIÓN, (%)	T 191-02 (2006)					
CONTENIDO DE HUMEDAD, (%)	T 265-93 (2004)					
CBR AL 100%		6.76	35.6	27.9	5.27	
CBR AL 95%	T 193-99 (2003)	4.79	31.9	18.6	4.7	
CBR AL 90%		3.98	18.4	8.1	3.18	
NORMA: todas las normas son AASHTO, excepto: ^(A) ASTM, ^(B) NLT						
OBSERVACIONES: muestra 1: material selecto obtenido en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor= 0.00 - 0.30mts muestra 2 material selecto obtenida en calicata 1, muestra 1, lado izquierdo, espesor = 0.30 - 1.00mts						
LABORATORISTA:	Roy Bellino			INGENIERO RESPONSABLE:	Ing. David Murillo	
	NOMBRE Y FIRMA				NOMBRE Y FIRMA	

Fuente: ASP, Consultores.



ANEXO B
ESTUDIO DE TRÁNSITO

Figura No.1: Vista satelital de estación de aforo vehicular.



Fuente: Elaboración Propia y Google Earth.

Tabla No. 1: Resumen de conteo de tráfico Emp. Hermanos Cruz-El Regadío

TRAMO CARRETERO: Emp. Hermanos Cruz - El Regadío.		DURACIÓN: 12 hrs		FECHA DE CONTEO: 28/07/2014 - 03/08/2014								
ESTACIÓN: ECS 3211 Nic 32A		SENTIDO: Ambos sentidos		AFORADOR: Jonathan Antonio Benavides Parrales. José Javier Tercero Fuentes.								
Dia	Bicicleta	Vehículos Livianos				Pesados de Carga					Veh. Trac. Animal	TOTAL (vpd)
		Motos	Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Bus	C2 Liv	C2 >5 ton	C3	Veh. Agríc		
Lunes	22	11	2	4	11	4	6	1	4	1	9	75
Martes	20	7	2	2	8	4	3	5	5	2	2	60
Miercoles	9	3	1	3	6	4	4	1	3	2	5	41
Jueves	20	6	0	3	11	4	0	5	3	2	2	56
Viernes	15	6	1	5	15	4	4	8	2	2	4	66
Sábado	12	19	2	4	17	4	8	6	6	2	1	81
Domingo	7	6	0	2	7	2	3	7	2	0	3	39
TOTAL	105	58	8	23	75	26	28	33	25	11	26	418

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 2: Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico y evaluación de pavimentos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con ltnas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasejeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T1-S1<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T1-S1<=4.
	T1-S1<=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C1-R1<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C1-R1<=4
	C1-R1<=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semoventes).

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Revista de Anuario de Tráfico 2012.

Tabla No. 3: Diagrama de carga permisible de vehículos pesados.

**DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES APLICADOS EN LOS PUNTOS DE CONTROL
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS**

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

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla No. 4: Diagrama de cargas permisibles de vehículos livianos.

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: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Departamento de Peso y Dimensiones

Tabla No.5: Estación de conteo sumaria La Sirena-Emp. El Regadío



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

DEPENDENCIA DE ESTACIONES

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
300 Sébaco - Quebrada Honda	NIC-26	2601	ECD	116.2	Emp.Telica - Ent.Malpaisillo
	NIC-26	2603	ECD	126.3	Malpaisillo - Los Zarzales
	NIC-31	3103	ECS	-	El Portón - Emp. La Corona
	NIC-32A	3211	ECS	160.0	La Sirena - Emp. El Regadio
	NIC-32A	3205	ECS	169.5	Emp. El Regadio - Emp. La Fraternidad
	NIC-32A	3212	ECS	186.0	Emp. La Fraternidad - La Ceibita
	NIC-33	3301	ECS	195.0	San Ramón - Empalme El Jobo
	NIC-33	3302	ECS	225.0	Emp. El Jobo - Emp. El Bonete
	NIC-35C	2605	ECS	166.0	El Jicaral - Santa Rosa del Peñón
	NIC-38	3806	ECS	235.1	San Juan de Limay - Paso Hondo

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Revista de Anuario de Trafico 2010.

