



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**DISEÑO DE 1.5 KM DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR
EL MÉTODO AASHTO - 93, DEL TRAMO DE CARRETERA EL CIPIÓN –
MIRAMAR, EN EL MUNICIPIO DE LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE
MADRIZ.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Ervin Antonio Jiménez Zavala

Br. Joan Luis Zelaya Cáceres

Tutor

Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña

Managua, Noviembre 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.041
Managua, enero 27 del 2016

Bachilleres
ERVIN ANTONIO JIMENEZ ZAVALA
JOAN LUIS ZELAYA CACERES
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado "DISEÑO DE 1.5 KM DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR EL METODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE CARRETERA EL CIPIAN - MIRAMAR, EN EL MUNICIPIO DE LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el MSc.Ing. ORLANDO LOPEZ PEÑA, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 27 de junio del 2016.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary

Managua 30 de Noviembre del 2016

Dr. Oscar Gutiérrez Somarribas

Decano Facultad de Tecnología de la Construcción

Universidad Nacional de Ingeniería

Estimado Dr. Somarribas por medio de la presente me dirijo a usted deseándole éxitos en sus tareas diarias, aprovecho la oportunidad para comunicarle que he dado seguimiento al trabajo de tesina titulado “**DISEÑO DE 1.5 KM DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR EL METODO AASHTO 93 DEL TRAMO DE CARRETERA EL CIPIAN-MARAMAR, EN EL MUNICIPIO DE LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ**” elaborado por los Bachilleres: Ervin Antonio Jiménez Zavala y Joan Luis Zelaya Cáceres.

Una vez revisado considero está en condiciones adecuadas para ser sometida a la evaluación final del honorable tribunal examinador que se ha nombrado para tal efecto.

Sin más a que hacer referencia le saluda

Atentamente

Msc. Orlando López Peña

Tutor.

CC: interesados

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) Ervin Antonio Jiménez Zavala 2) Joan Luis Zelaya Cáceres
NOMBRE DEL CURSO: Curso de Obras Horizontales
NOMBRE DE LA TESINA: Diseño de 1.5 km de estructura de pavimento articulado, por el método AASHTO - 93, del tramo de carretera El Cipián – Miramar, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz.
ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA: 1) Estudios de Suelos 2) Estudios de Tránsito 3) Diseño de Estructura de Pavimento Articulado
FECHA DE DEFENSA:
VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR -----

CC: Archivo

DEDICATORIA

A DIOS:

Dedico primeramente a Dios la presentación de este trabajo final para la culminación de mi carrera universitaria porque gracias a él son posibles todas nuestras metas que nos proponemos a diario; le agradezco por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr todos mis objetivos además de su infinita bondad amor y toda la fuerza necesaria de la dicha del bienestar físico y espiritual el cual me permitió terminar mi tesina como trabajo final y esto darme la oportunidad de ser un profesional para ayudar al desarrollo de nuestro país.

A MIS PADRES:

También dedico esta tesina a mis padres María de los Ángeles Matute y Adolfo Castellanos Matute por haberme apoyado en todo momento por sus consejos, por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me han infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante pero más que nada por su amor incondicional.

A MI HERMANA:

A mi hermana Karla Danelia Castellanos Matute por ser ejemplo de una hermana mayor, la cual fue mi mayor apoyo en todos los momentos difíciles que pase y por enseñarme a salir adelante en cada momento que se nos presente en la vida.

A mis demás familiares quienes han sido personas incondicionales a lo largo de nuestras vidas, dándonos todo su amor, consejos y dedicación.

Gracias a mis docentes que dedicaron cada uno de su tiempo en un salón de clase y a mi Tutor, Msc.Ing. Orlando López Peña por dedicarme parte de su tiempo y compartir sus conocimientos para orientarme y corregir los errores en la realización de este trabajo de tesina.

Br. Ervin Antonio Jiménez Zavala

DEDICATORIA

A DIOS:

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria A Dios sobre todas las cosas, por brindarme la dicha del bienestar físico y espiritual. Por ser quien ha estado a mi lado en todo momento, dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten.

A MI MADRE:

Consuelo del Socorro Cáceres Vílchez como agradecimiento a su esfuerzo, amor y apoyo desmedido, ya que gracias a ella soy quien soy hoy en día, y que durante mi formación tanto personal como profesional inspiraron valor para seguir adelante sin temor a nuevos retos.

A mi familia quienes han sido personas incondicionales a lo largo de mi vida, dándome todo su amor, consejos y dedicación.

Gracias a nuestros docentes, Tutor, Msc.Ing. Orlando López Peña por dedicarnos parte de su tiempo y compartir sus conocimientos para orientarnos y corregir los errores en la realización de este trabajo de tesina.

Br. Joan Luis Zelaya Cáceres

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Agradecemos a nuestro señor Jesucristo por mostrarnos siempre el camino del bien, por su protección y por darnos la fortaleza necesaria para superar todos los obstáculos que se nos han presentado en todos los momentos más difíciles de nuestras vidas

A NUESTROS PADRES:

Por ser personas responsables que nos brindaron siempre su apoyo psicológicamente y económicamente para cumplir nuestro sueño de terminar la carrera de ingeniería civil.

A NUESTROS DOCENTES:

Msc. Ing. Orlando López Peña porque nos brindó su apoyo corrigiendo los errores de nuestra tesina para poder nosotros culminar la carrera.

A LA ALCALDIA:

Por habernos facilitado la información necesaria que nos ayudó bastante tanto en la realización de nuestro trabajo como económicamente.

A NUESTRA UNIVERSIDAD

Por ser una universidad prestigiosa por tener una sede en la región norte y por lo tanto muchos estudiantes de escasos recursos económicos tienen la oportunidad al igual que nosotros de estudiar la carrera de su sueño.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “**Diseño de 1.5 Km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, del tramo de carretera El Cipián - Miramar, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz**”; presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método AASHTO-93.

En este trabajo se abordaron cinco capítulos; donde cada uno está constituido por un tema específico.

Capítulo I ASPECTOS GENERALES: Este capítulo aborda las generalidades del tema; tales como: introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo II ESTUDIO DE SUELOS: Se presenta la información sobre el estudio de suelo; donde se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base, que soportará las cargas a las que será sometida, e inducida por la cantidad de ejes equivalentes de diseño, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

Capítulo III ESTUDIO DE TRÁNSITO: En este se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, 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, tasas de crecimiento, período de diseño, proyección del tránsito, tránsito Inicial en el año cero, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n, número de año en el período de diseño, cálculo del número ESALs.

Capítulo IV DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

En este capítulo se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño; el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliente y el valor de los coeficientes estructurales. Comprende el diseño de pavimento semi flexible; de forma manual, en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento.

CAPÍTULO V: 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.

INDICE GENERAL

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación.....	3
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo General	4
1.4.2	Objetivos Específicos.....	4
1.5	Ubicación y localización del proyecto.....	5
1.5.1	Macro localización	5
1.5.2	Micro localización.....	6
1.6	Clima, flora y fauna característica del municipio de Las Sabanas	6

CAPITULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1	Estudio de suelo.....	8
2.1.1	Suelo.....	8
2.1.2	Meteorización.....	8
2.1.3	Las propiedades físico-mecánicas.....	8
2.1.4	Trabajo de campo	10
2.1.4.1	Sondeos de línea	10
2.1.5	Actividades de laboratorio.....	10
2.1.5.1	Ensayo CBR	14
2.1.6	Resultados de fuente de materiales.....	16
2.1.6.1	Resultados de ensayos a muestras de fuentes de materiales... ..	16
2.2	Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento	18
2.2.1	Superficie de rodamiento	18
2.2.2	Base.....	19
2.2.3	Sub – base.....	20
2.2.4	Sub – rasante.....	21

CAPITULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1	Estudio de tránsito.....	23
3.1.1	Volumen de tránsito	23
3.1.2	Aforos vehiculares	23
3.1.3	Capacidad de la vía	23
3.1.4	Análisis de cargas equivalentes.....	24
3.1.5	El tránsito.....	24
3.1.6	Recopilación de datos.....	24
3.1.6.1	Clasificación vehicular	24
3.1.6.1.1	Vehículos de pasajeros.....	25
3.1.6.1.2	Vehículos de carga	25
3.1.6.1.3	Equipo pesado.....	25
3.2	Estudios de campo.....	25
3.2.1	Volumen de tránsito	25
3.2.2	Expansión a 24.0 Horas.....	26
3.3	Tránsito promedio diario semanal	29
3.4	Tránsito promedio diario anual (TPDA)	30
3.5	Proyección del tránsito	32
3.5.1	Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	32
3.5.2	Crecimiento poblacional.....	32
3.5.3	Crecimiento vehicular	33
3.5.4	Producto interno bruto (PIB)	34
3.6	Tránsito de diseño.....	35
3.6.1	Período de diseño (N).....	35
3.6.2	Factor direccional (FD).....	35
3.6.3	Factor de crecimiento (FC)	36
3.6.4	Factor de distribución por carril.....	37
3.6.5	Determinación del tránsito de diseño.....	37

CAPITULO IV DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

4.1	Introducción.....	41
4.2	Criterios del método AASHTO 93 para cálculo de espesores	41

4.3	Variables de diseño	42
4.3.1	Índice de serviciabilidad	42
4.3.1.1	Serviciabilidad inicial:	42
4.3.1.2	Serviciabilidad final:	42
4.3.2	Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI).....	43
4.3.3	Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento..	43
4.3.4	Confiabilidad (R)	46
4.3.5	Desviación estándar (S0).....	47
4.3.6	Coeficiente de drenaje	48
4.3.7	Propiedades de los materiales.....	49
4.3.7.1	Determinación del CBR de diseño (En suelos).....	49
4.3.7.2	Módulo Resiliente (MR).....	51
4.3.8	Coeficientes estructurales de capa	52
4.3.9	Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1	53
4.3.10	Coeficiente estructural para base granular a2	53
4.4	Calculo de espesores	53
4.4.1	Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)	54
4.5	Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción	55
4.6	Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software", Pavement Desingend Analysis, versión 3.3. .	57

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	59
Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Sondeos Efectuados.....	10
Tabla 2. Ensayos de laboratorios	11
Tabla 3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos	11
Tabla 4. Estratigrafía del suelo.....	13
Tabla 5. Valores de CBR de los suelos encontrados en los sondeos realizados	14
Tabla 6. Banco de material investigado.....	16
Tabla 7. Resultados de ensayos de laboratorio de las fuente de material	17
Tabla 8. Especificaciones de materiales para base granular	19
Tabla 9. Granulometría para base.....	19
Tabla 10. Especificaciones de materiales para sub-base.....	20
Tabla 11. Granulometría para sub-base.....	20
Tabla 12. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub- rasante	21
Tabla 13. Aforo vehicular de 12 horas en ambos sentidos, del 14 al 20 de marzo, 2016	26
Tabla 14. Factores de ajustes de la estación 7703 del tramo: San Lucas – Las Sabanas	27
Tabla 15. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos de lunes 14 al domingo 20 de marzo del año 2016	28
Tabla 16. TPS para cada tipo de vehículo de 24 horas del 14 al 20 de marzo del año 2016	29
Tabla 17. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) 2016	31
Tabla 18. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020) de Madriz	32
Tabla 19. Datos históricos del TPDA.....	33
Tabla 20. Producto interno bruto (PIB).....	34
Tabla 21. Período de diseño (N).....	35

Tabla 22. Factor de distribución por dirección (FD)	36
Tabla 23. Factor de distribución por carril	37
Tabla 24. Tránsito proyectado, para el tramo, El Cipián - Miramar al año 2036.	38
Tabla 25. Tránsito de diseño para el tramo: El Cipián - Miramar.....	39
Tabla 26. Valor de la serviciabilidad final	43
Tabla 27. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)	46
Tabla 28. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.....	47
Tabla 29. Desviación estándar para pavimentos flexibles.....	48
Tabla 30. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	48
Tabla 31. Valores de CBR para diseño	49
Tabla 32. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño. ..	50
Tabla 33. Cálculo para determinar el CBR de diseño.....	50
Tabla 34. Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito son los siguientes:.....	55
Tabla 35. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Localización general del proyecto, Carretera Las Sabanas – San Jose de Cusmapa	II
Anexo 2. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	III
Anexo 3. Clasificación unificada de suelos, según SUCS	IV
Anexo 4. Correlación entre el tipo de material, CBR y K	V
Anexo 5. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos	VI
Anexo 6. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control ..	VII
Anexo 7. Diagrama de cargas permisibles	VIII

Anexo 8. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $\rho_t = 2$, SN= 5	IX
Anexo 9. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem, $\rho_t = 2$, SN= 5	X
Anexo 10. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles	XI
Anexo 11. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes	XII

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El municipio de Las Sabanas, ha experimentado en los últimos años un considerable crecimiento poblacional, la vía principal de acceso es el colector que proviene de Somoto, pasa por el casco urbano y se prolonga hasta el municipio vecino de San José de Cusmapa. El gobierno central y el alcalde de este municipio, en la caracterización municipal han identificado que una de las principales demandas es la construcción de la carretera principal ya que esta desde hace setenta años no ha recibido mantenimiento alguno, es de vital importancia para poder sacar la cosecha para su comercialización, como para el desarrollo del turismo rural.

