



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Tesina**

**“Diseño de 10 km de Estructura de Pavimento Articulado (adoquín) del Tramo de Carretera Cárdenas – Colón, departamento de Rivas, por el Método AASHTO 93”.**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por:**

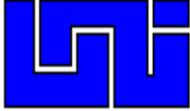
**Br. Nelson Kiawas Calderón Sotelo**

**Br. Eglis Xavier Peralta Sánchez**

**Tutor:**

**Ing. Aldo Zamora Lacayo**

**Managua Octubre 2016**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE

Managua 27 de Septiembre de 2016.

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba  
Decano FTC  
Su Despacho

Estimado Decano:

Por medio de la presente me dirijo a usted para comunicarle que en calidad de tutor de los bachilleres, **Nelson Kiawas Calderón Sotelo y Eglis Xavier Peralta Sánchez** para la elaboración del trabajo de Tesina titulado “**DISEÑO DE 10 Km DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUÍN) DEL TRAMO DE CARRETERA CÁRDENAS – COLÓN, DEPARTAMENTO DE RIVAS, POR EL MÉTODO AASHTO 93**”, como requisito para optar al título de Ingeniero Civil, he cumplido con el cometido que me asignó esta decanatura.

Habiendo revisado cuidadosamente el documento final considero que el trabajo cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados y reúne los méritos necesarios para su presentación y defensa, de conformidad con el Reglamento del Régimen Académico Vigente.

Esperando haber cumplido satisfactoriamente con la misión encomendada, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.

---

Ing. Aldo José Zamora Lacayo.  
Catedrático Tutor

Cc: Archivo



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

---

# HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) NELSON KIAWAS CALDERON SOTELO 2) EGLIS XAVIER PERALTA SANCHEZ 3)
NOMBRE DEL CURSO: CURSO DE OBRAS VIALES
NOMBRE DE LA TESINA: <b>Diseño de 10 km de Estructura de Pavimento Articulado (adoquín) del Tramo de Carretera Cárdenas – Colón, departamento de Rivas, por el Método AASHTO 93.</b>
ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA: 1) ESTUDIOS DE SUELOS 2) ESTUDIOS DE TRANSITO 3) DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO
FECHA DE DEFENSA:
VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA: EL TRABAJO ENTREGADO CUMPLE SATISFACTORIAMENTE CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS Y REUNE LOS MERITOS PARA SU PRESENTACION Y DEFENSA.
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR -----

CC: Archivo

## **DEDICATORIA**

Esta Tesina la dedicamos a nuestra familia por su apoyo, confianza y amor, gracias por ayudarnos a cumplir este objetivo como personas y estudiantes; por facilitarnos los recursos necesarios y hacer de nosotros mejores personas, a través de sus consejos enseñanza y amor.

A cada profesor, compañero de clases y dirigente estudiantil que nos brindaron sus orientaciones, enseñanzas, experiencias y lecciones que nos condujeron por el buen camino hasta poder culminar con nuestros estudios profesionales.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, que guió nuestro camino para concretizar este sueño de ser Ingeniero.

A nuestros padres, por su confianza y su apoyo en estos años de estudios, y a nuestros queridos hermanos por su apoyo y estímulo.

A nuestro tutor Ing. Aldo Zamora, por su orientación para el desarrollo de la presente.

Finalmente, a todas aquellas personas, colegas y amigos que nos brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de nuestros objetivos.

## INDICE

<b>Capítulo 1: Generalidades</b>	<b>Página</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Ubicación y localización .....	2
1.2.1 Macro localización.....	2
1.2.2 Micro localización .....	3
1.3 Antecedentes .....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	6
<b>Capítulo 2: Estudios de Suelo</b>	
2.1 Estudios de suelo.....	7
2.2 Sondeos de línea y ensayos DCP. ....	8
2.3 Ensayos de suelos realizados .....	10
2.4 Análisis de los resultados de los sondeos Lineales.....	11
2.6 Resultados DCP.....	12
2.7 Ensayo CBR. ....	13
2.8 Análisis de resultados laboratorio Bancos de Materiales .....	14
<b>Capítulo 3: Estudios de Tránsito</b>	
3.1 Estudios de transito.....	17
3.2 Recopilación de datos .....	17
3.3. Procesamiento de la Información .....	18
3.4 Análisis de la Información.....	21
3.5 Calculo del tránsito promedio diario anual.....	22
3.6 Clasificación de la Vía .....	25
3.7 Tránsito de diseño .....	26
3.8 Análisis de cargas y ejes equivalentes.....	28

## Capítulo 4: Diseño de la Estructura de Pavimento Articulado

4.1 Diseño de estructura de pavimento articulado.....	31
4.2 Variables necesarias para realizar el diseño .....	31
4.2.1 Periodo de Diseño.....	31
4.2.2 Ejes Equivalentes ESAL.....	32
4.2.3 Confiabilidad (R).....	33
4.2.4 <b>Serviciabilidad</b> .....	34
4.2.5 Desviación Estándar (S0).....	34
4.2.6 Selección y determinación del CBR de diseño.....	35
4.2.7 Módulo Resiliente .....	37
4.2.8 Coeficiente de drenaje .....	38
4.3 Coeficientes estructurales o de capas.....	39
4.4 Cálculo Manual de Espesores.....	40

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	44
Bibliografía.....	46

## Anexos

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente documento contiene el Diseño de 10 km de Estructura de Pavimento Articulado (adoquín) que es la primera etapa del Proyecto de Carretera entre el poblado de Cárdenas hacia el poblado de Colón, municipio de Cárdenas, Departamento de Rivas, el cual tiene una longitud Total del 38.4 km, esta primera etapa de 10 km. inician en el poblado del Municipio de Cárdenas y finalizan en el poblado El Triunfo, del mismo municipio, se utilizó la metodología propuesta por la Asociación Americana de Departamentos Estatales de Transporte y Carreteras (AASHTO) en su Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento de 1993, la que está de acuerdo a lo especificado en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos hecho por SIECA.

### **Capítulo I: Generalidades**

Introduce al lector a conocer la situación actual generada en la zona de influencia del camino, los objetivos propuestos que se desean alcanzar así como los posibles beneficios que se lograrán post ejecución del proyecto.

### **Capítulo II: Estudio de Suelos**

Este capítulo comprende la realización de exploraciones, muestreos y ensayos de laboratorio de muestras a lo largo de la línea central del camino a través de sondeos manuales, así también la identificación de bancos de préstamos con el fin de determinar las características y propiedades geotécnicas de los materiales insitu que serán utilizados en la conformación de la estructura de pavimento.

También se realizaron estudios de estabilización con suelo cemento ya que los bancos de materiales por sí solos no cumplían con las especificaciones técnicas del método AASHTO 1993 para ser utilizados como base, estos estudios se realizaron hasta que la combinación de ambos materiales cumpliera con los valores que superen el mínimo establecido de Resistencia a la Compresión de 21Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Capítulo III: Estudio de Tránsito**

Abarca los conceptos de tráfico, composición, Volúmenes, tasa de crecimiento vehicular, sus proyecciones del tránsito promedio diario anual y la Clasificación funcional del tramo en estudio según plan regulador del MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura).

### **Capítulo IV: Diseño de Estructura de Pavimento Articulado**

Se presenta la metodología empleada por la AASHTO-93, así como también el uso del software AASHTO 86 Pavement Design el cual requirió una serie de parámetros de diseño basados en los estudios de suelo y tránsito respectivamente.

La estructura de pavimento estará conformada por una capa base estabilizada con cemento de 7 pulgadas, una carpeta de adoquines de 4 pulgadas de espesor y una cama de arena de espesor de 2 pulgadas, estructuralmente no fue necesario el uso de capa sub-base.

### **Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones**

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios descritos anteriormente, se verificó el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, de manera que estos garantizaran la correcta ejecución de la obra y el cumplimiento de las Normas de construcción; además se presentan algunas recomendaciones posibles para llevar un control y seguimiento de la obra una vez que la carretera entre en operación.

## Capítulo I: Generalidades

### **1.1 Introducción**

Un pavimento, es la estructura integral de capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas sub-rasante, sub-base, base y carpeta de rodamiento o adoquín (pavimento articulado), colocadas hasta coronar la rasante y destinada a permitir el tránsito vehicular, que se construyen sobre terreno natural aumentando la capacidad de soporte, transitabilidad, seguridad y comodidad de la vía.

El tramo en estudio se ubica en el departamento de Rivas, municipio de Cárdenas, el cual colinda al Norte: con el Lago Cocibolca, al Sur: con Costa Rica, al Este: con el Municipio de San Carlos, al Oeste: con Rivas y San Juan del Sur, está a una distancia de 162 km. de Managua, con una densidad poblacional de 30 ha/km<sup>2</sup>, la población es de 6,990 hab. (Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE) - 2005), su altura sobre el nivel medio del mar es de 42 metros, y las precipitaciones anuales oscilan entre 1600 y 2000 mm, su economía principal es la agricultura, pesca y ganadería.

Este tramo en estudio es parte del camino Cárdenas-Río Mena-Colón, el cual tiene una longitud total de 38.4 km., en este proyecto se pretende diseñar un tramo de 10 km. que finalizan en el poblado El Triunfo, con pavimento articulado (adoquín) por el método AASHTO 1993, que soporte el paso de camiones doble eje que sirven para el traslado de ganado y productos agrícolas que se movilizan por la zona, con la finalidad de mejorar el transporte de mercancías y pasajeros ya que actualmente solo existe un bus de transporte que realiza un viaje una vez al día.

## 1.2 Ubicación y Localización

La vía en estudio es la primera etapa del Proyecto de Carretera adoquinada que se ejecuta en el municipio de Cárdenas, Departamento de Rivas, el cual tendrá una longitud Total del 38.4 km en su totalidad hasta el poblado de Colón, esta primera etapa de 10 km. inicia en el poblado del Municipio de Cárdenas y finaliza en el poblado El Triunfo, del mismo municipio.

### 1.2.1 Macro localización.

**Figura N° 1: Mapa de División Política-Nicaragua, Municipio de Cárdenas, departamento de Rivas.**



Fuente: Consejo Supremo Electoral, Mapa división Política

## 1.2.2 Micro Localización

Figura N°2 Tramo en Estudio 10 km. I etapa, Empalme Cárdenas hasta poblado el Triunfo.