Tabla No. 6: Factores de ajuste de la estación de conteo sumaria 3211. La Sirena-Empalme El Regadío

Camino: NIC-32A		Estación: 3211		Tramo: La Sirena - Emp. El Regadío.				Periodo	L	Dias:	3	Horas:	12	Mes/Año	agosto	2010	Km:	160.000
Grupos	Motos	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos de Carga						Equipo Pesado			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.		Otros
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<4 e.	>=5 e.	<4 e.	>=5 e.				
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TP(D)	36	1	9	53			15	8	10	4		2						137
Factor Dia	1.21	1.42	1.30	1.27	1.38	1.14	1.16	1.24	1.25	1.15	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	
Factor Semana	0.94	1.03	1.05	1.01	0.92	0.94	0.95	0.90	0.88	0.86	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	
Factor Expansión	0.98	1.04	0.95	0.97	0.95	1.25	1.08	0.99	1.16	1.24	1.00	0.85	1.00	1.00	4.00	1.00	0.82	
TPDA May-Ago	41	1	11	66			18	9	12	5		2						165
% TPDA	24.85	0.61	6.67	40.00			10.91	5.45	7.27	3.03		1.21						100.00
% Vehiculos Livianos	72.12%						% Vehiculos Pesados						27.88%				100.00%	

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Revista de Anuario de Trafico 2010.

Tabla No. 7: TPDA estación de conteo sumaria 3211, La Sirena-Empalme El Regadío

AÑO	TPDA EST. La Sirena - El Regadío	TC
2002-2003	125	
2003-2004	127	1.60%
2004-2005	128	0.79%
2005-2006	140	9.38%
2006-2007	152	8.57%
2007-2008	164	7.89%
2008-2009	164	0.00%
2009-2010	165	0.61%
2010-2011	165	0.00%
promedio		3.60%

Fuente: Anuarios estadísticos 2012, Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI.

Tabla No. 8: TPDA estación de corta duración 111, Condega-Shell Palacagüina

AÑO	TPDA EST. Condega - Shell Palacaguina	TC
2001-2002	1544	
2002-2003	1615	4.60%
2003-2004	2005	24.15%
2004-2005	1979	-1.30%
2005-2006	2110	6.62%
2006-2007	2521	19.48%
2007-2008	2508	-0.52%
2008-2009	2955	17.82%
2009-2010	2880	-2.54%
2010-2011	2810	-2.43%
2011-2012	2740	-2.49%
2012-2013	2622	-4.31%
promedio		5.37%

Fuente: Anuarios estadísticos 2012, Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI.

Tabla No. 9: Estimación del Producto Interno Bruto

AÑO	PIB (M - C\$)	PIB (TC) %
2001	27,877.00	3.0%
2002	28,087.00	0.8%
2003	28,795.00	2.5%
2004	30,325.00	5.3%
2005	31,623.00	4.3%
2006	119,235.20	4.2%
2007	125,540.08	5.3%
2008	129,120.12	2.9%
2009	125,557.42	-2.8%
2010	129,703.82	3.3%
2011	137,085.77	5.7%
2012	143,876.29	5.0%
promedio		3.3%

Fuente: Estadísticas Microeconómicas, Banco Central de Nicaragua (BCN).

Tabla No. 10: Índice de Precio al Consumidor

AÑO	IPC \$	TCP
2001	792.9	
2002	767.6	-3.19%
2003	772.0	0.57%
2004	829.8	7.49%
2005	893.9	7.72%
2006	1203.7	34.66%
2007	1306.6	8.55%
2008	1469.4	12.46%
2009	1432.5	-2.51%
2010	1509.0	5.34%
2011	1650.7	9.39%
2012	1753.5	6.23%
promedio		7.88%

Fuente: Estadísticas Microeconómicas, Banco Central de Nicaragua (BCN).