En este trabajo de tesina, se aborda el diseño de uno 1.5 Km de pavimento articulado por el método AASHTO – 93, del tramo de carretera El Cipián Miramar, en el municipio de Las Sabanas; siendo a través de esta vía, que se comunica con los municipios de San Lucas y Somoto por el norte y con el municipio de San José de Cusmapa por el sur, lo que la hace funcionar como un corredor en la comunicación entre todos ellos; beneficiando a los siete mil habitantes de este municipio de manera directa.

La clasificación funcional de la vía según el Manual Centroamericano (SIECA) esta se clasifica como colectora rural. Este tipo de carreteras generalmente sirve al tránsito con distancias relativas, que se mueve entre, pueblos y comunidades.

1.2 Antecedentes

El municipio de Las Sabanas fue fundado en el año 1940; su red de comunicación vial inicialmente eran caminos muy angostos, con acceso únicamente para semovientes y personas a pie; posteriormente por la necesidad de movilizarse hacia la cabecera del departamento de Madriz, se construye una trocha con mano de obra de sus pobladores, la que funciona en todo tiempo y que de acuerdo al crecimiento de la población y la producción, se ha llegado a la red vial actual.

El municipio de Las Sabanas, se ubica en el departamento de Madriz, actualmente cuenta con una red vial de 51.79 km entre caminos revestidos y de tiempo seco. La mayor parte de los caminos se encuentra en regular estado con poco o ningún mantenimiento.

La carretera Las Sabanas – San José de Cusmapa es un camino revestido transitable en todo tiempo, con superficie de rodadura de material selecto. Se ubica en el municipio de Las Sabanas; de acuerdo a la clasificación funcional del MTI, es una colectora secundaria.

El tramo en estudio que pertenece a la carretera Las Sabanas – San José de Cusmapa, está en malas condiciones, la erosión y las lluvias en el invierno dificultan el acceso, no existe señalización vial, existen sitios donde el agua ha deteriorado la superficie de rodadura, siendo los daños más visibles los huecos, huellas en forma de surcos.

Todo lo anterior da lugar a que las condiciones de circulación vehicular sean desfavorables, dificultando a los productores sacar sus cosechas, y puedan comercializarlas en los mercados locales.

1.3 Justificación

Actualmente se está gestionando el financiamiento para llevar a cabo la construcción del tramo Las Sabanas – San José de Cusmapa, el cual incluye nuestro tramo en estudio, lo que permitirá una utilización óptima del camino rural, de una forma sostenida, ajustándose de esta manera a las posibilidades económicas y constructivas del país.

Con la ejecución de este proyecto se crearán oportunidades de trabajo para la población local, ya que por la naturaleza de éste se requerirá de mano de obra no especializada, por lo que indudablemente estas obras tendrán un gran impacto económico y social en esta área, por las características de esta zona que es eminentemente agrícola.

La importancia de este proyecto está vinculada estrechamente con los objetivos, políticas y estrategias que el gobierno está impulsando como es el de mejorar la infraestructura de apoyo al sector productivo, con el que se podrá beneficiar al sector agrícola y ganadero, por donde se traslada la producción de granos básicos, leche y carne etc.

Por lo antes expuesto el diseño de 1.5 km de estructura de pavimento articulado por el método AASHTO – 93, del tramo de carretera El Cipián – Miramar, es de suma importancia para muchas comunidades dado su alto potencial productivo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar 1.5 km de estructura de pavimento articulado por el método AASHTO - 93 del tramo de carretera El Cipián – Miramar en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz.

1.4.2 Objetivos Específicos

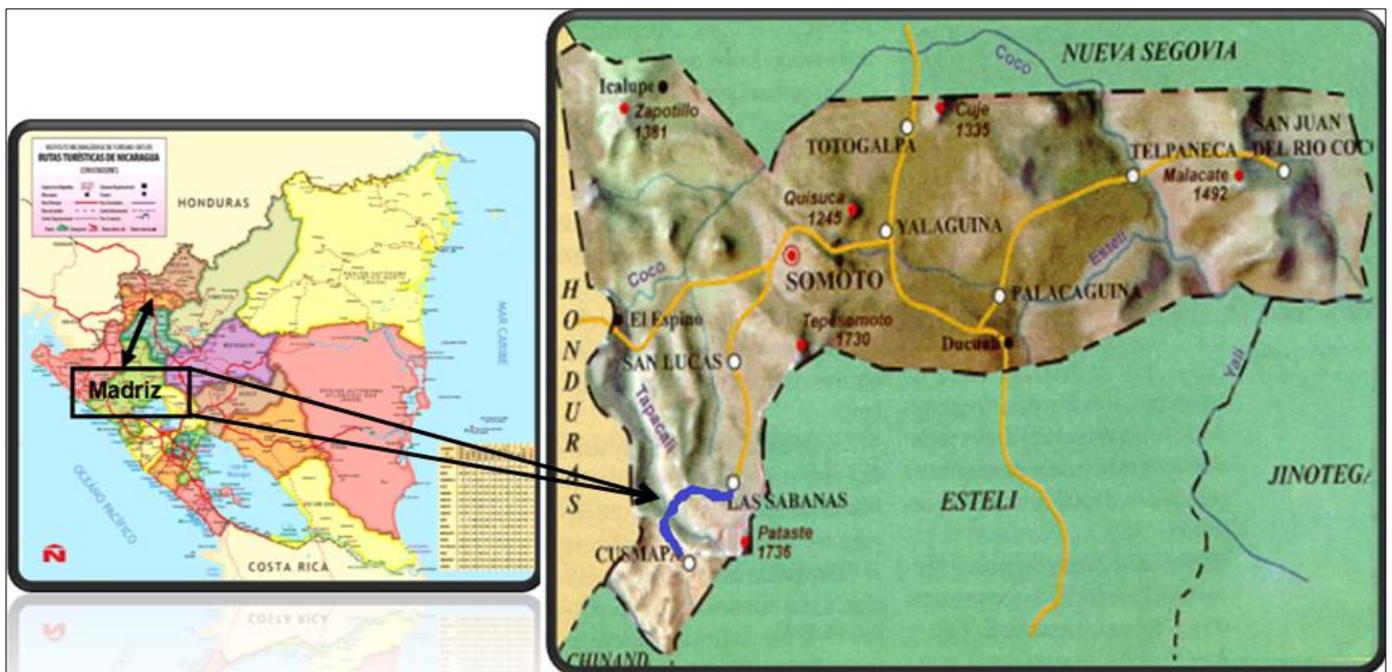
- Analizar los estudios de suelo para conocer las características físico mecánicas del sitio y del banco de préstamo para garantizar el material adecuado en el tramo El Cipián - Miramar.
- Realizar un estudio de tránsito que permita determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), y la capacidad de carga a que estará sometido la estructura de pavimento.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.

1.5 Ubicación y localización del proyecto

El proyecto se realizará en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz se encuentra ubicado políticamente entre los municipios de Las Sabanas y San José de Cusmapa; ambos del departamento de Madriz al Norte de Nicaragua.

1.5.1 Macro localización

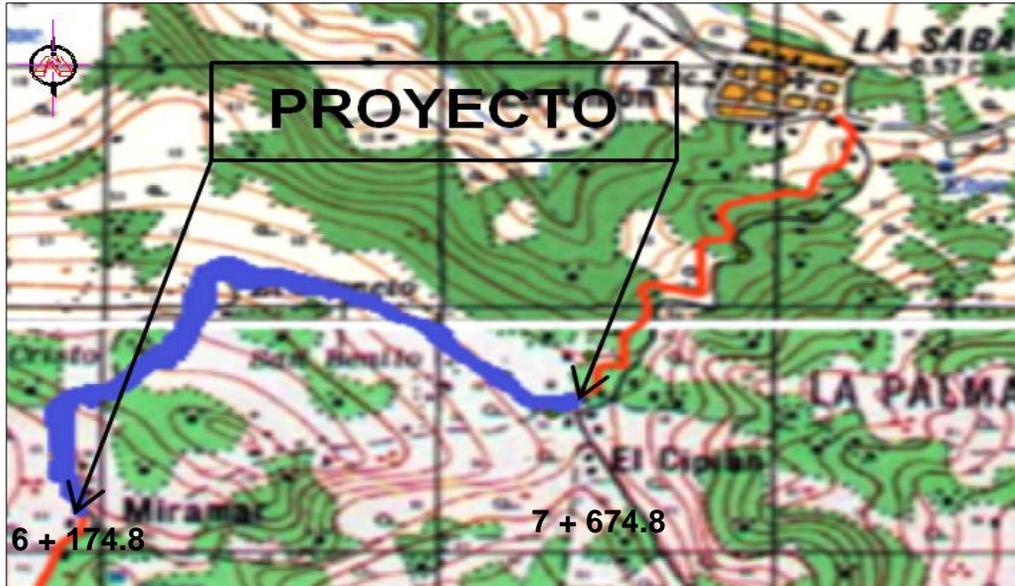
Imagen N° 1



1.5.2 Micro localización

El proyecto se localiza en la carretera La Sabanas – Cusmapa; el sitio está comprendido de la comunidad de Miramar estación (6+174.8) hasta la comunidad de El Cipián estación (7 + 674.8).

Imagen N° 2



Fuente: Elaboración propia

1.6 Clima, flora y fauna característica del municipio de Las Sabanas

El municipio de Las Sabanas cuenta con una vegetación variada, por las características semi-húmedas, que prevalecen en el territorio; encontrándose pinos, café, roble, guácimo, eucalipto, carbón y cedro.

La fauna está integrada mayoritariamente por Venados, Conejos, Guatusas, Gato de monte, Mapachines, Zahinos, Ardillas, Garrobos, Armadillos y palomas: Alas Blancas, Azulonas, Corraleras, Rodadora, Zopilotes, Zanates, Pijules, Tordos, Codornices.

El clima se caracteriza por ser muy variado, en las partes bajas, es de tipo tropical seco, tornándose húmedo en las partes elevadas y montañosas. La temperatura oscila entre los 26 y 27° c. La precipitación varía entre los 1,200 y 1,400 mm.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo

2.1.1 Suelo

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (Meteorización).

2.1.2 Meteorización

Consiste en la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos.

2.1.3 Las propiedades físico-mecánicas

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, que cumplan las especificaciones de construcción y el control de calidad.

Estas propiedades de los suelos, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento.

Para conocer las propiedades de los suelos, es necesario tomar muestras; que posteriormente en el laboratorio permiten determinar: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (Proctor), Humedad.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así¹:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm)
- Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N0. 200 (0.075 mm)
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.

Las propiedades de plasticidad se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

¹ Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. (SIECA). Capítulo 4. Página 3

- Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
- Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo
- Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **“Diseño de 1.5 km de estructura de pavimento articulado, por el método AASHTO - 93, del tramo de carretera el Cipián – Miramar, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz.”**, el cual se encuentra localizado en la carretera Las Sabanas – San Jose de Cusmapa. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas a partir de la estación 6 + 174.8 a la estación 7+ 674.8, de la carretera Las Sabanas – San José de Cusmapa.

El estudio de suelo fue realizado por laboratorio de materiales y suelos (INGENICA) Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

2.1.4 Trabajo de campo

Los sondeos tomados por el laboratorio se ubicaron de forma alterna en el centro, derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma del camino o carretera. El espaciamiento aproximado entre sondeos fue de 214 m y la profundidad máxima de exploración fue de 1.50 metros, habiéndose realizado ocho (8) sondeos de los cuales resultaron diecisiete (17) muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas.

Tabla 1 . Sondeos Efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación
El Cipián - Miramar	S – 1	6 + 176
	S – 2	6 + 390
	S – 3	6 + 604
	S – 4	6 + 818
	S – 5	7 + 032
	S – 6	7 + 246
	S – 7	7 + 460
	S – 8	7 + 674

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

2.1.4.1 Sondeos de línea

De acuerdo a los ensayos de laboratorio, se puede determinar en general, que se encontraron desde una hasta tres capas de materiales en el rango de profundidad explorada desde la superficie hasta 1.50 m máximo.

2.1.5 Actividades de laboratorio

Las muestras obtenidas en el campo, en los sondeos de línea, fueron trasladadas al laboratorio para practicar los ensayos requeridos determinar sus propiedades físico – mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte.

