



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS.
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION.

TESINA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.

TEMA:

“Diseño de Adoquinado en el casco urbano del municipio de Siuna”.

PRESENTADO POR:

Br.. Ligia Carolina Reyes Trujillo.

Br. José Adrian Urrutia Hernández

TUTOR:

Ing. Israel Morales.

Managua, Nicaragua

02 de Junio del 2015

ÍNDICE

CAPITULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.2.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL MUNICIPIO	3
1.2.2 VIALIDAD Y TRANSPORTE	3
1.2.3 INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVO GENERAL:.....	5
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	5
CAPITULO 2. ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTO	6
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES:.....	6
CAPITULO 3. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA VIAL.	11
3.1 TRABAJOS DE CAMPO.	11
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	12
3.3 CBR (VALOR SOPORTE CALIFORNIA)	13
3.4 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE (MR)	15
3.5 CONSIDERACIONES A SER UTILIZADAS PARA EL DISEÑO.	16
CAPITULO 4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE TRÁFICO.....	20
4.1 VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN	21
4.2 VOLÚMENES DE TRANSITO ABSOLUTOS O TOTALES:	22
4.3 TRANSITO PROMEDIO DIARIO.....	22
4.4 PROYECCIONES DEL TRÁNSITO	22
CAPITULO 5. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO VIAL.	33
5.1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA.	33
5.2 VEHÍCULO DE PROYECTO	33
5.3 VELOCIDAD DE PROYECTO	34

5.4 CURVAS HORIZONTALES:	35
5.5 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD	36
5.6 CURVAS VERTICALES	37
5.8 ELEMENTOS MÍNIMOS DE LA VÍA:	38
CAPITULO 6: DISEÑO DE PAVIMENTO DE ADOQUÍN.	39
6.1 MÉTODO AASHTO 93.....	39
6.2 VARIABLES DEL MÉTODO AASHTO 93	40
CAPITULO 7. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PROPUESTO... ..	44
7.1 RESUMEN DATOS DE DISEÑO.	44
7.2 CÁLCULO MANUAL DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO.	44
CAPITULO 8. CONCLUSIONES	47
CAPITULO 9. RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS	51

DEDICATORIA.

El presente trabajo está dedicado a:

DIOS.

Po habernos permitido llegar hasta este punto, habernos dado la salud, por ser el manantial de vida y derramarnos la fortaleza y el valor para seguir adelante día a día y lograr nuestros objetivos, además por su infinita bondad y amor.

Nuestros Padres.

Por apoyarnos en todo momento, por sus sabios consejos, sus valores, por la motivación constante, sus ejemplos de perseverancia y constancia, las que nos han permitido ser personas de bien, pero más que todo, por el amor que nos dan.

AGRADECIMIENTO.

A Dios.

Nuestro creador, sin el nada de esto fuese posible, por darnos la vida, la inteligencia para ser lo que somos.

A nuestros padres.

Nuestros más profundos agradecimientos a nuestros padres quienes han sido nuestros principales cómplices en el logro de nuestros objetivos y nos han llevado de la mano en cada paso que damos, por su amor incondicional, su empeño y confianza, Gracias.

A nuestra alma mater y nuestros maestros.

No podemos dejar de agradecer a cada uno de nuestros maestros y docentes de esta alma mater quienes nos han acompañado en el recorrido de este largo camino del saber. Por el gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, por habernos transmitido los conocimientos obtenidos y habernos llevado paso a paso en el mundo de aprendizaje.

Nuestro tutor Ing. Israel Morales por su apoyo entregado en este trabajo.

A todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a la realización de este documento.

CAPITULO 1: GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de criterios de sostenibilidad en los pavimentos de calles y/o carreteras está impulsando el estudio de nuevos conceptos en su diseño para prolongar sustancialmente la vida de los mismos, de modo que no aparezcan daños estructurales y que su mantenimiento sólo requiera una renovación periódica de la capa de desgaste o rodadura por requerimientos de seguridad y comodidad (características superficiales).

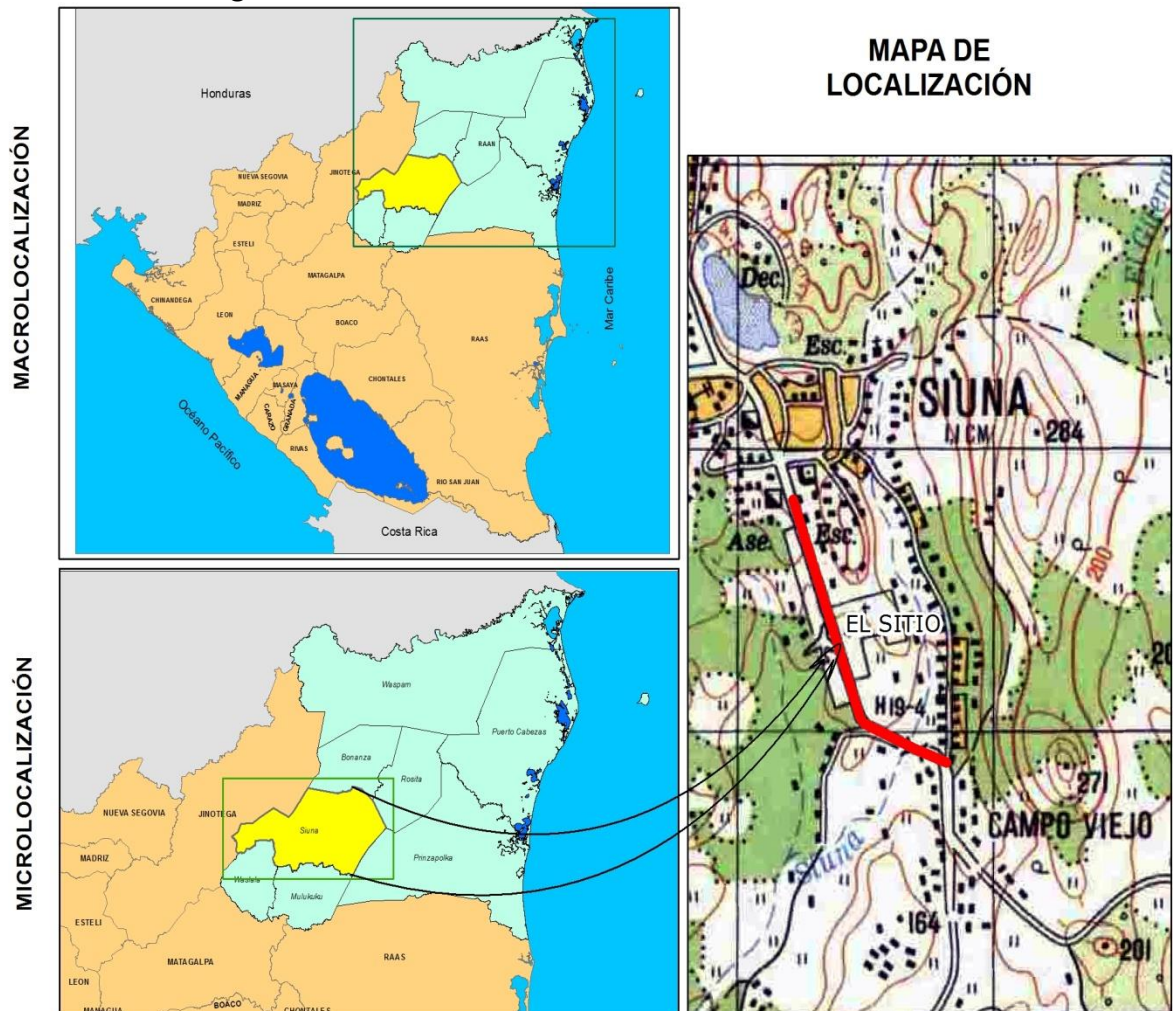
El tramo en estudio se ubica en la periferia del casco urbano (Suburbano), el tramo se denomina calle La pista (debido a que se extiende paralelamente a lo largo de toda la pista de aterrizaje del municipio), con una longitud de 1,167 ml, localizado en el municipio de Siuna departamento RAAN, a 318 Km aproximadamente de la capital. El municipio de Siuna cuenta con una superficie aproximada de 3,548.1 Km², se encuentra entre las coordenadas 13⁰ 44' de latitud norte y 84⁰ 46' de latitud oeste, a una altura de 200 MSNM, limita al Norte con el Municipio de Bonanza, al Sur con los municipios de Paiwas y Mulukukú, al Este con los municipios de Rosita y Prinzapolka, al Oeste con los municipios de Waslala y el Cuá Bocay.

El presente trabajo final de curso pretende proveer al tramo en cuestión de un diseño de pavimento apto para la alta circulación de vehículos livianos y un gran porcentaje de vehículos pesados, debido a que el tramo es un bypass en el municipio para el ingreso de los vehículos del comercio, vehículos de carga.

Una de las principales fuentes de información, de la cual se ha procesado alguna de las variables necesarias para el desarrollo del diseño de pavimento, según la metodología propuesta, ha sido obtenida a través de la Consultora IDISA y por otro lado mediante consultas a la bibliografía relacionada y visitas al sitio.

Los métodos existentes para la elaboración del diseño de estructuras de pavimentos flexibles, han venido cambiando conforme pasan los años, ya sea por estudios realizados y la misma tecnología que va avanzando, las cuales se han tomado en cuenta con el fin de obtener un diseño óptimo y eficiente, y así tener carreteras y calles que tengan la suficiente resistencia para soportar las cargas a las que son sometidas diariamente. Nos hemos propuesto elaborar nuestra tesina con el tema **“Diseño de Adoquinado en el casco urbano del Municipio de Siuna”**, realizando el diseño de pavimento por uno de los métodos que propone el manual centro americano como es el método AASHTO, el cual se basa en la Guía de Diseño AASHTO 1993.

Figura N°1: Localización del Tramo de Estudio



1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Reseña histórica del Municipio

El auge industrial del oro y la plata comenzó en gran escala a partir de la década de los 30's y los 40's, mediante el establecimiento de empresas extranjeras (canadienses y estadounidenses) que se dedicaron a la explotación de metales preciosos. Es así como surge y empieza a estructurarse y desarrollarse el municipio de SIUNA. Fue creado como municipio el 22 de Agosto de 1969, por el Poder Legislativo, con cabecera en la Villa de SIUNA, elevada al rango de ciudad en ese mismo decreto de Ley.

1.2.2 Vialidad y transporte

El municipio de SIUNA, se comunica con Managua a través de 2 carreteras revestidas de balastro transitables todo el tiempo: una por Río Blanco y la otra por Waslala, las cuales han creado serias dificultades al transporte que opera en la zona debido a la precipitación continua e intensa, propias de la Zona atlántica; por otro lado existe una carretera interregional revestida, transitable todo el tiempo, esta carretera le permite comunicarse con los municipios de Rosita, Bonanza, Puerto Cabezas, Alamikamba y Limbaika. El municipio cuenta con una pista de aterrizaje, ofreciendo viajes de un vuelo por día, brindado por “LA COSTEÑA”.

En la actualidad se están implementando en la región proyectos pilotos como son los tramos de carretera con pavimento rígidos (concreto Hidráulico).

1.2.3 Infraestructura vial Urbana

Todas las calles de la red vial urbana se encuentran en regular estado, la mayor parte de la red vial urbana son calles con superficie revestidas de balastro, desde el 2000 se ha venido implementado las mejoras de calles con concreto hidráulico (Pavimento Rígido) pero con la aplicación no adecuada de las normas constructivas y en el 2011 se realizó el primer adoquinado en Siuna con una longitud de 1,130 m.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Una comunicación vial adecuada es de vital importancia en el desarrollo de una ciudad, por ello la comuna de Siuna está convencida que el progreso del Municipio exige mejoras en su infraestructura vial, y que ello está unido al bienestar de sus pobladores, por tanto orientándose a los cambios que exige el mundo, es necesario el uso de pavimentos más adecuados para sus tramos de calle.

En la actualidad el tramo de calle en estudio cuenta con una estructura de pavimento de macadán (balastro), pero este carece de un diseño de pavimento y diseño geométrico vial adecuado, lo que lo hace vulnerable a la influencia de las lluvias típico de la zona atlántica, las cuales provocan mal funcionamiento del tramo de calle, formando cárcavas y baches, las que a su vez provocan afectaciones en la salud de la población, así mismo incrementa el deterioro de las unidades de transporte que circulan actualmente por la vía provocando altos costos de operación y mantenimiento.

Considerando el estado actual de la vía, la cual no presta todas las condiciones óptimas de transitabilidad, además que el tramo funciona como un bypass de transporte pesado (Carga y Pasajero) para el ingreso de los mismos al centro de la ciudad, se implementará el uso de pavimento articulado (Adoquinado), este tipo de pavimento es debido al sub desarrollo del municipio y al aprovechamiento del material local (arena y grava), su fácil manejo constructivo y el bajo impacto ambiental que provoca este tipo de pavimentos; y así mejorar la serviciabilidad del tramo y disminuir el costo operacional y mantenimiento de los mismos, y por otro lado contribuir al desarrollo vial del municipio.