Fuente: Elaboración Propia

### **1.3 Antecedentes**

El sistema de pavimento articulado (adoquín) tuvo su mayor auge en el periodo post terremoto ya que fue una alternativa rápida a la serie de problemas que se presentaron en ese momento contribuyendo así a la generación de empleos ya que este tipo de construcciones no necesita mucha mano de obra especializada.

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

Actualmente existe un camino de todo tiempo (macadam) las condiciones del mismo son desfavorables debido a las constantes lluvias, un deficiente drenaje, falta de señalización vial, así como el incremento de la cantidad de vehículos en la vía que van deteriorando la superficie de rodamiento es por ello que se hace indispensable la construcción de una carpeta de rodamiento, que soporte las cargas que transitan por la vía, que une a 8 comarcas entre las cuales se destacan: Tirurí, Los Ángeles, Zapotillo, Cañita, Mena, Colón, Orosí, Los Tablones.

Este camino está construido en gran parte en terrenos bajos por ello es trazado en varios puntos por ríos con gran caudal que van a desembocar al lago Cocibolca o de Nicaragua. El camino presenta también una topografía irregular, con una gran densidad de estructuras de drenaje menor.

## 1.4 Justificación

Debido a los factores antes expuestos y el mal estado del camino en estudio, se necesita una estructura de pavimento que cumpla con las expectativas de los pobladores y dinamice la economía local del municipio de Cárdenas

Tomando en cuenta el potencial económico del área de influencia del proyecto, se obtendrán beneficios considerables en los sectores agrícolas, ganaderos, pesqueros y turísticos. Se reducirán los costos de mantenimiento del transporte y el tiempo de traslado de los productos hacia los centros de comercialización.

Al considerar todos los elementos técnicos se certifica que el proyecto al ser ejecutado, tenga una mayor vida útil y buena planificación que garantiza el mantenimiento continuo y periódico de la vía.

La ejecución de este proyecto es de fundamental importancia porque en el sector que está ubicado, beneficiará el incremento económico de la zona, desarrollará el atractivo turístico local e internacional para visitar el lado sur del Lago Cocibolca o lago de Nicaragua.

Con respecto a la tasa de escolaridad se calcula un incremento en el sector educativo ya que se pueden presentar posibilidades con el proyecto como:

- ✚ Disminución en los tiempos de viajes.
- ✚ Mayor número de alumnos que viajen a centros educativos generando un aumento de cantidad de alumnos que viajan por el menor costo de los pasajes, más y mejor servicio público.

Con la ejecución del proyecto, es posible que se produzcan mejoras en los servicios de agua, desagüe, electricidad y teléfonos inducidos por el proyecto.

## 1.5 OBJETIVOS

### Objetivo General:

- ✚ Diseñar 10 km de Estructura de Pavimento Articulado (adoquín) del Tramo de Carretera Cárdenas – Colón, departamento de Rivas, por el Método AASHTO 93.

### Objetivos específicos:

- ✚ Analizar los estudios de suelos realizados a lo largo de la vía y de los bancos de materiales con el fin de obtener las propiedades físico-mecánicas de la subrasante y de los materiales que se utilizarán en la estructura de pavimento articulado.
- ✚ Determinar el volumen de tránsito que circula por la vía así como el número de repeticiones esperadas de ejes equivalentes (ESAL's), durante el periodo de diseño.
- ✚ Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado (adoquín) que soportará las cargas de diseño por el método AASHTO 93 y comprobar el resultado utilizando el software Pavement Design AASHTO 86.

## Capítulo II: Estudios de Suelos

### **2.1 Estudio de Suelo**

Dentro de las consideraciones indispensables que se deben tomar en cuenta para el diseño de pavimentos se encuentra el analizar las características físico-mecánicas del suelo donde será construida la estructura de pavimento.

Los estudios de suelos in situ desarrollan tres grandes actividades:

- Sondeos de línea.
- Localización de bancos de préstamos.
- Ensayos de DCP (Dynamic Cone Penetration) (Cono de Penetración Dinámica)

En la actividad de sondeos, se muestrea el sub suelo en donde descansará la estructura de pavimento; estas muestras se empaacan y se trasladan al laboratorio para ser examinadas y determinar qué tipo de material es el que se encuentra en ese lugar.

La actividad de sondeo es un método de exploración del sub-suelo para conocer el tipo de material que tiene la capa de sub-rasante y rodamiento en ese sitio.

La actividad de localización de bancos de préstamos es la de ubicar fuentes de materiales para usarse en la estructura de pavimento, como capa de base o sub base; la realiza un técnico especialista con gran experiencia en el estudio de suelos. En su ejecución el técnico lo primero que hace es localizar de manera visual una posible fuente de materiales, la selección de esta fuente tiene que cumplir empíricamente con una clasificación del suelo en relación al tamaño de las partículas que lo forman, dureza, y en segundo lugar con un índice de plasticidad. Para tener una idea de la plasticidad de un material, lo que hace es humedecerlo y de manera táctil determinar su cohesión(Es la atracción entre partículas de la misma naturaleza). De acuerdo a estos parámetros determinados empíricamente, se toma la decisión de muestrearlo y empacarlo para trasladarlo al laboratorio en donde se le realizarán los ensayos necesarios para determinar de manera definitiva sus características.

La actividad de los ensayos de DCP, este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del Penetrometro dinámico de cono (DCP) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio).

## **2.2 Los Sondeos de Líneas y Ensayos DCP**

### **2.2.1 Sondeos de Línea**

En este estudio se realizaron un total de cuarenta y un (41) sondeos manuales, en donde en cada uno de ellos se tomaron las muestras de los estratos existentes, y la obtención de setenta y cinco (75) muestras representativas de los diferentes estratos de materiales encontrados. La ubicación de estos sondeos en la plataforma del camino o carretera, se hizo de forma alterna al centro, a la derecha e izquierda de la línea central, de esta vía terrestre. El espaciamiento entre sondeos fue de 250.0 m y la profundidad máxima de exploración fue de 1.20 metros.

### **2.2.2 Descripción de la Realización de Sondeos Manuales.**

Los sondeos manuales o pozos a cielo abierto son ejecutados normalmente con barra, pala y palín, ya que son excavaciones de profundidad relativamente pequeña. La sección mínima depende de la profundidad que se ha planificado efectuar en el sondeo, sin embargo, con el objetivo de permitir una adecuada inspección de las paredes sus dimensiones fueron de 0.50 m por 0.50m.

El material excavado se deposita en la superficie en forma ordenada, separado de acuerdo al estrato de suelo encontrado y a la profundidad correspondiente.

En cada sondeo se realiza una descripción visual o registro de estratigrafía encontrada. Se registra la ubicación y profundidad de cada sondeo, los que son numerados según la ubicación.

Estos sondeos permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.

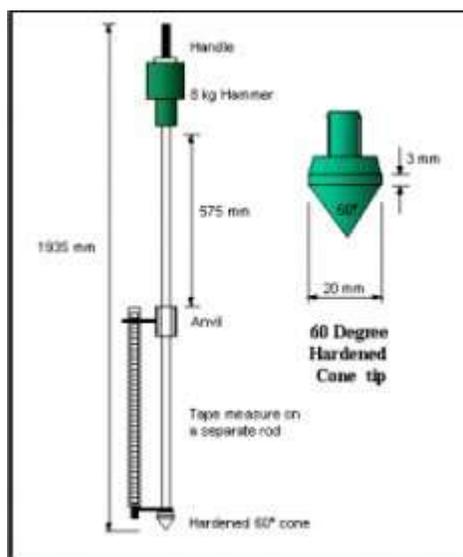
La toma u obtención de muestras es el procedimiento que consiste en reunir porciones representativas de un terreno, introduciéndolas en bolsas (las obtenidas de acuerdo al estrato de suelo encontrado) para trasladarlas al laboratorio y realizarle los ensayos necesarios.

Todas las muestras obtenidas de estos sondeos, fueron identificadas de forma preliminar en el campo por medio de procedimientos rutinarios de vista y tacto principalmente. Luego de estos resultados preliminares obtenidos, se empacaron las muestras en bolsas impermeables y se trasladaron al laboratorio de materiales para realizarles los ensayos definitivos correspondientes.

### 2.2.3 Ensayo de Cono de Penetración Dinámica DCP

Se realizaron ensayos de campo mediante el cono de penetración dinámica DCP para obtener la correlación del valor de CBR de los suelos que conforman la estructura existente, se ubicaron de forma alterna a la derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma del camino o carretera. El espaciamiento entre DCP fue de 500.0 metros y la profundidad máxima de exploración fue de 1.00 metro, habiéndose realizado un total de veinte y un (21) ensayos de DCP.

### 2.2.4 Descripción de la Realización de DCP



**Fig. N°3 Cono de Penetración Dinámica (Penetrometro)**

La realización del ensayo se ejecuta en varios pasos, el primero de ellos es la verificación del estado físico del equipo, por ello antes de comenzar un ensayo el dispositivo DCP debe ser inspeccionado en las partes que pueden sufrir daños por fatiga, en particular en el ensamble y en la manija, y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable. Todas las juntas deben ser ajustadas con seguridad incluyendo el yunque de ensamble y el cono reutilizable (o el adaptador del cono desechable) a la varilla de ensayo.

Antes de iniciar la operación del ensayo se toma una lectura inicial, para esto el DCP es sostenido verticalmente y la punta es asentada de tal manera que la parte más ancha del cono se encuentre a nivel con la superficie del material a ser ensayado. En ese instante, se toma una lectura inicial de la varilla graduada o de la regla separada para la medición. La distancia se mide con aproximación a 1 mm (0.04"). Algunos accesorios deslizantes de referencia permiten a escala o a la varilla ser marcados con un "0" cuando el cono está en el punto cero.

Realizada la labor de constatar el buen estado del equipo y realizada la lectura inicial se procede a realizar la operación básica la cual se ejecuta de la siguiente forma: el operador sostiene el dispositivo a través de la manija en una posición vertical o a plomo y levanta y libera el martillo de manera que caiga a la altura especificada. El encargado de registrar la información, mide y registra la penetración de al menos una pulgada para un determinado número de golpes.

Si el cono no penetra 25 mm después de 10 golpes con un martillo de 17.6 lb, la prueba debe detenerse, esto se debe a que en el sitio de la prueba se presentan agregados de gran tamaño o estratos de roca lo que pudiese ocasionar el daño al equipo de trabajo o alterar la prueba, por lo que se recomienda desplazarla a un punto cercano, y empezar de nuevo.