Tabla No. 11: Cálculo de Crecimiento Poblacional

AÑO	POBLACION EN MILES	TCP
2001	5173.93	
2002	5244.69	1.37%
2003	5312.75	1.30%
2004	5380.51	1.28%
2005	5450.39	1.30%
2006	5637.97	3.44%
2007	5707.94	1.24%
2008	5778.78	1.24%
2009	5850.50	1.24%
2010	5923.11	1.24%
2011	5996.62	1.24%
2012	6071.05	1.24%
promedio		1.47%

Fuente: Estimaciones y proyecciones de población, Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE).

Tabla No. 12: Factores equivalentes de carga simple

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$

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

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Tabla No. 13: Factores equivalentes de carga tándem

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2,0

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

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.

Tabla No. 14: Factores equivalentes de carga tridem

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt = 2,0

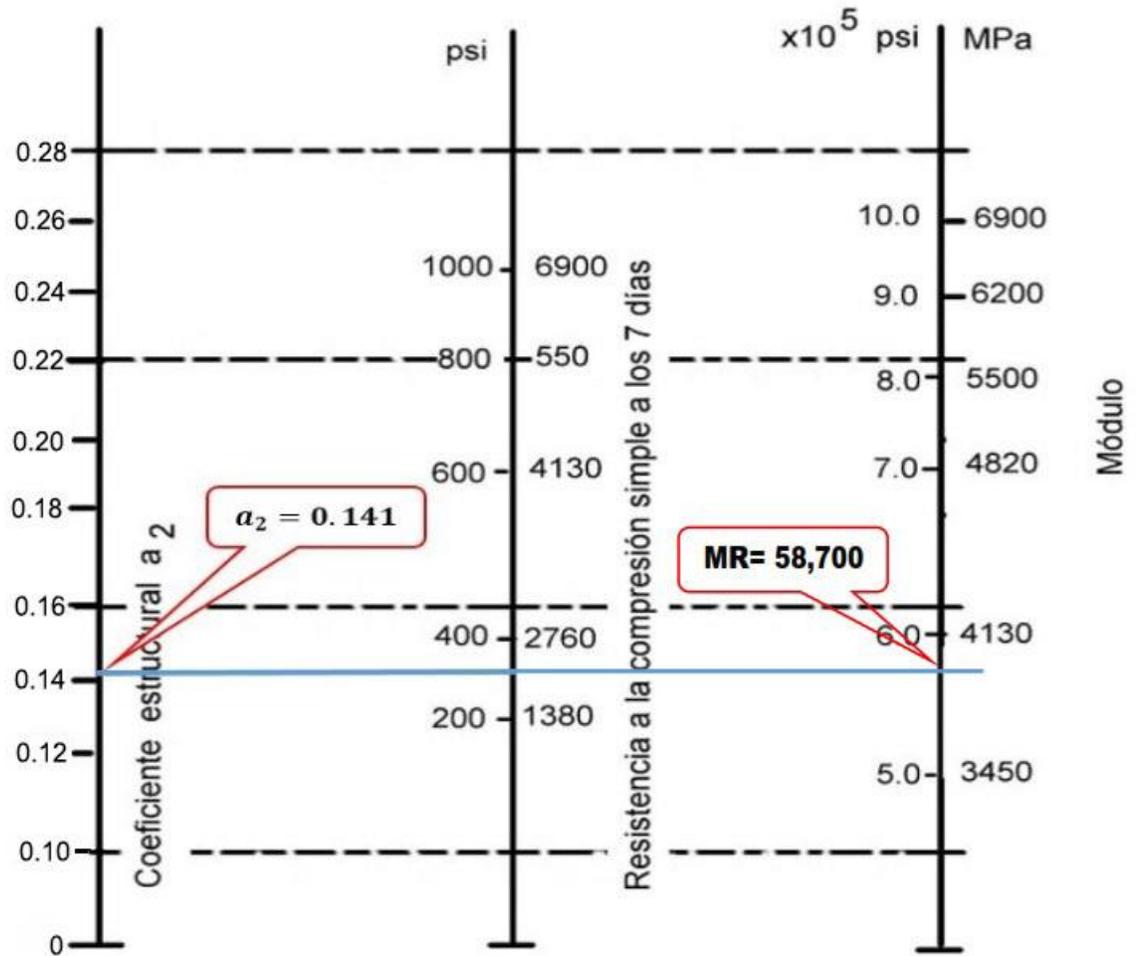
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA, 2001.