De esta manera, a cada muestra obtenida en los sondeos se les practicaron los siguientes ensayos:

Tabla 2. Ensayos de laboratorios

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	T 311-00 (2004), T11-05
Clasificación Unificada	D 2487-85
Clasificación AASHTO	M 145-91 (2004)
Límite líquido de los suelos %	T 89 – 02
Límite Plástico de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Índice de plasticidad de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Pesos Unitarios (*)	T 19 – 00 (2004)
Ensayo Proctor Estándar (*)	T 180 – 01 (2004)
Densidad Máxima Kg/m ³	T 99 ó T 180
Humedad Óptima (%)	T 265-93 (2004)
Ensayo C.B.R. (%)	T 193 – 99 (2003)

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Tabla 3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos

Sondeo Nº	Estación Ubicación	Profundidad en metros	Muestra Nº	% QUE PASA POR TAMIZ										L.L	L.P	I.P	Clasificación	
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200				SUCS	AASHTO
1	6+176	0.00 - 0.16	1	89.49	85.1	78.29	74.13	60.6	47.05	40.13	23.17	11.25	N.P	N.P	N.P	GW	A-1-a (0)	
		0.16 - 1.50	2					83.4	61.21	42.06	22.64	11.65	43.4	40.29	3.1	GM	A-1-a (0)	
2	6+390	0.00 - 0.10	1	90.42	81.79	69.33	64.31	55.1	47.05	36.29	21.89	13.82	36.2	26.34	9.86	GM	A-2-4 (0)	
		0.10 - 0.28	2	97	94.61	90.05	85.22	75.2	64.53	53.75	38.88	25.55	40.7	23.64	17.1	SM	A-2-7 (1)	
		0.28 - 1.50	3	92.88	88.18	84.29	80.96	76.1	69.98	62.59	49.12	34.28	52.9	35.91	17	SM	A-2-7 (1)	
3	6+604	0.00 - 0.50	1	88	81.04	69.32	63.26	50.3	41.95	34.36	23.37	14.63	56.7	37.99	18.7	SM	A-2-7 (0)	
		0.50 - 1.50	2	97.73	92.65	83.66	80.06	69.3	62.5	58.69	53.17	42.13	56.7	37.99	18.7	MH	A-7-5 (4)	
4	6+818	0.00 - 0.35	1	94.59	87.8	78.23	71.49	60.6	51.42	42.83	29.79	19.91	36.5	28.1	8.37	GM	A-2-4 (0)	
		0.35 - 1.50	2	84.61	78.68	68.11	61.83	50.9	44.57	39.43	33.22	22.26	52.2	33.86	18.3	GC	A-2-7 (1)	
5	7+032	0.00 - 0.35	1	93.29	89.05	76.54	69.53	52.8	41.76	32.13	21.72	14.7	35	27.92	7.07	GM	A-2-4 (0)	
		0.35 - 0.70	2					81.3	50.3	89.66	77.76	50.1	30.1	27.81	2.28	ML	A-4 (3)	
		0.70 - 1.50	3					95.2	92.33	89.45	83.22	72.13	42	29.6	12.4	ML	A-7-6 (9)	
6	7+246	0.00 - 0.20	1	73.77	63.76	51.03	45.78	36	28.84	22.75	15.13	10.07	35.7	27.81	7.89	GP	A-2-4 (0)	
		0.20 - 0.30	2	88.45	84.46	72.72	65.93	56.2	47.81	38.67	22.51	13.2	39.8	32.19	7.6	GP	A-2-4 (0)	
		0.30 - 1.50	3	93.3	91.49	85.78	80.22	68.2	57.87	47.12	26.22	11.69	41.4	38	3.4	GM	A-1-a (0)	
7	7+460	0.00 - 0.31	1	91.36	87.53	81.93	72.51	55.5	43.92	34.47	22.31	12.78	31.1	24.4	6.73	GM	A-2-4 (0)	
		0.31 - 1.50	2	97.9	94.35	82.41	73.04	50.2	37.64	29.29	20	12.48	33.9	27.97	5.89	GM	A-1-a (0)	
8	7+674	0.00 - 0.17	1	81	74.82	66.23	60.13	46.5	36.26	27.65	18.42	11.57	38.7	34.5	4.23	GW	A-1-a (0)	
		0.17 - 1.50	2	97.75	92.96	89.35	83.24	62.5	44.9	31.06	16.82	8.31	34.4	29.45	4.93	GM	A-1-a (0)	

Observaciones: L.L.: Límite Líquido I.P.: Índice Plástico I.G.: Índice de Grupo N.P.: Suelo No Plástico

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Como se observa los materiales granulares corresponden a la capa superficial de revestimiento existente en toda la longitud del camino, así como a capas intermedias y/o de rellenos que en muchos casos abarcan toda la profundidad de exploración indicada.

Estos materiales granulares se clasifican principalmente como A-1-a, A-2-4 y A-2-7, con índice de grupo “cero”, y “uno” para el suelo A-2-7. Estos materiales según la AASHTO son buenos para ser utilizados como sub rasante en la construcción de caminos y carreteras.

En cuanto a los materiales Limo-arcillosos se clasifican principalmente A – 4; A-7-5 y a-7-6. Para estos suelos el índice de grupo es “3”; “4” y “9” respectivamente.

Respecto al espesor de la primera capa o superficial de revestimiento que existe a lo largo de todo el camino son materiales granulares; según los resultados de campo varía desde la superficie hasta los 100 cm de profundidad; solamente en las estaciones 6 + 604 y 7 + 032 se presentan materiales limo arcillosos a partir del segundo estrato, en la estación 6 + 604 a partir de 0.50 m de profundidad se presenta un suelo A – 7 – 5 con índice de grupo 3 y en la estación 7 + 032 se presenta un suelo A – 4, con índice de grupo 4 de (0.35 a 0.70) metros de profundidad y a partir de 0.70 metros se presentan materiales A – 7 – 6, con índice de grupo 9, hasta la profundidad examinada.

Tabla 4. Estratigrafía del suelo

Estación/Sondeo	6 + 176	6 + 390	6 + 604	6 + 818	7 + 032	7 + 246	7 + 460	7 + 674
Profundidad (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
0.10	A - 1 - a (0; GW)	A - 2 - 4 (0; GM)		A - 2 - 4 (0; GM)	A - 2 - 4 (0; GM)	A - 2 - 4 (0; GP)	A - 2 - 4 (0; GM)	A - 1 - a (0; GW)
0.20			A - 2 - 7 (0; SM)					
0.30								
0.40								
0.50					A - 4 (3; ML)			
0.60								
0.70								
0.80	A - 1 - a (0; GM)	A - 2 - 7 (1; SM)		A - 2 - 7 (1; GC)		A - 1 - a (0; GM)	A - 1 - a (0; GM)	A - 1 - a (0; GM)
0.90			A - 7 - 5 (4; MH)					
1.00					A - 7 - 6 (9; ML)			
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Después de realizados todos los sondeos obtuvimos los datos de la **tabla # 3** en la que se observa que los suelos presentan una clasificación en su mayoría de suelos granulares siendo estos suelos buenos para sub rasante, la que encontramos a una profundidad de 30 cm.

2.1.5.1 Ensayo CBR

Se procedió a encontrar los valores de los CBR a los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como sub-rasante. Se eligieron los valores promedios de acuerdo a la tabla de relación aproximada entre los valores del CBR (ver anexo № 4, Pág. V).

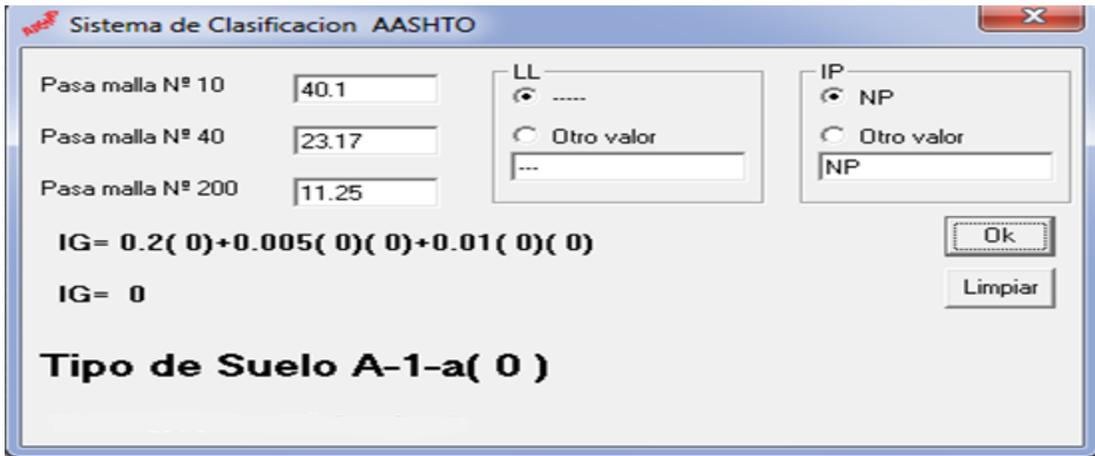
Tabla 5. Valores de CBR de los suelos encontrados en los sondeos realizados

Estación	Clasificación		Índice de grupo	CBR (95%)	Densidad Máxima (Kg/m ³)	Humedad Óptima (%)
	AASHTO	SUCS				
6+176 y 7+674	A - 1 - a	GW	0	71.0	100.05	21.43
6+176; 7+246; 7+460 y 7+674	A - 1 - a	GM	0	48.0	101.69	22.8
6+390; 6+818; 7+032 y 7+460	A - 2 - 4	GM	0	47.0	99.66	14.2
6+390; 6+604	A - 2 - 7	SM	0	18.0	106.65	13.2
6 + 818	A - 2 - 7	GC	1	29.0	93.78	22.7
6 + 604	A - 7 - 5	MH	4	6.0	91.83	23.9
7 + 032	A - 4	ML	3	9.0	--	--
7 + 032	A - 7 - 6	ML	9	8.5	94.11	19.1
7 + 460	A - 2 - 4	GP	0	40.0	99.68	15.1

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Los resultados emitidos por el laboratorio de suelo, presentados en las tablas N° 3 y N° 5, se comprobaron, con el software del sistema de clasificación de la AASHTO, elaborado por Drewel Cruz García dando resultados idénticos en el Software por lo que se concluye que los resultados de laboratorio presentados en las tablas antes mencionadas están bien.

Imagen N° 3. Comprobación con el software del sistema de clasificación de la AASHTO



Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 40.1
Pasa malla N° 40: 23.17
Pasa malla N° 200: 11.25

LL:
 Otro valor: [---]

IP: NP
 Otro valor: [NP]

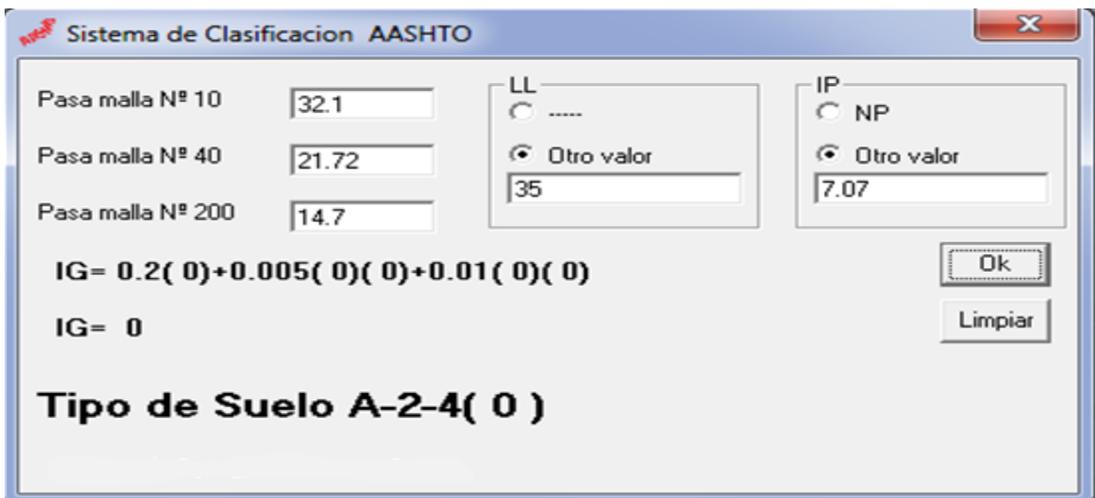
IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$
IG = 0

Tipo de Suelo A-1-a(0)

Buttons: Ok, Limpiar

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO.

Imagen N° 4. Comprobación con el software del sistema de clasificación de la AASHTO



Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 32.1
Pasa malla N° 40: 21.72
Pasa malla N° 200: 14.7

LL:
 Otro valor: [35]

IP: NP
 Otro valor: [7.07]

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$
IG = 0

Tipo de Suelo A-2-4(0)

Buttons: Ok, Limpiar

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO.