### 2.3 Ensayos de suelos realizados

Una vez recolectadas y agrupadas las muestras, se aplicaron los ensayos de laboratorios para determinar las características físico mecánicas de los suelos, su clasificación y estratigrafía (**ver anexos, Tablas N°28, 29 y 30, páginas i, ii y iii-vi/figura N°4, página vii-ix**), aplicándose las normas ASTM y A.A.S.H.T.O. presentados a continuación:

**Tabla N°1: Ensayos de laboratorios**

ENSAYO	AASHTO	MAT. DE SONDEO DE LINEA	MAT. DE BANCO DE PRESTAMO
<b>Granulometría</b>	T 27 – 88	SI	SI
<b>Humedad natural</b>	ASTM D 2216	SI	SI
<b>Límite líquido</b>	T 89 – 90	SI	SI
<b>Límite Plástico e Índice de plasticidad</b>	T 90 – 97	SI	SI
<b>Clasificación de suelos</b>	ASTM D 3282	SI	SI
<b>C.B.R.</b>	T 193 – 81	SI	SI
<b>Próctor estándar</b>	T 180 – 90	SI	NO
<b>Próctor modificado</b>	ASTM D 1557	NO	SI
<b>Peso volumétrico seco</b>	T 19 - 88	NO	SI
<b>Peso volumétrico seco compacto</b>	<b>T 19 - 88</b>	<b>NO</b>	SI

Fuente: Libro de diseño de pavimento AASHTO 93, pág.: I-16, I-17.6

## **2.4 Análisis de los resultados de los sondeos Lineales**

### **2.4.1 Suelos que conforman el tramo vial**

La estratigrafía del sub-suelo que se encontró en el tramo determinó que en el camino, en los primeros 1.20 metros de profundidad, existen dos capas de suelos diferentes, la primera que está formada por suelos alterados provenientes de fuentes de materiales de préstamo, denominados como suelos de la capa superior o rodamiento, y la capa subyacente a ésta, formada por suelos que provienen de la estratigrafía del suelo existente en el sitio, denominados como suelos de la capa inferior.

#### **2.4.1.1 Suelos de la capa superior**

En la capa superior los suelos existentes en lo general tienen baja plasticidad y un espesor promedio de 0.30 metros. Los suelos que se encuentran en esa capa son de clasificación A-2-4(0)-Grava limo arenosa (GM), A-1-a (0)-Grava Limosa con arena (GW-GM), y A-1-b (0)-Grava Limosa con arena (GM), los cuales están distribuidos de manera intercalada entre las estaciones 0+000 y la estación 10+000.

En esta capa se encuentran tres puntos en donde afloran materiales finos los cuales tienen la siguiente clasificación: CH (arcillas de alta compresibilidad) y ML (Limos de baja compresibilidad) los cuales presentan índice plástico medios, estos puntos son los siguientes:

El primer punto está en la estación 1+500(CH), considerándose la longitud de influencia entre las estaciones 1+300 a la estación 1+700.

El segundo punto en donde afloraron materiales de mediana plasticidad fue puntualmente en las estaciones 5+750(SM) y 6+000(SM), considerándose la longitud de influencia entre las estaciones 5+600 y la estación 6+200.

El tercer punto en donde afloraron materiales de mediana plasticidad fue puntualmente en las estaciones 8+500(ML) y 8+750(ML), considerándose la longitud de influencia entre las estaciones 8+300 y la estación 8+900.

#### **2.4.1.2 Suelos de la capa inferior**

En esta capa se observa que estos suelos presentan a manera general la clasificación A-7-6 Grava arcillosa con arena (GC), A-7-5 Arcilla con Grava de alta compresibilidad (CH), con excepción en algunos puntos en donde encontramos suelos de clasificación A-2-4 Grava limo arenosa (GM) y A-1-a Grava Limosa con arena (GW-GM).

Se puede observar que el límite líquido que presentan la mayoría de estos suelos son elevados de igual forma el porcentaje de fino es bastante elevado, lo que indica que estos materiales son suelos fino de alta compresibilidad por lo que resultan de menor calidad estructural que los encontrados en la capa superficial. En esta capa inferior se encuentran estratos de suelos que tienen un índice plástico medio y alto, con valores de hasta 55%, y un promedio de 25%. Por las características que tienen, se trata de suelos inestables.

## 2.5 Resultados de DCP

El resultado obtenido de los ensayos DCP nos vienen a corroborar los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras de suelo, así tenemos que los ensayos de la primera capa presentan en general valores mayores que los que se muestran en la capa subyacente, ya que penetran en la capa superior un material de mejor calidad por tanto su capacidad portante es mayor (**Ver Anexo, Tabla N°35, pág. xiv-xxxi**).

La capacidad portante calculada en los DCP se muestra en el cuadro siguiente:

**Tabla N°2 Valores Promedio Capacidad portante de las capas del suelo en estudio**

ESTACION	CAPACIDAD PORTANTE CAPA SUPERIOR (%CBR-insitu)	CAPACIDAD PORTANTE CAPA INFERIOR (%CBR-insitu)
0+000	50	100
0+500	26	26
1+000	72	16
1+500	40	
2+000	35	
2+500	48	
3+000	64	57
3+500	49	-
4+000	33	
4+500	52	
5+000	55	-
5+500	100	100
6+000	64	72
6+500	89	21
7+000	50	9
7+500	40	14
8+000	61	34
8+500	45	
9+000	44	9
9+500	52	43
10+000	64	14

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos Geonic.

En la realización de este ensayo se encontró que en las estaciones 1+500 y 8+500 en los primeros veinte centímetros de profundidad hay avance vertical de una pulgada con un promedio de tres o cuatro golpes lo que indica que en ese sitio la capa de ese suelo alterado presenta una relativa baja densidad (grado de compacidad o compactación de un suelo).

El material encontrado en esos sitios son suelos finos: un CH en la estación 1+500 y un ML en la 8+500, teniendo en ambos casos un límite líquido alto, lo que nos indica que son suelos de mediana a alta compresibilidad (propiedad que tienen los materiales que sufren disminución de volumen cuando se aplica sobre ellos fuerzas externas).

En las estaciones 2+000, 3+500, 4+000, 4+500 y 5+000 en los primeros centímetros de profundidad (entre 14cm y 18cm) se obtuvo un avance de una pulgada con un promedio de tres (3) golpes lo que indica que en ese sitio, el suelo que conforma la capa de rodamiento presenta una relativa baja densidad; el material encontrado clasifica en H.R.B. como un A-1-a (0), con un porcentaje de grava del 66%.

## 2.6 Ensayo de CBR

Una de las variables que tienen gran importancia para poder cuantificar los espesores de pavimento es el ensayo de CBR por ello lo primero que se hizo fue agrupar los materiales similares en grupos de clasificación y realizarles el ensayo correspondiente de CBR.

**Tabla N°3 Valores de CBR para Muestras Agrupadas según Clasificación HRB**

Clasificación	N° de Muestras unidas	Ensayos CBR realizados	Resultados de CBR			PVS máx. kg/m <sup>3</sup>	Humedad Optima %
			90%	95%	100%		
A-1-a(0), A-1-b(0)	31	1	20	40	30	1382	33.6
A-2-4(0)	10	1		30		1675	20.8
A-2-5(0), A-2-6(0), A-2-7(1)	4	1		23		1291	33.4
A-5(5), A-4(0)	4	1		10		1562	25.4
A-7-5, A-7-6 de diversos IG	26	1	1	3	2	1567	15.4

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos Geonic.

## 2.7 Análisis granulométrico de Bancos de Materiales.

Tabla N° 4 Resumen de Resultados de las Muestras de los Bancos de Préstamo

BANCOS DE PRESTAMOS																										
Banco	Muestra N°	% que pasa por el tamiz											Grava	Arena	Fino	Límite liquid %	Índice plástico%	PVSS	PVSC	PVSM	HUMEDAD OPTIMA %	CBR			CLASIFICACION HRB	CLASIFICACION SUCS
		2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200										90%	95%	100%		
		Erick Meza	1	100	100	87	66	53	43	37	28	25										21	14	72		
Alf. Solórzano	1	100	100	97	89	83	78	73	56	50	38	19	44	36	21	44	6	1450	1507	1650	28.5	65	75	85	A-1-b(0)	GM
Río Tirurí	1	100	82	70	53	48	42	39	34	30	11	5	66	29	5	NP	NP	1821	1971	2066	9.7	37	42	47	A-1-a(0)	GM
El Triunfo	1	100	100	100	100	93	82	75	57	47	34	20	43	37	20	55	5	1150	1227	1426	34	29	51	74	A-1-a(0)	GM

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos Geonic.

### BANCO DE MATERIALES ERICK MEZA:

El Banco de Erick Meza se localiza de la estación 10+000 en sentido Cárdenas-Colón, 30.0 metros hacia la derecha, con las coordenadas siguientes 677993E -1235421N (UTM GWS84). Tiene un volumen aproximado de 30,000 m<sup>3</sup>. El material de este Banco corresponde a una grava limosa con arena color gris claro con clasificación AASHTO A-1-a (0), y clasificación SUCS de GM.

### BANCO DE MATERIALES ALFONSO SOLORZANO:

El Banco de Alfonso Solórzano se localiza de la estación 6+500 en sentido Cárdenas-Colón, 500.00 metros hacia la derecha, con las coordenadas siguientes 677922 E, 1234907 N (UTM GWS84). Tiene un volumen aproximado de 30,000 m<sup>3</sup>. El material de este Banco corresponde a una grava limosa con arena color amarillo con clasificación AASHTO A-1-b (0), y clasificación SUCS de GM.

### **BANCO DE MATERIALES RIO TIRURI:**

El Banco Río Tirurí se localiza en la Estación 4+000 en el sentido Cárdenas Colón, en las riberas del río Tirurí, se le calcula un volumen de 25,000 m<sup>3</sup>

El material de este Banco corresponde a una grava limosa con arena color gris con puntos café claro con clasificación AASHTO A-1-a (0). Y clasificación SUCS GM.

### **BANCO DE MATERIALES EL TRIUNFO:**

El Banco El Triunfo se localiza en la Estación 11+500, 600 metros derecha en el sentido Cárdenas-Colón con las coordenadas siguientes, 671133 E - 1232814 N (UTM GWS84). Se le calcula un volumen de 15,000 m<sup>3</sup>.

