UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción.

Tesina:

"DISEÑAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUÍN) DE 1.67 KM DEL TRAMO DE CALLE PRINCIPAL EN LA COMUNIDAD DE AYAPAL EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE BOCAY, EN EL DEPARTAMENTO DE JINOTEGA*".*

Para Optar al Título de Ingeniero Civil

Presentada Por:

Br. Fernando Alcides Rodríguez Reyes

Tutor:

Msc. Ing. Jimmy Sierra Mercado

Managua, Nicaragua.

Managua, 4 de abril del 2016

.

Doctor
ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA
Decano
Facultad de Tecnología de la Construcción – UNI
Su Oficina.

Estimado Dr. Gutiérrez:

Por este medio tengo a bien informarle que la tesina que lleva por nombre:

"DISEÑAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUÍN) DE 1.67 KM DEL TRAMO DE CALLE PRINCIPAL EN LA COMUNIDAD DE AYAPAL EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE BOCAY, EN EL DEPARTAMENTO DE JINOTEGA", está lista para entrar en el proceso de defensa, la cual fue realizada por el Bachiller: **Fernando Alcides Rodríguez Reyes,** bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha tesina, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente,

_____

Ing. Jimmy Sierra Mercado.

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:

1)Br. Fernando Alcides Rodríguez Reyes

NOMBRE DEL CURSO:

Curso de Titulación de Obras Viales

NOMBRE DE LA TESINA:

Diseñar la estructura de pavimento articulado (adoquín) de 1.67 km del tramo de calle principal en la comunidad de Ayapal en el Municipio de San José de Bocay, en el departamento de Jinotega

ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA:

1) Estudio de Suelos.
2) Estudio de Tránsito.
3) Diseño de Pavimento

FECHA DE DEFENSA:

JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA:

1)
2)
3)

FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR: _____

DEDICATORIA

Dedico este proyecto especialmente a Dios, por haber estado en mi vida en todo momento y por haberme brindado la dicha de la salud, bienestar físico y espiritual para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre y familiares, por su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante mi formación tanto personal como profesional. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A mis docentes, por brindarme su guía y sabiduría. Por impulsar el desarrollo de mi formación profesional, en especial al Ing. Jimmy Sierra Mercado, por haber guiado el desarrollo de este trabajo.

Fernando Alcides Rodríguez Reyes.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por su bondad, por darme fuerza, sabiduría y coraje para hacer este sueño realidad.

A mi madre Jeannette Reyes, por brindarme su apoyo económico y moral durante todos estos años, por enseñarme todo el valor de la educación, que dentro de su preocupación me dio la posibilidad de cumplir mi meta.

Al Ingeniero Jimmy Sierra Mercado, por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas que han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesina, sino también en mi formación como Ingeniero.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindándome su apoyo incondicional.

Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional de mis padres, hermanos, amigos, compañeros y sin el estímulo de mis maestros. Esto es también su triunfo.

Fernando Alcides Rodríguez Reyes.

Índice

GENERALIDADES.....16

I.1 Resumen Ejecutivo.....1

I.2 Introducción 3

I.3 Antecedentes. 4

I.4 Justificación. 5

I.5 Objetivos. 6

I.6 Objetivos. 7

ESTUDIO GEOTECNICO.....9

II.1 Introducción 9

II.2 Características Geotécnicas 9

II.3 Trabajos de campo y laboratorio.....10

II.4 Sondeos Manuales sobre la línea (Trabajos de Campo):.....10

II.5 Resultados de los Ensayes de Laboratorio sobre la Línea 11

II.6 Sondeos del Banco de Préstamo 12

II.6.1 Ubicación del Banco de Préstamo 12

II.6.2 Estudio Realizado en el Banco de Préstamo.....12

II.7 Calculo del CBR de Diseño 15

II.7.1 Sub- rasante:.....15

ESTUDIO DE TRANSITO 18

III.1 Metodología.....18

III.2 Recopilación de Información.....18

III.3 Procesamiento de Datos.....19

III.4 Clasificación Vehicular.....20

III.5 Determinación de tasas de crecimiento. 21

III.6 Tasas de crecimiento Vehicular.....21

III.7 Producto Interno Bruto (PIB).....22

III.8 Tráfico de diseño. 24

III.9 Factor de Crecimiento (FC).....24

III.10 Periodo de Diseño (PD).....24

III.11 Factor Distribución Por Dirección (FD). 25

III.12 Factor Distribución Por Carril (fc).....26

III.13 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po). 26
III.14 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt). 26
III.15 Perdida de Serviciabilidad (ΔPSI). 27
III.16 Número Estructural Asumido (SN). 27
III.17 Factor de Equivalencia (F'ESAL). 27
III.18 Ejes Equivalentes (ESAL o W18). 27
DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 30
IV.1 Confiabilidad (R): 30
IV.2 Desviación Estándar (So): 30
IV.3 Coeficiente de Drenaje (m): 31
IV.4 Cálculo del CBR de diseño: 32
IV.5 Módulo de Resiliencia (MR): 32
IV.6 Coeficientes Estructurales 33
IV.7 Numero estructural requerido 35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 28
V.1 CONCLUSIONES 40
V.2 RECOMENDACIONES 42
V.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43
ANEXOS 36
VI.1 GLOSARIO I
VI.2 Abreviatura VI
VI.3 Anexos VIII

CAPITULO I:

GENERALIDADES.

I.1 Resumen Ejecutivo.

La presente tesina tiene como objetivo: diseñar la estructura de pavimento con adoquín del tramo de calle principal de 1.67 kilómetro, ubicado en la comunidad de Ayapal del municipio de San José de Bocay del Departamento de Jinotega, dicho tramo inicia en la entrada de Ayapal y finaliza hasta la Cotran de dicha comunidad.

Para lo antes descrito, se realizaron 19 sondeos de las cuales se analizaron los estudios de suelo de 38 muestras tomadas a lo largo de la vía en estudio, así como el estudio de tránsito y calculo de los espesores de la estructura de pavimento con carpeta de rodamiento de adoquín, aplicando el método de la AASHTO-93 y corroborando dichos resultados haciendo uso del programa: Pavement Analysis Software versión 3.3.

El trabajo se desarrolla en cuatro capítulos los cuales abordan:

CAPITULO 1: Generalidades. Se describen aspectos básicos del proyecto tales como introducción, descripción de la comunidad, antecedentes, justificación y objetivos.

CAPITULO 2: Análisis de estudio de suelos. Se examinan para conocer las características físico-mecánicas del suelo para la determinación de su utilidad en la vía como base, sub-base y sub-rasante, el mismo incluyen las muestras sobre la vía y los bancos de materiales. En estos se identifica: granulometría, índice de plasticidad, límite líquido, pesos unitarios, ensayo Próctor Estándar, ensayo Próctor modificado y ensayo CBR.

CAPITULO 3: Estudio de tránsito. Necesario para determinar el número ESAL´s, describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, proyección del tránsito, tasas de crecimiento, periodo de diseño, tránsito Inicial en el año 0, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril.

CAPITULO 4: Diseño de estructura de pavimento. Se realiza mediante el método de la AASHTO 93, y utilizando el programa de computación Pavement Analysis Software versión 3.3, aplicando 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: Producto del presente trabajo con el objetivo que sea de utilidad para la construcción del tramo en estudio.

ANEXOS: Se complementa toda la información utilizada en el desarrollo del proyecto.

I.2 Introducción

El presente trabajo corresponde a la elaboración de mi tesina de grado en la modalidad de Curso de Titulación de Obras Viales. Además, cabe destacar que el mejoramiento de caminos es de gran importancia para el desarrollo socioeconómico de nuestro país.

Es por ello que es de vital importancia para nuestra formación profesional el plasmar nuestros conocimientos con el diseño del adoquinado de 1.67 km del tramo de calle principal de la comunidad de Ayapal en el Municipio de San José de Bocay Departamento de Jinotega. Dichos conocimientos adquiridos en nuestra Alma Mater Universidad Nacional de Ingeniería mediante el apoyo de profesores, con la difusión científica de diferentes materias necesarias de la construcción vial.

Además de la gran importancia que representa la rehabilitación de esta calle para los habitantes de la comunidad y así tengan una mejor vía de transporte.

El proceso de adoquinado cabe en la clasificación de Pavimento Flexible (Pavimento articulado). 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 han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le trasmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura de pavimento.

Se consideró la problemática de la movilidad vehicular, realizando estudios para el diseño con el fin de efectuarse como un proyecto futuro para garantizar el acceso a importantes zonas con potencial agrícola y comercial de forma eficaz y segura. Al efectuarse el adoquinado se contribuirá a mejorar la economía nacional, minimizando los costos operativos del mantenimiento de los vehículos, promover la incorporación y exportación de producción a beneficio del Producto Interno Bruto (PIB) Nacional.

I.3 Antecedentes.

La calle principal de la comunidad de Ayapal, se encuentran en mal estado, ocasionado por la falta de una carpeta de rodamiento adecuada, la que requiere del mantenimiento, limpieza y mejoramiento en el sistema de drenaje longitudinal y transversal.

Actualmente la formación de pequeños baches en las calles ha ocasionado problemas de salud por la acumulación de aguas pluviales.

En Nicaragua en los últimos años, el pavimento de adoquín ha sido una solución de la necesidad de la mayoría de las ciudades y poblaciones en los cuatro puntos cardinales, tendiendo a mejorar el recubrimiento de la superficie de rodadura en las calles urbanas, lo que lleva a que las mismas alcancen un mejor desarrollo socioeconómico

El proyecto en mención se ha venido planteando como una necesidad presentada por los pobladores, líderes de la zona con el apoyo de la Alcaldía de San José de Bocay, y se identifica como un proyecto de alta prioridad.

El proyecto se localiza en el Casco Urbano de la cabecera de la zona urbana de Ayapal del Municipio de San José de Bocay, ubicado a 278 Kilómetros de la ciudad de Managua.

I.4 Justificación.

Durante los últimos años, con el desarrollo acelerado de la economía, el tránsito vehicular en poblaciones rurales ha crecido y el progreso esta estimulado a casi todos los rincones del país. Consecuencia de ella es que en la mayoría de la población se manifiesta una creciente propuesta por contar con calles en buenas condiciones de circulación, sin baches, polvos o lodazales que son muy frecuentes en temporada de invierno. Es por ello que surge la búsqueda de una solución óptima adecuada a la problemática de un adoquinado del tramo principal de 1.67 km de la comunidad de Ayapal.