2.1.6 Resultados de fuente de materiales

La investigación de la fuente de materiales, es una actividad que se realiza como parte de la búsqueda de obtener la mejor calidad de los materiales en la construcción de las vías disminuyendo en lo posible, la longitud de acarreo del material de préstamo.

La investigación de la fuente de materiales se realizó a 254.8 m antes del sitio del proyecto a 100 m de la vía (banda izquierda), tomando las muestras necesarias para un análisis correspondiente.

Tabla 6. Banco de material investigado

Banco de materiales	Ubicación	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R
San Ramón	5 + 920	94.33	21.33	80

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

En la tabla N° 6, se presenta el resumen de la fuente o banco de materiales muestreado para este estudio, en lo que se observa que nuestro CBR obtenido por el laboratorio para este banco es de 80% siendo este el mínimo requerido por la AASHTO 93 para el diseño de base granular.

2.1.6.1 Resultados de ensayos a muestra de fuente de material

Los resultados de laboratorio comprenden la distribución de tamaños o granulometría del material, límites de Atterberg, clasificación AASHTO y clasificación unificada.

Tabla 7. Resultados de ensayos de laboratorio de las fuente de material

Banco de materiales	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	L.P	I.P.	Clasificación	
		95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40				N°200	(%)
San Ramón	80				100		85	67	49.3	26.7	15.8	42	34	7.4	SM	A-2-5 (0)
Observaciones: L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico																

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Los resultados antes descritos nos indican que el material procedente del banco San Ramón ubicado en la estación 5+920 al momento de alcanzar una compactación de 95% este obtendrá un CBR de 80% en el caso de la base.

Según los resultados presentados en la tabla N° 7 podemos observar que el banco de materiales a utilizar tiene: CBR de 80 %, Límite líquido es de 42% e índice de plasticidad de 7.4% y la AASHTO – 93, recomienda utilizar como mínimo un CBR de 80%, Límite líquido de 25 % y el índice de plasticidad de 6 % como máximo para la base lo que indica cumple con el CBR pero no con LL y IP.

Imagen N° 5 Comprobación con el software del sistema de clasificación de la AASHTO.

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 49.30

Pasa malla N° 40: 26.70

Pasa malla N° 200: 15.80

LL: Otro valor: 41.70

IP: NP Otro valor: 7.4

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(1.7) + 0.01(.8000000000000001)(0)$

IG = 0

Tipo de Suelo A-2-5(0)

Ok

Limpiar

2.2 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento

2.2.1 Superficie de rodamiento

La superficie de rodamiento consistirá de una estructura semi-flexible compuesta de unidades de adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10.²

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además,

² Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273

sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

El adoquín a utilizarse será denominado tipo tráfico cuya resistencia³ característica a los 28 días no deberá ser menor de 350 kg/cm² (5000 PSI).

2.2.2 Base

La base estará constituida por agregados seleccionados, compuestos preferiblemente de grava o de agregados triturados. La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Proctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos:

Tabla 8. Especificaciones de materiales para base granular

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

Tabla 9. Granulometría para base

Granulometría. Base	
Tamiz	% que pasa (AASHTO) T27 y T11
50 mm (2")	100 (1)
37.5 mm (1 1/2")	97-100 (1)
19 mm (3/4")	67-81 (6)
4.75 mm (N° 4)	33-47 (6)
4.25 µm (N° 40)	10-19 (4)
75 µmm (N° 200)	4-8 (3)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. Página 21.

³ Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273.

2.2.3 Sub – base

Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material a utilizarse como capa de sub-base deberá cumplir con los requisitos siguientes:

Tabla 10. Especificaciones de materiales para sub-base

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	40% min	AASHTO-193
4	Desgaste de los Angeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (a).

Tabla 11. Granulometría para sub-base

Granulometría. Sub-base	
Tamiz	% que pasa (AASHTO) T27 y T11
63 mm (2 1/2")	100 (1)
50 mm (2")	97-100 (1)
25 mm (1")	65-79 (6)
12.5 mm (1/2")	45-59 (7)
4.75 mm (N° 4)	28-42 (6)
4.25 µmm (N° 40)	9-17 (4)
75 µmm (N° 200)	4-8 (3)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. Página 21.

2.2.4 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.

Tabla 12. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante

N°	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-99)	95% min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO-T-191 Y/O T- 238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 203. 11 (b), 1003. 21, 1003. 24 (g)

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE TRÁNSITO

El tránsito es uno de los factores más importantes que afectan el comportamiento de un pavimento, por consiguiente, es necesario conocer el número y tipo de vehículos que circulan por una vía por medio de Aforos (Conteos Vehiculares), ubicados en el tramo a estudiar, para determinar los efectos que las cargas de estos vehículos causen al pavimento articulado.

Los factores referentes al tránsito, se obtienen a través del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño.

3.1 Estudio de tránsito

Permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

3.1.1 Volumen de tránsito

Es la cantidad de vehículos que se hacen uso de una vía o carretera, y se obtiene a través de conteos o aforos de tránsito en un punto específico del tramo en estudio.

3.1.2 Aforos vehiculares

Es la cuantificación de los volúmenes actuales de tránsito, con las condiciones presentes y pronosticar los volúmenes que serán atraídos y generados como resultado de su rehabilitación y mejora.

3.1.3 Capacidad de la vía

Es el máximo volumen horario de tránsito que puede circular por un punto o una sección.

3.1.4 Análisis de cargas equivalentes

Para el cálculo de los ejes equivalentes se consideran los tipos de vehículos obtenidos en los conteos o aforos vehiculares y los pesos sugeridos por la AASHTO para cada uno de ellos. Esto se hace cuando en el tramo de estudio no se cuenta con una báscula que permita el pesaje de los vehículos (en todo caso es el MTI).

3.1.5 El tránsito

Es una variable importante para el diseño de una vía ya que el número y el peso de los ejes de los vehículos son factores que influyen en la estructura de pavimento y de esta manera poder calcular los espesores de pavimento.

Para su correcta elaboración se realizaron tres etapas.

- ✓ Recopilación de datos.
- ✓ Procesamiento de información.
- ✓ Análisis de la información obtenida.

3.1.6 Recopilación de datos

Se eligió estación 6 + 350 ubicada en el tramo que va, de la comunidad El Cipián a la comunidad Miramar, para recopilar los datos a través de conteos vehiculares, el que se realizó en el mes de marzo del año 2016, en un período de siete días a partir del lunes 14 al domingo 20 de marzo, durante doce horas, iniciando a las 6:00 am y concluyendo a las 6:00 pm.

3.1.6.1 Clasificación vehicular

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías (ver anexo № 5, Página VI).

3.1.6.1.1 Vehículos de pasajeros

Son motocicletas, automóviles, jeep, camionetas, microbús (capacidad menor o igual a 14 pasajeros), minibús (capacidad de 15 a 30 pasajeros), bus (capacidad mayor de 30 pasajeros).

3.1.6.1.2 Vehículos de carga

Estos son vehículos livianos de carga (peso máximo de 4 toneladas), camiones de carga C2 – C3 (peso mayor de 5 toneladas), camiones de carga pesada (tipo Tx-Sx \leq 4 ejes), camiones Tx-Sx \geq 5 ejes (considerados combinaciones de tracto, camión y semirremolque), camión Cx-Rx \leq 4 ejes (combinación camión remolque), Cx-Rx \geq 5 ejes (combinación camión remolque).

3.1.6.1.3 Equipo pesado

Estos son los vehículos agrícolas y vehículos de construcción.

Otros

Remolques y tráileres (pequeños que sean halados por cualquier clase de vehículo automotor).

3.2 Estudios de campo

3.2.1 Volumen de tránsito

El estudio de los volúmenes de tránsito, su composición y comportamiento, forman parte de los parámetros fundamentales para el método de diseño de pavimento semi-flexible. Dicho estudio consiste en la determinación de las cantidades y características del tránsito (cantidades y tipo de vehículos).

El volumen de tránsito que circula por la vía, se determinó a través de aforos. El aforo se realizó durante una semana, a partir del día lunes 14 al domingo 20 de marzo del año 2016; en un período de tiempo de 12 horas correspondiente de 6:00 am a 6:00 pm.

A continuación, se presenta el resultado del conteo vehicular (ver tabla 13).

Tabla 13. Aforo vehicular de 12 horas en ambos sentidos, del 14 al 20 de marzo, 2016

Aforo Vehicular de 12 horas														
Día	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga							
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Tx - Sx ≤ 4	Tx - Sx ≤ 5	Cx - Rx ≤ 4	Cx - Rx ≤ 5	TOTAL
Lunes	49	41	14	40	3	11	36	26	26	0	0	0	0	246
Martes	54	37	17	33	2	8	32	35	21	0	0	0	0	239
Miercoles	51	37	15	39	2	8	31	14	30	0	0	0	0	227
Jueves	47	38	15	41	1	7	34	26	24	0	0	0	0	233
Viernes	54	42	16	38	2	10	38	38	28	0	0	0	0	266
Sábado	57	42	24	53	4	9	39	33	28	0	0	0	0	289
Domingo	63	35	22	34	3	11	25	22	16	0	0	0	0	231
TOTAL	375	272	123	278	17	64	235	194	173	0	0	0	0	1731

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Expansión a 24.0 Horas

Los volúmenes de tráfico diario de doce horas se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, (ver tabla 14), haciendo uso del Factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación Sumaria N° **7703 tramo** San Lucas – Las Sabanas, NN – 4, por ser la estación más similar en el volumen de tránsito correspondiente al conteo vehicular del año 2011.

Tomamos los factores de ajuste de esta estación del año 2011 ya que estos no se encuentran actualizado en anuario del 2014 del MTI

Tránsito expandido 24 horas, = Factor día * Tránsito 12 hrs **Ec – N° 1**

Tabla 14. Factores de ajustes de la estación 7703 del tramo: San Lucas – Las sabanas

Camino: NN-4		Estación: 7703		Tramo: San Lucas - Las Sabanas.				Período L		Días: 3		Horas:		Mes/Año		Abril 2011		Km: 229.540	
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total		
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros	
		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18		19	21
TP(D)	68		10	58			7	8	12	4									167
Factor Día	1.24	1.48	1.28	1.33	1.40	1.13	1.20	1.22	1.28	1.11	1.00	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	
Factor Semana	0.95	1.03	1.07	1.00	0.95	0.96	0.98	0.91	0.86	0.87	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.29	
Factor Expansión	1.13	0.98	0.94	0.98	0.90	0.80	1.00	1.00	1.02	1.09	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.60	
TPDA Ene-Abr	91		13	76			8	9	14	4								215	
% TPDA	42.33		6.05	35.35			3.72	4.19	6.51	1.86								100.00	
% Vehículos Livianos		83.72%						% Vehículos Pesados						16.28%			100.00%		

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI. Año 2011. Página 273.

Tabla 15. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos de lunes 14 al domingo 20 de marzo del año 2016

Tipo de Vehículo	Factor Día	Día Lunes		Día Martes		Día Miércoles		Día Jueves		Día Viernes		Día Sábado		Día Domingo		Tránsito total 24 horas
		12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	
Motos	1.24	49	61	54	67	51	63	47	58	54	67	57	71	63	78	465
Autos	1.48	41	61	37	55	37	55	38	56	42	62	42	62	35	52	403
Jeep	1.28	14	18	17	22	15	19	15	19	16	20	24	31	22	28	157
Camionetas	1.33	40	53	33	44	39	52	41	55	38	51	53	70	34	45	370
Micro Bus	1.40	3	4	2	3	2	3	1	1	2	3	4	6	3	4	24
Bus	1.20	11	13	8	10	8	10	7	8	10	12	9	11	11	13	77
Liviano de carga	1.22	36	44	32	39	31	38	34	41	38	46	39	48	25	31	287
C2	1.28	26	33	35	45	14	18	26	33	38	49	33	42	22	28	248
C3	1.11	26	29	21	23	30	33	24	27	28	31	28	31	16	18	192
Total		246	316	239	308	227	291	233	298	266	341	289	372	231	297	2223

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Tránsito promedio diario semanal

Es el tránsito total registrado por semana, dividido por los siete días de la semana.

Del conteo elaborado en la Estación 6 + 350 (ver tabla 13), se determina el tránsito promedio diario por medio de la siguiente ecuación:

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad (\text{EC} - \text{N}^{\circ}.2)$$

TPDS = Tránsito promedio diario semanal.

TS = Tránsito semanal.