El material de este Banco corresponde a una grava limosa con arena color gris con puntos café claro con clasificación AASHTO A-1-a (0). Y clasificación SUCS GM

## **2.5.1 Alternativas de uso de Materiales**

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio de los cuatros bancos de préstamos de materiales (Erick Meza, Alfonso Solórzano, Río Tirurí y El Triunfo), se identificó que ninguno cumple con las especificaciones técnicas y características para ser utilizados como Base y Subbase para estructura de pavimento articulado (**ver anexos, Tabla N°31 y 32, pág. xii**) por esto se decide proponer el mejoramiento químico del material proveniente del banco Alfonso Solórzano, al igual que los materiales que provienen de los bancos Erick Meza, Río Tirurí y El Triunfo, usando cemento Portland.

**Tabla N° 5 Resumen de Resultados a Pruebas de Mejoramiento de Suelo**

Banco de préstamo	%de cemento	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumétrico Seco suelto Kg/m <sup>3</sup>	Peso de Cemento Por m <sup>3</sup>	Bolsas de Cemento Por m <sup>3</sup>
Río Tirurí	4	11.16	1821	72.84	1.71
	6	15.34		109.26	2.57
	9	21.00		163.89	3.86
Alfonso Solórzano	5	8.7	1450	72.50	1.70
	7	14.5		101.50	2.39
	9	21.0		130.50	3.07
Erick Meza	4	5.04	1065	42.6	1.0
	6	11.91		63.90	1.50
	9	21.0		95.85	2.26
El Triunfo	5	15.8	1150	57.5	1.35
	7	19.5		80.5	1.89
	8	21.0		92.00	2.16

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos Geonic.

La cantidad de cemento que se ocupa para estabilizar el material de los bancos para alcanzar una resistencia a la compresión a los 7 días de edad es de 21 kg/cm<sup>2</sup> (**ver tabla N°34, anexo, pág. xiii**) un consumo de cemento del orden de 2.16 a 2.26 bolsas por metro cúbico de material seco suelto.

De tal manera que los bancos a utilizar como base estabilizada más económicos, son el banco El Triunfo y el Banco Erick Meza.

**Tabla N° 6. Porcentajes y número de bolsas de Cemento a utilizar por cada m<sup>3</sup>.**

N° del Banco	Nombre del Dueño del Banco	N° de muestra	Cantidades de cemento expresadas en:		Peso Volumétrico Seco Suelto Kg/m <sup>3</sup>
			%	Bolsa/m <sup>3</sup>	
1	El Triunfo	1	8	2.16	1150
2	Erick Meza	1	9	2.26	1065

Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de bolsas de cemento en dependencia de su peso volumétrico seco suelto es representada a través del siguiente cálculo:

$$Bolsas \text{ de Cemento} = \frac{\text{Peso Vol. Seco suelto (kgs/m}^3) * 8\%}{42.5 \text{ Kg}} = \frac{(1150\text{Kg/m}^3 * 0.08)}{42.5} = 2.16 \text{ bolsas}$$

$$Bolsas \text{ de Cemento} = \frac{\text{Peso Vol. Seco suelto (kgs/m}^3) * 9\%}{42.5 \text{ Kg}} = \frac{(1065\text{Kg/m}^3 * 0.09)}{42.5} = 2.26 \text{ bolsas}$$

## Capítulo III: Estudios de Tránsito

### **3.1 Estudio de tránsito**

El tránsito es la variable más importante para el diseño de una vía, pues, si bien el Volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el Número y el peso de los ejes de éstos, son factores determinantes en el diseño de La estructura de pavimento y de esta manera poder calcular los espesores de Pavimento.

En el estudio de tránsito se realizaron tres etapas para su correcta elaboración:

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

### **3.2 Recopilación de Datos**

#### **3.2.1 Conteos Volumétricos de Tráfico**

La metodología para la determinación de los volúmenes de tráfico se basa fundamentalmente en la realización de aforos de tránsito en el camino en estudio, para estos aforos se ubicaron dos (2) estaciones de conteo volumétrico, en sitios cercanos al inicio del camino y al final del tramo requeridos para estudio.

- El aforo de tráfico, por tener características de camino de bajo volumen de tráfico, se realizó mediante el conteo manual de los vehículos que regularmente transitan por la vía.
- El aforo se realizó registrando el tráfico por cada sentido de circulación.
- Se registró además la composición del tráfico, para proporcionar información para el diseño de pavimentos.

##### **3.2.1.1 Días de Aforo**

Los aforos se realizaron durante tres días seguidos, siendo la duración de los conteos de doce horas consecutivas en los días de levantamiento, desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas.

##### **3.2.1.2 Estaciones De Conteo**

Se definieron dos estaciones de conteos volumétricos y su ubicación se realizó conforme a lo siguiente:

- a) Su ubicación se realiza en función de la condición de la geometría de la vía.
- b) Se toman en cuenta la existencia de caminos de acceso, su cercanía se evita, con el propósito de que el tráfico que se desvía hacia ellos no afecta el conteo.

- c) Se escoge un tramo por lo general en tangente.
- d) El tramo no debe ser de pendientes fuertes.
- e) Se deben de evitar la cercanía de centros generadores de carga
- f) Se deben de evitar la presencia de zonas pobladas y escuelas.
- g) Visibilidad apropiada para identificar con facilidad los vehículos.

### **3.2.1.3 Clasificación de vehículos.**

Para la clasificación de los vehículos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan a través de la infraestructura vial en el país (**ver anexos, tabla N°36, pág. xxxii**).

**Vehículos de pasajeros.** Son destinados al transporte público de pasajeros de dos, cuatro, seis y más ruedas, incluyen microbuses pequeños, microbuses medianos, buses medianos y grandes.

**Vehículos de carga.** Son aquellos vehículos que se utilizan para transporte de mercancías sea esta carga seca o líquida.

**Equipo pesado.** Son los vehículos de construcción y los agrícolas.

**Tracción animal.** Son animales que son utilizados para jalar carretas, transportar cargas y gente, acarrear agua y cosechas, etc.

**Otros.** Son remolques o tráiler pequeño halado por cualquier automotor o por tracción personas.

### **3.2.1.4 Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.**

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura.

Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles en este caso vigente (**ver anexos, figura N°5, pág. xxxiii**)

## **3.3 Procesamiento de la información.**

### **3.3.1 Digitación y Control de Calidad**

Una vez concluida las labores de campo se procede a revisar cada hoja de campo, para realizar los totales de cada casilla, controlar que cada hoja estuviese debidamente identificada. Una vez revisada se pasa al proceso de digitación de las boletas. La digitación se realiza en una hoja Excel que se utiliza como base de datos primaria, esta hoja electrónica posteriormente será utilizada en el proceso de cálculo

del TPDA, el cálculo de las tasas de crecimiento y las proyecciones de tráfico hasta el horizonte del proyecto.

### **3.3.2 Resultados de los Conteos**

El principal resultado de los conteos volumétricos de tráfico será la obtención del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), junto con este se tendrá la composición del tráfico que circula en el tramo en estudio, así como su distribución horaria.

La práctica normal de las proyecciones del tránsito indica que para un proyecto de rehabilitación y mejoramiento, éstas deben ser desarrolladas en base a estimaciones de viajes basadas en el uso futuro del suelo así como de factores socioeconómico tales como PIB (Producto Interno Bruto), el consumo de productos derivados del petróleo y el crecimiento poblacional.

Los conteos de campo levantados en el sitio es la información obtenida para la posible estimación del tráfico para el cual se pretende diseñar y estimar las proyecciones del tránsito futuro, tomando en cuenta el historial del tráfico de la zona.

### **3.3.3 Resultados de los Aforos de Tránsito**

El conteo volumétrico se realizó de forma manual, ubicando dos aforadores en cada estación de conteo, estos llevaron registros del tráfico por sentido, en periodos de 12 horas (6:00am a 6:00pm) y su correspondiente clasificación. A continuación se presentan los datos promedios de ambas estaciones en los tres días de levantamiento (10, 11 y 12 de octubre de 2012)

**Tabla N° 7 Aforo vehicular y cálculo de tránsito promedio diario**  
**Ubicación: estación 1 - (00+800) tramo Cárdenas – El Triunfo**

Año 2014																		
DIA	VEHICULOS DE PASAJEROS						VEHICULOS DE CARGA						EQUIPO PESADO				TOTAL veh/12hr	
	BICI	MOTO	JEEP	CARRO	CMTA	MBUS<15	MBUS>15	BUS	C2	C3	C4	T2S2	T3S2	C2R2	C3R3	AGR		CONTR
<b>MIERCOLES</b>	129	210	16	44	89	1		26	12	9	3		7	16	2	1	4	<b>440</b>
<b>JUEVES</b>	146	215	13	41	104		1	25		6	5	1	4	22	10		3	<b>450</b>
<b>VIERNES</b>	64	134	9	14	55			18	8		1	1	10	5			1	<b>256</b>
<b>PROMEDIO 12hrs</b>	<b>113</b>	<b>186</b>	<b>13</b>	<b>33</b>	<b>83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>382</b>
<b>NOTA: EN EL TOTAL NO SE SUMAN LAS BICICLETAS</b>																		

Fuente: Informe de Estudio Tráfico Geonic.

**Tabla N° 8 Aforo vehicular y cálculo de tránsito promedio diario**  
**Ubicación: estación N°2 - (09+500) tramo El Triunfo - Cárdenas**

Año 2014																		
DIA	VEHICULOS DE PASAJEROS						VEHICULOS DE CARGA						EQUIPO PESADO				TOTAL veh/12hr	
	BICI	MOTO	JEEP	CARRO	CMTA	MBUS<15	MBUS>15	BUS	C2	C3	C4	T2S2	T3S2	C2R2	C3R3	AGR		CONTR
<b>MIERCOLES</b>	45	34	4	25	29			3	4	10								<b>109</b>
<b>JUEVES</b>	34	28	9	5	21			3	7	6		1			1		1	<b>82</b>
<b>VIERNES</b>	24	26	4	3	10	1	3	1	6	5	1				2			<b>62</b>
<b>PROMEDIO 12hrs</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>			<b>1</b>		<b>0</b>	<b>84</b>
<b>NOTA: EN EL TOTAL NO SE SUMAN LAS BICICLETAS</b>																		

Fuente: Informe de Estudio Tráfico Geonic.