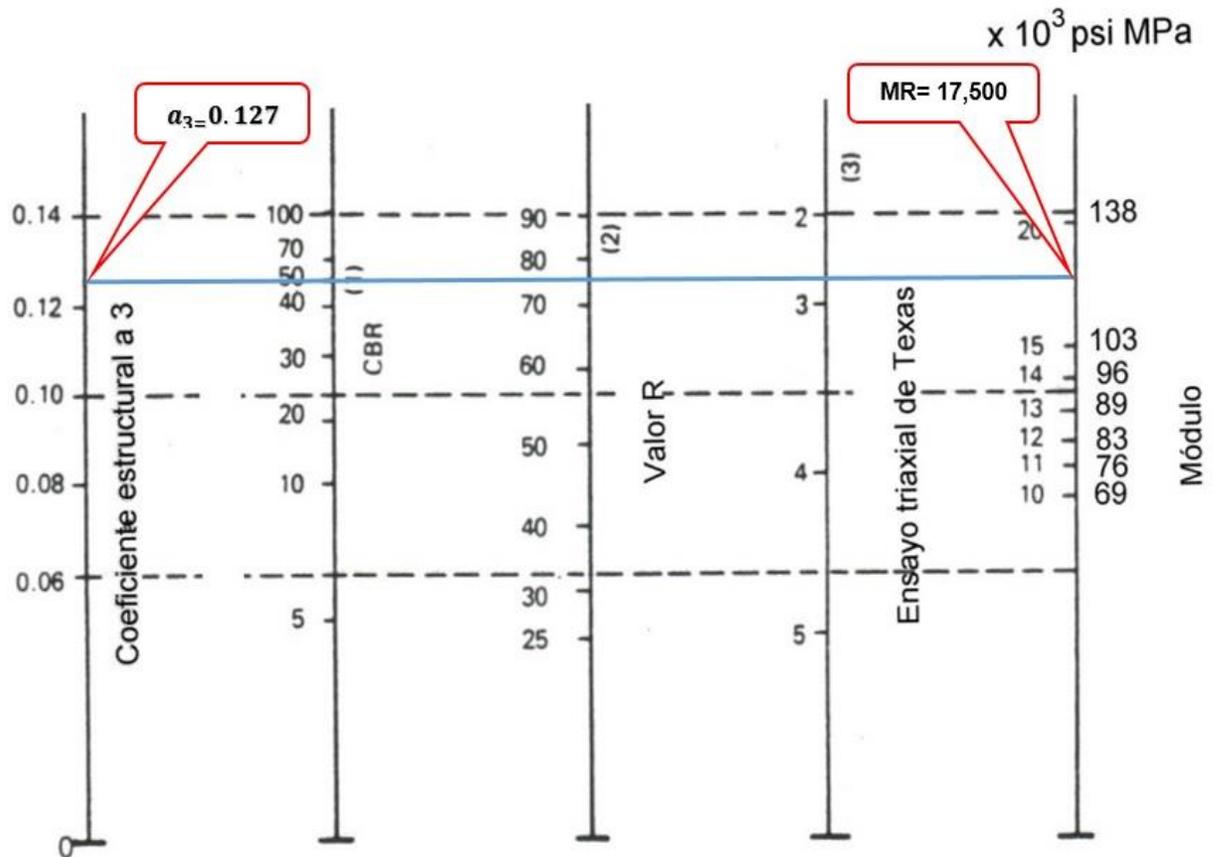
ANEXO C
DISEÑO DE ESPESORES

Figura No. 1: Nomograma para calcular coeficiente estructural de base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes.