Los valores de TPDS se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. TPS para cada tipo de vehículo de 24 horas del 14 al 20 de marzo del año 2016

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDS (vpd)
Motos	465	66
Autos	403	58
Jeep	157	22
Camionetas	370	53
Micro Bus	24	3
Bus	77	11
Liviano de carga	287	41
C2	248	35
C3	192	27
Total	2223	316

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía.

Para obtener el tránsito promedio diario semanal del tramo de carretera. El Cipián – Miramar, se tomó como referencia los datos registrados por el MTI; mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones permanentes, ubicadas en toda la red vial del país.

El MTI ha desarrollado factores de ajuste, con el objetivo que si se lleva a cabo un conteo vehicular sea posible aplicar dichos factores, desarrollados a partir de la estación permanente y obtener así el TPDA en un tramo de carretera previamente establecido.

La estación permanente que está asociada con el tramo, El Cipián – Miramar, es la estación de conteo sumaria **7703** tramo San Lucas – Las Sabanas, camino NN – 4.

Tomando los valores del TPDS de la tabla 16 y los factores de expansión de la tabla 14; determinamos el TPDA para cada tipo de vehículo.

Por lo tanto el TPDA se determina como:

$$\text{TPDA} = \text{TPDS} \times \text{factor expansión} \quad (\text{EC} - \text{N}^{\circ} 3)$$

Tabla 17. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) 2016

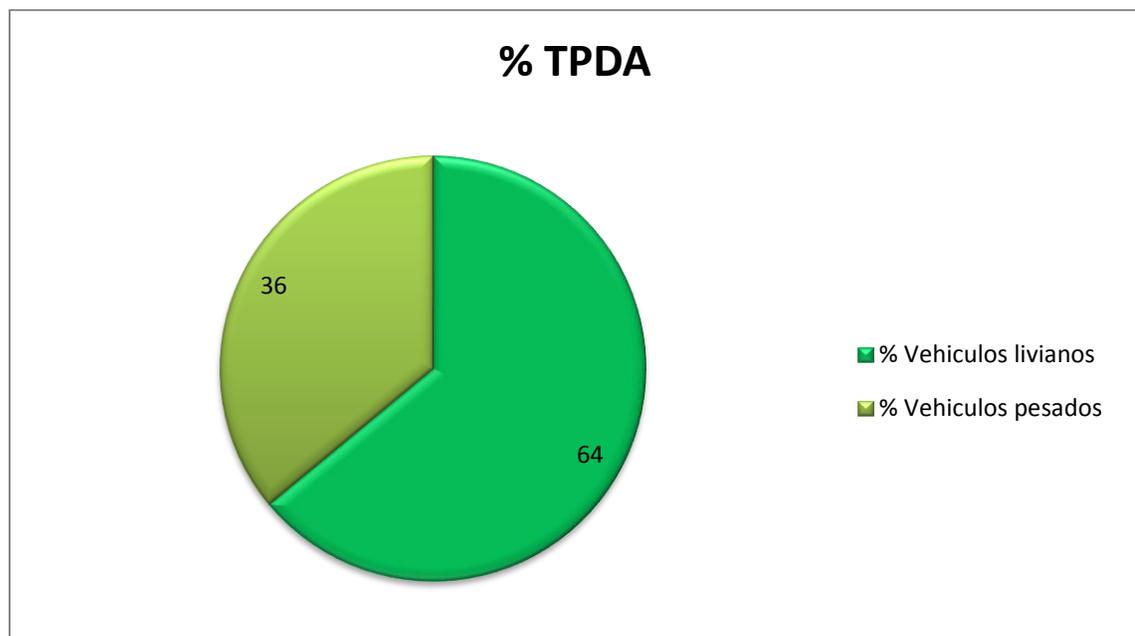
Vehículos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Totales	
TPDS (vpd)	66	58	22	53	3	11	41	35	27	316	
Factor expansión	1.13	0.98	0.94	0.98	0.9	1	1	1.02	1.09		
TPDA (vpd)	75	57	21	52	3	11	41	36	29	325	
% TPDA	23.08	17.54	6.46	16.00	0.92	3.38	12.62	11.08	8.92	100	
% Vehículos livianos				64	% Vehículos pesados				36	100	

Fuente: Elaboración propia.

% Vehículos livianos = 23.08+17.54+ 6.46 + 16 + 0.92 = 64

% Vehículos pesados = 3.38 + 12.62 + 11.08 + 8.92 = 36

Gráfico N°. 1. Tránsito promedio diario anual



Fuente: Elaboración propia

3.5 Proyección del tránsito

3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc)

Es el incremento anual de volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentajes. Se determina basándose en los datos de las estaciones de conteo, así como también tomando en cuenta otras variables como son:

3.5.2 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.

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), actualmente Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005 ajustándose a los techos departamentales proyectados al 30 de junio de cada año. (Ver tabla N°. 18).

Tabla 18. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020). Madriz

AÑO	Tasa de Crecimiento. (TC)
2005 – 2010	1
2010 – 2015	0.7
2015 – 2020	0.7
Promedio TC	0.80

Fuente: Estimaciones y Proyecciones de la población. Nacional, departamental y municipal. INIDE. Revisión. 2007. Página 108.

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2015 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de Las Sabanas fue de 0.7%.

3.5.3 Crecimiento vehicular

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular aplicamos la siguiente ecuación.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (EC - N^{\circ} 4)$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Tráfico promedio diario actual.

TPDA_o: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación sumaria N° 7703 cubierta por el MTI; al que corresponde a nuestro tramo en estudio (NN – 4) San Lucas – Las Sabanas.

Tabla 19. Datos históricos del TPDA

(NN - 4) San Lucas - Las Sabanas, Estación No. 7703										
AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
TPDA	83	97			137			210		215

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2011 MTI. Pág. 98.

Aplicando la ecuación N° 4 para determinar la tasa de crecimiento para el período (2009 – 2011) obtenemos.

$$TC = \left[\left(\frac{215}{210} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * 100$$

$$TC = 0.011834 * 100 = 1.18\%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo creció a una tasa de **1.18%**.

3.5.4 Producto interno bruto (PIB)

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un periodo. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

El PIB promedio de los últimos 9 años es de 3.7 %.

Tabla 20. Producto interno bruto (PIB)

AÑO	PIB	% Crecimiento PIB
2006	119,235.20	4.2
2007	125,540.10	5.3
2008	129120.1	2.9
2009	125,557.40	-2.8
2010	129,564.30	3.2
2011	137,638.30	6.2
2012	144701.6	5.1
2013	151,228.40	4.5
2014	158,340.30	4.7
Promedio		3.7

Fuente: Estadísticas macroeconómicas, BCN. Anuario 2014.

Relacionando la tasa de crecimiento vehicular, crecimiento económico y la tasa de crecimiento poblacional presentados anteriormente, se obtiene un valor promedio de **1.86%**, siendo este el que se tomará como tasa de crecimiento para la proyección de tránsito en la zona.

3.6 Tránsito de diseño

3.6.1 Período de diseño (N)

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar, el funcionamiento del pavimento.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño geométrico de las carreteras regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectoras rural es de 10 a 20 años.

Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de **20 años**.

Hoy en día, se recomienda que se estudien los pavimentos para un período de comportamiento mayor, ya que ellos pueden dar lugar a una mejor evaluación de las alternativas a largo plazo.

Tabla 21. Período de diseño (N)

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-Urbanas	10 – 20
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001. Pág. 10.

3.6.2 Factor direccional (FD)

El factor direccional es el factor del total del flujo vehicular censado; generalmente su valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección; y la otra mitad va en otra.

Tabla 22. Factor de distribución por dirección (FD)

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
2	50
4	45
6 o más	40

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

Considerando la condición ideal para vías de dos carriles en ambas direcciones; asignamos el valor de **0.5** para el tramo en estudio.

3.6.3 Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento depende del número de años al que se proyectará el tránsito, la tasa del incremento anual vehicular; además refleja la medida en que aumentará el flujo de vehículos en el período de diseño.

$$FC = \frac{(1+Tc)^n - 1}{Tc} * 365 \quad (Ec - N^{\circ} 5)$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

Tc: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores obtenemos:

Tc: 1.86 %.

n: 20 años.

$$FC = \frac{(1 + 0.0186)^{20} - 1}{0.0186} * 365$$

$$FC = 8745.95 \approx 8746$$

3.6.4 Factor de distribución por carril

Este factor se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Tabla 23. Factor de distribución por carril

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

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

Para nuestro tramo en estudio asignamos el valor de **Fc' = 1** puesto que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

3.6.5 Determinación del tránsito de diseño

Es el volumen de tránsito para un año cualquiera; siendo el número de veces, que pasara el tránsito por la vía en (n) años.

$$TPDA_{2036} = To_{2016} * (1 + i)^n \quad (EC - N^{\circ} 6)$$

Dónde:

To = Tránsito Inicial en el año n.

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de año en el período de diseño.

Tabla 24. Tránsito proyectado, para el tramo, El Cipián - Miramar al año 2036

Tipo de vehículo	TPDA ₂₀₁₆	Tasa de crecimiento	N	TPDA Proyectado 2036
Motos	75	0.0186	20	108
Autos	57	0.0186	20	82
Jeep	21	0.0186	20	30
Camionetas	52	0.0186	20	75
Micro Bus	3	0.0186	20	4
Bus	11	0.0186	20	16
Liviano de carga	41	0.0186	20	59
C2	36	0.0186	20	52
C3	29	0.0186	20	42
Total				468

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo el tránsito proyectado se determinó el tránsito de diseño de la siguiente manera:

$$T_D = TPDA_0 * FC * FD * F'_C$$

$$T_D = TPDA_{2016} * FC * FD * F'_C \quad (\text{EC} - \text{N}^\circ. 7)$$

Dónde:

TPDA₀: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento

FD: Factor de distribución por sentido

Fc': Factor de distribución por carril

Tabla 25. Tránsito de diseño para el tramo: El Cipián - Miramar

Tipo de vehículo	TPDA ₂₀₁₆	FC	FD	Fc'	TD 2036
Motos	75	8746	0.5	1	327,975
Autos	57	8746	0.5	1	249,261
Jeep	21	8746	0.5	1	91,833
Camionetas	52	8746	0.5	1	227,396
Micro Bus	3	8746	0.5	1	13,119
Bus	11	8746	0.5	1	48,103
Liviano de carga	41	8746	0.5	1	179,293
C2	36	8746	0.5	1	157,428
C3	29	8746	0.5	1	126,817
Total (vpd)					1,421,225

Fuente: Elaboración propia.

$$TD = 75 \times 8746 \times 0.5 \times 1$$

$$TD \text{ (Motos)} = 327,975 \text{ vpd}$$

$$TD = 29 \times 8746 \times 0.5 \times 1$$

$$TD \text{ (C3)} = 126,817 \text{ vpd}$$

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

4.1 Introducción

Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores.

Las cargas que recibe la capa superior, las distribuye, a la capa inmediatamente inferior. Por lo tanto, cuanto más alejada de la rasante o superficie de rodamiento menor es la carga que recibe.

Los pavimentos articulados o de adoquín tienen una superficie de rodadura conformada por adoquines de concreto de 10 cm de espesor, colocados sobre una capa de arena con un espesor requerido de 3 a 5 cm, con un sello de arena entre sus juntas, luego una base de material granular y una sub-base dependiendo si el diseño así lo amerita.

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

4.2 Criterios del método AASHTO 93 para cálculo de espesores

1. Obtener las Variables de diseño:
 - ✓ Factores Equivalente de Carga.
 - ✓ Peso por ejes.
 - ✓ Confiabilidad deseada
 - ✓ Desviación Estándar
 - ✓ Serviciabilidad.
 - ✓ Módulo de Resiliencia.
2. Determinar el número de Ejes Equivalentes (ESAL'S).
3. Establecer las Propiedades de los materiales de cada capa, representada por los coeficientes estructurales (a_i).

4. Calcular los espesores del pavimento considerando el esfuerzo a la compresión de cada capa.

El método utilizado para efectuar el diseño, es el de la AASHTO-93, el cual recomienda que para pavimentos con adoquín aplicar los mismos criterios de diseño establecidos para pavimentos flexibles, este método toma en cuenta el valor de soporte del suelo, la cantidad de ejes equivalentes a 18,000 lbs, que transitarán en el período de diseño, drenaje en el área del Proyecto, etc.

4.3 Variables de diseño

4.3.1 Índice de serviciabilidad

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final la mejor forma para evaluar esto es por el índice servicio presente (PSI), en una escala de 0 a 5, entre mayor sea el número, mejor será su condición al tráfico. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial, ρ_0 , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal, ρ_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

4.3.1.1 Serviciabilidad inicial:

$\rho_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$\rho_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles.

4.3.1.2 Serviciabilidad final:

$\rho_t = 2.5$ Lo más para caminos muy importantes.

$\rho_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito⁴.

⁴ Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172.