Las autoridades municipales se han visto en la imperativa necesidad de encontrar soluciones viales y económicas que les permitan satisfacer los anhelos de su comunidad.

El tramo en estudio actualmente se encuentra en mal estado, no es favorable para el flujo vehicular y se necesita una nueva estructura de pavimento para dar seguridad y comodidad a los usuarios que harán uso de la vía.

Algunos de los problemas que se presentan en el camino actualmente son:

- Falta de una estructura adecuada que proteja la superficie de rodamiento y brinde seguridad a los usuarios.

- En estación lluviosa es difícil la circulación debido al desborde de las quebradas ubicadas transversalmente a la vía y tramos con charcos.

- El tramo de carretera en estudio es una vía que comunica tanto al sector rural como urbano del municipio, por tanto, el proyecto beneficiará a la población considerando la disminución en los costos de operación y mantenimiento vehicular, luego al sector agrícola y ganadero.

I.5 Objetivos.

I.5.1 Objetivo General:

- ✓ Diseñar espesores de capa de rodamiento para el tramo de calle principal de 1.67 km de adoquinado ubicado en la comunidad de Ayapal en el Municipio de San José de Bocay del Departamento de Jinotega.

I.5.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Analizar los estudios de suelos realizados a lo largo del tramo para la obtención de las características físicas y mecánicas de los suelos y el CBR de diseño.

- ✓ Realizar Aforo vehicular para la determinación de las cargas de ejes equivalentes que actuarán en la estructura de pavimento.

- ✓ Determinar los espesores requeridos para la Estructura de Pavimento articulado, utilizando el método de la AASTHO 93 y comprobando con el programa Pavement Analysis Software Versión 3.3.

I.6 Objetivos.

I.6.1 Macro localización.

El Proyecto de Adoquinado de las calles de la comunidad de Ayapal, se ubica geográficamente en la región central de Nicaragua, en el Departamento de Jinotega.

Figura N° 1: Mapa de Macro Localización, Comunidad de Ayapal.

Fuente: Google Earth.

I.6.2 Micro localización.

El tramo inicia en la entrada de la comunidad de Ayapal, y finaliza en la terminal de buses de la misma comunidad, con una distancia aproximada de 1.67 km de distancia. Es la calle principal de dicha comunidad. A lo largo de la zona del proyecto no hay comunidades indígenas, ni misquitos o mayagnas.

Figura N° 2: Mapa de Micro Localización, Comunidad de Ayapal.

Fuente: Google Earth.

CAPITULO II:

ESTUDIO GEOTECNICO.

II.1 Introducción

En este capítulo se presentan metodología, análisis de los ensayes de suelos (sobre la línea, bancos de materiales) realizados en el laboratorio:

Con el objetivo de conocer las propiedades físico mecánicas del suelo del tramo en estudio, tomando en cuenta algunos métodos de clasificación (Clasificación de los Suelos por el Método AASHTO Ver Anexo Tabla1 y Clasificación Unificada de los Suelos - SUCS), para establecer los tipos de suelo, por lo tanto, también establecer el dimensionamiento del pavimento apoyándonos en los parámetros encontrados en dicho análisis.

II.2 Características Geotécnicas

A partir de los niveles superficiales existentes del terreno al momento de la ejecución de los sondeos, los suelos encontrados a todo lo largo del proyecto, a ambos lados de la carretera actualmente en funcionamiento, corresponden mayoritariamente a gravas y arenas arcillosas o limosas y muy pocas corresponde a fragmentos de piedra grava y arena, superficialmente con clasificación A-2-6 Y A-1-a. Hacia abajo los materiales que componen el subsuelo están formados por arenas arcillosas, arenas limosas y arcillas con clasificación A-7-5, A-2-5

Las características de consistencia de los suelos A-2-5 son: Limite Liquido que varían de 41% a 65% y un índice de plasticidad de 10% a 25%. Sus partículas pasan 21% el tamiz No. 4 y un 9% el tamiz No. 200.

Las características de consistencia de los suelos A-2-6 son: Limite liquido es de 40% y un índice de plasticidad de 13%. Sus partículas pasan 34% el tamiz No. 4 y un 13% el tamiz No. 200.

Las características de consistencia de los suelos A-2-7 son: limite líquido que varían de 45% a 59% y un índice de plasticidad de 12% a 27%. Sus partículas pasan 73% el tamiz No.4 y un 24% el tamiz No. 200

Las características de consistencia de los suelos A-1-a son: limite líquido que varían de 27% a 51% y un índice de plasticidad de 6%. Sus partículas pasan 25% el tamiz No. 4 y un 17% el tamiz No. 200.

Los suelos A-7-5 tiene las siguientes características de consistencia: Limite Liquido que varían de 40% a 55% y un índice de plasticidad de 12% a 25%. Sus partículas pasan 34% 3l tamiz no. 4 y un 13% el tamiz No. 200

II.3 Trabajos de campo y laboratorio

El estudio geotécnico es una herramienta básica, tanto para el diseñador vial del proyecto como para el estructurista, ya que sus cálculos están basados directamente en los resultados que se obtienen de este estudio. A continuación, se detalla el alcance del estudio geotécnico, así como las recomendaciones derivadas del mismo.

II.4 Sondeos Manuales sobre la línea (Trabajos de Campo):

Las actividades de campo fueron realizadas por dos (2) cuadrillas de perforación, las cuales contaron con un equipo completo para la ejecución de los Pozos a Cielo Abierto (PCA) en el eje de la carretera existente.

Para evaluar la condición de la sub-rasante y para determinar la profundidad de los materiales a restituir o mejorar, se realizaron diecinueve (19) perforaciones manuales o pozos a cielo abierto, con profundidad mínima de 1.50 metros, localizadas aproximadamente cada 87 metros a lo largo de la vía, alternados a uno y otro lado del eje de la misma, clasificándose el material en el sitio a través de inspección visual - manual. Las muestras obtenidas en los sondeos fueron almacenadas en bolsas de plástico y/o en bolsas de lona dependiendo de las pruebas a realizar en ellas. Luego las muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde se les realizaron las pruebas de laboratorio requeridas para su identificación definitiva. Los pozos a cielo abierto se rellenaron inmediatamente después de recolectar las muestras para evitar accidentes y daños a la superficie de rodamiento.

II.5 Resultados de los Ensayes de Laboratorio sobre la Línea

De los 19 sondeos manuales ejecutados en la línea se obtuvieron 38 muestras de suelo, las cuales fueron trasladadas al laboratorio ver resultados en anexos tabla 2. Una vez trasladadas al laboratorio las muestras tomadas en el campo, se procedió a seleccionar los materiales similares. Finalmente, con las muestras clasificadas se formaron cinco (5) grupos afines de suelos con los que se realizaron los ensayes de CBR y Próctor necesarios para el estudio y para conocer sus propiedades, las cuales nos indicarán su potencial uso para la construcción de la carretera. Como parte de estas actividades, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio ver tabla 1; de conformidad con los Términos de Referencia del proyecto:

Tabla-1:Ensayos de laboratorio.

No.	Prueba	Ensayo o Norma ASTM o AASHTO
1	Análisis Granulométrico	ASTM D-422 ó ASSHTO T-88
2	Límite Líquido	ASTM D-423 ó ASSHTO T-89
3	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM D-424 ó ASSHTO T-90
4	Clasificación HRB	ASTM D-3282 ó ASSHTO T-145
5	Ensayos Próctor Estándar y Modificado	ASTM D-698 ó ASSHTO T-99 Y ASTM D-1557 ó AASHTO T-180
6	CBR	ASTM D-1883 ó ASSHTO T-193

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000

Los resultados de los ensayes de laboratorio obtenidos de las muestras tomadas de los sondeos PCA se muestran en forma tabulada al final de este capítulo.

Con los suelos antes descritos y de acuerdo a su clasificación y características similares, a los cuales se les realizaron ensayes de CBR. (Ver anexo tabla 2)

A continuación, se presenta una tabla mostrando los resultados de las pruebas de CBR obtenidos en el laboratorio:

Tabla-2: Resultados de CBR toda la línea

SONDEO	ESTACION	PROF.	MUESTRA	CBR	CLASIF.
				95%	H. R. B.
1	0+087	0-150	1	20	A-2-5
2	0+174	0-150	2	18	A-2-7
3	0+261	0-150	3	20	A-2-6
4	0+348	0-150	4	5	A-7-5
5	0+435	0-150	5	6	A-7-5
6	0+522	0-150	6	15	A-2-7
7	0+609	0-150	7	18	A-2-7
8	0+696	0-150	8	8	A-7-5
9	0+783	0-150	9	18	A-2-7
10	0+870	0-150	10	18	A-2-7
11	0+957	0-150	11	25	A-2-6
12	1+044	0-150	12	15	A-5
13	1+131	0-150	13	5	A-7-5
14	1+218	0-150	14	25	A-2-6
15	1+305	0-150	15	8	A-7-5
16	1+392	0-150	16	8	A-7-5
17	1+479	0-150	17	7	A-7-5
18	1+566	0-150	18	7	A-7-5
19	1+670	0-150	19	25	A-2-6

Fuente: Elaboración propia, ensayos realizados en Universidad Nacional de Ingeniería

II.6 Sondeos del Banco de Préstamo

II.6.1 Ubicación del Banco de Préstamo

El banco de préstamo que se han identificado para el proyecto se ubica a 10 km antes de llegar a Ayapal, en la comunidad de Awaswas pertenece al municipio de San José de Bocay.

II.6.2 Estudio Realizado en el Banco de Préstamo

Para determinar la calidad y uso específico de los materiales procedentes del banco, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio ver tabla 4, considerando siempre el aspecto ambiental y la adquisición de los derechos de vía.

Tabla-3: Ensayes de laboratorio aplicados Banco De Préstamo

No.	Prueba	Ensayo o Norma ASTM o AASHTO
1	Análisis Granulométrico	ASTM D-422 ó AASHTO T-88
2	Límite Líquido	ASTM D-423 ó AASHTO T-89
3	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM D-424 ó AASHTO T-90
4	Clasificación HRB	ASTM D-3282 ó AASHTO M-145
5	Proctor Estándar	ASTM D-698 ó ASSHTO T-99
6	Ensayo Prótor Modificado	ASTM D-1557 ó AASHTO T-180
7	Peso volumétrico y varillado	ASTM C-29 ó AASHTO T-19
8	CBR	ASTM D-1883 ó ASSHTO T-193

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000

MUESTRA NO.1

El material se clasifica dentro del grupo A-1-a con índice de grupo Cero. Está representado por un 67.36% de grava fina a gruesa, 1.72% de arenas y 0% de finos de baja plasticidad. Esta muestra posee un 0% de Índice Plástico y 0% de Límite Líquido, por ser material granular, según muestra proporcionada por el consultor.