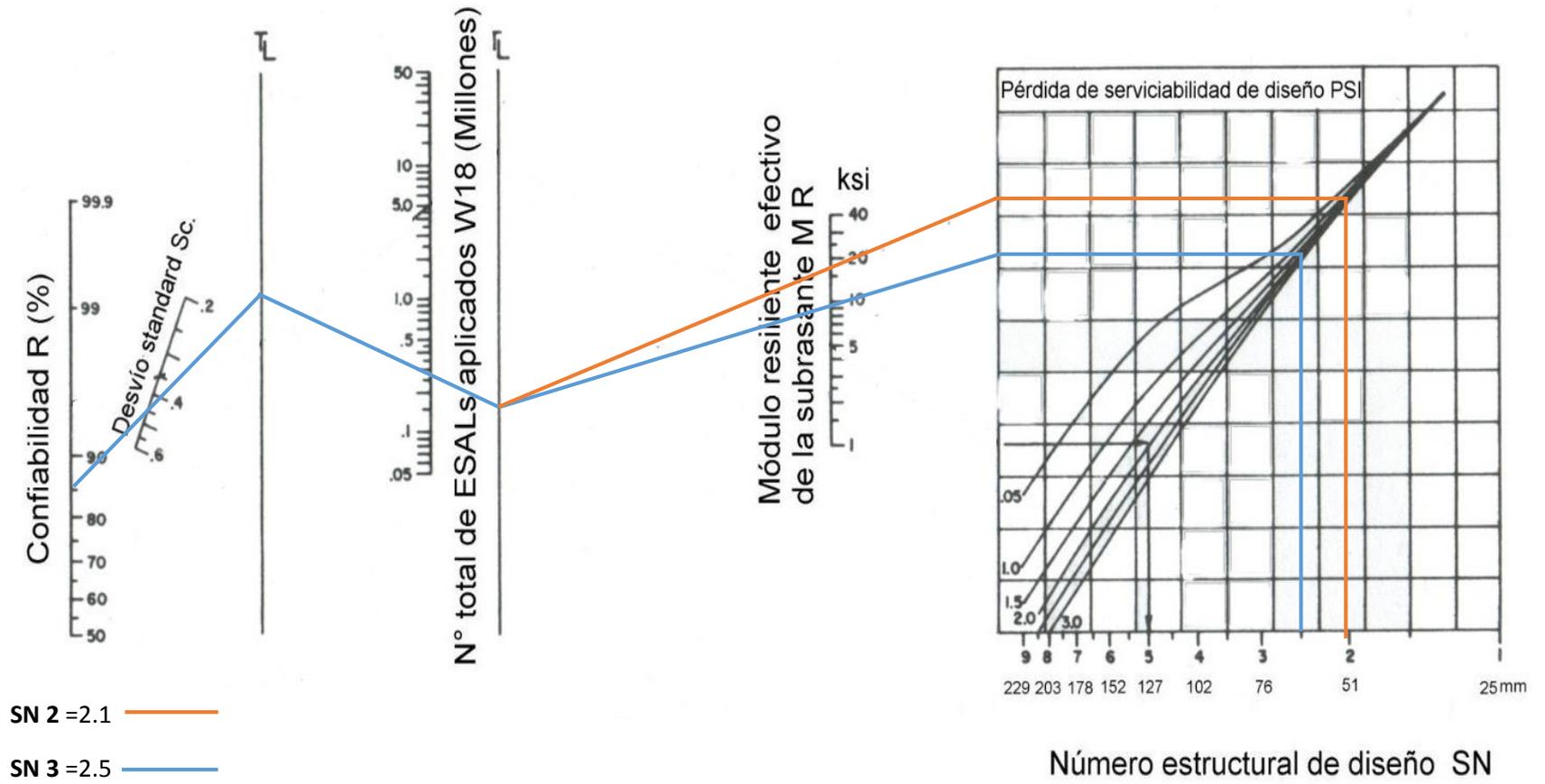
Fuente: Libro de Diseño de pavimentos AASHTO 93