1.4 OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar una estructura de pavimento articulado (adoquinado) en el tramo LA PISTA, del municipio de Siuna.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar los estudios geotécnicos realizados por IDISA (Ingeniería de diseño e Inversiones S.A) en el tramo LA PISTA y bancos de préstamos, con la finalidad de obtener CBR de diseño de la subrasante y la calidad del material de préstamo.
- Realizar un Análisis del estudio de tráfico que nos permita obtener el ESAL`S de diseño.
- Revisar el trazado geométrico actual del tramo LA PISTA, en cumplimiento de las normas mínimas
- Determinar los espesores de las capas del pavimento.

CAPITULO 2. ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTO

Desde el principio de la existencia del ser humano, se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, por ello el diseño y construcción de calles y/o carreteras incluye un amplio abanico de variables y condicionantes que han de ser asumidos en cuenta. Uno de los más importantes es la durabilidad prevista.

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES:

Debido al inadecuado uso del término “pavimento”, cuando se refieren a éste, las personas se reseñan únicamente a la superficie de rodamiento ya sea de concreto hidráulico, concreto asfáltico o adoquín, excluyendo de este término las calles y carreteras únicamente construidas de macadán (balastro). Para aclarar este inadecuado uso del término, y para la comprensión del público en general del contenido de este trabajo, comenzaremos con la definición y conceptos de los elementos del pavimento.

2.1.1 Definición de pavimento.

El pavimento se considera como la plataforma de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales, destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén; en otras palabras, pavimento es una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente o subrasante (en su mayoría suelo natural) pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva.

2.1.2 Características de un pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente la función para la cual fue concebido, debe tener como mínimo los siguientes requisitos o características:

- ✓ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes de Intemperismo.

- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- ✓ Debe ser económico.
- ✓ Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.1.3 Tipos de pavimento.

En el Ámbito ingenieril se conoce que los pavimentos se sub dividen en dos categorías populares como son los Pavimentos Rígidos y los Flexibles, pero en la actualidad existen otros tipos, aunque muy poca utilizados, son los pavimentos Semirrígidos y los articulados, todos estos atendiendo a la forma como distribuyen las cargas sobre el suelo subyacente o sub-rasante, y los materiales que se emplean para su Fabricación y la constitución de la superficie de rodamiento.

2.1.4 Pavimentos Articulados (Semiflexibles).

Los pavimentos semiflexibles o articulados, son los que constan de una capa de rodamiento flexible, formada por elementos de concreto prefabricados de pequeñas dimensiones y uniformes (Adoquines), que individualmente son muy rígidos y se asientan sobre una capa de arena, estos elementos se colocan en yuxtaposición y que debido a la conformación de caras laterales se consigue una transferencia de cargas desde el elemento que la recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando solidariamente y sin posibilidad de desmontaje individual.

2.1.5 Estructura de Pavimento.

Es la estructura de una vía, construida sobre la sub – rasante, y compuesta normalmente por la sub – base, base y carpeta de rodamiento(*Anexo B*), cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito y permita la circulación vehicular de una manera segura, cómoda, eficiente, permanente y económica.

2.1.6 Diseño de Pavimento.

El diseño de pavimento se define como el proceso de determinación de una combinación de materiales, y espesores de capas construidas con tales materiales, que garanticen tanto el comportamiento estructural de su conjunto, cuando es sometido a los efectos impuestos por las variables actuantes sobre la estructura, como el cumplimiento de las funciones para las cuales ha sido diseñado.

2.1.7 Carpeta de Adoquines.

Es la capa superior de un pavimento, formada por un conjunto de elementos de concreto, prefabricado, cada uno con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonos, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado.

2.1.8 Concepto de Adoquín.

La palabra adoquín proviene del árabe «**ad-dukkān**» que quiere decir “piedra escuadrada”; Los adoquines son elementos macizos, piedras prefabricadas de concreto de espesor uniforme e iguales entre sí, de diferentes dimensiones y formas, que al colocarlos sobre una superficie encajan unos con otros de manera que solamente quede un pequeño espacio entre ellos, cuya función esencial es distribuir eficientemente las cargas concentradas de los ejes de los vehículos, hacia las otras capas de la estructura de pavimento que lo soportan, de manera que éstas no presenten fallo o deformación excesiva.

2.1.9 Transmisión de esfuerzos.

Los pavimentos de adoquines no pueden considerarse rígidos, pues si bien se producen momentos de flexión locales en la extensión de cada adoquín, esos se anulan en la junta con el adoquín vecino. Existe una transmisión de esfuerzos a los adoquines vecinos por esfuerzo de corte, al recibir un adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye en el espesor del bloque y es transmitida sobre el área de la base cubierta por él; ya en la capa de base la carga se distribuye por contacto de partícula a partícula como en un pavimento flexible.

Estudios realizados han mostrado que los pavimentos de adoquín se van rigidizando con el tiempo, aumentando con ello su capacidad de disipación de carga y que las deformaciones permanentes se acumulan, fundamentalmente, al principio de la vida del pavimento. Hasta que se alcanza un estado de trabazón total, más allá del cual la deformación del pavimento es muy pequeña. El modo de falla típico de estos pavimentos es la acumulación de deformaciones permanentes (Ahuellamiento), provocada por la repetición de cargas que sobrepasan la capacidad elástica de las capas del pavimento.

2.1.10 Trabazón de los Adoquines.

La trabazón es el mecanismo que permite la transmisión de esfuerzos entre los adoquines y se le define como la capacidad de estos elementos para resistir un desplazamiento relativo con respecto a sus vecinos. Una buena trabazón le confiere a los adoquines la capacidad de transmitir las cargas superficiales aplicadas en áreas pequeñas, ampliando esta transmisión a áreas más extensas de la capa de sub-base, lo cual mantiene las presiones en la sub-rasante dentro de límites admisibles.

Es importante mencionar el hecho de que la propiedad de distribución de cargas va mejorando con el uso, produciéndose hermeticidad (estado de trabazón total), por lo cual la capa de rodado va adquiriendo mayor rigidez y los adoquines gracias a esto pasan de ser una capa de desgaste a una capa estructural.

2.2 Requisitos físicos y mecánicos de los adoquines de concreto.

2.2.1 Dimensiones y características geométricas:

Geométricamente deben tener una longitud nominal entre 50 y 250 mm, un ancho nominal no menor de 50mm y espesor estándar no menor de 60mm, en múltiplos de 20mm, es decir, 60, 80 y en algunos casos 100mm. La relación entre la longitud nominal y el ancho nominal no deber ser mayor de 4 y la relación entre la longitud nominal y el espesor estándar no debe ser mayor de 4.

Las tolerancias en la longitud y el ancho reales serán de ± 2 mm de las medidas nominales. La tolerancia en el espesor real será de ± 3 mm del espesor nominal.

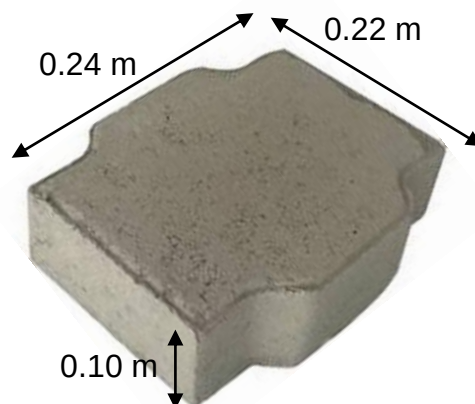


Figura N°2: Adoquín Tipo

Para todos los tipos de adoquines, la absorción promedio para tres muestras será como máximo de 7% y ningún valor individual superior al 9 %.

2.2.2 Requisitos Mecánicos (Resistencia a la Compresión)

Como mínimo, la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto debe ser lo indicado en la Tabla N°1.

Tabla N°1
Resistencia Mínima a la Compresión

Tipo de adoquín	Resistencia Mínima a la compresión promedio MPa (kg/cm ²)	Resistencia Mínima a la compresión para una muestra MPa (kg/cm ²)*
Adoquín Tipo 1	24,22 (247)	21,80 (222)
Adoquín Tipo 2	20,60 (210)	18,54 (189)
Adoquín Especial	(x)	(x)

Fuente: NTON-12 009-10

*Si una muestra tomada al azar de un lote de 20,000, como indica el NIC 2000, da por debajo de este valor promedio de este lote no será aceptado.

CAPITULO 3. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA VIAL.

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil existe una variedad de suelos en nuestro país, sin embargo al momento que se requiere emplear uno de estos, la selección es bastante rigurosa.

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelos efectuado con el propósito de determinar las características del sub-suelo, para posteriormente realizar el Diseño de Espesores de Pavimento del tramo en estudio. Para la determinación de las características del suelo de cimentación y materiales a emplear en el proyecto de diseño de Adoquinado en el casco Urbano de Siuna, nos hemos auxiliado en la información suministrada por la Consultora IDISA.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas de laboratorio se procedió con la selección del valor CBR de la sub-rasante para posteriormente la determinación del Módulo de Resiliencia a través de ecuaciones de correlación entre el MR y el CBR utilizado en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento de la SIECA.

3.1 TRABAJOS DE CAMPO.

Se realizaron excavaciones de pozos de investigación espaciados a distancias de 100 m. con profundidades adecuadas para realizar el estudio (en general se buscó alcanzar al menos 1.5 m. por debajo del nivel de la sub-rasante, con boca de 30 cm de diámetro aproximadamente). De cada pozo se tomaron tantas muestras como tipos de materiales significativos que fueron detectados, efectuando comparaciones visuales y al tacto, para seleccionar muestras representativas de los estratos perforados, y haciéndose el registro correspondiente (formulario de investigación de campo) con datos referentes a la ubicación y profundidad del pozo, descripción visual del perfil estratigráfico, clasificación al tacto, para determinar de manera aproximada su plasticidad,

textura si es arenosa, gravosa o roca, presencia de agua y otros datos que sean de interés.

Se tomó, además, muestra de dos (2) Bancos de Materiales (Aguilucho y La Basurita), de pozos con dimensiones de cuadro 1.5m x 1.5m por 2m de profundidad, las que fueron trasladadas al laboratorio para su análisis respectivo.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De acuerdo a los resultados de laboratorio, a lo largo del camino investigado predominan: en las capas superficiales hasta una profundidad media de 0.5 m, las Gravas Arcillosas del tipo A-2-4, encontrándose también las grava areno arcillosa del tipo A-2-6 a una profundidad aproximada de 0.5m, con una altura de estrato medio de 1m y en menor presencia se encuentran cúmulos pequeños de suelos del tipo A-7-6 a una profundidad no menor de 0.5m en la est.0+800 y en la estación 1+100 (*Anexo D y D.1*)

Los Índices de Grupo (I.G) reflejan valores de 0 (Cero) para los Suelos A-2-4, A-2-6, de 6 y 4 para los suelos A-7-6.

A las muestras obtenidas de los sondeos manuales se le practicaron las pruebas correspondientes tales como: Granulometría (*Ver Anexo E*), Límites de Atterberg, entre otras, todas ellas para llevarnos al cálculo de CBR. (*Ver Sección VIII.3*)

Asimismo se realizaron los muestreos en las posibles fuentes de materiales más cercanos a la línea del camino, los mismos ya han sido utilizados en otros proyectos (Banco Pre-explotado), mediante los cuales se obtuvieron muestras para la realización de los siguientes ensayos: Granulometría, PVS máxima, humedad, Límites de Atterberg, PVSS. Obteniendo los siguientes resultados:

Banco Aguilucho: Banco pre-explotado a una distancia del proyecto de 2.5 Km con suelo del tipo A-1-a (0), con índice de plasticidad de 4 y 26 de límite líquido,

suelo que se encuentra a una profundidad de 0.20m de nivel de terreno natural y en la superficie a un rango de 0 - 0.20m encontramos suelos del tipo A-2-4(0) limite liquido de 29 y un índice de plasticidad de 7 y CBR=98.60. (Anexo G)

Banco La Basurita: Banco pre-explotado ubicado a 4.5 Km del sitio del proyecto, presenta suelos del tipo A-2-4(0), con índice de plasticidad de 8 y 28 de limite líquido, suelo que se encuentra a una profundidad de 0 a 0.10 m y después de este encontramos suelos del tipo A-1-a (0) limite liquido de 26, un índice de plasticidad de 6 y un CBR=41.10. (Anexo F)

3.3 CBR (VALOR SOPORTE CALIFORNIA)

Uno de los datos geotécnicos más importante en el diseño de pavimento es el CBR (California Bearing Ratio) o valor soporte california de la sub-Rasante, el que nos indicará las condiciones físicas mecánicas actuales de la misma, dicho dato presenta gran correlación con el valor MR (Modulo de Resiliencia).

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de sub-rasante, sub – bases y bases granulares. Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado

El CBR se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

$$CBR = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado.}}{\text{Esfuerzo en el suelo Patrón}} \quad \text{Ec. 1}$$

3.3.1 Selección del CBR de Diseño.

Como bien se sabe que los suelos en carretera no son homogéneos por ello para determinar el CBR de Diseño, se hizo necesario realizar varias pruebas, teniendo en cuenta la longitud del tramo, como es de esperarse los resultados

obtenidos difieran entre ellos a causa de las variaciones naturales del suelo y las imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos.