MUESTRA NO.2

El material se clasifica dentro del grupo A-1-a con índice de grupo Cero. Está representado por un 66.20% de grava fina a gruesa, 2.30% de arenas y 0% de finos de baja plasticidad. Esta muestra posee un 0% de Índice Plástico y 0% de Límite Líquido, por ser material granular, según muestra proporcionada por el consultor.

MUESTRA NO.3

El material se clasifica dentro del grupo A-1-a con índice de grupo Cero. Está representado por un 68.50% de grava fina a gruesa, 1.80% de arenas y 0% de finos de baja plasticidad. Esta muestra posee un 0% de Índice Plástico y 0% de

Límite Líquido, por ser material granular, según muestra proporcionada por el consultor.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla resultados finales de la granulometría del banco de materiales. Ver tabla 4

Tabla-4: Ensayos de laboratorio de Banco de Materiales

Resultados de Ensayes de Laboratorio Banco de Material				
Granulometría (ASTM D-422)		**% en peso que pasa**		
Tamiz	**mm.**	**Muestra No.1 Corte ± 2.5 m.**	**Muestra No.2 Corte ±2.0 m.**	**Muestra No.3 Corte ±2.4 m,**
3"	75	100	100	100
2"	50	100	100	100
1½"	38.1	100	100	100
1"	25.0	100	100	100
¾"	19.0	100	100	100
3/8"	9.5	32.64	33.80	31.50
No.4	4.75	15.37	14.9	16.4
No.10	2.00	8.19	8.17	9.2
No.40	0.425	1.72	2.3	1.8
No.200	0.075	0	0	0
Limites de Atterberg				
Límite Líquido (%)		0	0	0
Limite Plástico (%)		0	0	0
Clasificación ASTM D-3282		A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Clasificación ASTM D-2487		SP	SP	SW
Peso Volumétrico Seco Suelto (kg/m³)		1,480	1,360	1,254
Densidad Seca Máxima (Kg/m³)		1,880	1789	1887
Humedad Óptima (%)		9.50	8.70	8.87
Factor de Abundamiento (%)		1.20	1.20	1.20

Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de CBR del banco de Materiales es apto para usarse como Base y Sub-Base ya que cumple con el porcentaje mínimo establecido por las Normas Generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000), en este caso ya que solo se obtuvo el CBR de un único banco de material solo se utilizará como material para Base

II.7 Calculo del CBR de Diseño

Es necesario recordar que el ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases, sub-base y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como "Relación de soporte" y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193.

II.7.1 Sub- rasante:

Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

En la tabla 5 se muestras las especificaciones para sub rasante.

Tabla-5: Especificaciones para terraplenes y materiales para sub rasante

No	Propiedades	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodologia
1	% de malla No 200	40 % max	30 % max	AASHTO T-11
2	Limite Liquido	40 % max	30 % max	AASHTO T-89
3	Indice Plastico	15 % max	10 % max	AASHTO T-90
4	CBR	10 % Min	20 % min.	AASHTO T-193
5	Compactacion	95 % min. Del peso volumetrico seco max. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-99)	95 % min. Del peso volumetrico seco max. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T-238

Fuente: especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000 sección. 203.11 (b), 1003.21, 1003.24

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR DE DISEÑO, el cual recomienda tomar un valor tal, que el 60%, el 75% o el 87.5%, de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que él, de acuerdo al tránsito que se espera que circule por el pavimento, como se muestra en la tabla 6

Tabla-6: Criterio del instituto de asfalto para determinar CBR de diseño

Numero de Ejes de 8.2 Tn en el carril de Diseño (N)	Percentil seleccionado para Diseño
Menor a 10,000.00	60
10,000.00 - 1,000,000.00	75
Mayor a 1,000,000.00	87.5

(Fuente Manual AASHTO-93 Design Requirements).

Para nuestro diseño se eligió el percentil 75 ya que el tránsito es: **7.35426*10^5 ver tabla capitulo II** rango como se presenta el capítulo de tránsito.

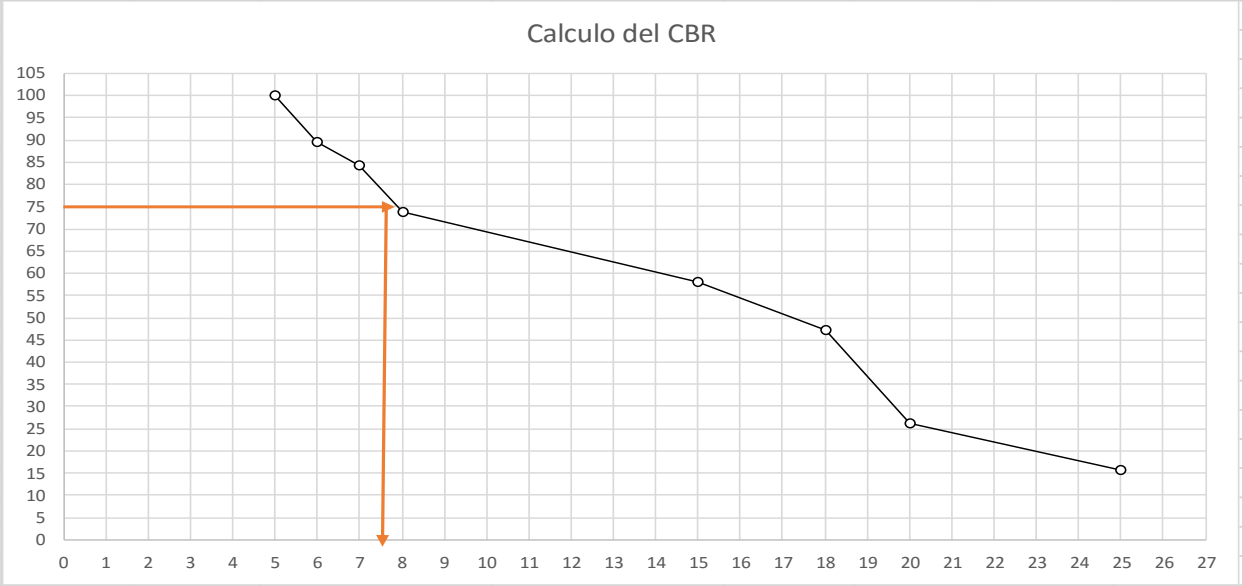
En la siguiente tabla 7 se muestra el cálculo del CBR de diseño del material dado que las muestras oscilan en 8 valores de CBR se procedió a calcular el CBR de diseño mediante estos 8 valores representativos los cuales se muestran en la tabla 7.

Tabla-7: Cálculo del CBR de Diseño

CBR	Numero de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
5	19	100
6	17	89.47
7	16	84.21
8	14	73.68
15	11	57.89
18	9	47.37
20	5	26.32
25	3	15.79

Fuente: Elaboración Propia

Grafico-1: Cálculo del CBR de diseño



Fuente: Elaboración Propia.

El resultado del CBR de diseño para la sub-rasante fue de 7.5%. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

CAPITULO III:

ESTUDIO DE TRANSITO

En este capítulo se realiza la proyección del tráfico actual de la vía, obtenido mediante un aforo vehicular, el cual se proyecta para 20 años. Tomando en cuenta que el tráfico es uno de los aspectos más significativos a considerar para el diseño de pavimentos y es a su vez una de las variables que presenta mayor incertidumbre al momento de estimarse, por lo tanto, se debe de contar con la información más precisa posible del tráfico para realizar el diseño, y obtener diseños seguros.

III.1 Metodología

En este estudio de tráfico se contemplan tres etapas claramente definidas:

Recopilación de datos: Se realizó por medio de aforos (Conteos Vehicular) realizado en un punto estratégico del tramo en estudio el cual consiste en medir el volumen de tráfico que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas. La recolección de datos se realizó durante 3 días de una semana, en las fechas del 10, 11 y 12 de diciembre del 2013 (martes, miércoles y jueves), ya que son los dos días más representativos de la semana.

Procesamiento de Datos: Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se aplicaron los diferentes métodos para obtener resultados precisos, utilizando para esto información TPDA histórico, factores de ajustes que aparecen en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2012.

Análisis de la información obtenida: En este proceso se usaron criterios (como análisis del TPDA, PIB, Población, Tasa Crecimiento), para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos.

III.2 Recopilación de Información.

Se realizó la ubicación de la estación de control, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tráfico vehicular, con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía ***(Ver Figura-3)***. La estación de Conteo se ubicó en un lugar estratégico y seguro que permitieron captar el tráfico del tramo en estudio. Ubicada a 100 mts de la entrada a la comunidad de Ayapal.

Figura-3: Ubicación del punto de conteo vehicular

Fuente: Google Maps.

La información fue recopilada diferenciando la composición vehicular, conforme a un formato específico. ***(Ver Anexo Tabla-3).*** El comportamiento del tráfico vehicular obtenido mediante el conteo de los mismos el día martes, miércoles y jueves en la Estación de Aforo, se muestra en el Anexo Tabla 6.

Para el día martes 10 – Diciembre – 2013.

Para el día miércoles 11 – Diciembre – 2013.

Para el día jueves 12 – Diciembre – 2013.

III.3 Procesamiento de Datos.

La tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo está procesada en el software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo. De la información recopilada de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de la calle principal de Ayapal por día y tipo de vehículo. (Ver Tabla-8).

Dado que el flujo vehicular se realizó en una muestra de tres días de una semana se requirió estimar el comportamiento anual del tránsito. Para obtener el TPDA fue necesario usar factores de ajustes diarios, semanal y de temporada que permitieron expandir el volumen de esa muestra del tramo. Para expandir de 12 horas al TPDA se utilizó la estación 5712, correspondiente al tramo empalme San

José de Bocay (La Chata)-San José de Bocay-Ayapal), dicha estación está asociada a la permanente 700: Emp. Camoapa – Tecolostote. Los factores de expansión fueron obtenidos de la Revista, Anuario de Aforo 2013 publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura – Dirección de Administración Vial (MTI-DAV). (Ver Anexo Figura-2.

Una vez obtenidos los Factores de Ajuste de la Estación, se tomó el Tránsito Promedio Diario y se le aplicaron dichos valores, siendo así este modificado. ***(Ver Tabla-8)***.