Para la determinación de la serviciabilidad de un pavimento se toma en cuenta que la serviciabilidad final de un pavimento (P_t) depende del tránsito y del índice de servicio inicial (P_o).

Tabla 26. Valor de la serviciabilidad final

Característica de la vía	Valor de (P_t)
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5 - 3.0
Autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0 - 2.5
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8 - 2.0

Fuente: Manual AASHTO – 93.

ρ_0 (Serviciabilidad Inicial)= 4.2 Para pavimentos flexibles.

ρ_t (Serviciabilidad Final) = 2 Para vías de tráfico normal.

4.3.2 Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = \rho_0 - \rho_t \quad (\text{EC} - \text{N}^\circ. 8)$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 \quad \Delta PSI = 2.2$$

4.3.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento

Definiremos como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el

Ministerio de Transporte e Infraestructura (ver anexos № 6 y № 7, páginas VII y VIII).

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) existe un factor correspondiente que se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada eje de los vehículos la cual a su vez se sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes (ver anexos № 8 y № 9. Páginas IX y X).

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esal } 0 \text{ W18} = \text{TD} * \text{FactorCarga (EC - N}^\circ \text{. 9)}$$

Para realizar el cálculo del **ESALs** de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el período de diseño, y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una **serviciabilidad final de 2.0**, que es el valor que se recomienda para camino de tránsito menor y un **coeficiente estructural de carga SN = 5**.

Calculamos el factor equivalente de carga (LEF) para cada tipo de vehículo según su peso por eje.

Para un auto el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según diagrama de carga de vehículos livianos. Peso de eje: 2200 lbs.= 2.2 Kips.

Para pavimento flexible, con ejes simples y una serviciabilidad $P_t = 2$, con un $SN=5$ se tiene que:

Peso	SN = 5
2 = 2000	0.0002
4 = 4000	0.002

$$4000 - 2000 = 2000$$

$$0.002 - 0.0002 = 0.0018$$

Luego como el peso del automóvil es de 2.2 kips igual a 2,200 Lbs entonces hacen falta 200 con respecto a 2200 por tanto se realiza la regla de tres.

2000	0.0018
200	X

$$X = (200 * 0.0018) / 2000$$

$$X = 0.00018$$

Entonces tenemos que el factor equivalente de carga para 2200 va a ser:

$$0.0002 + 0.00018 = \mathbf{0.00038 = \text{Factor ESALs.}}$$

De igual forma se realizan las demás interpolaciones para los otros tipos de vehículos.

En la tabla N°.27, se presentan los otros factores equivalentes de cargas.

Para obtener ESALs para cada tipo de vehículo sustituimos la ecuación N°. 9

$$\mathbf{ESALs \text{ de diseño} = TD * \text{Factor Carga.}}$$

$$\mathbf{ESALs \text{ (autos) de diseño} = 249261 * 0.00038}$$

$$\mathbf{ESALs \text{ (autos) de diseño} = 94.71 \approx 95}$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de coeficientes de carga ESALs de diseño para cada tipo de vehículo.

Tabla 27. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)

Tipo de vehículo	T0	Peso por eje en LBS	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Autos	57	2200	Simple	249261	0.00038	95
		2200	Simple	249261	0.00038	95
Jeep	21	2200	Simple	91833	0.00038	35
		2200	Simple	91833	0.00038	35
Camionetas	52	2200	Simple	227396	0.00038	86
		4400	Simple	227396	0.0034	773
Micro Bus	3	4400	Simple	13119	0.0034	45
		8800	Simple	13119	0.0502	659
Bus	11	11000	Simple	48103	0.1265	6085
		22000	Simple	48103	2.35	113042
Liviano de cargas	41	8800	Simple	179293	0.0502	9000
		17600	Simple	179293	0.9206	165057
C2	36	11000	Simple	157428	0.1265	19915
		22000	Simple	157428	2.35	369956
C3	29	11000	Simple	126817	0.1265	16042
		36300	Doble	126817	1.4325	181665
Total ESAL de diseño						882585

Fuente: Elaboración propia.

(Ver anexo № 7. Pág. VIII)

Para el diseño del tramo de vía en estudio se obtuvo un valor de:

ESAL o W18 = 882585 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

4.3.4 Confiabilidad (R)

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO-1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para nuestro tramo y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizara esta es liviano,

se asume un valor de confiabilidad (**R**) de **85 %**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como una zona urbana y para tipo de caminos colectores.

Tabla 28. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes

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.

4.3.5 Desviación estándar (S_0)

La desviación estándar (S_0), es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad (R) seleccionado; en este paso deberá seleccionarse un valor S_0 . “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

La guía de la AASHTO. 1993 recomienda adoptar valores de S_0 comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

Tabla 29. Desviación estándar para pavimentos flexibles

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Para pavimento flexible	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.35 - 0.40
En sobre capas	0.50

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento SIECA. Capítulo 7, página 5 135.

En el presente estudio se utilizará un valor de desviación estándar de **$S_o = 0.45$** para este diseño.

4.3.6 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.

Tabla 30. 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%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1-25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

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

El valor asumido en este diseño fue del 1.00, ya que se considera que el tiempo que el pavimento está expuesto a la humedad es menor al 25%.

4.3.7 Propiedades de los materiales

4.3.7.1 Determinación del CBR de diseño (En suelos).

Una vez obtenidos los CBR en los ensayos de laboratorio en las muestras tomadas en el tramo en estudio se observa que estos resultados como es de suponer no son constantes dado a las características granulométricas, es por eso que es necesario seleccionar un CBR de diseño para todo el sitio del proyecto que tome en cuenta la capacidad de soporte de los materiales existentes en el proyecto.

El suelo típico de sub-rasante de una unidad de diseño es un material sobre el cual se efectuaron 8 ensayos de CBR a una profundidad de 30 cm y los resultados fueron 9, 18, 29 y 48%. Con estos datos se calcula el CBR de diseño para un tránsito de 8.82585×10^5 ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas durante el período de diseño.

A continuación se presenta una tabla resumen con los datos de CBR de la sub-rasante considerando una profundidad 30 cm de la superficie donde se considera estará la sub-rasante)

Tabla 31. Valores de CBR para diseño

Clasificación		Índice de grupo	CBR (95%)
AASHTO	SUCS		
A - 1 - a	GM	0	48
A - 2 - 7	GC	0	29
A - 2 - 7	SM	1	18
A - 4	ML	3	9

Fuente: Laboratorio INGENICA. .

Tabla 32. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño.

El criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, que el 60, el 75 o el 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que el ESALs de diseño de 882,585, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento.

Límites para Selección de Resistencia.	
Número de ejes de 8.2 ton en el Carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
10^4 a 10^6	75
$> 10^6$	87.5

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

ESAL o W18 = 882585 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

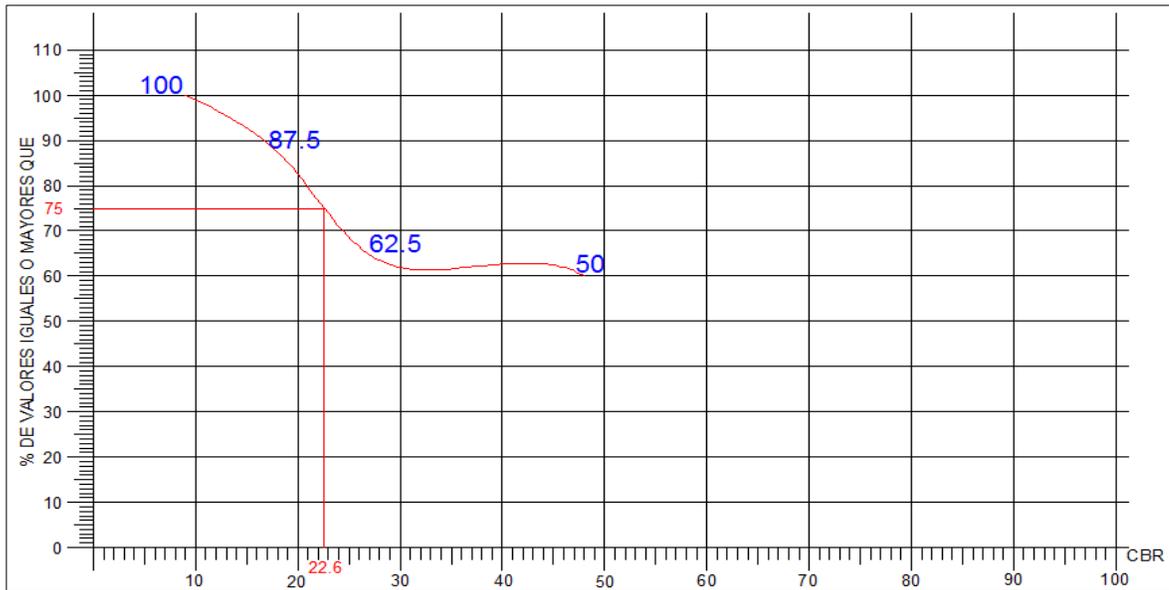
Tabla 33. Cálculo para determinar el CBR de diseño

Clasificación		CBR (95%)	Frecuencia	Número de valores iguales o mayores que	% de valores iguales o mayores
AASHTO	SUCS				
A - 4	ML	9.0	1	8	$(8/8)*100 = 100$
A - 2 - 7	SM	18.0	2	7	$(7/8)*100 = 87.5$
A - 2 - 7	GC	29.0	1	5	$(5/8)*100 = 62.5$
A - 1 - a	GM	48.0	4	4	$(4/8)*100 = 50$
			8		

Fuente: Elaboración propia.

(Ver capítulo II, tabla N°. 4. Estratigrafía del suelo)

Gráfico N°. 2 Grafica del CBR de diseño.



Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 22.6%.

4.3.7.2 Módulo Resiliente (MR)

Es la propiedad utilizada para caracterizar el suelo de la fundación del camino y otras capas. Para su determinación se ha establecido correlaciones a partir de otros ensayos como el CBR encontrándose que su relación se define como:

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

- Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 10%

$$MR = 1,500 \times CBR \text{ (Ec - N° 10)}$$

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20 %

$$MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241 \text{ (Ec - N° 11)}$$

Cálculo para determinar el módulo de resiliencia, para CBR de 22.6% en la subrasante.

$$MR = 4,326 \times \ln (CBR) + 241$$

$$MR = 4,326 \times \ln 22.6 + 241$$

$$MR = 13,729.25 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base pertenece al banco de materiales San Ramón, con CBR 80%.

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 28,500 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes, (ver anexo Nº 11, página XII).

4.3.8 Coeficientes estructurales de capa

Son factores estructurales que involucran las características físicas y propiedades de los diferentes materiales, para servir como componente estructural del pavimento.

Los coeficientes estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a los números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Mediante el uso de nomogramas de la guía AASHTO; se determina el coeficiente estructural de cada capa.

4.3.9 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1

Para el coeficiente estructural del adoquín se utilizó el valor de 0.45, empleado en el ejercicio de diseño de pavimento de adoquín por el método AASHTO 93, ilustrado en el Manual Centroamericano de Pavimento pág. 107.

Este ensayo fue desarrollado a los efectos de estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas.

4.3.10 Coeficiente estructural para base granular a2

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (**ab**) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, macadam hidráulico, etc.), se determina, a partir del Módulo Resiliente.

El coeficiente estructural **a2 es 0.135**, el cual se obtiene del nomograma para bases granulares no-tratadas de la AASHTO-93 Página Número 35. (Ver anexo № 11, página XII).

4.4 Cálculo de espesores

Tenemos los valores encontrados anteriormente.

Ejes equivalentes ESALs: 882,585 ejes equivalentes por carril de diseño.

- Confiabilidad (%) R: 85.
- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Serviciabilidad (Δ psi): 2.2
- Propiedades de los materiales
 - ✓ Módulo Resiliente Sub –Rasante: 13,729.25 PSI
 - ✓ Módulo Resiliente Base: 28,500 PSI
 - ✓ Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45
 - ✓ Coeficiente Estructural Base a2: 0.135
- Drenaje (mi): 1.00

4.4.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)

Para el cálculo de SN; utilizamos el nomograma para resolver la ecuación AASHTO (ver anexo Nº 10, página XI). Obteniendo un resultado de SN para subrasante = 2.8 y SN para base = 2.1

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas. Por tanto SN1 ya está dado:

$$D1 = 4 \text{ Pulg de espesor}$$

$$SN1 = D1 \times a1$$

$$SN1 = (4 \times 0.45)$$

$$SN1 = 1.8$$

BASE

$$SN = SN2 - SN1$$

$$SN = 2.8 - 1.8$$

$$SN = 1$$

$$D2 = SN/a2 \times m$$

$$D2 = 1 / (0.135 \times 1)$$

$$D2^* = 7.41 \approx 8 \text{ Pulg Espesor de base calculado}$$

Como verificación:

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.135 \times 7.41 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 1$$

$$SN = 2.8$$

$$SN1^* + SN2 \geq SN$$

$$1.80 + 1 \geq 2.8$$

$$2.8 \geq 2.8 \text{ OK}$$

4.5 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción

No es práctico y resulta antieconómico el extender y compactar capas que tengan un espesor menor a 10 cm por lo que se recomienda espesores mayores siempre y cuando no excedan de 30 cm.