El valor a tomar de los materiales existentes debe ser representativo en el tramo del camino a considerar en el diseño del pavimento por lo que existen muchos criterios para seleccionar el CBR adecuado, siendo el más utilizado el del instituto del asfalto que recomienda tomar un valor tal como se indica en la tabla siguiente:

Tabla N°2: Límites para Selección de CBR de Diseño.

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de subrasante
<10 ⁴ ESAL's	60
10 ⁴ a 10 ⁶ ESAL's	75
>10 ⁶ ESAL's	87.5

Fuente: Manual de Pavimento (SIECA)

3.3.2 Pasos para la selección del CBR a utilizar

Para la determinación de dicho valor se utilizara el método propuesto por el instituto del asfalto.

De la Línea de Sondeo se tienen las muestras de suelos, algunas de las muestras tienen un mismo valor de CBR debido a las características similares de los suelos, a esto se le llama frecuencia.

1. Se ordenan los valores de CBR de menor a mayor junto con sus respectivas frecuencias. (*Anexo H-1*)
2. Se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno. (*Anexo H-1*)
3. Con los % de valores CBR mayores o iguales y los valores CBR obtenidos de laboratorio, se grafican dichos datos, resultando una curva. (*Anexo H-2*)
4. Aplicar recomendación del Instituto del Asfalto (*Ver tabla N°2*), en nuestro caso el percentil es el 75%, (*Anexo H-2*)
5. Y por último introducir dicho porcentaje en la gráfica y leer el valor de CBR de diseño, en nuestro caso dicho valor es un **CBR =13** (*Anexos H-2*).

3.4 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE (MR)

El método de diseño toma en consideración las características geotécnicas a través de la variable de Módulo Resiliente, el cual está definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial, dividido entre la deformación axial recuperable, siendo este equivalente al Módulo de Young (módulo de elasticidad) y se representa de la siguiente manera:

$$MR = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}} \quad Ec.2$$

En la cual:

MR: Módulo Resiliente

σ_1 : Esfuerzo Principal Mayor

σ_3 : Esfuerzo Principal Menor

σ_d : Esfuerzo Desviador

ϵ_{axial} : Deformación Recuperable

3.4.1 Determinación del MR Método Indirecto:

En el diseño de espesores de una estructura de pavimento flexible, el método del instituto del asfalto, considera como parámetro fundamental la evaluación de los materiales para obtener el módulo de Resilencia (MR).

Como no es fácil tener el equipo para llevar a cabo este tipo de pruebas, se han establecidos factores de correlación entre el módulo de Resilencia (MR) y la prueba del CBR (AASHTO T-193). Los valores obtenidos son bastante aproximados. Para calcular el módulo de Resilencia a partir del CBR se han desarrollado formulas empíricas, o formas de correlación entre el CBR y MR, ecuación según recomendaciones de la AASHTO, en nuestro caso:

$$MR = 3000 \times CBR^{0.65} \quad \text{para } 10\% < CBR < 20\% \quad Ec. 3$$

Sustituyendo en la EC.3 el CBR=13, Obtenemos un **MR=15,892.22**

3.5 CONSIDERACIONES A SER UTILIZADAS PARA EL DISEÑO.

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

3.5.1 Consideraciones para la Sub. Rasante

La Sub – Rasante comprende la última capa de corte o relleno producto del movimiento de tierra. Por lo tanto, ésta misma sirve como soporte de fundación para la estructura de pavimento.

Por lo tanto, es importante mencionar las características deseables de una sub rasante:

- 👍 Alta resistencia
- 👍 Permanencia de la resistencia
- 👍 Uniformidad en el material, evitando cambios importantes
- 👍 Alta densidad
- 👍 Poca susceptibilidad al agua
- 👍 Pocas variaciones en su granulometría
- 👍 Facilidad de compactación
- 👍 Permanencia de compactación.

En nuestro diseño, tratamos en lo posible de garantizar una estructura que funcionalmente garantice las características antes mencionadas. Dado los resultados Geotécnicos tenemos un suelo de fundación que se considera entre bueno a Regular Para sub rasante con CBR=13 y un MR=15,892.22

3.5.2 Consideraciones para la sub-base

Está definida como la capa inmediata después de la sub-rasante, tomando en cuenta que esta capa se encuentra alejada de las cargas que resiste directamente la capa de rodamiento, no se requieren materiales de gran resistencia como los de la capa base, por lo que su módulo de elasticidad es menor que el de la capa base, además de funciona como una capa que facilita el

drenaje de las aguas principalmente presentes por percolación y ascenso capilar, la capa sub-base sirve como un material de transición entre la sub-rasante y la capa base evitando el ascenso de materiales finos que pueden contaminar la capa base reduciendo su capacidad de resistencia.

El material a ser utilizado deberá ser de material de préstamo, colocado y compactado al 95% del Proctor modificado, el contenido de humedad utilizado en la compactación no debe de variar en un 2% del contenido óptimo de humedad, obteniéndose un CBR saturado mayor o igual al 40% según el ensayo AASTHO-T-180, cumpliendo con un límite líquido máximo de 35%, índice de plasticidad máximo 12, equivalente de arena mínimo de 25%, y la siguiente granulometría.

Tabla N°3, Granulometría para Sub Base

Tamaño del Tamiz (milímetros)	Porcentaje en peso que pasa	
	Tipo 1	Tipo 2
75	100	100
37.5	80 - 100	80 - 100
20	60 - 85	75 - 100
10	45 - 70	45 - 90
5	30 - 55	30 - 75
2	20 - 45	20 - 50
0.425	8 - 26	8 - 33
0.075	5 - 15	5 - 22

Fuente: NIC 2000.

Atendiendo las consideraciones antes planteadas se utilizará para capa de Sub Base el material del Banco “El Aguilucho”, ubicado a 4.5 Km de la estación 1+167. Su CBR es de 41.10%, con un tipo de suelo A-1-a (0) e índice de plasticidad 4 y límite líquido 26. Dichas característica nos proporcionan los Siguietes datos: coeficiente $a_3=0.121$ y $MR= 17,200$ psi (Anexo M).

3.5.3 Consideraciones para la Base

Esta se define como la capa colocada inmediatamente por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación muy cercana a la aplicación de las cargas se requiere materiales de gran calidad y resistencia. Por lo tanto, los módulos de elasticidad de estas capas son altos para poder absorber gran parte de los esfuerzos y distribuirlos a las capas inferiores en una magnitud tal que estos esfuerzos puedan ser resistidos por los materiales de menor calidad como lo es la capa de sub-base y de sub rasante. Otra función está asociada con la facilidad de drenar el agua proveniente de la superficie y evitar el ascenso capilar de las aguas inferiores.

El material propuesto debe poseer las siguientes características, valor soporte de CBR mínimo de 80%, desgaste de los ángeles máximo 50% (AASHTO T-96), equivalente mínimo de arena 40% AASHTO T-176, limite liquido máximo 25 AASHTO T-89, índice de plasticidad máximo 10% AASHTO T-90, además el material a utilizar como base debe de cumplir con la Granulometría mostrada.

Tabla N°4: Granulometría para base para Base

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

Fuente NIC 2000

Para cumplir las consideraciones antes planteadas se utilizará para capa Base el material del Banco “La Basurita”, ubicado a 5.5 Km de la estación 1+167. Su

CBR es de 98.60% con un tipo de suelo A-1-a (0) e índice de plasticidad de 6 y limite líquido igual a 26 (*Anexo F*). Dichas características nos proporcionan los siguientes datos estructurales: coeficiente $a_2=0.138$ y $MR=29,451$ psi (*Anexo L*) calculado a escala en AutoCAD.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE TRÁFICO.

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera o calle funcione durante el periodo de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestionamiento por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

Para determinar la tasa de crecimiento a utilizar en las proyecciones, se realizó una correlación entre las variables socio económicas PIB y población, en función de la estación permanente más cercana del Sistema Nacional de Conteo del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual contenga la información completa y necesaria para los cálculos posteriores, basados en los datos de la Dirección de Administración Vial (DAV) del MTI, publicados en el anuario de trafico 2013. Además nos basaremos en un conteo vehicular de un día de 12 horas de las 6:00 am a la 6:00 Pm.

La estación más cercana al sitio de estudio es la estación Sumaria 2106 (NIC-21B, MULUKUKU – SIUNA), la cual no cuenta con un registro histórico continuo, ni factores de corrección para el cálculo del TPDA en base al conteo de 12 horas, por ello se tomaron los registros de la estación permanente 700 (Empalme. Camoapa - Tecolostote) Estación de Mayor Cobertura (EMC) que rige el Sistema (*Ver Anexo C*), a la cual pertenece la estación sumaria 2106.

Se tomó como año base el 2015(inicio de operación de la vía) y definiendo un período de vida útil igual a 15 años, según manual Centroamericana de normas para el diseño geométricos de las carreteras, SIECA 2001 (*Ver Anexo P*).

4.1 VOLUMEN Y CLASIFICACIÓN

Se denomina volumen de tráfico al número de vehículos que pasan por un punto dado en un período específico de tiempo. El volumen de tráfico se expresa generalmente en número de vehículos por una unidad de tiempo que es generalmente el día o la hora. En general, los volúmenes de tráfico están compuestos por unidades heterogéneas y esta tendencia se acentúa a medida que aumenta el número de vehículos por unidad de longitud de vía. Por tanto, se hace necesario conocer también la composición de estos volúmenes.

Los factores socioeconómicos, pueden provocar cambios significativos en el volumen vehicular proyectado y su composición, dentro la composición de estos podemos encontrar los tipos de vehículos según Clasificación de Tránsito Nacional (*Ver Anexo R*), siendo estos los siguientes:

- **Motos:** vehículos automotores de dos ruedas.
- **Vehículos Livianos:** vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen: Automóviles, Camionetas (Pick-ups) y Jeeps.
- **Vehículos Pesados de Pasajeros:** vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen: Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros), Microbuses Medianos (mayores de 15 pasajeros), Buses grandes y Camiones utilizados para el transporte de pasajeros.
- **Vehículos Pesados de Carga:** vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas, desde dos a más ejes, estos vehículos incluyen: camiones pequeños de dos ejes (C2 Liviano), camiones de dos ejes mayores a cinco Toneladas (C2), camiones de tres ejes (C3), camiones de cuatro ejes (C4), camiones combinados con remolque (C2R2, C2R3) y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de (T3S2) y (T3S3).
- **Equipo Pesado:** tales como vehículos agrícolas y de construcción.

4.2 VOLÚMENES DE TRANSITO ABSOLUTOS O TOTALES:

Número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado, Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado, se tienen los volúmenes de tránsito absolutos o totales: *Tránsito anual (TA)*, *Tránsito mensual (TM)*, *Tránsito semanal (TS)*, *Tránsito diario (TD)* y *Tránsito horario (TH)*.

4.3 TRANSITO PROMEDIO DIARIO

Se define como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. De acuerdo al número de días de este periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dado en vehículos por día: Tránsito promedio diario anual (TPDA), Tránsito promedio diario mensual (TPDM), Tránsito promedio diario Semanal (TPDS).

4.4 PROYECCIONES DEL TRÁNSITO

Algunos de los factores que se utilizan para las proyecciones del tráfico y que impactan fuertemente; son los crecimientos poblacionales, el incremento o disminución en el parque automotor y las oscilaciones del Producto Interno Bruto (PIB), por lo que mínimas variaciones en los rubros que se asumen para el cálculo de la ***Tasa Anual de Crecimiento (TAC)***, pueden provocar cambios significativos en el volumen vehicular proyectado y su composición, estas condiciones, son de mucha importancia para el diseño de los espesores de pavimento, es por ello que los Volúmenes de Tráfico en el Año horizonte, su comportamiento y composición, son los elementos que definen las características geométricas y estructurales con que será diseñada la nueva vía. Para efectos de las proyecciones para el año horizonte se definen los diferentes tipos de tráfico que serán proyectados, tales como:

Tráfico Normal o Actual: Es el tráfico que circula actualmente sobre la vía y que crecerá independiente de las condiciones existentes de geometría y estructurales.

Tráfico Desarrollado: Es el tráfico compuesto por los viajes que se producirán debido al desarrollo de nuevas áreas en la zona de influencia del proyecto o por mejoramiento de las condiciones socioeconómicas del país.

Tráfico desviado: Este tráfico es atribuido a la atracción de la nueva vía o de las mejoras. Es el uso de la vía por la novedad y no por la necesidad. En el caso de este proyecto no existe este tipo de tráfico, ya que la vía en estudio es el tramo más corto y con menores obstáculos de congestionamientos (Existencias de centros de estudios) para el ingreso al centro del casco urbano.

Tráfico Total: Es el tráfico total que circulará sobre la vía y que está formado por la suma del Tráfico Normal o Tráfico actual y el Tráfico Desarrollado.

4.4.1 Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (Año Base 2014).