**Tabla N°9 promedio conteo de la estación N°1 y N°2.**

PROMEDIO 2 ESTACIONES	BICI	MOTO	JEEP	CARRO	CMTA	MBUS<15	MBUS>15	BUS	C2	C3	C4	T2S2	T3S2	C2R2	C3R3	AGR	CONTR	TOTAL Vpd
<b>PROMEDIO DIAS DE SEMANA</b>	74	108	9	22	51	0	1	13	6	6	2	1	4	7	3	0	2	<b>233</b>

Fuente: Informe de Estudio Tráfico Geonic

### 3.4 Análisis de la información

En vista que los datos recolectados son una muestra representativa de un periodo de tres días, se hace necesario estimar el TPDA. Para este propósito se utilizaron factores de ajustes diario, semanal y de temporada, de la Estación de Conteo Sumaria 227, del camino NIC-66, Tramo Sapoá-Cárdenas, por estar cercana al tramo en estudio e incidir directamente en el tránsito que circula por nuestro tramo en estudio, además su TPDA es similar al recopilado en los aforos realizados.

Estos factores permiten expandir el volumen del tránsito de la muestra del tramo de vía en estudio. Los factores son los siguientes:

**Tabla N° 10: Factores de Ajustes de la Estación de Conteo Sumaria 227 Nic-66 del Tramo: Sapoá-Cárdenas**

Camino:	NIC-66		Estación:	227		Tramo:	Sapoá - Cárdenas.			Periodo	L		Días:	3		Horas:	Mes/Año		Abril 2012		Km:	144.498	
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos 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)	38	19	9	52			17	26	9	2		8					1	1	182				
Factor Día	1.26	1.41	1.26	1.29	1.41	1.13	1.22	1.33	1.48	1.36	1.00	1.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.13					
Factor Semana	0.99	1.03	1.01	0.94	1.04	1.00	1.00	0.87	0.89	0.90	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87					
Factor Ajuste	1.12	1.02	0.99	1.04	0.95	0.81	0.96	1.00	1.02	1.07	1.00	0.96	1.00	1.00	1.50	1.00	1.22						
TPDA Ene-Abr	53	28	11	85			20	30	12	3		10					1	1	234				
% TPDA	22.65	11.97	4.70	27.78			8.55	12.82	5.13	1.28		4.27					0.43	0.43	100				
% Vehículos Livianos		67.09%						% Vehículos Pesados						32.48%			0.43%	100%					

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico. MTI. Año 2012. Página 249.

### 3.5 Cálculo del tránsito Promedio diario anual

**Tabla N° 11: Cálculo de Tránsito Promedio Diario Anual.**

GRUPO	MOTOS	AUTOS	JEEP	CAMETA	MICROBUS 15- 30 PASAJEROS	BUS	C2	C3	C4	T2S2	T3S2	C2R2	C3R3	CONTR	TOTAL
TP(Di)	108	22	9	51	1	13	6	6	2	1	4	7	3	2	233
FAC. DIARIO	1.26	1.41	1.26	1.29	1.13	1.22	1.33	1.48	1.36	1	1.46	1	1	1	
FAC.SEMANA	0.99	1.03	1.01	0.94	1	1	0.87	0.89	0.9	1	0.89	1	1	1	
FACTOR AJUSTE	1.12	1.02	0.99	1.04	0.81	0.96	1	1.02	1.07	1	0.96	1	1	1	
TPDA	151	33	11	64	1	15	7	8	3	1	5	7	3	2	311
% TPDA	49	11	3	20	0.00	5	2	3	1	0.00	2	2	1	1	100
% VEHICULOS LIVIANOS = 83						% VEHICULO PESADO= 17									

Fuente: Elaboración propia con datos actuales.

#### 3.5.1 Factores Influyentes en el comportamiento del tránsito

Se analizó los flujos de tráfico que se producirán durante la vida útil del proyecto desde dos perspectivas diferentes del crecimiento y desarrollo socioeconómico de la República de Nicaragua de conformidad con el Plan Nacional de Desarrollo (PND), así como de su entorno regional, a fin de cuantificar las posibles afectaciones de estas dos condiciones de desarrollo socioeconómico y sus impactos en los flujos futuros de tráfico. Estos posibles escenarios de crecimiento socioeconómico se analizaron, a partir del estudio del comportamiento de las variables ya mencionadas.

### 3.5.2 Producto Interno Bruto

Es una medida agregada que expresa el valor monetario de la producción bienes y servicios finales de un país durante un período que normalmente es de un año.

Se realizó un análisis del comportamiento del producto interno bruto del año 2014, el cual reflejó una tasa del 4.7%. El PIB de este año en Nicaragua, es una tasa muy alta para utilizarla en las proyecciones del tránsito.

**Tabla N° 12: PIB Nicaragua 2010 – 2014**

<b>AÑO</b>	<b>PIB (U\$)</b>	<b>% CRECIMIENTO PIB</b>
2010	<b>8,938</b>	<b>3.2</b>
2011	<b>9,899</b>	<b>6.2</b>
2012	<b>10,645</b>	<b>5.1</b>
2013	<b>11,256</b>	<b>4.5</b>
2014	<b>11,806</b>	<b>4.7</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.74</b>

Fuente: Estadísticas económicas anuales. BCN – Nicaragua

### 3.5.3 Tasa de Crecimiento Poblacional.

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

**Tabla No 13: Tasa de Crecimiento Poblacional municipio de Cárdenas (2010-2014).**

<b>Población Municipal</b>		
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>% Crecimiento</b>
<b>2010</b>	<b>7909</b>	<b>2.5</b>
<b>2011</b>	<b>8106</b>	<b>2.5</b>
<b>2012</b>	<b>8309</b>	<b>2.5</b>
<b>2013</b>	<b>8517</b>	<b>2.5</b>
<b>2014</b>	<b>8730</b>	<b>2.5</b>
<b>Promedio</b>		<b>2.5 %</b>

Fuente: Datos Municipales de la Alcaldía de Cárdenas

### 3.5.4 Historial de crecimiento del Tránsito en la Zona.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tránsito, en base a estudios anteriores del tramo en estudio u otras vías de naturaleza similar. Para el presente tramo se ha encontrado información histórica o estadística de tránsito en el Ministerio de Transporte e Infraestructura (*MTI*) que pueda ser de utilidad.

**Tabla N° 14 Tasa de Crecimiento del TPDA, Estación Conteo Sumaria N°227.**

Estación	Código Nic	Tipo	Nombre del tramo	AÑO	TPDA	%Crecimiento
227	66	ECS	Sapóa-Cárdenas-Colón	2003	189	
				2005	162	-14.29%
				2009	178	9.88%
				2010	253	42.13%
				2012	234	-7.51%
				Promedio		7.55%

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2012 MTI, Página 165.

Tras haber analizado las tres variables en estudio, se puede observar que el producto interno bruto presentó una tasa promedio de crecimiento de 4.74% en un periodo de cinco años (2010-2014). Basándonos en los datos registrados se espera que el PIB supere la tasa de crecimiento promedio en los próximos años como resultados de los planes de gobierno. En lo referido a la segunda variable analizada el crecimiento poblacional se puede observar que se mantuvo estable en 2.5 % el crecimiento anual, la carretera en estudio actualmente presenta una demanda tal como lo reflejan los registros históricos de la Estación Conteo Sumaria N° 227 localizada en el tramo: Sapóa-Cárdenas, NIC.-66, la que tiene un TPDA 234 Vpd, con un promedio de crecimiento 7.55%, del año 2003 al año 2012.

Además la determinación de la tasa de proyección es considerada a partir de los siguientes escenarios económico y social que están conforme al Plan Nacional de Desarrollo Humano:

- ⊕ Incentivar la producción ganadera y agrícola.
- ⊕ Mejorar la red vial de caminos productivos, garantizando transporte seguro y confiable.
- ⊕ El gobierno dará continuidad a los acuerdos de infraestructura vial con préstamos al Banco Mundial, BID (Banco Interamericano de Desarrollo), BCIE (Banco Centroamericano de Industria y Comercio).
- ⊕ Apertura de nuevos proyectos comerciales transnacionales que mantienen un clima de inversión en todos los rubros del país.

Todas estas consideraciones que se mencionan anteriormente son las que nos conducen a adoptar un **4%** como tasa de crecimiento (TAC) para la proyección del tránsito de diseño.

### 3.6 Clasificación de la vía.

La clasificación de la vía 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 se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 15: Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodadura.**

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		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 – 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras Suburbanas			2 - 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: Manual Centroamericano 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 su TPDA que fue de 311, siendo el valor más próximo al TPDA 3000 – 500 establecido por la SIECA 2001 y su manual.

### 3.7 Tránsito de Diseño

En vista que el diseño del pavimento de la vía, se basa tanto en el tránsito actual así como en los incrementos de tránsito que se espera utilicen la carretera, durante su vida útil, resulta necesario realizar las proyecciones de tránsito futuro.

En primer lugar resulta necesario determinar el periodo de proyección del tráfico, el cual está en función de la vida útil del pavimento, así como las tasas de crecimiento que se han determinado con anterioridad. El tránsito proyectado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = T_0 * FC * FD * fc \quad (\text{Ecuación N}^\circ 1)$$

- $TD$  = Tránsito de diseño
- $T_0$  = Tránsito Inicial en el año 0
- $FC$  = Factor de Crecimiento
- $FD$  = Factor de Distribución Direccional
- $fc$  = Factor Carril

### 3.7.1 Tránsito Inicial en el año 0 ( $T_0$ )

Es el TPD inicial determinado a partir del conteo vehicular que se realiza en el tramo a diseñar.

### 3.7.2 Factor de crecimiento

Esta dado en función por el periodo de diseño y la tasa de crecimiento vehicular, el cual puede variar en dependencia del tipo de vehículo.

Su ecuación es:

$$FC = 365 \times \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad (\text{Ecuación N}^\circ 2)$$

Dónde:

- $FC$  = Factor de Crecimiento
- $i$  = Tasa de Crecimiento
- $n$  = Período de Diseño

De acuerdo a la ecuación (3) se obtiene el factor de crecimiento

$$i = 4\% \quad n = 15 \text{ años}$$

$$FC = 365 \times \left[ \frac{(1+0.04)^{15} - 1}{0.04} \right]$$

$$FC = 7,308$$

### 3.7.3 Factor de Distribución Direccional (FD)

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

**Tabla N° 16: Factor de distribución por dirección**

Número de carriles en ambas direcciones	LD <sup>10</sup>
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2001

### 3.7.4 Factor carril (*fca*.)

Es el número de carriles por sentido para los cuales se está diseñando. El factor carril utilizado será del 100%.