Tabla-8: TPD Tránsito Promedio Diario, Aplicando Factores de Ajuste.

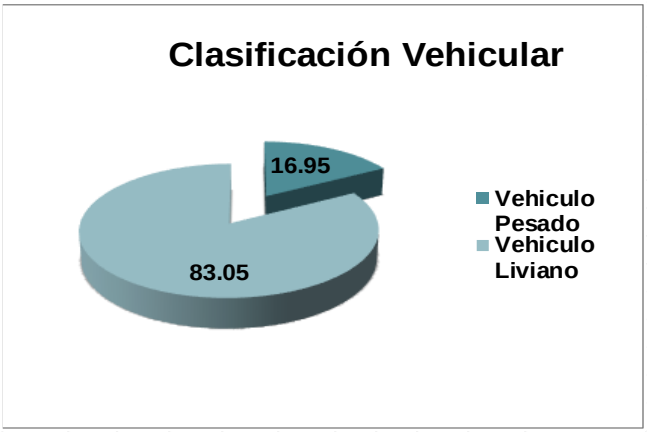
Grupo	Moto	vehiculo e pasajero					Vehiculo de carga			veh agricola
		Auto	jeep	camioneta	microbus >15	bus	c2 liviano	c2 > 5 ton	c3	
TPD	255	44	40	205	5	27	30	39	8	2
Factor dia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor Semana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor Temporada	0.89	0.93	0.91	0.96	1.47	0.98	0.94	0.86	0.79	1
TPDA	227	41	37	197	8	27	29	34	7	2
%TPDA	38.08%	6.35%	5.49%	32.76%	0.86%	4.12%	4.46%	5.15%	0.69%	0.17%

Fuente: Elaboración Propio.

III.4 Clasificación Vehicular.

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera obteniendo una composición vehicular del ***16.95% de Vehículos Pesados*** y un ***83.05% de Vehículos Livianos***. ***(Ver Gráfico-2).***

Gráfico-2: Clasificación Vehicular.



Fuente: Elaboración Propia.

III.5 Determinación de tasas de crecimiento.

Para determinar las tasas de crecimiento para el tráfico vehicular futuro para el tramo de calle principal de Ayapal, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA", el producto interno bruto "PIB", así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 10 años ***(Ver Anexo Tabla-7)***, donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2003 al año 2014. El PIB promedio del 2003 al 2012 es de ***112.15*** Millones de Córdobas, con una tasa de crecimiento promedio de ***4.76%.***

III.6 Tasas de crecimiento Vehicular.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas al tramo en estudio. Para el presente tramo de calle principal de Ayapal, se ha tomado los datos históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA" de la estación: 5712, correspondiente al tramo Emp. San José de Bocay (La chata)-San José de Bocay-Ayapal por ser la más cercana al tramo en estudio.

Considerando los registros históricos del tráfico vehicular de la estación: 700, se puede apreciar variaciones de crecimientos en las tasas, teniendo una tasa de crecimiento promedio en un ***1.05% (Ver Tabla-9).***

Tabla-9: Evolución TPDA de la Estación 700.

Año	TPDA	% crecimiento TPDA
1996	1083	
1997	1033	0.95%
1998	1080	1.05%
1999	1217	1.13%
2000	1211	1.00%
2001	1314	1.09%
2002	1298	0.99%
2003	1381	1.06%
2004	1501	1.09%
2005	1664	1.11%
2006	1794	1.08%
2007	1756	0.98%
2008	1737	0.99%
2009	2091	1.20%
2010	2097	1.00%
2011	2283	1.09%
2012	2511	1.10%
2013	2596	1.03%
Promedio		1.05%

Fuente: Anuario de los datos plasmados en el revista anuario de trafico del MTI – 2013

III.7 Producto Interno Bruto (PIB).

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

Tabla-10: Producto Interno Bruto.

Año	PIB (millones U$	% crecimiento PIB
2003	4101.5	1.87%
2004	4464.7	8.86%
2005	4872.0	9.12%
2006	5230.0	7.35%
2007	6786.3	29.76%
2008	7458.1	9.90%
2009	8491.4	13.86%
2010	8380.7	-1.30%
2011	8741.3	4.30%
2012	9755.6	11.60%
2013	10460.9	7.23%
Promedio		9.32%

Fuente: Estadísticas Microeconómicas, BCN, Anuario 2014.

Tabla-11: Crecimiento Poblacional.

Año	Tasa de Crecimiento (%)
2001	2.15
2002	2.1
2003	2.03
2004	1.97
2005	1.92
2006	1.89
2007	1.86
2008	1.82
2009	1.78
2010	1.74
Promedio TCP:	1.93

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar una tasa óptima para proyectar el tránsito en el tramo en estudio, realizamos un promedio de todas las tasas obtenidas dando como resultado una tasa con un **4.1%.**

III.8 Tráfico de diseño.

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará un tránsito de Diseño (*TD*) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

TD= *TPDA * FC * FD * fc *365*

III.9 Factor de Crecimiento (FC).

Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n*:* Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1+0.041)^{20} - 1}{0.041} = 30.08$$

III.10 Periodo de Diseño (PD).

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. A continuación, se presenta la ***Tabla-12.***

Tabla-12 Período de Diseño

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales Suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA)

El período de diseño varía entre los 10 y los 20 años, para el diseño se tomó un valor de 20 años.

III.11 Factor Distribución Por Dirección (FD).

Se expresa con la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor generalmente 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el transito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro. ***(Ver Tabla-13).***

Tabla-13 Factor distribución por dirección.

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA)

Como se puede observar el factor de distribución por dirección a usarse para el diseño es 0.50.

III.12 Factor Distribución Por Carril (fc).

Es el número de carriles por sentido para los cuales se está diseñando. En la ***Tabla-15*** que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

Tabla-14 Factor de distribución por carril.

Numero de carriles en cada direccion	% ESAL en el carril de diseño
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA)

Como se puede observar el factor de distribución por carril a usarse es 1.

III.13 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).

Es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos flexibles fue de 4.2 según el manual Centroamericano para el diseño de pavimento (SIECA, 2002) Capitulo 3 Pág. 4. En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semi-rigido del tramo de calle principal de Ayapal se asignó con un valor de Po=4.2

III.14 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).

Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de pt = 1.8-2.0 según Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos (SIECA, 2002) Capítulo 3 Pág. 4. En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semirrígido del tramo de calle principal de Ayapal se trabajó con un valor de **Pt=2.0.**

III.15 Perdida de Serviciabilidad (ΔPSI).

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final., calculado con la siguiente ecuación:

ΔPSI= Po – Pt

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semirrígido del tramo de calle principal de Ayapal se trabajó con un valor de:

ΔPSI= 4.2 – 2 ***ΔPSI = 2.2***

III.16 Número Estructural Asumido (SN).

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL 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 se selecciono el valor **SN=5.**

III.17 Factor de Equivalencia (F'ESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO-93 apéndice D ***(Ver Anexo Tabla-9)***, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (Pt=2.0), el número estructural asumido (SN=5) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia ***(F'ESAL Ver Anexo Tabla-10)*.** Si los pesos de los ejes no se encuentran en estas Tablas se deben de Interpolar dichos valores.

III.18 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

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

ESAL o W18= TD*F'ESAL

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación del tránsito de diseño ***(Como se ve en la Tabla 15)***, y luego se obtuvo el resultado de los Ejes equivalente (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos, tal como se muestra en la ***Tabla-16.***

Tabla-15: Transito de Diseño

Tipo de vehiculo	Transito Actual (2013)	Factor Crecimiento (FC)	Factor Carril (Fc)	Factor Direccion (FD)	Transito para el carril de diseño (TD)
Auto	41	10982.47	1	0.5	225140.63
jeep	37	10982.47	1	0.5	203175.69
camioneta	197	10982.47	1	0.5	1081773.25
Mbus>15	8	10982.47	1	0.5	43929.88
bus	27	10982.47	1	0.5	148263.34
c2 liviano	29	10982.47	1	0.5	159245.81
c2>5 ton	34	10982.47	1	0.5	186701.98
C3	7	10982.47	1	0.5	38438.64
veh. Agricola	2	10982.47	1	0.5	10982.47
Total					***2097651.68***

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo del ESAL'S del carril de diseño, para los pesos por eje los datos fueron tomados MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA - DIRECCION GENERAL DE VIALIDAD - DEPARTAMENTO DE PESOS Y DIMENSIONES, para vehículos livianos y vehículos pesados.

Tabla 16: Factor ESAL'S

Tipo de Vehiculo	Peso por eje (tn)	Peso por eje (kips)	Tipo de Eje	Factor Esal's	Transito de Diseño	Esal's de Diseño
Auto	1	2.2	SIMPLE	0.00038	225140.6252	85.55
	1	2.2	SIMPLE	0.00038		85.55
jeep	1	2.2	SIMPLE	0.00038	203175.6862	77.21
	1	2.2	SIMPLE	0.00038		77.21
camioneta	1	2.2	SIMPLE	0.00038	1081773.248	411.07
	2	4.4	SIMPLE	0.0034		3678.03
Mbus>15	3	6.6	SIMPLE	0.0156	43929.87809	685.31
	5	11	SIMPLE	0.1265		5557.13
bus	4.5	9.9	SIMPLE	0.0779	148263.3386	11549.71
	5	11	SIMPLE	0.1265		18755.31
c2 liviano	4.5	9.9	SIMPLE	0.79	159245.8081	125804.19
	5.5	12.1	SIMPLE	0.1822		29014.59
c2>5 ton	5	11	SIMPLE	0.1265	186701.9819	23617.80
	10	22	SIMPLE	2.35		438749.66
C3	5	11	SIMPLE	0.1265	38438.64333	4862.49
	16.5	36.3	TANDEM	1.4325		55063.36
veh. Agricola	4.5	9.9	SIMPLE	0.79	10982.46952	8676.15
	4.5	9.9	SIMPLE	0.79		8676.15
Total ESAL'S de Diseño						***735426.46***

Fuente: Elaboración Propia.

Para el Diseño de la carretera en estudio se obtuvo un valor ESAL de:

ESAL o W18 = 7.3542646*10^5

CAPÍTULO IV:

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En este capítulo se presenta el diseño de una estructura de pavimento semirrígido (adoquinado) por el método de la AASTHO 93 que es uno de los métodos que más se emplea en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento flexible; este método también es aplicable en el diseño de carreteras cuya superficie de rodadura está constituida por adoquines de concreto.