4.4.1.1 Resultados del Conteo Vehicular.

Los sustentantes elaboramos un resumen del conteo vehicular utilizando las hojas de campo que se llenaron durante el aforo realizado, para luego ingresar los datos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, detallando la composición del Tráfico de las 12 horas, a como se muestra a continuación:

Tramo: Estadio Municipal - Gasolinera San Fernando **Fecha:** 15 de Julio del 2014

Carretera: Calle la Pista **Sentido:** Estadio Municipal - Gasolinera San Fernando

Municipio: Siuna Gasolinera San Fernando - Estadio Municipal

Tabla N°5: Conteo vehicular calle la pista

Hora	Motos	VEHÍCULOS LIVIANO				VEHÍCULO PESADO								Otros (V.A, V.C)	TOTAL
						PASAJERO			CARGA						
		Autos	Jeep	Camnts.	Sub Total	M- Bus	Bus	Sub Total	C-2 Liv.	C-2	C-3	T3-S2	Sub Total		
6-7 AM	4	1	0	0	5	0	1	1	3	2	1	0	6	0	12
7-8 AM	6	4	3	4	17	0	1	1	1	4	4	0	9	0	27
8-9 AM	5	10	1	6	22	1	0	1	2	3	1	0	6	0	29
9-10 AM	4	6	0	0	10	0	2	2	1	4	3	1	9	0	21
10-11 AM	6	4	4	3	17	0	1	1	3	3	0	0	6	0	24
11-12 AM	8	6	1	2	17	1	2	3	2	4	2	0	8	0	28
12-1 PM	9	3	0	6	18	0	1	1	0	2	0	1	3	0	22
1-2 PM	7	1	3	4	15	0	1	1	1	2	1	0	4	0	20
2-3 PM	5	5	1	1	12	0	0	0	2	4	2	0	8	0	20
3-4 PM	4	3	0	6	13	0	2	2	0	3	1	1	5	0	20
4-5 PM	3	2	2	7	14	1	0	1	1	3	2	0	6	0	21
5-6 PM	5	5	3	5	18	0	1	1	0	2	0	0	2	0	21
Total	66	50	18	44	178	3	12	15	16	36	17	3	72	0	265

Los volúmenes cuantificados en la tabla de resumen fueron afectados por tres factores de expansión, obtenidos de la Revista de Conteo de Tráfico del año 2013, de la estación permanente 700 (Empalme. Camoapa - Tecolostote) EMC que rige el Sistema (Ver anexo C). Con los Volúmenes de Tráfico del tramo para 12 horas (Tabla N° 5), se multiplicó por los factores de expansión a veinticuatro horas, semanal y estacional, obteniéndose el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). A continuación los cálculos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo en estudio:

Tabla N°6: Tráfico Promedio Diario Anual Calle La Pista.

TPDA Calle La Pista		Tramo: Estadio Municipal – Gasolinera San Fernando						Longitud del Tramo: 1.5 km			
Grupos	Motos	Liviano de Pasajero			Vehículo Pesado						TOTAL
					Pasajero		Carga				
		Autos	Jeep	Cta. Pick Up	MBus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	T3S2	
TPD	66	50	18	44	3	12	16	36	17	3	265
Factor Día	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Factor Semana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Factor Temporada	0.96	1.02	0.85	0.94	1.13	2.09	0.94	0.89	0.78	0.87	-
TPDA	63	51	15	41	3	25	15	32	13	3	261
Composición (%)	24.14	19.54	5.75	15.70	1.15%	9.58	5.75	12.26	4.98	1.15	100%
		40.99			34.87						

Fuente: Elaboración Propia, basado en Factores de la Estación 700.

Factores tomados de las estadísticas de la estación 700 (Camoapa - Tecolostote), EMC que Rige el sistema de Trafico donde se ubica el proyecto, anuario de Trafico MTI 2011(Anexo C).

4.4.1.2 Proyección del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para calcular las proyecciones de tráfico se analizaron diferentes variables relacionadas con el crecimiento económico del país, decidiendo a través de un análisis de regresión lineal, aquella variable que mostraba la mejor correlación con la tasa de crecimiento del TPDA. Con el valor de la tasa de crecimiento elegida se procedió a estimar las proyecciones del tráfico.

Se utilizó la tasa de crecimiento promedio del Producto Interno Bruto (PIB) en los años 2006– 2013 (*Principales indicadores macroeconómicos, página Web BCN*), utilizando una linealización, para posteriormente aplicar un el modelo de regresión lineal de la correlación con la tasa de crecimiento del TPDA.

Tabla N°7: Crecimiento del PIB 2006 – 2013

AÑO	PIB	TAC (%)
2006	119,235	4.20%
2007	125,540	5.29%
2008	129,120	2.85%
2009	125,557	-2.76%
2010	129,704	3.30%
2011	137,086	5.69%
2012	143,876	4.95%
2013	150,504	4.61%
TAC PROMEDIO ANUAL		3.52%
PIB para el período 2006-2013 (año de referencia 2006)		

Fuente: Boletín Estadístico del Banco Central de Nicaragua “Principales indicadores macroeconómicos 2013”

Para la variable del TPDA se estudió el registro histórico de la estación 700 (ver *tabla N°8*), en sustitución de la estación sumaria 2106 (Mulukukú – Siuna) que no tiene suficiente información *histórica*.

La estación permanente 700, cuya tasa de crecimiento promedio es de 5.94 % según datos de la revista “Anuario de aforos de trafico año 2013, publicada por el MTI. (Ver Tabla N°8)

Tabla N°8: Crecimiento del TPDA 2006 – 2013 Estación Permanente 700.

NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	TPDA	TAC (%)
NIC-9	700	EMC	Empalme de Camoapa - Tecolostote	2005	1,664	-
				2006	1,794	7.81%
				2007	1,756	-2.12%
				2008	1,737	-1.08%
				2009	2,091	20.38%
				2010	2,097	0.29%
				2011	2,283	8.87%
				2012	2,511	9.99%
				2013	2,596	3.39%
TASA CRECIMIENTO ANUAL PROM. (TAC %)						5.94

Fuente: Revista de Tráfico año 2013. MTI.

Otra variable socioeconómica a evaluar corresponde a la tasa de crecimiento de la población de Siuna. La cual promedia un TAC del 3.80%, según datos obtenidos en la alcaldía de Siuna, los cuales son basados en estimaciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC).

Tabla N°9: Crecimiento de la Población 2005 – 2013.

SIUNA	POBLACIÓN	TAC (%)
2005	71,350	-
2006	74,233	4.04%
2007	77,203	4.00%
2008	80,254	3.95%
2009	83,115	3.56%
2010	86,327	3.86%
2011	89,661	3.86%
2012	93,078	3.81%
2013	96,120	3.27%
TAC PROMEDIO		3.80%

Fuente: Alcaldía de Siuna (Base Censo INEC 2005)

Para lograr ajustar los datos del Producto Interno Bruto (PIB), Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y Población, para así poder lograr una correlación adecuada entre las variables, se calculó el logaritmo natural de los datos (Linealización) para utilizarse en el modelo de regresión lineal, a como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla N°10: Aplicación de logaritmo natural a los datos TPDA Y PIB.

AÑO	LN TPDA	LN PIB NAC.
2006	7.492203043	11.68885161
2007	7.470793774	11.74037971
2008	7.459914766	11.76849748
2009	7.645397699	11.74051512
2010	7.648263031	11.77301021
2011	7.733245647	11.82836375
2012	7.828436359	11.8767071
2013	7.861727078	11.92174494

Gráfica N°1: Correlación entre TPDA Est. 700 Vs PIB.

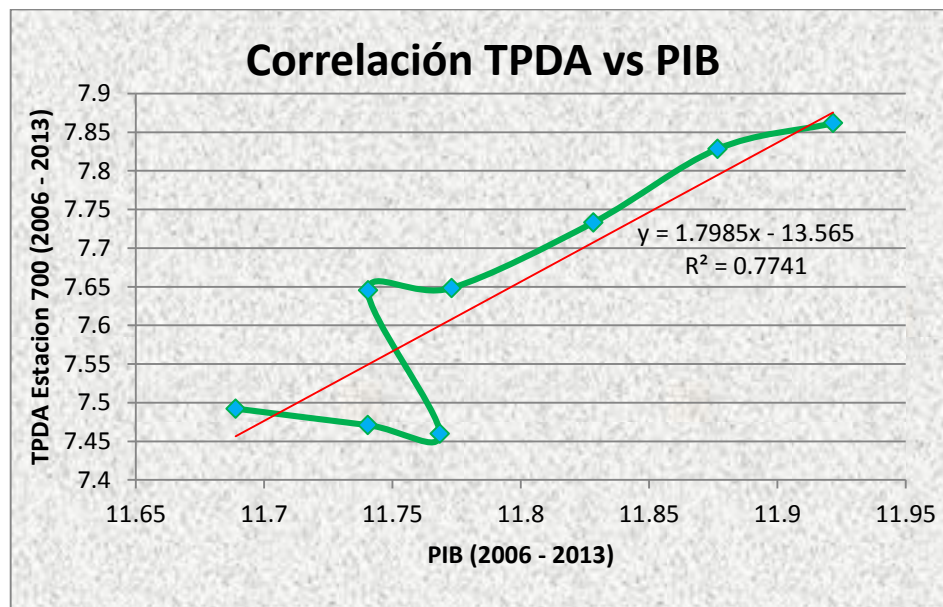
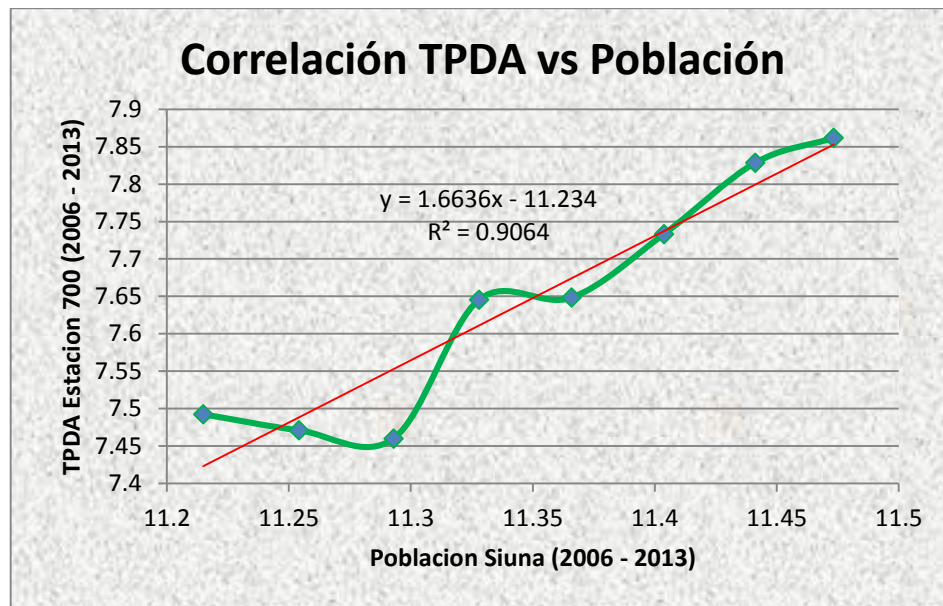


Tabla N°11: Aplicación de logaritmo natural a los datos TPDA Y Población.

Año	LN TPDA	LN POBL.
2006	7.492203043	11.21496407
2007	7.470793774	11.2541936
2008	7.459914766	11.29295188
2009	7.645397699	11.32798047
2010	7.648263031	11.36589769
2011	7.733245647	11.40379117
2012	7.828436359	11.44119313
2013	7.861727078	11.47335269

Gráfica N°2: Correlación entre TPDA Est. 700 Vs Población.



De lo anterior podemos decir que se puede apreciar un alto nivel de correlación entre los datos TPDA vs Población, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.91, por tanto el modelo de proyección se basará en la tasa de crecimiento de la Población de Siuna la cual anteriormente se describió en las tablas con un valor de 3.80%.