El tráfico, por otra parte, puede requerir otros espesores mínimos recomendables para lograr que las mezclas tengan estabilidad y cohesión satisfactoria. (AASHTO 93 Cap. 3 Pág. 46)

La tabla N°. 35, que se presenta a continuación, sugiere algunos espesores mínimos para capas de rodamiento y bases, en función de los valores de cargas equivalentes en el período de diseño.

Tabla 34. Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito son los siguientes:

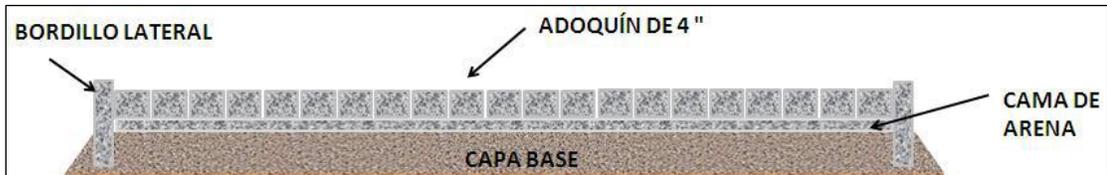
Número de ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 15,000	5,0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño AASTHO 93, Capítulo 3, pág. 46.

El resultado de espesor en el diseño de la base granular es de 7.41 Pulg \approx 8 pulgadas; el cual cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, siendo el mínimo 15 cm (6 pulgadas) en los espesores mínimos sugeridos para base granular para número de ESALs entre 500,000 y 2, 000,000.

Grafico N° 3 Estructura final de pavimento.

- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Capa de arena = 2" (5 centímetros)
- ✓ Base = 8 " (20 centímetros)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3

Variables	Valores
SN	2.8
ESALs	882,585 ejes equivalentes por carril de diseño.
Confiabilidad	85%
Desviación estándar (S_0)	0.45
MR	13,729.25 PSI
Servicialidad inicial (P_0)	4.2
Servicialidad final (P_t)	2
Coefficiente de drenaje (m_1)	1
Coefficiente de capa a1	0.45
Coefficiente de capa a2	0.135

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N° 6 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software, Pavement Designen Analysis, versión 3.3.

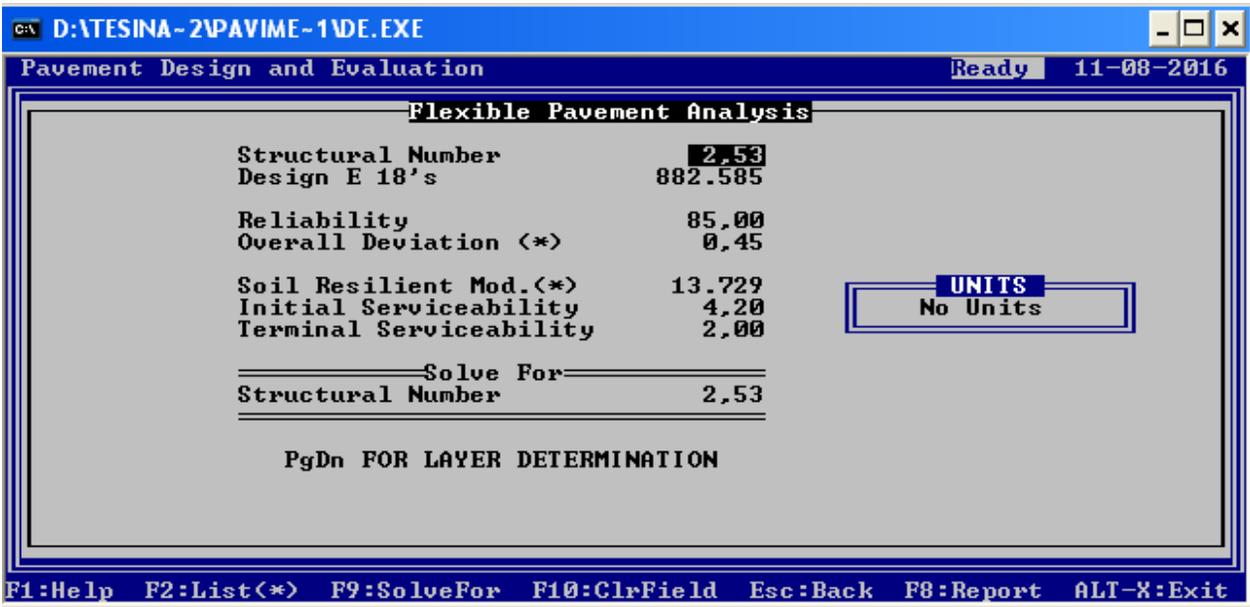
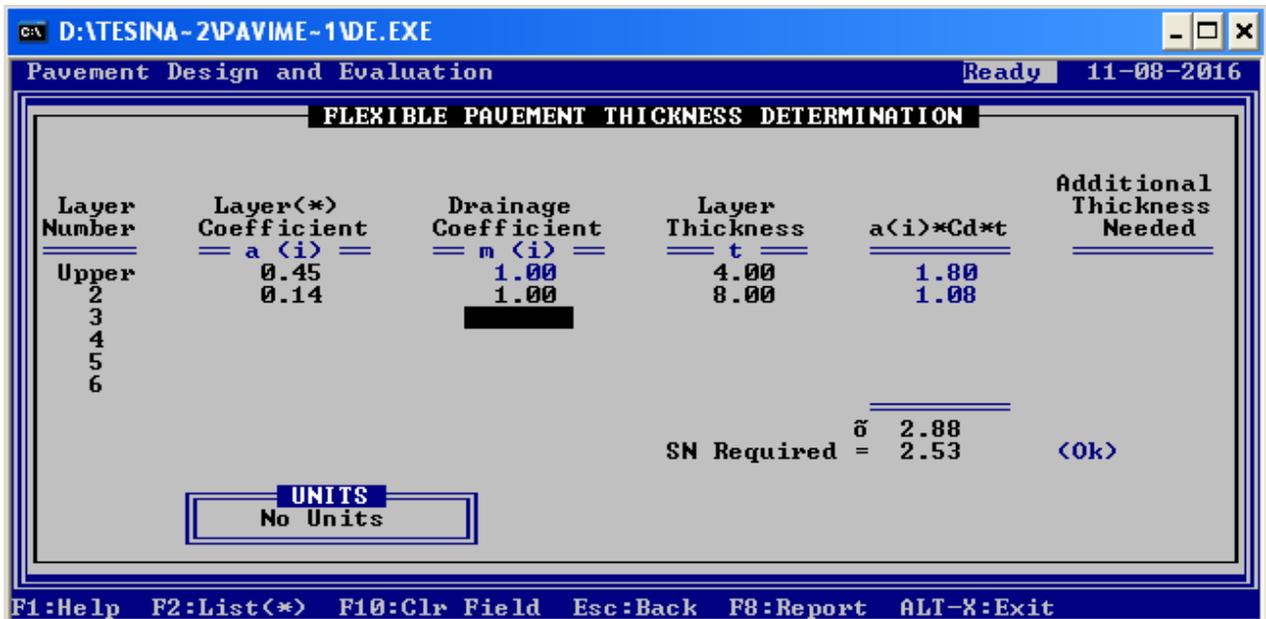


Imagen N° 7 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software, Pavement Designen Analysis, versión 3.3.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los suelos correspondientes al primer estrato se clasifican como A-1-a, A-2-4 y A-2-7; son suelos que varían de excelente a buena calidad, utilizados para sub rasante en la construcción de caminos y carreteras según la AASHTO.
- El material a utilizar como base será el proveniente del banco de materiales San Ramón ubicado en la estación 5+920, el cual presenta las siguientes características, CBR de 80%, límite líquido 41.7 %, e índice plástico 7.4 %, éste banco de préstamo cumple con el CBR, pero no su límite líquido e índice de plasticidad, según las especificaciones para base granular de la AASHTO, este material selecto se utilizará ya que los suelos que se encuentran en la sub-rasante no tienen el CBR requerido para reutilizarlos.
- El CBR de Diseño es de la sub rasante es de 22.6%.
- El CBR de diseño obtenido del material del banco San Ramón para utilizar en la base granular es de 80% cuando este se compacta a un 95%
- La vía se clasifica como una colectora rural según dado el volumen de transito de diseño de **1, 421,225 veh/día**.
- Se realizó conteo vehicular por un periodo de una semana durante doce horas expandido a 24 para obtener el tránsito promedio diario semanal de 316 Veh/día para luego expandirlo a una semana y de esta forma obtener el transito promedio anual TPDA de **325 Veh/día**
- El porcentaje del tránsito de vehículos livianos es de 64 %. Y el pesado de 36%.
- Una estructura de pavimento está constituida por: la carpeta de rodamiento con adoquín con la cama de arena y la base granular.

- El ESAL's de diseño obtenido es de 882,585 ejes equivalentes para carril de diseño.
- El periodo de diseño es de 20 años por ser esta vía una colectora rural.
- El espesor de la base granular calculada es de 8 pulgadas; cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, la cual nos rige 15 cm (6 pulgadas) como mínimos sugeridos para base granular.
- El cálculo de la estructura de pavimento se hizo de manera manual y a través del programa computarizado Pavement Analysis Software versión 3.3 obteniendo resultados iguales:
 - Espesores finales
Capa de rodamiento de 4 Pulgadas (espesor de adoquín) y Una cama de arena de 2 pulgadas, una capa de base 8 Pulgadas.

Recomendaciones

- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
- Se debe realizar conteos vehiculares o de tránsito de forma periódica para verificar si el ESALs de diseño cumple con el correspondiente periodo de diseño.
- Mantenimiento periódico (cuando la estructura de pavimento tiene fallas estructurales principalmente, deformaciones considerables, Fallas que ameriten baches profundos, fallas en obras hidráulicas etc.) que permitan que la vía recupere las condiciones iniciales de construcción.
- Realizar pruebas de resistencia a los adoquines, para comprobar que cumple las especificaciones técnicas propuestas en el presente documento.
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
- Construir vigas longitudinales a lo largo del tramo a adoquinar para evitar el movimiento de adoquines, y vigas transversales en función de las pendientes.
- Los espesores obtenidos son recomendables ya que cumplen con las Normas AASHTO.
- El drenaje, aunque no es nuestro tema es de suma importancia para evitar el deterioro de la estructura de pavimento, por lo tanto, es necesario estar pendiente siempre de su buen funcionamiento (cunetas, contracunetas, alcantarillas, puentes, bombeo y peralte.)

Bibliografía

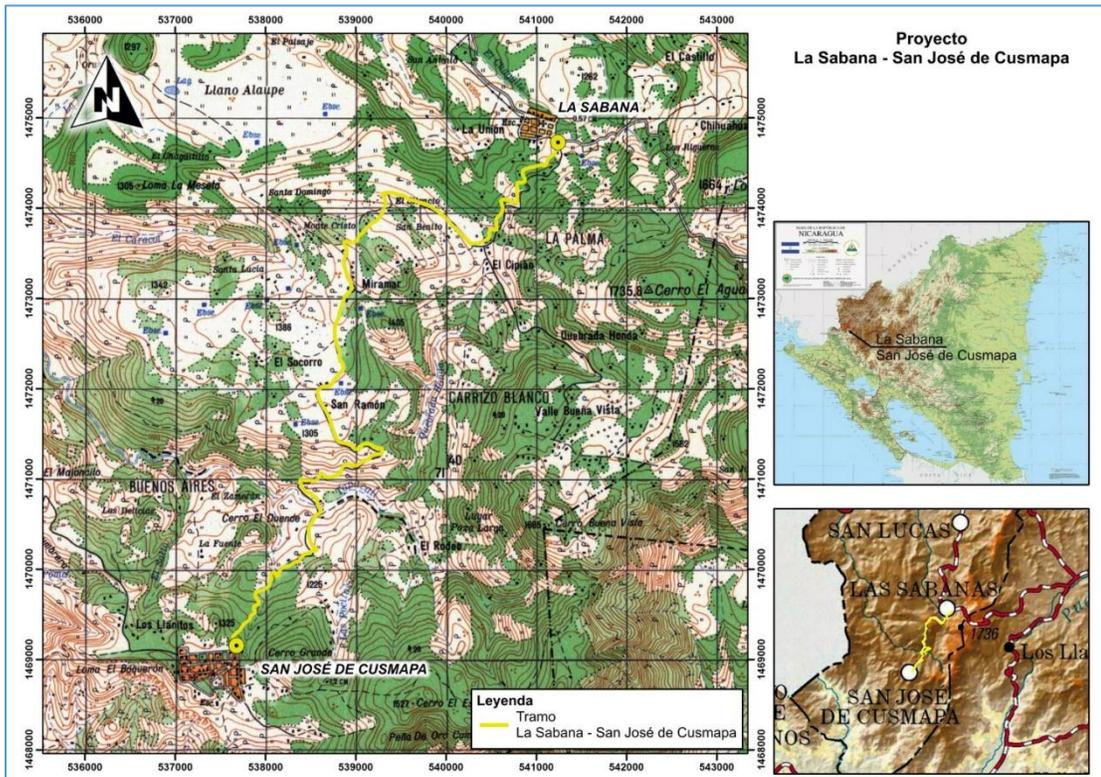
- Anuario de Aforos de tráfico 2011. MTI.
- Design Procedure for New Pavements, Tercera Edición. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO-93). Tercera Edición.
- Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC – 2000. Año 1999.
- Ingeniería de Pavimentos para Carretera. 2da edición, año 2001. Alfonso Montejo Fonseca.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. (Sistema de Integración Económica Centroamericana-SIECA). Ing. Jorge Coronado Iturbide.
- Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93
- Proyecciones de la población municipal, INIDE 2008.