Para el Diseño de la Estructura de Pavimento semirrígido se deben de tener en cuenta las siguientes variables:

IV.1 Confiabilidad (R):

Función de la Confiabilidad del diseño o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

Tabla-17: Niveles de confiabilidad

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 Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Se recomiendan un valor de confiabilidad de **R=90%.**

IV.2 Desviación Estándar (So):

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, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de variación que existía en el Road Test y en base a las predicciones futuras del tránsito.

Tabla-18: Desviación Estándar para pavimento rígido y flexibles.

Condiciones de Diseño	Desvio Estandar
Variacion en la prediccion del comportamiento del pavimento sin errores en el transito	0.35 pavimento rigido
	0.44 pavimento flexible
Variacion en la prediccion del comportamiento del pavimento con errores en el transito	0.40 pavimento rigido
	0.49 pavimento flexible

Fuente Manual AASHTO-93 Design Requirements.

El valor seleccionado en nuestro Diseño es de So=0.44

IV.3 Coeficiente de Drenaje (m):

El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto importante a considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La calidad del drenaje está expresada en la fórmula del número estructural como (mi), éste coeficiente depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación.

Tabla-19: coeficientes de drenaje

Capacidad del drenaje para remover la humedad				
Calidad de drenaje	**Agua removida en**			
	50% saturación		**85% saturación**	
Excelente	2 horas		2 horas	
Bueno	1 día		2 a 5 horas	
Regular	1 semana		5 a 10 horas	
Pobre	1 mes		de 10 a 15 horas	
Malo	no drena		mayor a 15 horas	
Calidad del	**P = % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación**			
drenaje	**< 1%**	**1% - 5%**	**5% - 25%**	**>25%**
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - **0.80**	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.15 - 1.05	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.15 - 1.05	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente Manual AASHTO-93 Design Requirements

El valor asumido en este diseño fue de 1.00, ya que presenta una calidad de drenaje bueno y está expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación entre el 5 y el 25%.

IV.4 Cálculo del CBR de diseño:

Es necesario recordar que el ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras.

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y está normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193.

El CBR de diseño de la calle principal de Ayapal, es de 7.5%. Este se obtuvo con un percentil de 75%.

IV.5 Módulo de Resiliencia (MR):

La base para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método es el módulo 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.

Tomando en cuenta el valor del CBR, utilizaremos la siguiente ecuación para calcular el Modulo de Resiliencia de la Sub-rasante:

Tabla-20: coeficientes de drenaje

Valor de CBR	Consideración
CBR<10 %	$MR = 1{,}500 * CBR$
CBR > 10%	$MR = 4{,}326 * Ln(CBR) + 241$

Fuente Manual AASHTO-93 Design Requirements

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la Sub-Rasante de 7.5% utilizaremos el primer criterio para calcular el módulo resiliente de la Sub-Rasante, por tanto:

$$MR = 1500 * CBR$$

$$MR = 1500 * (7.5)$$

$$MR = 11250\ Psi$$

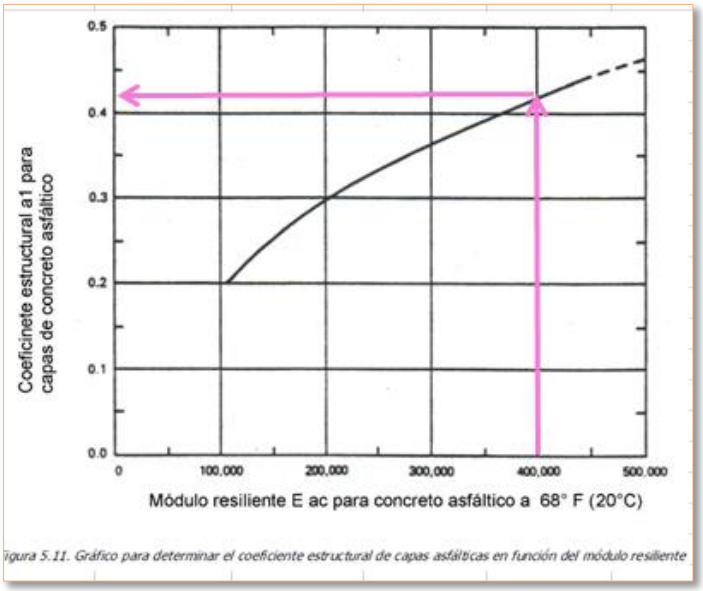
El módulo resiliente de la Sub-rasante es: **MR=11250 Psi**

IV.6 Coeficientes Estructurales

Es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento. Los coeficientes estructurales (a_1) que son empleados en el Método AASHTO 93, los cuales se utiliza en el diseño de la calle principal de Ayapal son los siguientes:

Para calcular el coeficiente estructural de las capas de rodamiento (adoquín) a_1, se considera que esta tendrá un módulo resiliente de 450,000.

Figura 4: Nomograma para el cálculo a_1 respecto al Módulo Resiliente



igura 5.11. Gráfico para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente

El coeficiente estructural a_1=0.41

El SN es un numero abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad final, y de las condiciones ambientales.

Para el cálculo del numero estructural SN_1 el espesor de adoquín estándar de 10 cm lo que equivale a 4 plg, entonces:

$$SN_1 = a_1 x D_1$$

$$SN_1 = (0.41) x (4plg)$$

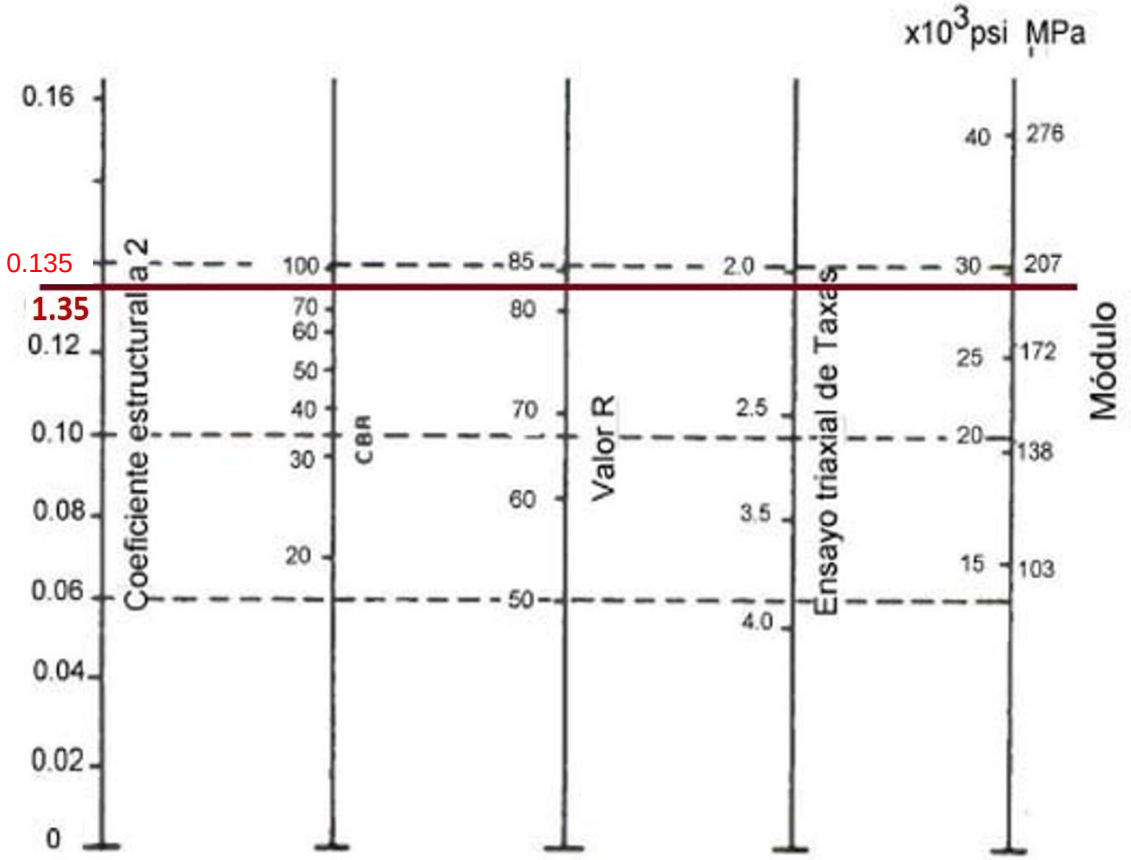
$$SN_1 = 1.64$$

El valor del coeficiente estructural de capa de base granular (a_2) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO, en el artículo 1003.03 de la NIC-2000 se especifica que el CBR del material a utilizar está por encima del 80% por lo tanto no es necesario utilizar base estabilizada con cemento, entonces:

$$a_2 = 0.135$$

$$MR = 28{,}500\ Psi$$

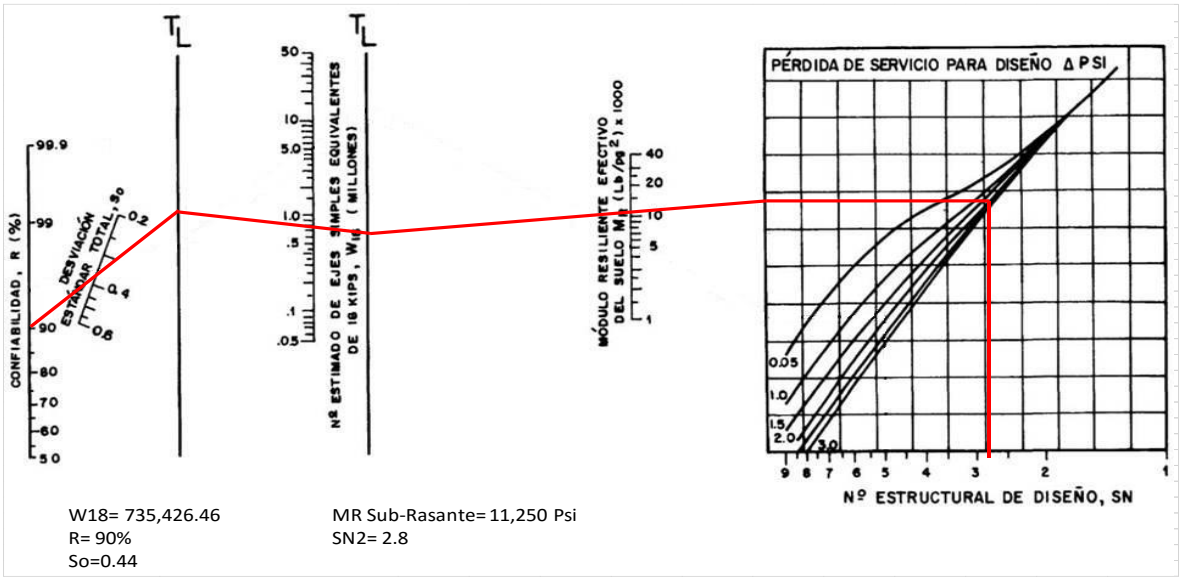
Figura 5: Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural a_2 y MR para la base granular.