4.4.2 Proyección del Tráfico Normal.

La proyección del Tráfico Normal comprende el flujo que actúa en la carretera y crece como consecuencia de la dinámica Socio-económica del municipio, independiente de la mejora que se le haga a la vía. Las proyecciones del tráfico vehicular calculadas están basadas en las hipótesis planteadas anteriormente en la metodología del estudio, utilizándose la tasa de crecimiento Anual del crecimiento poblacional, según el grado de correlación con el crecimiento vehicular y se aplicó como el año base el 2014, con una vida útil de 15 años donde el año 2015 será el año de ejecución del proyecto, hasta el fin de la vida útil en el año 2030. Los valores de la Proyección del Tráfico Normal se presentan en la siguiente tabla:

CUADRO N°12:
Proyecciones del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) Calle La Pista
Tráfico Normal (vpd)

Año	Vehículos Livianos de Pasajeros				Vehículos de Pasajeros		Vehículos de Carga				Otros	Total
	Motos	Autos	Jeep	Cmta	M-Bus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	T3S2		
2014	63	51	15	41	3	25	15	32	13	3	0	261
2015	65	53	16	43	3	26	16	33	13	3	0	271
2016	68	55	16	44	3	27	16	34	14	3	0	281
2017	70	57	17	46	3	28	17	36	15	3	0	292
2018	73	59	17	48	3	29	17	37	15	3	0	303
2019	76	61	18	49	4	30	18	39	16	4	0	314
2020	79	64	19	51	4	31	19	40	16	4	0	326
2021	82	66	19	53	4	32	19	42	17	4	0	339
2022	85	69	20	55	4	34	20	43	18	4	0	352
2023	88	71	21	57	4	35	21	45	18	4	0	365
2024	91	74	22	60	4	36	22	46	19	4	0	379
2025	95	77	23	62	5	38	23	48	20	5	0	393
2026	99	80	23	64	5	39	23	50	20	5	0	408
2027	102	83	24	67	5	41	24	52	21	5	0	424
2028	106	86	25	69	5	42	25	54	22	5	0	440
2029	110	89	26	72	5	44	26	56	23	5	0	456
2030	114	93	27	74	5	45	27	58	24	5	0	474

4.4.3 Proyección del Tráfico Generado.

Se utilizó la tasa de crecimiento de la población de Siuna (3.80%), para determinar los volúmenes de tráfico Generado, por la influencia del crecimiento poblacional, de los vehículos de carga, pasajeros y Livianos.

En resumen el Tráfico Generado se cuantifica como una parte porcentual del Tráfico Normal para cada tipo de vehículo, o sea que la base del cálculo del tráfico desarrollado es el tráfico normal del año 2017, un año después del inicio del proyecto. Los volúmenes del Tráfico Desarrollado se presentan en la siguiente tabla:

CUADRO N°13
Proyecciones del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)
Tráfico Desarrollado (vpd)

Año	Vehículos Livianos de Pasajeros				Vehículos de Pasajeros		Vehículos de Carga				Otros	Total
	Motos	Autos	Jeep	Cmta	M-Bus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	T3S2		
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	3	2	1	2	0	1	1	1	1	0	0	11
2017	3	2	1	2	0	1	1	1	1	0	0	11
2018	3	2	1	2	0	1	1	1	1	0	0	11
2019	3	2	1	2	0	1	1	1	1	0	0	12
2020	3	2	1	2	0	1	1	2	1	0	0	12
2021	3	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	13
2022	3	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	13
2023	3	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	14
2024	3	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	14
2025	4	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	15
2026	4	3	1	2	0	1	1	2	1	0	0	15
2027	4	3	1	3	0	2	1	2	1	0	0	16
2028	4	3	1	3	0	2	1	2	1	0	0	17
2029	4	3	1	3	0	2	1	2	1	0	0	17
2030	4	4	1	3	0	2	1	2	1	0	0	18

4.4.5 Tráfico Total

El Tráfico Total es igual a la suma de los volúmenes proyectados del Tráfico Normal más los volúmenes proyectados del Tráfico Desarrollado. Para el estudio, el Tráfico Total determinado es el siguiente:

CUADRO N°14
Proyecciones del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)
Tráfico Total (vpd)

Año	Vehículos Livianos de Pasajeros				Vehículos de Pasajeros		Vehículos de Carga				Otros	Total
	Motos	Autos	Jeep	Cmta	M-Bus	Bus	C2 Liv.	C2	C3	T3S2		
2015	65	53	16	43	3	26	16	33	13	3	0	271
2016	71	57	17	46	3	28	17	35	15	3	0	293
2017	73	59	18	48	3	29	18	37	16	3	0	304
2018	76	61	18	50	3	30	18	38	16	3	0	315
2019	79	63	19	51	4	31	19	40	17	4	0	326
2020	82	66	20	53	4	32	20	42	17	4	0	339
2021	85	69	20	55	4	33	20	44	18	4	0	353
2022	88	72	21	57	4	35	21	45	19	4	0	366
2023	91	74	22	59	4	36	22	47	19	4	0	379
2024	94	77	23	62	4	37	23	48	20	4	0	393
2025	99	80	24	64	5	39	24	50	21	5	0	408
2026	103	83	24	66	5	40	24	52	21	5	0	423
2027	106	86	25	70	5	43	25	54	22	5	0	441
2028	110	89	26	72	5	44	26	56	23	5	0	457
2029	114	92	27	75	5	46	27	58	24	5	0	473
2030	118	97	28	77	5	47	28	60	25	5	0	492

Al final del año horizonte del proyecto se espera un tráfico promedio diario de 492 vpd, el cual para el presente trabajo se tomara como nuestro trafico promedio diario anual de diseño.

CAPITULO 5. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO VIAL.

A fin de mejorar y perfeccionar un proyecto vial se debe tener en cuenta muchos parámetros como son la inclinación del terreno sobre el que se construye la carretera, la predicción de la intensidad de uso de la carretera, su clasificación funcional, el ancho de carriles, la alineación horizontal y vertical, las velocidades de diseño, las distancias de visibilidad, entre otras. Se estará evaluado el trazado actual de la vía, la cual consta de 19 curvas Horizontales y pendientes entre 1% hasta 9.5% (*Ver Planos en anexos*).

5.1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA.

La clasificación funcional de las vías urbanas se basa en los criterios de crecimiento de la población, ocupación del terreno y tránsito perspectivo. Incluye, además, las vías existentes y/o ampliaciones, así como las nuevas vías planteadas para el futuro desarrollo de la ciudad.

Tabla N°.15: Clasificación Funcional.

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

TPDA = Tránsito promedio diario anual; C= Número de carriles; S= Superficie de rodadura;

Pav. = pavimentadas

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2,001

Según las Características de la calle se asemejan a una vía suburbana, ya que se encuentra en las periferias del casco urbano y es una de las principales vías de acceso al centro del poblado, por ello la tomaremos como una Colectora Suburbana (CS).

5.2 VEHÍCULO DE PROYECTO

El vehículo de proyecto es un automotor seleccionado con las dimensiones y características operacionales usadas para determinar ciertas características de proyecto para vialidades, tales como ancho de la vía sobre tangentes y curvas,

radios de curvatura horizontal y alineamiento vertical, en nuestro caso corresponde al WB-15.

Tabla N°.16: Vehículos de Diseño

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 22

5.3 VELOCIDAD DE PROYECTO

Todas las características pertinentes de la vía deben estar relacionadas a la velocidad de proyecto para obtener un proyecto balanceado. Algunas características, tales como la curva horizontal y vertical, la elevación y la distancia de visibilidad, se encuentran directamente relacionadas con la velocidad de proyecto.

Tabla N°.17: Velocidad de Diseño

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Diseño Geométrico del SIECA

Se considerado como un terreno ondulado y la clasificación de la vía Colectora Suburbana con TPDA entre 3000–500 vpd, por ello se tomara una velocidad de Diseño de 60Km/h

Pendiente de rasante

Usar pendientes mayores a la recomendadas no es adecuado pues aumenta el gasto de combustible y, por consiguiente, la contaminación a la ciudad, debido al ruido que producen los vehículos y a la contaminación aérea (gases).

Tabla N°18: Pendientes Máximas

Clasificación Funcional	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño (Km/h) y Pendiente Máxima (%)						Pendiente Mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR Autopistas Regionales	Plano	-	-	-	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	-	5	4	4	
	Montañoso	-	-	-	6	6	5	
TS Troncales Suburbanas	Plano	-	8	7	6	5	-	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	
	Montañoso	-	11	10	9	8	-	
TR Troncales Rurales	Plano	-	-	5	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	6	5	4	4	
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	
CS Colectoras Suburbanas	Plano	9	9	9	7	6	5	0.3 – 0.5
	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR Colectoras Rurales	Plano	-	7	7	6	5	-	0.5
	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

Fuente: Diseño Geométrico del SIECA

Según la clasificación (CS) y el tipo de terreno (ondulado) y una velocidad similar a 64 Km/h, se considerara una pendiente mínima del 0.5% y una máxima de 10.0%, según tabla N°1 x, la vía según levantamiento topográfico las pendientes longitudinales oscilan entre el 1% al 10%. Cumplen el criterio.

5.4 CURVAS HORIZONTALES:

Las curvas horizontales están motivadas por diferentes factores, entre los cuales se pueden nombrar la topografía del terreno, la seguridad en la conducción vehicular, los movimientos de tierra, la suavización de las rasantes que se cortan, etc.

Tabla N°19: Peralte Según Tipo Terreno

Tasa de Sobreelevación, "e" en (%)	Tipo de Area
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Diseño Geométrico del SIECA

Tabla N°20: Radios Mínimos y Curvatura

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de	Radio (m)		Grado de
		Calculado	Recomendado	Curva	Calculado	Recomendado	Curva
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 156

Nota: Cifras redondeadas para radios y grados recomendados

En el caso de las intersecciones, el radio de giro mínimo será el radio de giro mínimo del vehículo de diseño, a como se muestra en la *tabla N° 16*.

5.5 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Para la seguridad en la circulación de vehículos por carretera es de vital importancia que el conductor pueda ver hacia el frente con claridad. Las distancias de visibilidad dependen del diseño de la vía, su entorno inmediato, la velocidad de diseño y de acuerdo a la misma se establecen la siguiente Tabla.

Tabla N°21: Distancias de Visibilidad

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancias de visibilidad (m)	
	Distancia mínima deseable segura de frenado	Distancia mínima segura de paso
30	30	210
40	50	275
50	60	340
60	90	410
70	115	485
80	140	550
100	210	700

5.6 CURVAS VERTICALES

Las curvas parabólicas o verticales pueden ser, según las longitudes de sus dos mitades, asimétricas o simétricas, éstas se incluyen en el grupo de curvas que pueden estar en cresta o en depresión, en dependencia de las condiciones del terreno.

El mayor control para operar seguramente en curvas verticales en cresta o columpio, lo constituye la estipulación de distancias de visibilidad suficientes para la velocidad de proyecto. La distancia mínima de visibilidad para paradas debe estar prevista en todos los casos. La longitud mínima de una curva vertical en cresta o columpio L_{min} está calculada usando dos casos particulares para cada uno de los tipos de curva vertical, como se define a continuación:

Curvas en crestas:

$$\text{Si } d_{vp} < L_{min} \text{ entonces } L_{min} = \frac{A d_{vp}^2}{404} \quad \text{Ec.4}$$

$$\text{Si } d_{vp} > L_{min} \text{ entonces } L_{min} = 2 d_{vp} - (404 / A) \quad \text{Ec.5}$$

Curvas en Columpio:

$$\text{Si } d_{vp} < L_{min} \text{ entonces } L_{min} = \frac{A (d_{vp}^2)}{120 + 3.5 d_{vp}} \quad \text{Ec.6}$$

$$\text{Si } d_{vp} > L_{min} \text{ entonces } L_{min} = 2 d_{vp} - \frac{120 + 3.5 d_{vp}}{A} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

d_{vp} : Distancia de parada

L_{min} : Longitud Mínima de curva

A : Diferencia algebraica de la pendiente de entrada y salida.

5.8 ELEMENTOS MÍNIMOS DE LA VÍA:

Tabla N°22: Elementos de diseño Propuestos

DESCRIPCIÓN	ACTUAL	PROPUESTO
Vehículo de Diseño	WB-15	WB-15
Tipo de Terreno	Ondulado	
Vel. Diseño	-	60 Km/h
N° de Carriles	2	2
Ancho de Carril	2.75	3.0
superficie de Rodamiento	Macadam	Pav. (Adoquinado)
Dist. Visibilidad de Parada	-	90 m
Radio Mínimo (curvas Horz.)	45 m	150 m
Pendiente Longitudinal	1 – 9.5%	0.5 – 9%
Peralte max.	-	6%
Pendiente Transversal	0-2%	3%

CAPITULO 6: DISEÑO DE PAVIMENTO DE ADOQUÍN.

De acuerdo al Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento de la SIECA, el cual, propone usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible por medio del Método AASHTO 93, para el diseño de pavimentos de adoquines.

Sin embargo es válido mencionar las siguientes consideraciones antes de emplear o adoptar el método de la AASHTO 93. La diferencia se observa a través de la carpeta de rodamiento, la cual es de adoquín y el uso de una nueva capa, la que sirve de lecho de arena donde descansan los adoquines generalmente de 5cm de espesor la cual no aporta ninguna función estructural.

Otro aspecto importante son los coeficientes de capa (**a1**, **a2** y **a3**). En el caso de a1 es el coeficiente de capa de la carpeta en nuestro caso el adoquín, el cual tiene un valor de 0.45, el cual es asumido por el SIECA (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Capítulo 7, página 107). Para el resto de capa los coeficientes se obtienen haciendo uso de los gráficos AASHTO (Ver Anexo L y M), excepto la capa de arena que como dijimos anteriormente no posee un aporte estructural considerable.

6.1 MÉTODO AASHTO 93.

Con muchas modificaciones con respecto a la de 1972 y finalmente en 1993 fue hecha una versión revisada de esta guía, Para el método de diseño AASHTO 86 y 93 la fórmula de diseño es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

SN : Numero estructural.

W_{18} : Numero de cargas de 18Kips.

Z_R : Abscisa correspondiente a un area igual a la confiabilidad R en la curva de distribucion normalizada.