Otros

- Programa Computarizado
- PAVEMENT DESINGS & ANALISIS: Created by Thomas P. Harman, M.S. C.E In Conjunction with Randell C. Riley. P.E & William Feltz. F.E. American Concrete Pavement Association. The Ohio Ready Mixed Concrete Association. <Versión 3.3><Copyright 1988>
- Rehabilitación y Mantenimiento de Calles y Caminos. Manuales Elementales de Servicios Municipales. García, L y Aburto, A. 2003. Managua, Nicaragua. 205 p.

ANEXOS

Anexo 1. Localización general del proyecto, Carretera Las Sabanas – San Jose de Cusmapa



Fuente: Mapa cartográfico de Madriz

Anexo 2. Clasificación de suelos, según AASHTO

Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
Grupos	A-1	A-2								A-7	
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm):											
Límite líquido	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo				

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LI-30.
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI-30.

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág. 46.

Anexo 3. Clasificación unificada de suelos, según SUCS

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

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejó, pág. 53.

Anexo 4. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasif. S. U.	Densidad Seca (kg/m ³)	CBR (%)	Valor K (psi/in)
Suelos granulares:					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW, GP	125 - 140	60 - 80	300 - 450
A-1-a, mal graduada			120 - 130	35 - 60	300 - 400
A-1-b	Arena Gruesa	SW	110 - 130	20 - 40	200 - 400
A-3	Arena Fina	SP	105 - 120	15 - 25	150 - 300
A-2 Material granular con alto contenido de finos					
A-2-4 gravoso	Grava Limosa	GM	130 - 145	40-80	300 - 500
A-2-5, gravoso	Grava Arena Limosa				
A-2-4, arenoso	Arena Limosa	SM	120 - 135	20 - 40	300 - 400
A-2-5, arenoso	Arena Gravo Limosa				
A-2-6, gravoso	Grava Arcillosa	GC	120 - 140	20 - 40	200 - 450
A-2-7, gravoso	Grava Arena Arcillosa				
A-2-6, arenoso	Arcilla Arenosa	SC	105 - 130	10 - 20	150 - 350
A-2-7, arenoso	Arcilla Grava Arenosa				
Suelos finos:					
A-4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 - 165*
	Mezclas de Limo/Arena/ Grava		100 - 125	5 - 15	40 - 220 *
A - 5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 - 190*
A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 255*
A-7-5	Arcilla Elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 - 125 *
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

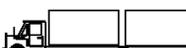
Fuente: Diseño de pavimentos, AASHTO 93, Cap. 4, Página 86.

Anexo 5. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con trnas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T ₁ S ₁ X=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T ₁ S ₁ X=4.
	T ₁ S ₁ X=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C ₁ R ₁ X=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C ₁ R ₁ X=4
	C ₁ R ₁ X=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Traedores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Traor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2011. Pág., 28.

Anexo 6. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control

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

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

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

Anexo 7. Diagrama de cargas permisibles

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

Anexo 8. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $\rho_t = 2$, SN= 5

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

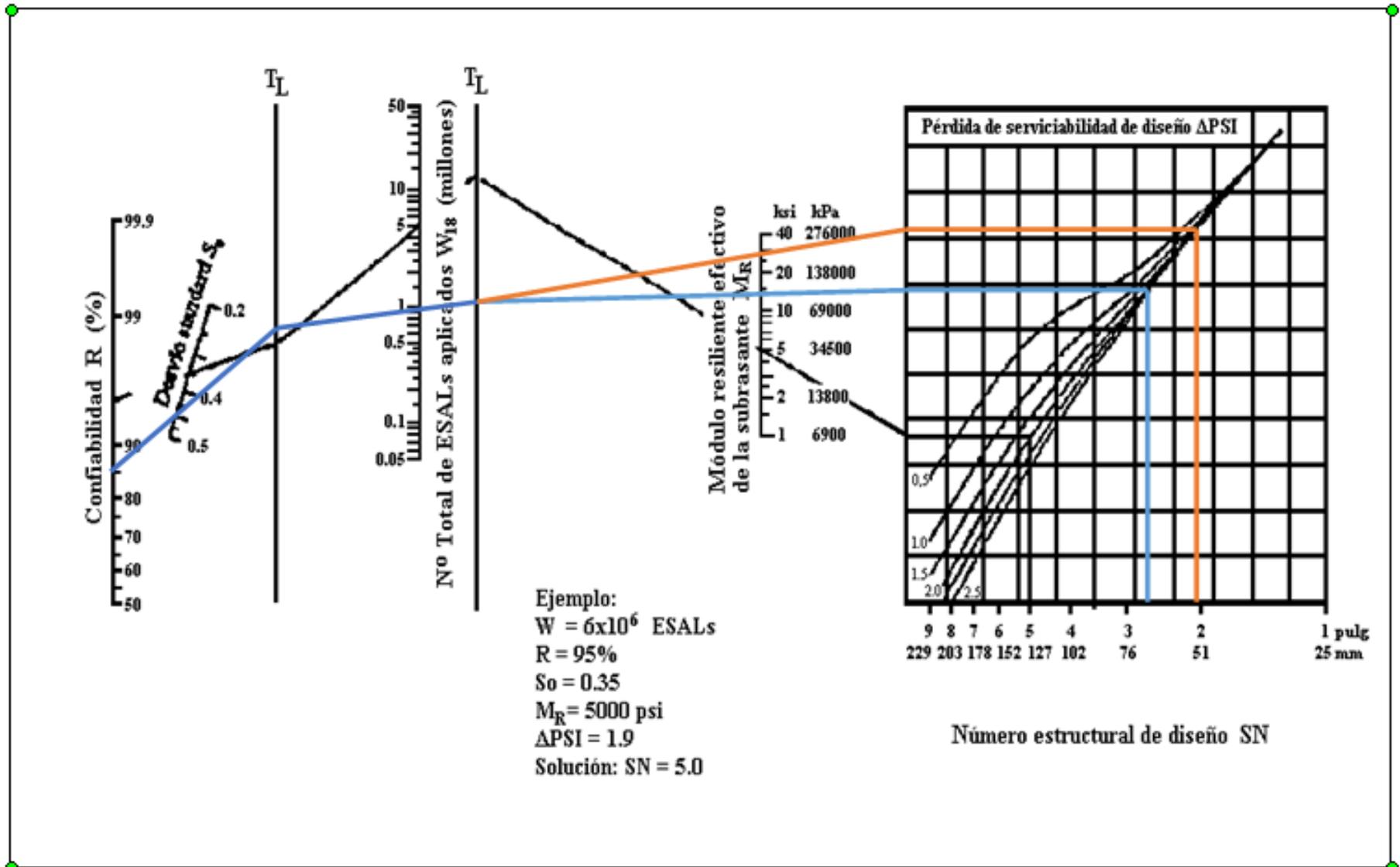
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pág. 6.

Anexo 9. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem, $\rho_t = 2$, SN= 5

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

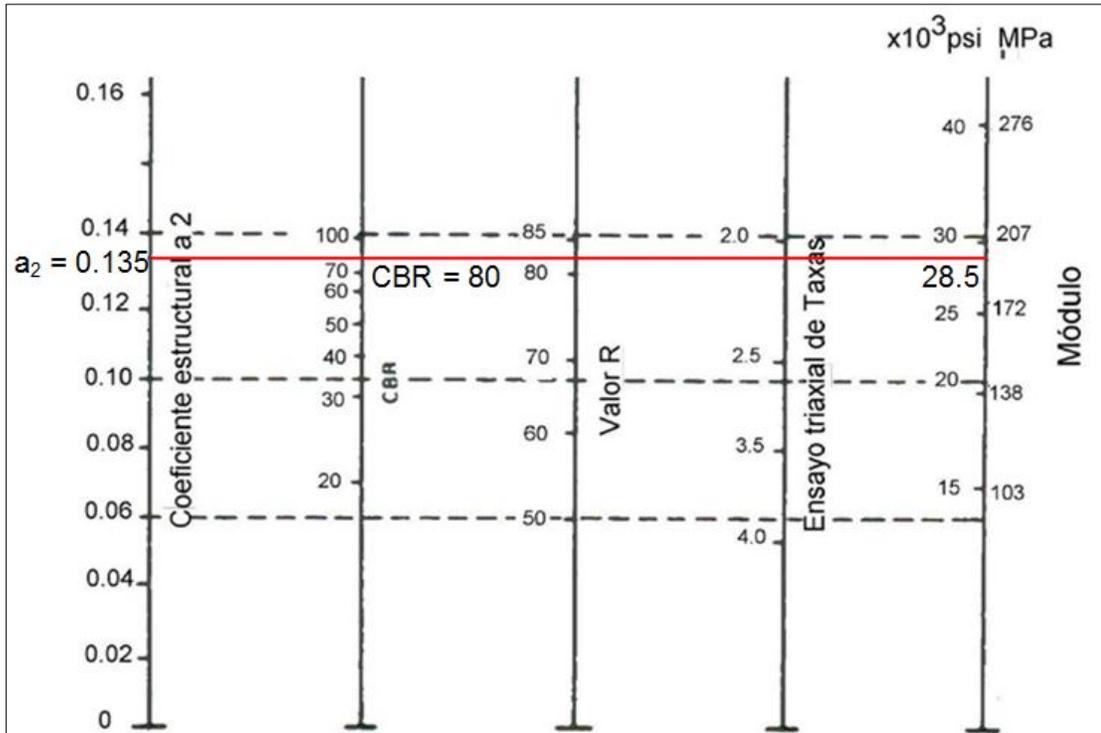
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 7.

Anexo 10. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles



Fuente: Diseño de pavimento (AASHTO-93), pág. 174

Anexo 11. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.



Fuente: Guía de Diseño para Pavimentos. AASHTO 93, Cap. 3, pág. 35.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

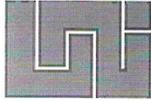
El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR: ERVIN ANTONIO JIMENEZ ZAVALA** Carné No.: **2006-21271** Turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los veintitrés días del mes de enero del año dos mil quince.



DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.
DIECHB/Claus*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
SEDE UNI-NORTE
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016

No. Recibo **203900** No. Inscripción **745**

NOMBRES Y APELLIDOS: Ervin Antonio Jiménez Zavala
CARRERA: INGENIERIA CIVIL CARNET: 2006-21271 TURNO:
PLAN DE ESTUDIO: 97 SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE FECHA: 21/11/2016
2016

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

SNCORNEJOG

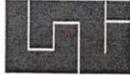
GRABADOR


FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO


FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 21-Nov-2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

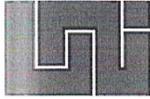
El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR: JOAN LUIS ZELAYA CACERES** Carné No.: 2006-21362 Turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los veinte días del mes de enero del año dos mil quince.



DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.
DIECHB/Claus*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
SEDE UNI-NORTE
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016

No. Recibo **203587** No. Inscripción **717**

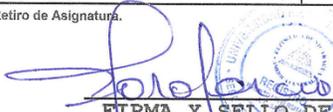
NOMBRES Y APELLIDOS: Joan Luis Zelaya Cáceres
CARRERA: INGENIERIA CIVIL CARNET: 2006-21362 TURNO:
PLAN DE ESTUDIO: 97 SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE FECHA: 17/11/2016
2016

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

SNCORNEJOG

GRABADOR


FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 17-Nov-2016