**Tabla N° 17: Factor de distribución según el número de carriles**

Número de carriles en cada dirección	% ESAL en el carril de Diseño
1	1.00
2	0.80- 1.00
3	0.60- 0.80
4	0.50- 0.75

Fuente: Libro de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición – Año 2006. Página 58

**Tabla N° 18: Cálculo de Tránsito de Diseño**

<b>Vehículo</b>	<b>To</b>	<b>F. Crecimiento</b>	<b>F. Carril</b>	<b>T. Diseño</b>	<b>T. Diseño</b>
<b>AUTOS</b>	33	7308	1	0.5	120,582
<b>JEEP</b>	11	7308	1	0.5	40,194
<b>CAMIONETA</b>	64	7308	1	0.5	233,856
<b>mbus15-30</b>	1	7308	1	0.5	3,654
<b>BUS</b>	15	7308	1	0.5	54,810
<b>C2</b>	7	7308	1	0.5	25,578
<b>C3</b>	8	7308	1	0.5	29,232
<b>C4</b>	3	7308	1	0.5	10,962
<b>T2S2</b>	1	7308	1	0.5	3,654
<b>T3S2</b>	5	7308	1	0.5	18,270
<b>C2R2</b>	7	7308	1	0.5	25,578
<b>C3R3</b>	3	7308	1	0.5	10,962
<b>CONTR</b>	2	7308	1	0.5	7,308
<b>Total</b>	<b>160</b>				<b>584,640</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.8 Análisis de cargas y ejes equivalente para el diseño de pavimento.

Para el análisis de carga se utiliza la clasificación de los ejes de carga de cada vehículo, debido a que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento.

Los factores de equivalencia se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos, dobles y Triples. Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$ESAL \text{ o } W18 = TD * \text{Factor ESAL's (Ecuación N° 3)}$$

Para realizar el cálculo del ESAL's de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el periodo de diseño, Los factores equivalentes serán extraídos del Manual de diseño de la AASHTO-93 en el apéndice D, para un número estructural (SN) de 5.0 para pavimento flexible y con un valor de Serviciabilidad Final (Pt) de 2.0, para un periodo de diseño de 15 años.

**Tabla N° 19: Cálculo de Ejes Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton).**

Tipo de vehículo	TPDA 2012	Peso por eje kips	Peso por eje libras	TD	Factor ESAL's	ESAL's de diseño
Autos	33	2.2	2200	120,582	0.00038	46
		2.2	2200		0.00038	46
Jeep	11	2.2	2200	40,194	0.00038	15
		2.2	2200		0.00038	15
Camioneta	64	2.2	2200	233,856	0.00038	89
		4.4	4400		0.0034	795
Mic. Bus 15-30 pas.	1	8.8	8800	3,654	0.0502	183
		17.6	17600		0.9206	3,364
Bus	15	11	11000	54,810	0.1265	6,933
		22	22000		2.35	128,804
C2	7	11	11000	25,578	0.1265	3,236
		22	22000		2.35	60,108
C3	8	11	11000	29,232	0.1265	3,698
		36.3	36300		1.4325	41,875
C4	3	11	11000	10,962	0.1265	1,387
		44	44000		0.686	7,520
T2S2	1	11	11000	3,654	0.1265	462
		19.8	19800		1.513	5,529
		35.2	35200		1.26	4,604
T3S2	5	11	11000	18,270	0.1265	2,311
		35.2	35200		1.26	23,020
		35.2	35200		1.26	23,020
C2R2	7	9.9	9900	25,578	0.0766	1,959
		19.8	19800		1.513	38,700
		14.3	14300		0.377	9,643
		14.3	14300		0.377	9,643
C3R3	3	11	11000	10,962	0.1265	1,387
		35.2	35200		1.26	13,812
		14.3	14300		0.377	4,133
		36.3	36300		1.4325	15,703
CONTR	2	35.2	35200	7,308	1.26	9,208
		35.2	35200		1.26	9,208
<b>Total</b>	<b>160</b>					<b>430,455</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente del cálculo de ejes equivalentes (ESAL'S), para el carril de diseño se tiene un valor correspondiente a **430,455** de repeticiones en los Ejes Equivalentes.

### Calculo ESAL's de Diseño para T3S2

1.- Peso de ejes en kips (ver anexos, figura N°5, pág. xxxiii)

2.- Factor ESAL's (Ver Anexos Tablas N°37, 38 y 39, pág. xxxiv-xxxvi)

2a.- Selección del factor ESAL's eje simples, peso del eje 11 kips

10 ----- 0.079

11 ----- X

$$X ----- 0.079 = (0.174 - 0.079) / (12 - 10)$$

12 ----- 0.174

$$X = 0.1265$$

2b.- Selección del factor ESAL's eje dobles, peso de ambos ejes 35.2 kips

34 ----- 1.08

35.2 ----- X

$$X ----- 1.08 = (1.38 - 1.08) / (36 - 34)$$

36 ----- 1.38

$$X = 1.26$$

ESAL o W18 = TD \*Factor ESAL's (Ecuación N° 3)

$$\text{ESAL o W18} = 14,616 \text{ Vpd} * 0.1265 \text{ (eje simple)} = 1,832$$

$$\text{ESAL o W18} = 2 \text{ ejes (14,616 Vpd)} * 1.26 \text{ (eje doble)} = 36,832$$

$$\text{ESAL o W18} = 38,664$$

## Capítulo IV: Diseño Estructura de Pavimento Articulado

### **4.1 Diseño de Estructura de Pavimento Articulado**

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 del tránsito y las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

El método de Diseño utilizado para la alternativa de Pavimento Articulado (Adoquín) fue la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993.

Con este método se toma en cuenta las siguientes investigaciones: El Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar los detalles necesarios, para conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo de la ruta, efectuando ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

La investigación persiguió también, conocer las características de los Bancos de Materiales, necesarios en el abastecimiento del material selecto que requiere el proyecto en su ejecución.

El estudio del conteo de tránsito el cual tiene la finalidad de conocer la cantidad y tipo de vehículos que utilizan la vía para conocer la carga móvil que soporta y hacer su proyección al período de diseño.

### **4.2 Variables necesarias para realizar el diseño de estructura de pavimento articulado con superficie de rodamiento adoquín.**

En este método se contemplan las siguientes variables principales:

- Período de Diseño
- Vida Útil del Pavimento
- Ejes Equivalentes ESAL's
- Confiabilidad
- Serviciabilidad
- Desviación Estándar
- Módulo Resiliente.
- CBR de diseño
- Coeficiente de Drenaje

#### **4.2.1 Período de Diseño.**

El período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de las proyecciones del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente o se

alteren de una manera diferente a la que se tomaron en cuenta. En el manual de la SIECA se recomiendan los períodos de diseño de la siguiente tabla.

**Tabla N°20 Periodo de Diseño**

Tipo de Carretera	Período de diseño
<b>Autopista Regional</b>	20 - 40 años
<b>Troncales suburbanas</b>	15 - 30 años
<b>Troncales Rurales</b>	
<b>Colectoras Suburbanas</b>	10 - 20 años
<b>Colectoras Rurales</b>	

Fuente: Manual de Normas Centroamericanas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales-SIECA

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificándola como Colectora Rural, es de 15 a 20 años.

**Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de 15 años.**

#### **La vida útil del Pavimento.**

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, que es la medida de la calidad del servicio en términos de comodidad. El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento; en los casos en que se consideren reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el período de diseño comprende varios períodos de vida útil que son: el de pavimento original y el de las rehabilitaciones.

#### **4.2.2 Ejes Equivalentes ESAL's**

Se define como el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 un) ó 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 para cada camión.

En el capítulo anterior se realizó el cálculo ESAL's siendo este valor de **430,455** repeticiones por carril de diseño.

### 4.2.3 Confiabilidad

La confiabilidad es un valor que representa el 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.

La confiabilidad está definida como "la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación". Otra manera de entender la confiabilidad, por ejemplo es: si se considera una confiabilidad "R" del 80% estaríamos permitiendo que el 20% de la superficie de rodamiento alcance al final de su vida útil una Serviciabilidad igual a la Serviciabilidad final seleccionada en el diseño.

**Tabla N° 21: Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferente.**

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rurales Interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Libro de diseño de Pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 137.

Se asume un valor de confiabilidad de  $R = 95\%$ , por estar en el rango propuesto por la AASHTO, Por ser Colectora Rural. Además porque el tránsito que utilizará esta vía es liviano y nos permitirá diseñar un pavimento con un nivel de confiabilidad óptimo entre el costo inicial del proyecto y el mantenimiento del mismo.

**Tabla N° 22: Valores de ZR en función de valores porcentuales de la confiabilidad.**

Confiabilidad (R) en %	Desviación Estándar normal $Z_R$
50	-0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
99.99	-3.75

Fuente: Libro de diseño de Pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 140

#### 4.2.4 Serviciabilidad

La Serviciabilidad de un pavimento es una medida de la calidad del servicio de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado, es una medida cualitativa. El índice de Serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). Para el diseño de pavimentos debe asumirse la Serviciabilidad inicial y la Serviciabilidad final.

**La Serviciabilidad inicial (Po)** es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye este pavimento en la carretera.

**La Serviciabilidad final o terminal (pt)** se estima en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador. Los valores que se recomiendan son empíricos y por experiencia se utilizan los siguientes:

**Serviciabilidad inicial:** Po = 4.5 para pavimentos rígidos  
Po = 4.2 para pavimentos flexibles

**Serviciabilidad final:** Pt = 2.5 ó más para caminos principales  
Pt = 2 para caminos de tránsito menor.

#### Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)

La pérdida de la Serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = p_0 - p_t \text{ (Ecuación N}^\circ \text{ 5)}$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2 = 2.2$$

#### 4.2.5 Desviación Estándar (S0)

Es la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito, teniendo en cuenta los errores en la predicción del mismo. Para la estimación de la desviación estándar, el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento ha dispuesto ciertos valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes.

**Tabla N° 23: Desviación Estándar para pavimentos rígidos y flexibles.**

Tipo de Pavimento	Desviación Estándar
Para pavimentos Flexibles	0.40-0.50
En construcción nueva	0.35-0.40
En sobre-capas	0.50

Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. SIECA, Capítulo 7 pág. 5.