S_0 : Desviacion estandar de todas las variables.

Δ PSI: Índice o pérdida de serviciabilidad.

M_R : Modulo resiliente de la subrasante (en PSI).

6.2 VARIABLES DEL MÉTODO AASHTO 93

6.2.1 Índice de Confianza (%).

La confiabilidad R, es la variable mediante la cual se incorpora cierto grado de certidumbre en el proceso del diseño, introduciendo un nivel predeterminado de seguridad a través del cual el pavimento será capaz de resistir las cargas de tráfico para el período que fue diseñado, se encuentra utilizando la referencia Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-1993.

Tabla N°23: Niveles de Confiabilidad sugeridos para diferentes Carreteras

Clasificación Funcional	Niveles de Confiabilidad Recomendados	
	Urbana	Rural
Autopistas Interestatales y Otras	85-99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Carreteras Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-1993
Parte II, Capítulo 2.

Utilizaremos 85% dado que anteriormente se había clasificado la vía como una vía Colectora Suburbana.

6.2.2 Índice de Servicio Inicial.

Se define como la manera en que un pavimento cumple su función de hacer cómoda, fácil, rápida y segura la circulación de los vehículos y la capacidad que tiene el pavimento para atender el tránsito. El concepto original de la serviciabilidad es la medición subjetiva del usuario de la calidad de rodamiento de un pavimento. La serviciabilidad inicial (P_o) es la condición inmediata después de la construcción de la carretera y depende de la calidad de la

construcción, la guía de la AASHTO define que para pavimentos flexibles este valor inicial es de 4.20.

6.2.3 Índice de Servicio Final.

La serviciabilidad final (Pf o Pt) es la condición final que tendrá el pavimento, es decir, es la condición donde el pavimento falla, éste valor depende de la clasificación del tramo a diseñar y este puede estar entre 2.00 para caminos de tránsito menor y 2.50 para caminos principales, en nuestro caso será de 2.0 ya que es una vía de tráfico menor

6.2.4 Índice de Serviciabilidad, ΔPSI .

Es la variación entre la serviciabilidad inicial y final este resulta de la resta $P_o - P_f$. En este caso tomaremos $P_o=4.2$ y $P_f=2$, entonces $\Delta PSI = 2.2$

6.2.5 Desviación Estándar, S_o .

Una vez seleccionado el nivel de confiabilidad, se debe considerar el valor del error estándar combinado (S_o), representativo de las condiciones locales. Esta variable considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño para pavimento flexible sus valores son de 0.4 a 0.5. Tomaremos la Media, Entonces $S_o=0.45$

6.2.6 Período de Diseño (años).

El período de diseño, es el tiempo para el cual se está proyectando que el pavimento reciba la acción de tráfico, al finalizar este período, puede que se necesite realizar una intervención a nivel de rehabilitación, refuerzo para recuperar el nivel de servicio y capacidad estructural de acuerdo al tráfico presente. En nuestro caso diseñamos a un periodo de 15 Años. (Ver anexo P).

6.2.7 Números de ejes equivalentes ESAL's (W18).

Llamado ESAL por sus siglas en inglés Equivalent Simple Axle Load, es la sumatoria del número de repeticiones de carga equivalentes a 18 kips ó 18,000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento.

$$W18 = TPDA \times Fd \times FL \times FC \times LEF$$

$$TD = TPDA \times Fd \times FL \times FC \text{ entonces } W18 = TD \times LEF$$

Factor sentido (Fd): éste factor expresa la relación que existe entre el Tráfico y el sentido de circulación, su valor es generalmente de 0.5.

Factor carril (FL): es la relación que existe en la distribución del tráfico cuando dos o más carriles son usados en una sola dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño.
2	50
4	45
6 ó más	40

Ref. Guía para diseño de Pavimentos, AASHTO, 1993.

Factor Crecimiento (FC): Factor de crecimiento del tráfico que depende de la tasa de crecimiento anual y de la vida útil.

$$FC = \frac{365 \times (1 + i)^n - 1}{i} \quad \text{EC. 8}$$

Dónde:

i: es la tasa de crecimiento de tráfico.

n: período de proyección del tráfico expresado en años.

Tránsito de Diseño (TD): Es el tráfico proyectado que se espera circule por la vía, basado en el período de diseño definido primeramente y, para determinarlo se hace uso del TPDA inicial con la afectación de los factores de: sentido, carril y crecimiento.

Factor Daño (LEF): convierte los pesos por eje de una determinada distribución vehicular a pesos por ejes normalizados de 8.2 ton o 18kips. (Anexo K,J e I).

Tabla N°24
Calculo de Esal's de Diseño

DATOS	i=	3.80%		fc=	1	
	n=	15		FD=	0.5	
Tipo de Vehículo	To	Peso x eje (Lbs)	FC	TD	(F. ESAL)	ESAL Dis.
Autos	57	2200	7,200.94	205,046.72	0.000380	77.92
		2200	7,200.94	205,046.72	0.000380	77.92
Jeep	17	2200	7,200.94	61,784.05	0.000380	23.48
		2200	7,200.94	61,784.05	0.000380	23.48
Cta. Pick Up	46	2200	7,200.94	166,269.67	0.000380	63.18
		4400	7,200.94	166,269.67	0.00340	565.32
MBus	3	8800	7,200.94	11,629.52	0.0502	583.80
		17600	7,200.94	11,629.52	0.9206	10,706.13
Bus	28	11000	7,200.94	100,561.11	0.1265	12,720.98
		22000	7,200.94	100,561.11	2.3500	236,318.60
C2 Liv.	17	8800	7,200.94	61,784.05	0.0502	3,101.56
		17600	7,200.94	61,784.05	0.9206	56,878.40
C2	35	11000	7,200.94	127,708.64	0.1265	16,155.14
		22000	7,200.94	127,708.64	2.3500	300,115.31
C3	15	11000	7,200.94	54,007.04	0.1265	6,831.89
		36300	7,200.94	54,007.04	1.4325	77,365.08
T3S2	3	11000	7,200.94	11,629.52	0.1265	1,471.13
		35200	7,200.94	11,629.52	1.2600	14,653.19
		35200	7,200.94	11,629.52	1.2600	14,653.19
				Esal's de Diseño		752,385.71

CAPITULO 7. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PROPUESTO.

De acuerdo a las recomendaciones del manual centroamericano para diseño de pavimento, y sus cuatro métodos que propone, en este trabajo utilizaremos el método AASHTO 93, ya que es el más utilizado en nuestro país.

7.1 RESUMEN DATOS DE DISEÑO.

- 1) Índice de Confianza (%): 85
- 2) Índice de Servicio Inicial: 4.2
- 3) Índice de Servicio Final: 2
- 4) Variación o pérdida de serviciabilidad: 2.2
- 5) Desviación Estándar, S_o : 0.45
- 6) Período de Diseño (Años): 15
- 7) CBR de Subrasante (%): 13
- 8) Número de Ejes Equivalentes: 752,382 ESAL's
- 9) Módulo de Resiliencia de Sub-Rasante, M_r : 15,892.22
- 10) Espesor Adoquín: 10cm (4")
- 11) Coeficiente a_1 : 0.45
- 12) Coeficiente a_2 : 0.138
- 13) Coeficiente a_3 : 0.121
- 14) Modulo Resiliencia Sub Base: 17,200

7.2 CÁLCULO MANUAL DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO.

Consiste en usar la solución gráfica expresada en la figura 3.1 de la Guía AASHTO93. Una vez conocidos los datos de diseño: Confiabilidad, desviación estándar, ejes equivalentes, Modulo de resiliencia y pérdida de serviciabilidad se marcan en la gráfica los puntos correspondientes a cada dato y luego se unen mediante líneas hasta trazar el área de la cuadrícula semí-logarítmica. (Anexo N).

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Donde,

SN: Numero Estructural de Pavimento.

a1: Coeficiente de carpeta (adoquín).

D1: Espesor de adoquín.

a2: Coeficiente estructural de la base.

D2: Espesor de capa base.

m2: Coeficiente de drenaje para Base.

a3: Coeficiente estructural de la sub base.

D3: Espesor de sub-base.

m3: Coeficiente de drenaje para sub-base.

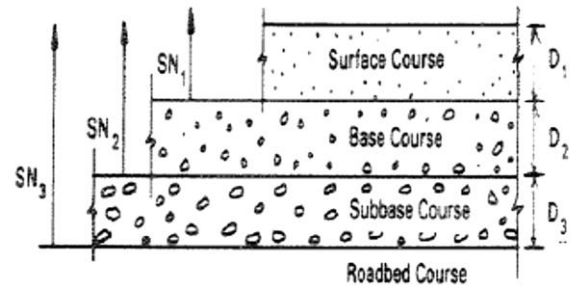


Fig.3
Esquema Estructura Pavimento

7.2.1 Operaciones y Resultados

1. Capa de Rodamiento (Capa de Adoquín)

Conociendo el valor de $a_1=0.45$ y $D_1=4''$ (Tomado según cálculos de espesores de pavimento en el manual para diseño de Pavimentos del SIECA), obtenemos SN1 como sigue:

$$SN_1 = a_1 \times D_1$$

$$SN_1 = 0.45 \times 4'' = 1.8 \text{ entonces,}$$

$$SN_1 = 1.8 \text{ con un espesor de } D_1 = 4'' \text{ (10cm)}$$

2. Capa Base

$SN_2=2.182$ valor calculado (ver Anexo O), procedemos a calcular el espesor de la capa base:

$$D_2 = (SN_2 - SN_1) / a_2$$

$$D_2 = (2.217 - 1.8) / 0.138$$

$$D_2 = 2.77'', \text{ tomamos } D_2 = 6'' \text{ debido al espesor mínimo recomendado (ver Tabla N°25)}$$

Entonces $SN2^* = a_2 \times D_2 = 0.828$; $SN2^*$: Numero Estructural Calculado.

Comprobando $SN1 + SN2^* \geq SN2$

$$1.8 + 0.828 \geq 2.217$$

$2.628 > 2.182$ como se cumple la condición el espesor calculado y asumido para la capa base es correcto.

Tabla N°25
Calculo de Esal's de Diseño

Espesores mínimos (pulg.)		
No. de ejes equivalente (millones)	Concreto asfáltico	Base granular
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05 - 0.15	2.0	4
0.15 - 0.50	2.5	4
0.50 - 2.00	3.0	6
2.00 - 7.00	3.5	6
> 7.00	4.0	6

Fuente: Ingeniería para pavimentos de carreteras 2da. Edición

3. Capa Sub Base.

$SN3 = 2.234$ valor calculado (ver Anexo O), procedemos a calcular el espesor de la capa de sub-base, Antes de proceder al cálculo del espesor de capa base comprobamos la siguiente condición: $SN3 \leq SN1 + SN2^*$ entonces $2.234 \leq 1.8 + 0.828$; como $2.234 < 2.628$ cumple la condición por lo tanto la estructura de pavimento no amerita de una capa de Sub Base.

Dichos cálculos fueron corroborados con el programa **AASHTO'86 "PAVEMENT DESING"** (Anexo A)

CAPITULO 8. CONCLUSIONES.

El presente trabajo se elaboró con el objetivo de dotar a la calle La Pista, del municipio de Siuna, de una estructura de pavimento adecuada según la necesidad que esta vía demanda en la actualidad y en el futuro, y a la vez dar las recomendaciones mínimas para un buen diseño geométrico de la vía partiendo de la geometría vial actual en que se encuentra la misma.

Respecto al comportamiento geotécnico de la vía en estudio, predominan los suelos del tipo A-2-4 con un espesor de estrato promedio de 55 cm, también del tipo A-2-6 a y en menor presencia se encuentran cúmulos pequeños de suelos del tipo A-7-6. Los Índice de Grupo (I. G.) reflejan valores de 0 para los suelos tipo A-2-4, A-2-6 y de 6 para los suelos A-7-6, por ello se cataloga como suelos entre excelente a bueno para la cimentación de terraplenes o estructuras de pavimento, dando así un CBR de diseño de 13% al 95% de compactación Proctor modificado obteniendo así un MR de 15,892.22 psi y el material de préstamo a utilizar son bancos con tipos de suelo A-1-a(0), con índice de plasticidad entre 4 a 6, límite líquido de 26, y CBR 41.10 y 98.60.

Según el estudio de trafico realizado se obtuvo un TPD=265vpd, a este se le aplico los factores de corrección de la estación 700 “Empalme. Camoapa - Tecolostote”, obteniendo así un TPDA=252 vpd. Los porcentajes de tráfico liviano y pesado son 42.06% Y 32.94% respectivamente, el restante son motocicletas. Predominando entre los vehículos pesados el camión tipo C-2 con 37 vehículos diarios en el año base y 64 vehículos diarios en el año horizonte. Resultando un ESAL's de Diseño de 852,692 ejes equivalentes por carril de diseño.

El tramo en estudio es de una longitud de 1,167 m, con dos carriles de circulación, un por sentido y con anchos no bien definidos, con pendientes entre 0.5% hasta 9.5%, bombeo actual no uniforme entre 0 a 3% y curvas horizontales con radio mínimos menores de 50m.