IV.7 Numero estructural requerido

El numero estructural de cada capa de estructura de pavimento son empleados en el método de AASHTO 93, para la carpeta de rodamiento utilizaremos SN_1=1.64.

Figura 6: Cálculo del Número Estructural de diseño SN_{req} para la subrasante.



El numero estructural requerido según el nomograma es SN_{req}=2.8

El cálculo del espesor D_2 de la base se realiza con la siguiente ecuación:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1)}{a_2 x m_i} = \frac{2.8 - 1.64}{0.135x1} = 8.59 \approx 9 \rightarrow Cumple$$

Tabla-21: Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 - 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 - 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 - 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,0000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements).

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la estructura de pavimento de la calle principal de Ayapal quedará conformada de la siguiente manera:

Tabla-22: Estructura Final de Diseño

Capa	Material	Espesor	
		Pulgada (in)	Centímetro (cm)
Superficie de Rodamiento	Adoquín de f'c de 4,500 psi	4	10
Base	Material Selecto	9	10
Espesor total de la Estructura		13	20

Fuente: Elaboración Propia

Como alternativa y a manera de verificación, se calculan los valores de los espesores de las capas de la estructura de pavimento empleando el programa Pavement Analysis Software versión 3.3.

Los valores de los parámetros de entrada se muestran a continuación:

Grado de confiabilidad..... 90%

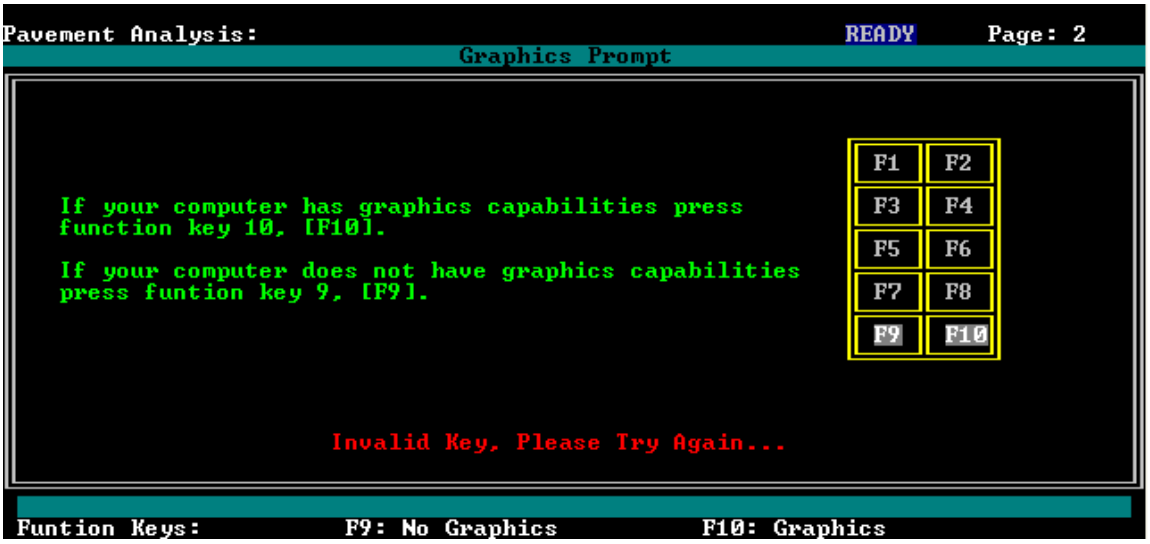
Desviación Estándar..... 0.44

Capacidad de Servicio Inicial..... 4.2

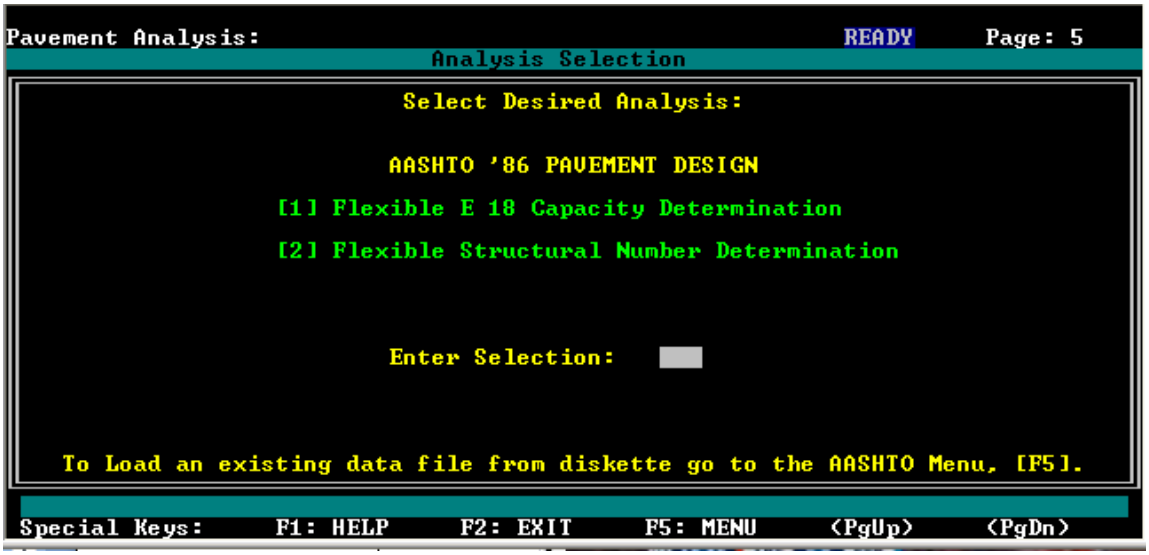
Capacidad de Servicio Final..... 2.0

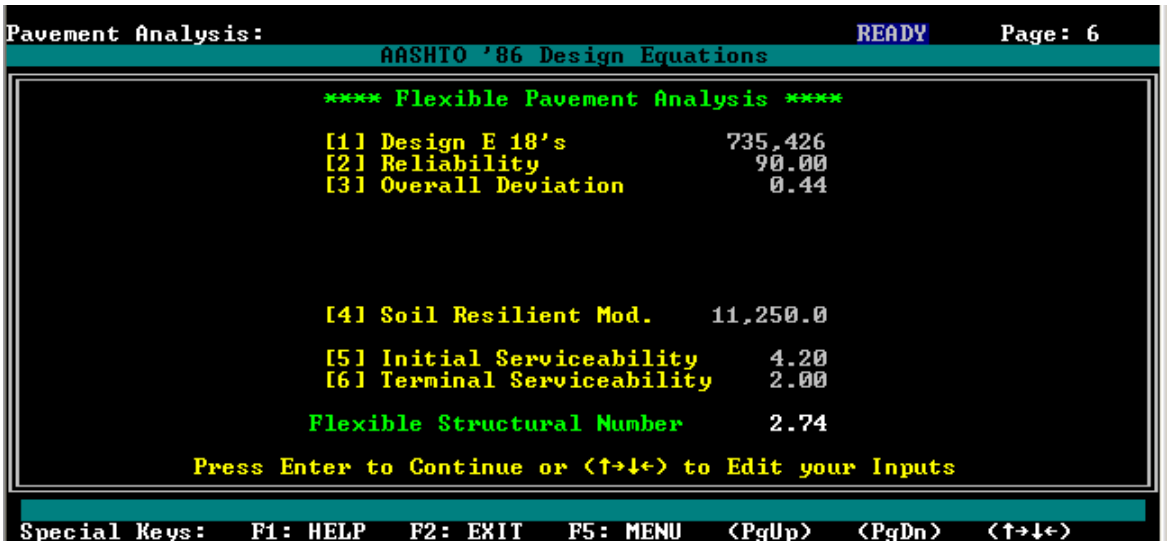
ESAL'S W18..... 735,426.46

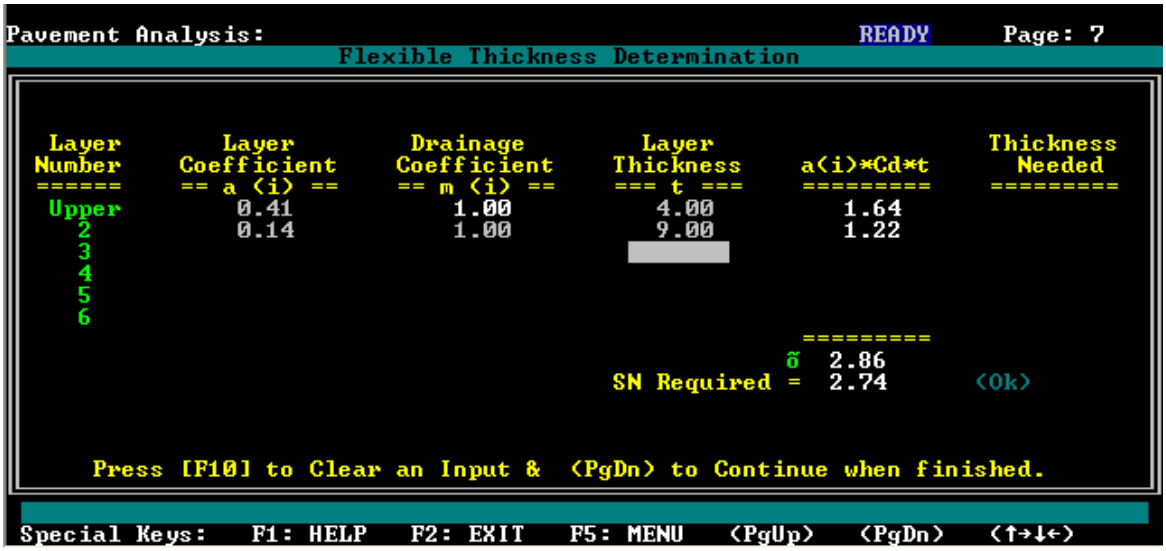
C.B.R. de Diseño..... 7.5%


Pavement Analysis:
READY
Page: 2
Graphics Prompt
If your computer has graphics capabilities press function key 10, [F10].
If your computer does not have graphics capabilities press funtion key 9, [F9].
F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8
F9
F10
Invalid Key, Please Try Again...
Funtion Keys:
F9: No Graphics
F10: Graphics