Para este estudio se asume un valor de **0.50** por ser un pavimento flexible.

#### 4.2.6 Selección y determinación del CBR de diseño

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

Tabla N° 24: valor percentil del CBR de diseño

N° de ejes de 8.2 toneladas en el carril de Diseño (N).	Percentil a seleccionar para encontrar el CBR de diseño
< 10 <sup>4</sup>	60%
10 <sup>4</sup> – 10 <sup>6</sup>	75%
> 10 <sup>6</sup>	87.5%

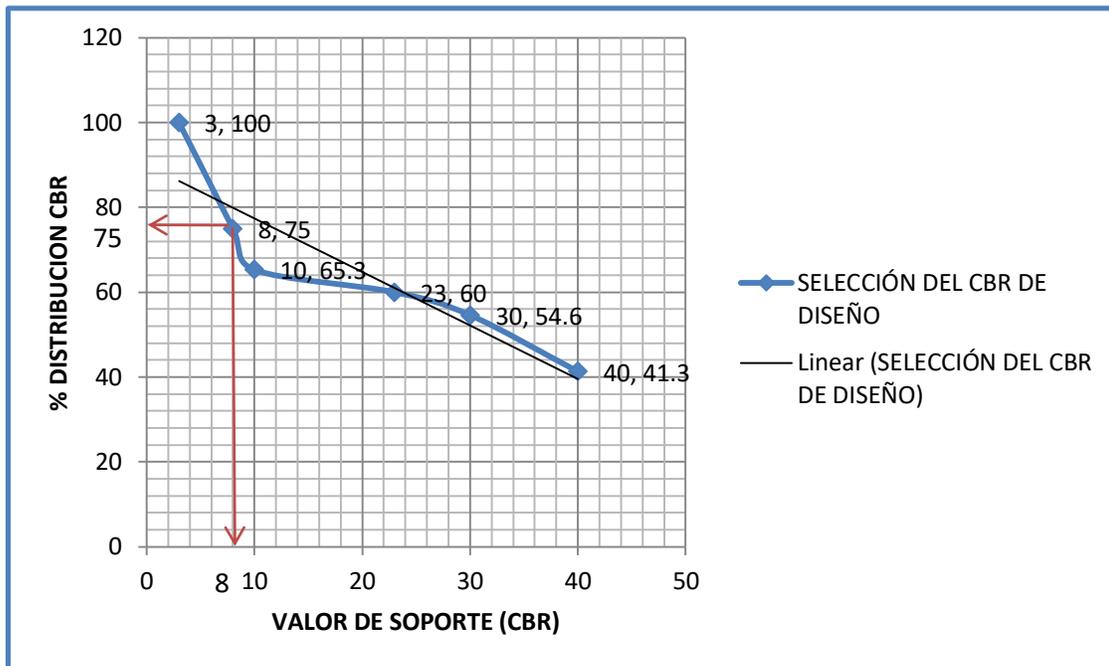
Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Fonseca Montejo. Segunda Edición 2001. Página 68.

Tabla N° 25 Porcentaje de Distribución del C.B.R. al 95%

CBR PERCENTIL DE 0.0 A 10.0 KM				
RESUMEN DE LOS DATOS DE CBR DE LA SUBRASANTE CONSIDERANDO UNA PROFUNDIDAD DE 25CM DE LA SUPERFICIE				
Tipo de Suelo	CBR 95%	N° DE MUESTRAS	N° MUESTRAS CBR ≥INDICADO	%CBR≥INDICADO
A-7-5, A-7-6 de diversos IG	3	26	75	75/75*100=100
A-5(5), A-4(0)	10	4	49	49/75*100=65.3
A-2-6(0), A-2-7(1)	23	4	45	45/75*100=60
A-2-5(0), A-2-4(0)	30	10	41	41/75*100=54.6
A-1-a(0), A-1-b(0)	40	31	31	31/75*100=41.3
		75		

Fuente: Elaboración Propia

Grafica N°1 SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO



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

- a. Se ordenan los valores CBR al 95% de compactación, de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores que cada uno (**ver tabla N°25, pág. 44**)
- b. Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes anteriormente calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR para el percentil elegido.
- c. El percentil al 75% con un CBR compactado al 95% de su densidad Seca Máxima obtenido para el Tramo de Cárdenas – Colón desde la Est. 0+000 – 10+000, es de **8**.

#### 4.2.7 El Módulo Resiliente

El módulo de Resiliencia se obtiene de la valoración de las propiedades de los materiales, ya que en función de éste, se llega a los coeficientes de los números estructurales denominado (SN). El módulo Resiliente, define una de las principales características del material de pavimento.

El método AASHTO considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo Resiliente. El Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante se determina por la correlación con el CBR.

Las correlaciones que normalmente se utilizan son las siguientes:

Relación del C.B.R.

$$\begin{array}{l} 0 < \text{CBR} < 10 \quad \text{MR} = 1,500 \text{ CBR (psi)} \dots \infty \\ 10 < \text{CBR} < 20 \quad \text{MR} = 3,000 \text{ CBR}^{0.65} \text{ (psi)} \dots \beta \\ \text{CBR} > 20 \quad \text{MR} = 4236 * \text{Ln. CBR} + 241 \text{ (psi)} \dots \gamma \end{array}$$

Ingeniería de pavimentos para carreteras, Ing. Alfonso Motejo Fonseca, página 265-266.

##### 4.2.7.1 MR-Sub-rasante

$$M_{\text{Rsub-rasante}} \text{ (psi)} = 1,500 * \text{CBR (utilizada para suelos granulares)}$$

$$\text{CBR}_{\text{Sub-rasante}} = 8 \%$$

$$M_{\text{Rsub-rasante}} = 1,500 * 8$$

$$M_{\text{Rsub-rasante}} = 12,000 \text{ psi}$$

##### 4.2.7.2 MR BASE

De acuerdo a la estabilización de materiales con cemento se determinó una resistencia a la compresión de 21 kg/cm<sup>2</sup> requerida para uso en capa base y es equivalente a 298.06 lb/pulg<sup>2</sup>. Donde por medio de esta se obtuvo un módulo Resiliente de **Mr: 5.6x 10<sup>5</sup> psi. (Ver en Anexos, grafica N°3, pág. xxxvii)**

#### 4.2.8 Coeficiente de drenaje

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 N° 26: Coeficientes de Drenaje para pavimentos flexibles.**

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	> 1%	1 – 5 %	5 – 25%	< 25%
<b>Excelente</b>	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	<b>1.15 – 1.00</b>	1.00
<b>Regular</b>	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
<b>Pobre</b>	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
<b>Muy Pobre</b>	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 148.

El valor tomado en este diseño fue de **1.00**, ya que se asume una calidad de drenaje buena, con un tiempo de exposición que varía de 5-25%, lo que ayuda a la impermeabilización de la estructura del pavimento, también se cumplirá durante todo el proceso constructivo, con las especificaciones de compactación, calidad de materiales, equipos y mano de obra recomendados por la Nic- 2000.

### 4.3 Coeficientes Estructurales o de Capas.

#### Cuantificación de Espesores de Pavimentos

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

$$\log_{10} Wt18 = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Dónde:

**W18** = Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas en el periodo de diseño.

**Zr** = Desviación Estándar normal del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural.

**So** = Desviación Estándar Total o error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

**ΔPSI** = Diferencia entre la Serviciabilidad Inicial (Po) y Final (Pt)

**Mr** = Módulo Resiliente de la Sub-rasante (psi)

**SN** = Número Estructural, indicador de la Capacidad Estructural requerida (materiales y espesores).

Se expresa como  $SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$  en donde:

**a<sub>i</sub>** = Coeficiente Estructural de la capa.

**D<sub>i</sub>** = Espesor de la Capa i, en pulgadas.

**m<sub>i</sub>** = Coeficiente de Drenaje de la Capa Granular

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total (W18), de la serviciabilidad terminal, y de las condiciones ambientales.

#### 4.3.1 Coeficiente de capas:

#### 4.3.2 Determinación de los Coeficientes Estructurales o de Capas.

Una vez calculados los Módulos de Resiliencia descrito anteriormente y mediante el uso de los nomogramas basados de la AASHTO-93, se determinan los coeficientes estructurales a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> para cada tipo de capa de la estructura de pavimento.

**Coefficiente Estructural de la Carpeta de Rodamiento (Adoquín de Concreto)  $a_1$ .**  
 Se consideró un coeficiente de **0.45** dicho valor fue tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, (Cap. 7 pág. 107).

**Coefficientes Estructural para Material Granular Estabilizado con Cemento  $a_2$ .**

De acuerdo a la estabilización de materiales con cemento se determinó una resistencia a la compresión de 21 kg/cm<sup>2</sup> requerida para uso en capa base y esta equivalente a 298.06 lb/pulg<sup>2</sup>. Donde por medio de esta se obtuvo un coeficiente estructural de  **$a_2$ : 0.14 (Ver en Anexos, grafica N°3, pág. xxxvii)**

Los datos requeridos para el cálculo de los espesores son:

1. Confiabilidad	<b>95%</b>
2. Serviciabilidad inicial <b>Po</b>	<b>4.2</b>
3. Serviciabilidad final <b>Pt</b>	<b>2</b>
4. <b>Pérdida de Serviciabilidad</b>	<b>2.2</b>
5. Desviación Estándar	<b>0.50</b>
6. Módulo Resiliente de la Subrasante	<b>12,000 psi.</b>
7. Coeficiente de drenaje <b><math>m_2</math></b>	<b>1</b>
8. <b>Periodo de Diseño</b>	<b>15 años</b>
9. Ejes equivalentes	<b>430,455 ESAL'S</b>

**4.3.2 Determinación de los Espesores de las Capas del Pavimento Articulado.**

Para la determinación del número estructural se realiza través del nomograma (**Ver Anexos, grafica N°4, pág. xxxviii**), nos da como resultado un Numero Estructural SN de **2.70**, con la siguiente formula calculamos el espesor de la base estabilizada con cemento:

**Numero Estructural**

**SN= 2.70**

**4.4 CALCULO ESPESORES**

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ecuación N° 6}$$

DONDE

SN: Numero Estructural	2.70
a1: coeficiente de Carpeta (adoquín)	0.45
a2: coeficiente de la base	0.14

D1: Espesor Adoquín 4 pulg

D2: espesor Base .?