Según las características antes planteadas, indica que es necesario dotar esta vía, de una estructura de pavimento como mínimo los siguientes espesores:

Capa	Espesor Pulg. (cm)
Adoquín	4" (10)
Arena	2" (5)
Base	6" (15)
Sub Base	-

Según el diseño no es necesaria la aplicación de una sub-base, ya que la sub-rasante se considera de regular calidad.

CAPITULO 9. RECOMENDACIONES.

El actual documento se elaboró con el fin de dotar a la calle la pista de una estructura de pavimento de calidad, para ello se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Dado que el suelo sub rasante existente es de buena calidad, se debe de definir una rasante que no contemple cortes con profundidades mayores a los 50cm.
- Según la estratigrafía de los sondeos realizado al tramo de calle, se debe de realizar una sub excavación con una profundidad mínima de 1.0m y ser repuesta por material de préstamo de los bancos antes estudiados, en los sub tramos de la Est. 0+750 a la Est. 0+850 y de la Est. 1+050 a la Est. 1+150.
- Colocar los adoquines directamente sobre el lecho de arena, de manera que las juntas entre ellos no excedan los 5mm, las cuales deben sellarse con arena seca (puede utilizarse la misma arena del lecho de adoquín).
- Compactar la capa base como mínimo al 95% Proctor Modificado, para obtener el CBR requerido.
- En la Explotación de material de préstamo, desechar todo material diferente al especificado en la sección VIII.5.
- Establecer un control en el peso de los vehículos de carga.
- Tomar en cuenta los elementos mínimos del diseño geométrico contenido la tabla N°23 de la sección IX.8, con el objetivo de diseñar una vía con seguridad vial.
- Una vez construido el tramo de calle, se debe de realizar su debido mantenimiento rutinario (Desyerbe, limpieza de drenaje longitudinal, reposición de piezas de adoquines fallados, sellado de juntas) y chequeo de los asentamientos, que estos no excedan 1cm.
- Utilizar una capa de rodamiento de adoquines de 4”(10cm) con una resistencia mínima a la compresión de 3,500 PSI, colocar el adoquín de manera transversal a la dirección del tráfico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Estudios calle concreto hidráulico calle La Pista, Informe Geotécnico IDISA 2010.
2. Estudios calle concreto hidráulico calle La Pista, Informe Geométrico vial IDISA 2010.
3. Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2da Ed., Alfonso Montejo Fonseca 2001.
4. Ingeniería de Transito, Fundamentos y aplicaciones 7ma Edición, Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola y James Cárdenas Grisales.
5. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras, 2da. Edición, SIECA 2004.
6. Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Guatemala. Noviembre/2002.
7. Manual para la revisión de diseños de Pavimentos, Octubre 2008 CORASCO.
8. Normas Técnicas Obligatorias de Nicaragua, NTON-12 009-10, Adoquines.
9. Revista de Inventario Vial edición 2013. Oficina de Inventario de Infraestructura de Transporte. MTI.

Otras Fuentes:

10. Apuntes del módulo Tesina, impartido por el Ing. Gustavo Ocampo. Curso de titulación Obras Viales año 2010.
11. Apuntes de Diseño de Pavimento Flexible, impartido por el Ing. Israel Morales. Curso de titulación Obras Viales año 2010.

ANEXOS

ANEXO A: Comprobacion con Software AASHTO 86

File Edit View Options Help

F:\TESIST~1\Tesis\programa\ACAL.EXE

Pavement Analysis: READY Page: 5

Analysis Selection

Select Desired Analysis:

AASHTO '86 PAVEMENT DESIGN

[1] Flexible E 18 Capacity Determination

[2] Flexible Structural Number Determination

Enter Selection: 2

To Load an existing data file from diskette go to the AASHTO Menu, [F5].

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn>

File Edit View Options Help

F:\TESIST~1\Tesis\programa\ACAL.EXE

Pavement Analysis: READY Page: 6

AASHTO '86 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's 752.382

[2] Reliability 85.00

[3] Overall Deviation 0.45

[4] Soil Resilient Mod. 15,892.2

[5] Initial Serviceability 4.20

[6] Terminal Serviceability 2.00

Flexible Structural Number 2.34

Press Enter to Continue or <F4> to Edit your Inputs

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <F4>

File Edit View Options Help

F:\TESIST~1\Tesis\programa\ACAL.EXE

Pavement Analysis: READY Page: 7

Flexible Thickness Determination

Layer Number	Layer Coefficient == a(i) ==	Drainage Coefficient == m(i) ==	Layer Thickness == t ==	a(i)*Cd*t	Thickness Needed
Upper	0.45	1.00	4.00	1.80	
2	0.14	1.00	6.00	0.83	
3	0.12	1.00			-2.38
4					
5					
6					

SN Required = 2.63

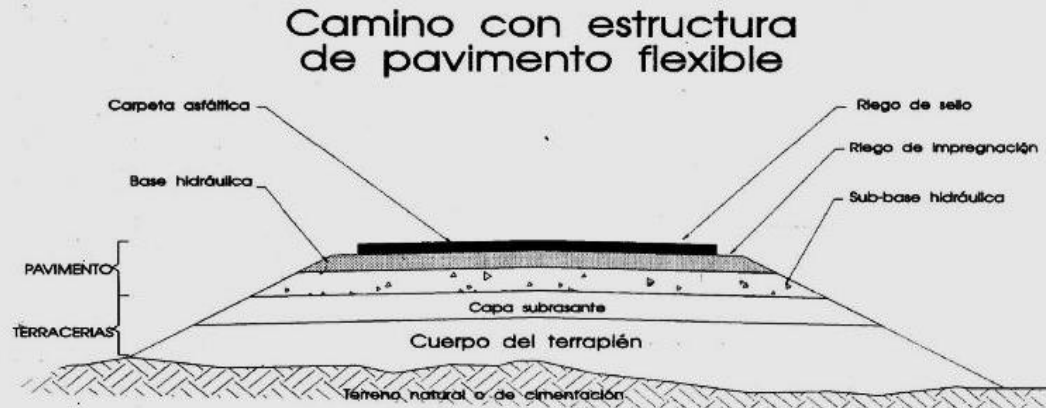
SN Required = 2.34 <Ok>

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

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <F4>

ANEXO B: Estructuras de Pavimentos

Estructura de Pavimento Flexible.



Estructura de Pavimento Rígido.

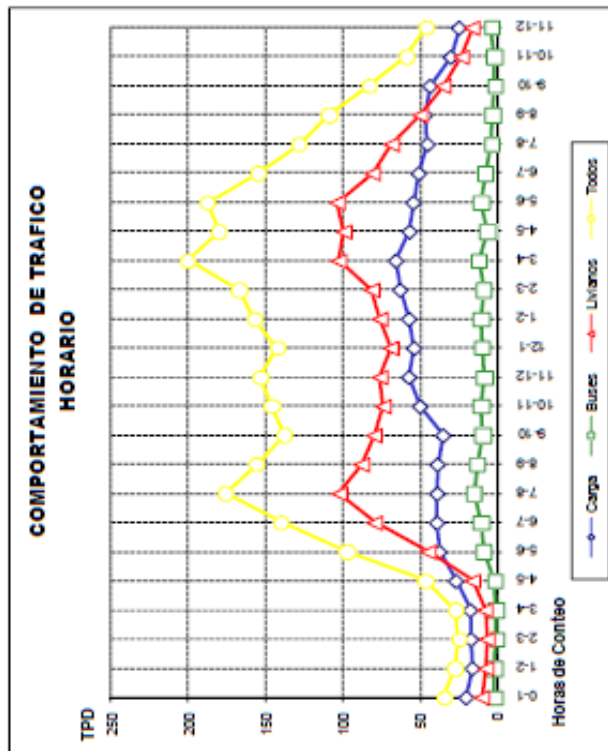
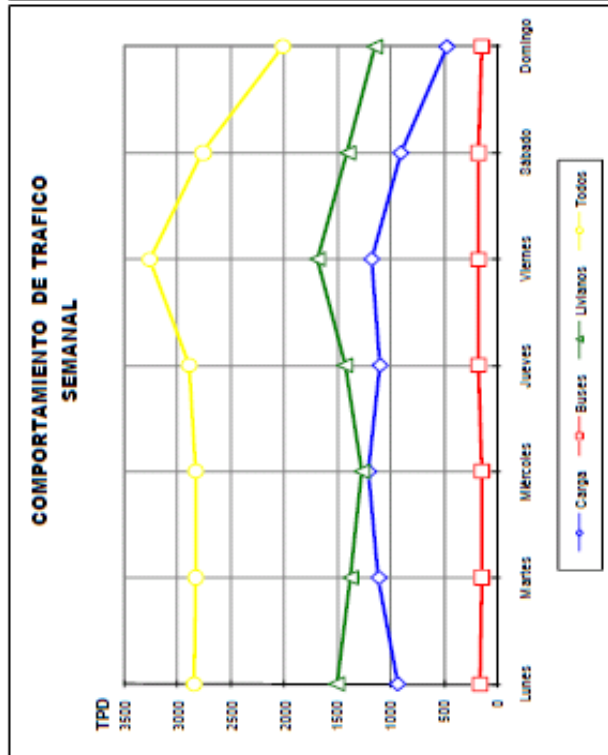


Estructura de Pavimentos Semí- Rígido.

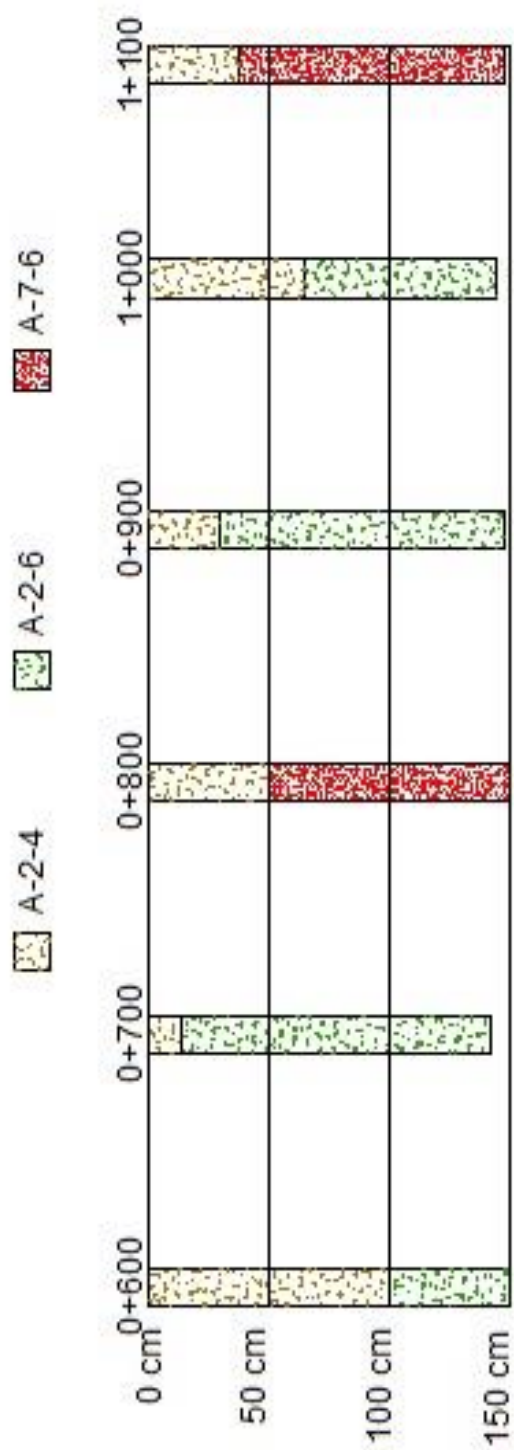
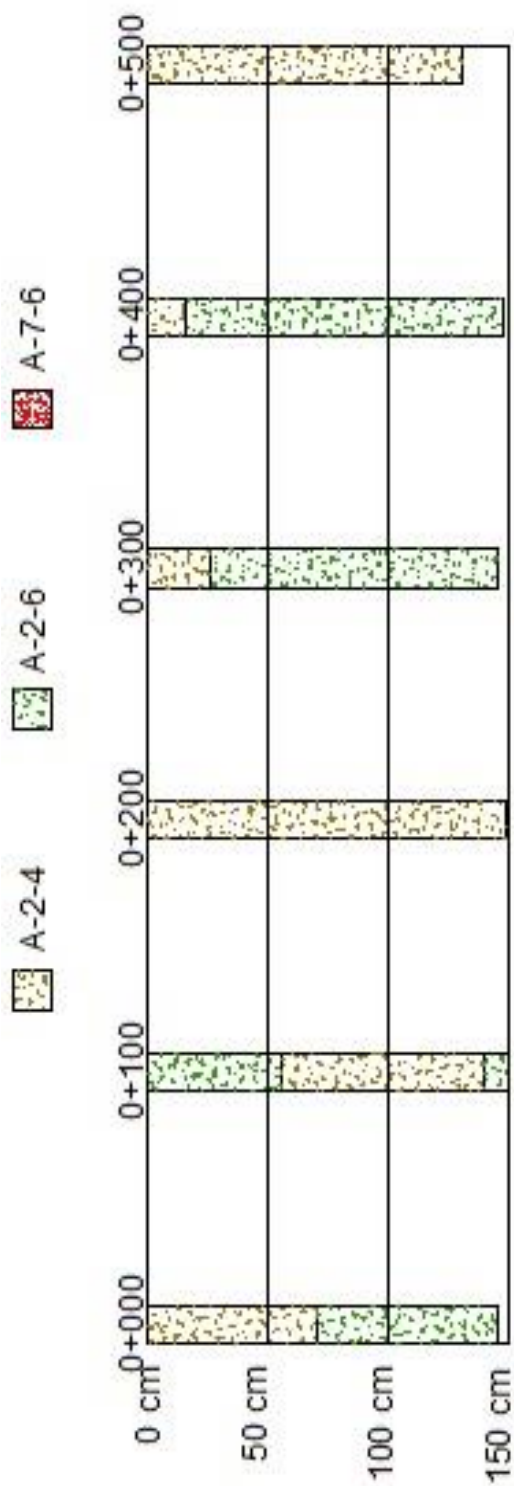