Pavement Analysis:
READY
Page: 3
Main Menu
AASHTO '86 PAVEMENT DESIGN
Select Desired Analysis:
[1] Rigid Pavement Analysis
[2] Flexible Pavement Analysis
[3] Both 1 & 2 (Split Screen)
[4] Traffic Conversion to E 18's
[5] Life-Cycle Cost Analysis
Enter Selection:
Special Keys:
F1: HELP
F2: EXIT


Pavement Analysis:
READY
Page: 5
Analysis Selection
Select Desired Analysis:
AASHTO '86 PAVEMENT DESIGN
[1] Flexible E 18 Capacity Determination
[2] Flexible Structural Number Determination
Enter Selection:
To Load an existing data file from diskette go to the AASHTO Menu, [F5].
Special Keys:
F1: HELP
F2: EXIT
F5: MENU
(PgUp)
(PgDn)


Pavement Analysis:
READY
Page: 6
AASHTO '86 Design Equations
**** Flexible Pavement Analysis ****
[1] Design E 18's 735,426
[2] Reliability 90.00
[3] Overall Deviation 0.44
[4] Soil Resilient Mod. 11,250.0
[5] Initial Serviceability 4.20
[6] Terminal Serviceability 2.00
Flexible Structural Number 2.74
Press Enter to Continue or (↑→↓←) to Edit your Inputs
Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU (PgUp) (PgDn) (↑→↓←)


Pavement Analysis:
READY
Page: 7
Flexible Thickness Determination
Layer Number
Layer Coefficient == a (i) ==
Drainage Coefficient == m (i) ==
Layer Thickness === t ===
a(i)*Cd*t
Thickness Needed
Upper 0.41 1.00 4.00 1.64
2 0.14 1.00 9.00 1.22
3
4
5
6
σ 2.86
SN Required = 2.74 (Ok)
Press [F10] to Clear an Input & (PgDn) to Continue when finished.
Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU (PgUp) (PgDn) (↑→↓←)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente se ha concluido que:

Para el ***Estudio geotécnico*** se realizaron 19 sondeos en los cuales se determinó que el suelo está compuesto en su mayoría de grava limosa con arena y de arenas limosas con gravas tipo A-2-4 (0) y A-1-a (0).

Todos los bancos analizados, en su parte más profunda luego del retiro de una considerable capa de descapote que en algunos casos es hasta de 2.5 m, disponen de material en su estado natural apto para ser usado en la capa de base del proyecto. Sin embargo, el proceso de explotación debe ser cuidadosamente supervisado para evitar la contaminación de los suelos buenos con otros que no son recomendados para las capas de la estructura de pavimento.

En el ***Estudio de tráfico,*** se obtuvo un TPDA = 609 vehículo/día, obtenido a partir del aforo realizado durante 3 días representativos de la semana (miércoles, jueves y viernes).

En base al TPDA se obtuvo una composición vehicular de: *16.95%* de Vehículos Pesados y un *83.05%* de Vehículos Livianos. Para la proyección del tráfico se utilizó una tasa de crecimiento del 4.1%, obtenida mediante el promedio del TDPA, PIB y Población, utilizando las variables de las tasas de crecimiento históricas. Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (*ESAL's) o W18 = 7.3542646*10^5.*

Diseño de pavimentos, Con la información procesada demuestra que no existe un buen suelo natural, por esta característica se procedió a diseñar utilizar una base que satisfaga la demanda vehicular a proyectarse hasta el año 2034.

La Guía AASHTO 1993, establece el criterio de espesores mínimos para el rodamiento y la base, en función de los ejes que soportará la estructura. La tabla cuadro muestra los espesores de capa mínimos como función de ESAL. En el tramo en estudio, el ESAL de diseño es de **735426.46** por lo que los espesores

mínimos recomendados son de 6” para la carpeta de la base granular. Los espesores resultantes fueron de 4’’ carpeta de rodamiento (adoquín en nuestro caso) y 9” base. Por lo cual estos valores cumplen con la normativa de Diseño de pavimentos AASHTO 1993.

V.2 RECOMENDACIONES

✓ En la elaboración de la capa base, se debe constatar que el material no este contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura.

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

✓ En la colocación de adoquines se debe realizar con mucho cuidado, no se debe colocar adoquines fisurados y deben de estar libres de cualquier otro material que lo contamine, el tamaño de los adoquines debe ser uniforme nada de irregularidades.

✓ Se recomienda cumplir con los espesores de diseño para garantizar una estructura adecuada y de buena calidad.

V.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (5ta edición). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

- ✓ Fonseca, A. M. (2011). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da.*

- ✓ Hoel, N. J. (2005). *Ingenería de Tránsito y carreteras.* Mexico: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

- ✓ Infraestructura, M. d. (2000). *Espeificadiones Técnicas NIC 2000.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

- ✓ Infraestructura, M. d. (2013). *Anuario de Trafico.* Managua: División de Administración Vial.

- ✓ SIECA. (2002). *Manual Centro Americano de Normas 2da.* Guatemala: Secretaria de la Integración Económica Centroamericana.

- ✓ SIMÓN, U. M. (2004). *Libro de pavimentos.* Argentina: UMSS – Facultad de Ciencias y Tecnología.

- ✓ Villalaz, C. (1976-1980). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones.* Monterrey - México: Limusa Noriega Editores.

ANEXOS

VI.1 GLOSARIO

A

ADOQUÍN: Es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos.

ARCILLA: Es un suelo o roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de rocas que contiene feldespato, como el granito.

B

BACHE: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

BACHEO: Actividad de mantenimiento rutinario que consiste en rellenar y compactar los baches o depresiones que pudieran presentarse en la superficie de rodadura.

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

BOMBEO: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

C

CALZADA: Sector de la carretera que sirve para la circulación de los vehículos.

CAMINO: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

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

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

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

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

CONFIABILIDAD: Está relacionado con la calidad y nivel de servicio.

CONFORMACIÓN: Configuración o forma particular de una cosa especialmente de una cosa inmaterial.

D

DENSIDAD: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

E

ENSAYO CBR: Es un ensayo de penetración o punzonamiento y además se mide el hinchamiento del suelo al sumergirlo durante 4 días en agua.

ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR: A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad.

G

GRABA: En geología y en construcción, se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros.

GRANULOMETRÍA: Es la medición y la graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria.

H

ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP): Es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico, por definición es la diferencia entre límite líquido y el límite plástico.

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD: Se define como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

L

LIMITE LÍQUIDO: Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. LIMOS: Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

N

NIVELES DE SERVICIO: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

O

OPTIMIZACIÓN: Es buscar la mejor manera de realizar una actividad.

P

PAVIMENTO: Es la base horizontal de una determinada construcción puede tener diversos tipos de revestimientos.

R

RASANTE: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

RED VIAL: Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (nacional, departamental o regional y vecinal o rural).

S

SUB BASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de base.

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

T

TALUDES: Acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montaña o cuencas de valles.

TAMIZ: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

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

V

VEHÍCULO: Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

VEHÍCULO LIVIANO DE USO PRIVADO (Ligero): Vehículo automotor de peso bruto hasta 1,5 t.

VEHÍCULO LIVIANO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

VEHÍCULO PESADO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t.

VELOCIDAD DE DISEÑO: Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto.

VÍA: Camino, arteria o calle.

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

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

VI.2 Abreviatura

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación.

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (Ing. American Society For Testing and Materials).

CBR: California Bearing Ratio.

CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad. Clasificación SUCS de los suelos.

ESAL: Ejes de Cargas Estándar Equivalentes.

FA: Factor Abundamiento.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor de Distribución Direccional.

FD: Factor de desperdicio.

Fc: Factor Carril.

GC: Grava arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

GM: Grava limosa. Clasificación SUCS de los suelos.

GP: Grava mal graduada. Clasificación SUCS de los suelos.

HRB: Highway Research Board. Sistema de clasificación de suelos ASTM.

IP: Índice de plasticidad.

LL: Limite líquido.

MEC: Modulo de elasticidad del concreto.

MTI: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

MR: Módulo Resiliente.

NP: No Plástico.

N°: Número.

PIB: Producto Interno Bruto.

SC: Arena arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

SM: Arena limosa. Clasificación SUCS de los suelos.

SN: Número estructural.

SP: Arena gravosa mal graduada. Clasificación SUCS de los suelos.

SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos).

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

TAC: Tasa Anual de Crecimiento.

TC: Tasa de crecimiento.

TPD: Tránsito Promedio Diario.

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

Ton: Toneladas.

VPD: Vehículos por día.

VI.3 Anexos

Tabla-1: Clasificación de los 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)			
Clasificación por Grupos y Sub-Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Análisis de Mallas, (%) que pasan por la: No. 10.... No. 40.... No. 200....	50 Máx. 30 Máx. 15 Máx.	50 Máx. 25 Máx.	51 Mín. 10 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.
Característica de la fracción que pasan la malla No. 40 Límite Líquido (%) Indice de Plasticidad (%)	6 Máx.		N.P	40 Máx. 10 Máx.	41 Máx. 10 Máx.	40 Máx. 11 Mín.	41 Mín. 11 Mín.	40 Máx. 10 Máx.	41 Mín. 10 Máx.	40 Máx. 11 Mín.	41 Mín. 11 Mín.
Indice de Grupo	0		0	0		4 Máx.		8 Máx.	12 Máx.	16 Máx.	20 Máx.
Tipos usuales de materiales constituyentres significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Grava y Arena Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación General como Sub-rasante	Excelente a Bueno					Regular a Pobre					
PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridps 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. El I.P. del sub-grupo A-7-5 es igual o menor que el LL. menos 30. El I.P. del sub-grupo A-7-6 es mayor que el LL. menos 30.											
IG = (F - 35) [`0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F - 15) (IP - 10)											