### **Base**

$$SN=a_1 \cdot D_1+a_2 \cdot D_2 \cdot m_2$$

$$2.70=0.45 \cdot 4+0.14 \cdot D_2 \cdot 1$$

$$D_2=(2.70-1.8)/(0.14)$$

$$D_2=6.42 = 7''$$

$$SN_1=a_1 \cdot D_1= 0.45 \cdot 4=1.8$$

$$SN_2=a_2 \cdot D_2 \cdot m_2= 0.14 \cdot 7 \cdot 1= 0.98$$

### **Comprobacion**

$$SN_1+SN_2 \geq S_n$$

$$1.8+0.98 \geq 2.70$$

$$2.78 \geq 2.70 \text{ ok}$$

Para el diseño de la estructura el espesor de la carpeta de rodamiento conformada por bloques de concreto (Adoquines), ya está establecido y es de 7 pulgadas equivalente a 17.5 cm.

**Tabla N°27 Espesores que conforman la estructura de pavimento articulado**

Capas	Vida Útil: 15 Años	
	Espesores en pulgada	Espesores en cm
<b>Adoquín</b>	4.0	10.0
<b>Arena</b>	2.0	5.0
<b>Base Estabilizada con Cemento</b>	7	17.5
<b>Total</b>	<b>13.0</b>	<b>32.5</b>

El cálculo de espesores se comprobó en el programa Pavement Analysis (**ver imagen N°1 anexos, pág. xl**).

## Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 CONCLUSIONES

#### 5.1.1 Estudio de Suelos.

Se realizaron 41 sondeos de línea, en espaciamentos de 250 metros cada uno y con 1.20 metros de profundidad, en donde se obtuvieron 75 muestras representativas, en los análisis de laboratorio se determinó que existen dos capas de suelos distintas, denominadas capa de suelo superior y capa de suelo inferior.

**En la capa superior los suelos existentes** en lo general tienen baja plasticidad y un espesor promedio de 0.30 metros. Los suelos que se encuentran en esa capa son de clasificación A-2-4(0)-Grava limo arenosa (GM), A-1-a(0)-Grava Limosa con arena (GW-GM), y A-1-b(0)-Grava Limosa con arena (GM), los cuales están distribuidos de manera intercalada entre las estaciones 0+000 y la estación 10+000.

**En los Suelos de la capa inferior** se observa que estos suelos presentan a manera general la clasificación A-7-6 Grava arcillosa con arena (GC), A-7-5 Arcilla con Grava de alta compresibilidad (CH), con excepción en algunos puntos en donde encontramos suelos de clasificación A-2-4 Grava limo arenosa (GM) y A-1-a Grava Limosa con arena (GW-GM).

#### **Bancos de Materiales**

Se tomaron muestras de los Bancos de Materiales, banco Erick Meza, banco Rio Tirurí, banco Alfonso Solórzano, banco El Triunfo, para determinar su calidad, uso recomendado, volúmenes explotables y volúmenes requeridos para el proyecto. El material de estos bancos corresponden a una grava limosa con arena (GM) A-1-a (0) y A-1-b (0), Estos bancos no cumplieron con las normas Nic-2000, para ser utilizados como base (**ver anexos, Tabla N°31 y 32, pág. iv**), por lo cual se les realizó prueba de mejoramiento químico (con cemento portland), seleccionando a El Banco de materiales El Triunfo, por ser el más económico al cumplir con la prueba con menos cantidad de cemento.

#### **Ensayos de DCP (Cono de Penetración Dinámica)**

Se realizaron 21 ensayos en la vía con espaciamiento de 500 metros entre cada uno y una profundidad de 1 metro, con lo cual se corroboró in situ los análisis a las muestras de suelo en el laboratorio, la presencia de suelo alterado proveniente de banco de préstamo y la presencia de suelos finos aflorando en las estaciones 1+300 a 1+700, 5+600 a 6+200 y 8+300 a 8+900 del tramo en estudio.

### 5.1.2 Estudio de Tránsito.

Del estudio de tránsito se obtuvo un aforo de 311 **vehículos por día**, donde el mayor volumen corresponde al **tránsito liviano con casi un 83%**, mientras que **tránsito pesado es del 17%** respectivamente. Al analizar los diferentes factores socioeconómicos que tienen impacto en la economía y en el comportamiento vehicular presente en este estudios, tales como el Producto Interno Bruto, la tasa Poblacional del municipio, así como el comportamiento de la estación más cercana de estudio, se estimó la tasa de crecimiento la cual fue **de un 4% para todos los vehículos**.

La proyección del tránsito se realizó para un periodo **de diseño de 15 años**, se **clasificó como Colectora Rural**, su factor direccional de 0.5 y factor carril 1, obteniéndose un **tránsito de diseño de 584,640 Vpd**.

El ESAL's actuante en la estructura de pavimento se determinó a través de las tablas de equivalencias para una Serviciabilidad final (**Pt = 2**), de acuerdo a la metodología AASHTO-93 obteniéndose un valor de **W<sub>18</sub>= 430,455** ejes equivalentes por carril de diseño.

### 5.1.3 Diseño de Estructura de Pavimento Articulado

El diseño de la estructura quedó compuesta por adoquines de 4 pulgadas, una cama de arena de 2 pulgadas y una base estabilizada con cemento de 7 pulgadas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

### **5.2.1 Estudio de Suelos.**

#### **Capa Sub-Rasante**

Antes de colocarse el material de préstamo de Base estabilizada, se recomienda mejorar la sub-rasante escarificándola a 20 cm, nivelándola y compactándola a un mínimo de 95% Próctor Estándar (ASTM D 698).

Entre la estaciones 1+300 a 1+700, 5+600 a 6+200 y 8+300 a 8+900, donde existen suelos arcillosos aflorando, se recomienda sub-excavar (posible existencia de suelos saturados) en un espesor de al menos 0.30 metros o hasta que se observe el suelo firme, desalojar este suelo y reponerlo con material de préstamo tipo terracería mejorada (Ver anexos, Tabla N°34, pág. v)

Para ver detalles constructivos, (Ver anexos imagen N°2, pág. xxxiii)

#### **Capa Base (Suelo-Cemento):**

Este trabajo consistirá en colocar y compactar al menos al 95% de su densidad máxima obtenida en la prueba ASTM D 1557, una capa de revestimiento de agregados seleccionados estabilizados con cemento Portland, colocada sobre la superficie de la Sub-Rasante, y ajustándose razonablemente a los alineamientos, niveles y espesores que figuren en los planos de este documento o fueren establecidos por el Ingeniero. Durante la explotación de los Bancos de préstamo, se deberá tener control de la calidad de los materiales con un laboratorio de campo. Ver Sección 304 del Nic-2000, pág. 147

#### **Capa de Pavimento articulado Adoquín:**

El adoquín a usar deberá ser del tipo Tráfico pesado, con una resistencia a la compresión de 49 MPa. Las unidades deberán estar sanas, perfiladas sus aristas, libre de reventaduras e irregularidades.

La arena que servirá de cama o lecho del adoquín deberá ser limpia, dura, angular y uniforme. No deberá contener más del 3% en peso de limo y/o arcilla.

En pendientes mayores del 16% se deben construir vigas transversales de confinamiento a cada 5.0 m una de otra, hechas con concreto reforzado con  $f'c$  de 246 kg/cm<sup>2</sup>. Para detalles constructivos, Ver Sección 502 del Nic-2000, pág. 273-274.

### **5.2.2 Estudio de Tránsito**

Establecer medidas de control para la circulación vehicular sobre la vía en estudio, como señalización vial con el objetivo de evitar que vehículos fuera de diseño (que excedan el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.

Finalizada la construcción, se recomienda elaborar aforos de conteos vehiculares de manera periódica, así para llevar el control de su tasa de crecimiento vehicular para sus futuras mejoras.

Se recomienda hacer un estudio de pesos equivalentes con el tránsito que circulará en la vía, evitando que se excedan el límite de carga para que fue diseñada la estructura de pavimento y evitando pérdida acelerada de su carpeta de rodadura, como su daño prematuro.

Se deberá poner más señales de tránsito, esto con el propósito de brindar un mejor servicio a los vehículos que circulen por el camino.

### **5.2.3 Diseño de Estructura de Pavimento Articulado**

Se recomienda la verificación de los espesores y la compactación durante la etapa de construcción, la colocación de adoquines de 4 pulgadas para la carpeta de rodamiento y para la capa de base estabilizada debe ser de 7 pulgadas.

Se deberá implementar un mantenimiento rutinario que abarque: la reparación de pequeños defectos de la calzada, limpieza regular de la faja del derecho de vía cunetas, taludes laterales, bordes, etc.

En el tramo al momento de la realización del estudio, no se encontró agua freática. Sin embargo el estudio hidráulico debe considerar los tramos de llanura donde el camino sufre inundaciones en época de alta pluviosidad, para considerar los trabajos de remediación como pueden ser el levantamiento de rasante, drenajes longitudinales, transversales, etc.

## Capítulo VI: BIBLIOGRAFIA

- ⊕ Anuario de Aforos de tráfico año 2014. Emitido en Octubre del 2015. Dirección General de Vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- ⊕ Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes. Nic.-2000. Edición revisada y actualizada en Abril 2002. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- ⊕ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2<sup>da</sup> Edición. Ing. Alfonso Montejo.
- ⊕ Manual Centroamericano para Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2001.
- ⊕ Método de Diseño de Pavimento versión 1993 de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para pavimentos flexibles
- ⊕ Red vial de Nicaragua 2008 Emitido en Abril 2009. Dirección General de Vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- ⊕ Páginas de Internet:
  - ⊕ [www.bcn.gob.ni](http://www.bcn.gob.ni)
  - ⊕ [www.inifom.gob.ni](http://www.inifom.gob.ni)
  - ⊕ [www.mti.gob.ni](http://www.mti.gob.ni)
  - ⊕ [www.economialaprensa.gob.ni](http://www.economialaprensa.gob.ni)

### **Documentos consultados**

- ⊕ Documento de Geotécnica. Curso de Obras Viales. UNI. Dr. Oscar Gutiérrez.
- ⊕ Estudio Geotécnico. GEONIC.
- ⊕ Estudio de Tránsito. GEONIC.

### **Programa o software utilizado**

- ⊕ Software de la AASHTO 86 Pavement Design (American Concrete Associations Pavement Analysis Software)