Figura No. 2: Nomograma para calcular coeficiente estructural de sub-base granular para distintos parámetros resistentes



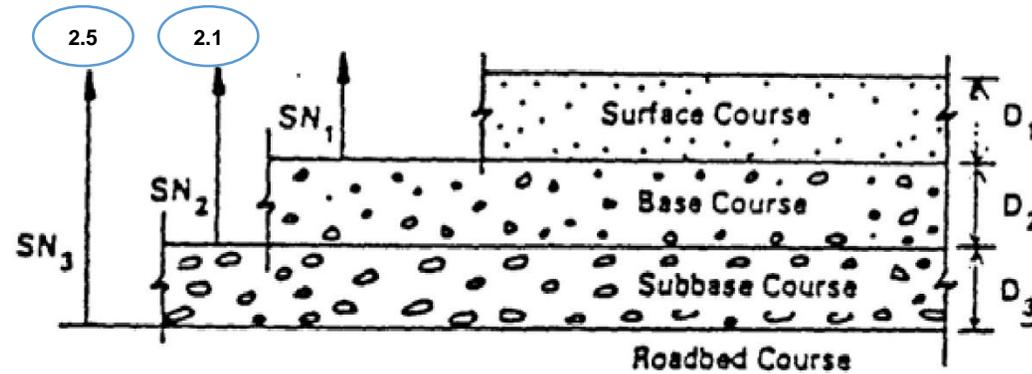
Fuente: Libro de Diseño de pavimentos AASHTO 93

Figura No. 3: Abaco de diseño AASHTO para pavimentos Flexibles



Fuente: Libro de Diseño de Pavimentos AASHTO 93

Figura No.4: Resumen de SN determinados



Fuente: Libro de Diseño de Pavimentos AASHTO 93

Tabla No. 1: Espesores mínimos, en pulgadas en función de Ejes Equivalentes

Tránsito (ESAL'S) en ejes equivalentes	Carpetas de Concreto Asfáltico	Bases Granulares
Menos de 50,000	1,0 o T.S	4,0
50,001 - 150,000	2,0	4,0
150,001 - 500,000	2,5	4,0
500,001 - 2,000,000	3,0	6,0
2,000,001 - 7,000,000	3,5	6,0
mayor de 7,000,000	4,0	6,0

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93

Figura No.5: Comprobación de cálculo con programa Pavement Analysis software

```

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

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's          298,966  =>  W 18 FSAI 's
[2] Reliability            85.00   =>  Confiabilidad
[3] Overall Deviation      0.45   =>  Desviación
                                   Estándar

[4] Soil Resilient Mod.    9,045.0 =>  Mr Sub-rasante

[5] Initial Serviceability 4.20   =>  Serv. Inicial
[6] Terminal Serviceability 2.00   =>  Serv. Final

Flexible Structural Number 2.49   =>  SN 3

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

```

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

Layer Number  Layer Coefficient  Drainage Coefficient  Layer Thickness  a(i)*Cd*t  Thickness Needed
=====
Upper        0.45              1.00                 4.00             1.80
2            0.14              1.00                 6.00             0.85
3            0.13
4
5
6

a1. a2.a3    Drenaje        Espesor

SN Calculado >
SN Requerido

SN Required = 2.65
              2.49  <Ok>

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración No 2. Emp. Hermanos Cruz - El Regadío. (Izq. hacia el Regadío)



Ilustración 1. Inicio del Tramo en estudio y final del adoquinado.



Ilustración No 3. Inicio del tramo hacia El Regadío.



Ilustración No 4. Situación actual de la vía.



Ilustración No. 5. Formación de cárcavas sobre la vía.



Ilustración No 6. Erosión del material de la vía debido a las lluvias y tránsito.