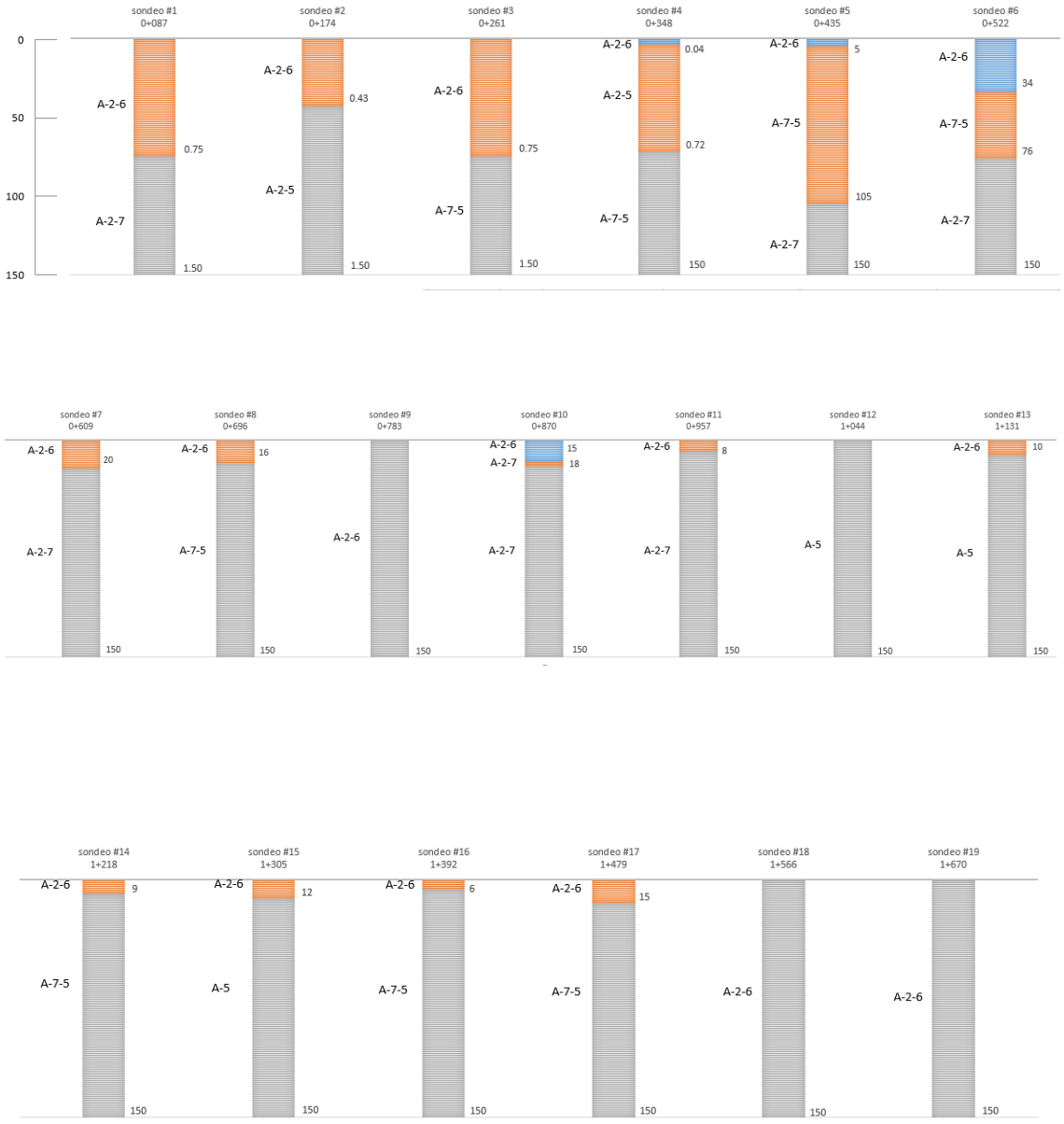
Fuente: Folleto de curso Geotecnia vial, Pág. 6. Dr. Oscar Gutiérrez

Fuente (Crespo Villalaz)

Tabla-2: Resultados de Ensayos de Laboratorio

Sondeo N°	Profundidad	Muestra N°	% que pasa por tamiz												Clasificacion		CBR a Compactacion		
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200	LL	IP	AASHTO	S.U.C.S	90%	95%	100%
1	0.00-0.75	1	100	95	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	10	20	25
	0.75-1.5	2	-	-	-	-	100	98	86	67	42	31	43	13	A-2-7 (0)	SM	10	15	20
2	0.00-0.43	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	18	24
	0.43-1.5	2	100	90	67	54	39	32	21	17	12	9	41	10	A-2-5 (0)	GW-GM	15	22	30
3	0.00-0.75	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	20	25
	0.75-1.5	2	-	100	99	98	94	89	66	64	55	48	65	25	A-7-5 (9)	GM	2	6	8
4	0.00-0.40	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	12	20	23
	0.40-0.72	2	100	90	67	54	39	32	21	17	12	9	41	10	A-2-5 (0)	GW-GM	15	23	29
	0.72-1.5	3	-	100	99	98	94	89	66	64	55	48	65	25	A-7-5 (9)	GM	3	5	7
5	0.00-0.50	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	21	24
	0.50-1.0	2	-	-	-	-	-	-	100	79	64	56	55	12	A-7-5 (6)	MH	3	6	7
	1.0-1.5	3	-	-	100	99	94	89	73	56	32	24	45	16	A-2-7 (0)	SM	10	16	20
6	0.00-0.34	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	10	19	25
	0.34-0.76	2	-	-	-	-	-	-	100	79	64	56	55	12	A-7-5 (6)	MH	3	7	8
	0.76-1.5	3	-	-	100	99	94	89	73	56	32	24	45	16	A-2-7 (0)	SM	11	15	20
7	0.00-0.5	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	12	19	24
	0.5-1.5	2	92	88	84	80	74	68	53	47	37	31	49	17	A-2-7 (1)	GM	13	18	20
8	0.00-0.16	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	18	23
	0.16-1.5	2	-	-	-	-	-	-	100	93	73	60	52	12	A-7-5 (7)	MH	3	8	9
9	0.00-1.5	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	13	18	22
10	0.00-0.15	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	19	24
	0.15-0.18	2	92	88	84	80	74	68	53	47	37	31	47	22	A-2-7 (1)	GM	11	18	20
	0.18-1.5	3	-	-	-	-	-	-	100	73	44	32	46	12	A-2-7 (0)	SM	10	16	19
11	0.00-0.75	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	12	25	27
	0.75-1.5	2	81	75	63	58	49	45	40	22	17	15	59	27	A-2-7 (0)	GM	10	15	20
12	0.00-1.5	1	79	70	58	52	44	39	25	13	10	9	51	6	A-5 (1)	SM	8	15	16
13	0.00-0.1	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	12	14	23
	0.1-1.5	2	-	-	-	-	-	-	100	63	46	39	47	8	A-5 (1)	SM	4	5	13
14	0.00-0.75	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	10	25	27
	0.75-1.5	2	-	-	-	-	-	-	100	81	63	48	61	17	A-7-5 (6)	SM	2	6	8
15	0.00-0.12	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	11	17	23
	0.12-1.5	2	100	92	75	67	57	51	41	37	27	17	27	6	A-5 (1)	GC-GM	7	8	10
16	0.00-0.75	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	14	17	23
	0.75-1.5	2	-	-	-	-	-	-	100	89	59	43	50	15	A-7-5 (4)	SM	4	7	8
17	0.00-0.15	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	10	16	25
	0.15-1.5	2	-	-	-	-	-	-	100	89	59	43	50	15	A-7-5 (4)	SM	5	7	8
18	0.00-1.5	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	6	7	13
19	0.00-1.5	1	100	94	81	73	57	48	34	27	18	13	40	13	A-2-6 (0)	GM	20	25	27

Figura-1: Estratigrafía de la vía (Profundidades expresadas en centímetros).



X

Tabla-3: Formato conteo vehicular

San José de Bocay				Estacion de Conteo: Ayapal														Dia:			
	Hora	Bic	Moto	Vehiculos Livianos			Pesados de Pasajero			Pesados de Carga							Otros	Veh Pesados		Suma
				Autos	Jeep	Camionetas PicK UPs	M bus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R2	T3S2	T3S3		Veh. Agric	Veh. Const	
1	06:00 - 07:00																			
2	07:00 - 08:00																			
3	08:00 - 9:00																			
4	09:00 - 10:00																			
5	10:00-11:00																			
6	11:00-12:00																			
7	12:00-01:00																			
8	01:00-02:00																			
9	02:00-03:00																			
10	03:00-04:00																			
11	04:00-05:00																			
12	05:00-06:00																			
Sumatoria Vpd																				

Fuente elaboración propia

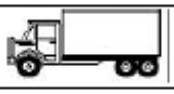
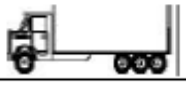
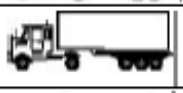
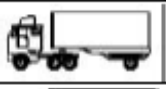
Figura-2 Factores de ajustes Estacion 700 Emp. Camoapa - tecolostote

Camino:	Nic-7	Estación:	700	Tramo:	Emp. Camoapa - Tecolostote.			Periodo	S	Días:	7	Horas:		Mes/Año	Noviembre	2012	Km:	95.430
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)	205	438	213	723	56	4	152	275	399	57	1	178	7				3	2711
Factor Dia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Factor Semana	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Factor Ajuste	0.89	0.93	0.91	0.96	1.04	1.47	0.98	0.94	0.86	0.79	1.24	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.38	
TPDA Sep-Dic	182	407	194	694	58	6	150	260	344	45	1	164	7				4	**2516**
% TPDA	7.26	16.23	7.74	27.68	2.31	0.24	5.98	10.37	13.72	1.79	0.04	6.54	0.28				0.16	100
% Vehículos Livianos				61.25%				**% Vehículos Pesados**				38.59%					0.16%	100%

Fuente: anuario de trafico 2013 ministerio transporte e infraestructura(MTI)

Figura – 3: Diagrama de Vehículos Pesados.

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2 11		4.50	9.00					13.50
C3 12		5.00	**16.00**					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	**20.00**					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	**16.00**				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	**20.00**				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	**16.00**		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	**16.00**		**16.00**			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	**16.00**		**20.00**			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50 4.50	9.00 9.00	4.0 a 6.5 b	4.0 a 6.5 b			21.50 26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00 5.00	**16.00** 8.00	8.00	4.0 a 6.5 b	4.0 a 6.5 b		29.00 34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00 5.00	**16.00** 8.0 b	8.0 b	4.0 a 6.5 b	5.0 a 5.0 b	5.0 a 5.0 b	35.00 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 vial (MTI))

Tabla-4 Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Simples

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

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

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Tabla-5: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje		SN	pulg	(mm)			
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.