ANEXO C: Factores de Correccion TPDA Estacion 700

Camino: NIC-7	Estación: 700	Tramo:	Emp. Camoapa - Tecolostote.	Periodo	S	Días: 7	Horas:	Mes/Año	Abril	2013	Km: 95.430									
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)	224	421	198	723	53	2	158	264	420	73	2	216	8				9	2771		
Factor Día	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Factor Semana	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Factor Ajuste	0.96	1.02	0.85	0.94	1.13	2.09	0.98	0.94	0.89	0.78	0.80	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70			
TPDA Ene-Abr	215	428	169	681	60	4	155	248	376	57	2	187	8				6	2.396		
% TPDA	8.28	16.49	6.51	26.23	2.31	0.15	5.97	9.55	14.48	2.20	0.08	7.20	0.31				0.23	100.00		
% Vehículos Livianos		59.88%										% Vehículos Pesados					39.78%		0.23%	100.00%



ANEXO D: Estratigrafía de la vía



ANEXO E: Resultados sondeos Manuales IDISA

		CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna										FECHA:			06/05/2011			
		PROYECTO:	Estudios y diseño calle de concreto Hidraulico, Calle El Cementerio																
			PROCEDENCIA:																
			Sondeos Manuales																
			RESULTADOS DE ENSAYES DE SUELOS (SONDEOS MANUALES)																
SONDEO	ESTACION	PROFUNDIDAD	MUESTRA	%QUE PASA POR TAMIZ										LL	IP	C. B. R.		CLASIFICACION	
Nº	UBICACION	EN CENTIMETRO	Nº	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	%	%	90%	95%	100%	AASHTO
S - 1	0+000 L/C	0 - 70	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	14.00	19.00	23.00	A-2-4(0)
S - 1	0+000 L/C	70 - 145	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12				A-2-6(0)
S - 2	0+100 B/DER	0 - 55	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12				A-2-6(0)
S - 2	0+100 B/DER	55 - 139	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10	11.00	16.00	22.00	A-2-4(0)
S - 2	0+100 B/DER	139 - 150	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12				A-2-6(0)
S - 3	0+200 B/IZQ	0 - 23	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	12.00	15.00	18.00	A-2-4(0)
S - 3	0+200 B/IZQ	23 - 148	4	92	89	82	73	63	57	43	32	10	11	24	9				A-2-4(0)
S - 4	0+300 L/C	0 - 26	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10				A-2-4(0)
S - 4	0+300 L/C	26 - 75	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	10.00	15.00	19.00	A-2-6(0)
S - 4	0+300 L/C	75 - 145	5	100	90	78	70	57	50	36	24	14	9	29	14				A-2-6(0)
S - 5	0+400 B/DER	0 - 15	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	9.00	13.00	21.00	A-2-4(0)
S - 5	0+400 B/DER	15 - 148	6	96	88	75	70	59	53	40	32	21	15	32	22				A-2-6(0)
S - 6	0+500 B/IZQ	0 - 52	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	13.00	17.00	25.00	A-2-4(0)
S - 6	0+500 B/IZQ	52 - 130	7	92	82	66	55	44	37	25	17	10	6	27	9				A-2-4(0)
S - 7	0+600 L/C	0 - 15	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10				A-2-4(0)
S - 7	0+600 L/C	15 - 100	8	100	98	94	91	85	80	66	58	40	27	30	10	10.00	13.00	19.00	A-2-4(0)
S - 7	0+600 L/C	100 - 150	9		100	99	98	95	91	79	67	47	30	36	14				A-2-6(0)
S - 8	0+700 B/DER	0 - 14	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10				A-2-4(0)
S - 8	0+700 B/DER	14 - 142	10		100	97	95	89	83	61	27	10	6	32	11	9.00	12.00	24.00	A-2-6(0)
S - 9	0+800 B/IZQ	0 - 50	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10				A-2-4(0)
S - 9	0+800 B/IZQ	50 - 1.5	11	100	97	93	92	90	88	72	70	65	60	41	13	4.00	6.00	8.00	A-7-6(6)
S - 10	0+900 L/C	0 - 20	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10				A-2-4(0)
S - 10	0+900 L/C	20 - 30	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10	10.00	16.00	18.00	A-2-4(0)
S - 10	0+900 L/C	30 - 148	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12				A-2-6(0)
S - 11	1+000 B/DER	0 - 65	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10				A-2-4(0)
S - 11	1+000 B/DER	65 - 145	12	96	86	74	67	58	51	37	28	18	11	29	15	14.00	19.00	23.00	A-2-6(0)
S - 12	1+100 B/IZQ	0 - 38	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	2.00	5.00	10.00	A-2-4(0)
S - 12	1+100 B/IZQ	38 - 148	13	100	98	95	93	91	79	50	45	40	35	66	42				A-7-6(4)

ANEXO F: Resultaos Geotecnicos Banco La Basurita

INFORME DE ENSAYES DE SUELOS					
CLIENTE:	Alcaldia Municipal de Siuna			OPERADOR:	
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calle El Cementerio Siuna. RAAN			FECHA:	09/05/2011
ENSAYES					
MUESTRA No.			2		
UBICACIÓN					
MATERIAL			Banco: La Basurita		
SONDEO			2		
PROFUNDIDAD			0.10 - 2.0 m		
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)					
% Que pasa por tamiz					
	3"				
	2"		94		
	1 1/2"		85		
	1"		65		
	3/4"		53		
	1/2"		38		
	3/8"		31		
	N°4		19		
	N°10		12		
	N°40		7		
	N°200		4		
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)					
Limite Liquido	(D 423-54 T)		26		
Indice de Plasticidad	(D 424-54 T)		6		
Clasificación H.R.B.			A-1-a(0)		
Gravedad Especifica	(C 128-59)				
Absorción % Grava	(C 198-59)				
Intemperismo % Arena	(C 88-59 T)				
Desgaste	(C 131-55)				
P.V.S Maximo kg/m³	(D 698-58 T)		2.070		
Humedad Optima	(D698-58T)		8.0		
C.B.R.	(AASHTO T-180)		98.60		Al 95% Proctor Modif.
P.V.S.S kg/m³			1.610		
Factor Abundamiento			1.28		
Observación:					
Banco pre-exlotado					

ANEXO G: Resultados Geotécnicos Banco El Aguilucho.

INFORME DE ENSAYES DE SUELOS					
CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna			OPERADOR:	
PROYECTO:	Estudio y Diseño Calle El Cementerio Siuna, RAAN			FECHA:	09/05/2011
ENSAYES					
MUESTRA No.			1		
UBICACIÓN					
MATERIAL		Banco: El Aguilucho			
SONDEO			2		
PROFUNDIDAD			0.20 - 2.0 m		
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)					
% Que pasa por tamiz					
	3"				
	2"				
	1 1/2"		100		
	1"		94		
	3/4"		87		
	1/2"		72		
	3/8"		62		
	N°4		42		
	N°10		31		
	N°40		14		
	N°200		7		
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)					
Limite Liquido	(D 423-54 T)		26		
Indice de Plasticidad	(D 424-54 T)		4		
Clasificación H.R.B.			A-1-a(0)		
Gravedad Especifica	(C 128-59)				
Absorción % Grava	(C 198-59)				
Intemperismo % Arena	(C 88-59 T)				
Desgaste	(C 131-55)				
P.V.S Maximo kg/m³	(D 698-58 T)		2,045		
Humedad Optima	(D698-58T)		9.3		
C.B.R.	ASHTO T-180)		41.10	Al 95% Proctor Modif.	
P.V.S.S kg/m³			1,723		
Factor Abundamiento			1.18		
Observación:					
Banco pre-exlotado					

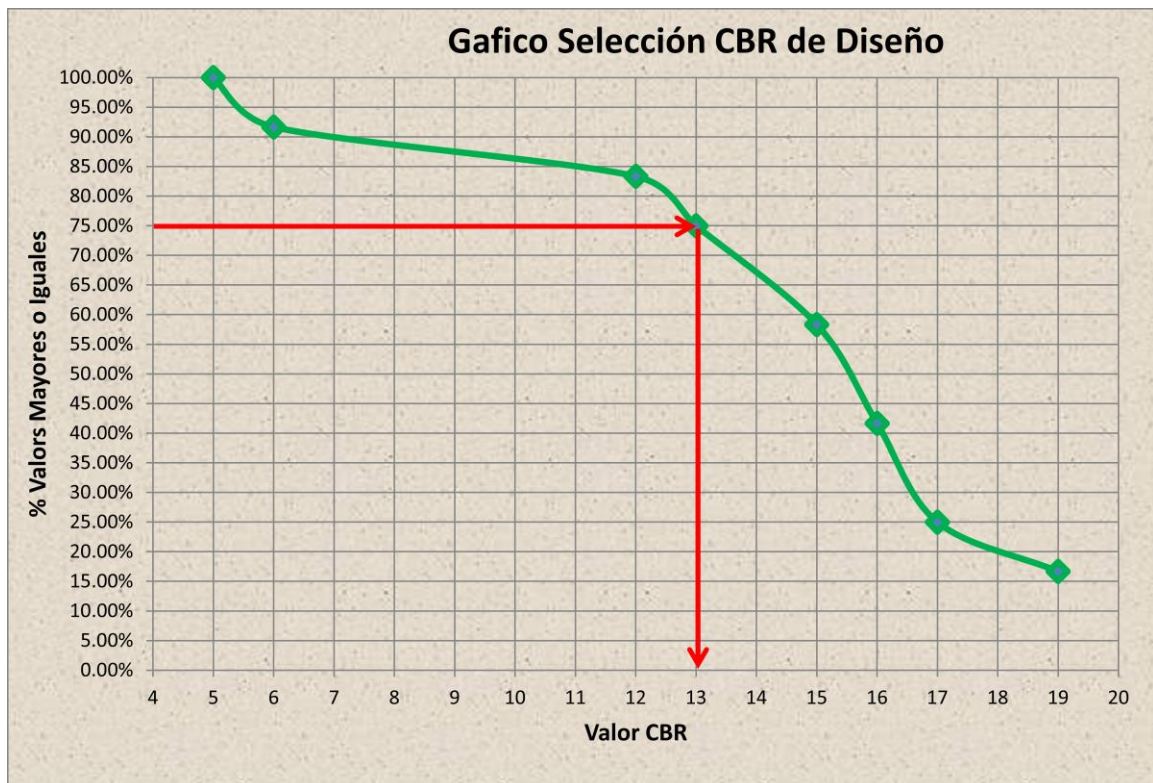
ANEXO H-1: Calculo CBR de Diseño

Valor CBR Obtenido	Frecuencia	N° de Valores Mayores o Iguales	% de Valores Mayores o Iguales
5	1	12	100.00%
6	1	11	91.67%
12	1	10	83.33%
13	2	9	75.00%
15	2	7	58.33%
16	2	5	41.67%
17	1	3	25.00%
19	2	2	16.67%
Total	12		

NOTA: CBR Tomados al 95% Proctor Modificado

Fuente: Elaboración propia

ANEXO H-2: Selección CBR de Diseño



CBR Sub Rasante: 13

ANEXO I: Calculo de Factores Esal.

Factor Esal cuando Pt=2.0 (Eje Sencillos)

2	0.0002	
2.2	X=	0.00038
4	0.002	
4	0.002	
4.4	X=	0.0034
6	0.009	
8	0.031	
8.8	X=	0.0502
10	0.079	
10	0.079	
11	X=	0.1265
12	0.174	
16	0.603	
17.6	X=	0.9206
18	1	
22	2.35	

Valores tomados de la tabla 3-1 de los anexo Pag. 54

Factor Esal cuando Pt=2.0 (Eje Doble)

34	1.08	
35.2	X=	1.26
36	1.38	
36	1.38	
36.3	X=	1.4325
38	1.73	

Los datos fueron tomados de la tabla 3-2 de los anexo Pag. 55

ANEXO J:

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

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

ANEXO K:

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

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

ANEXO L: Calculo Coeficiente a_2 y MR de la Base

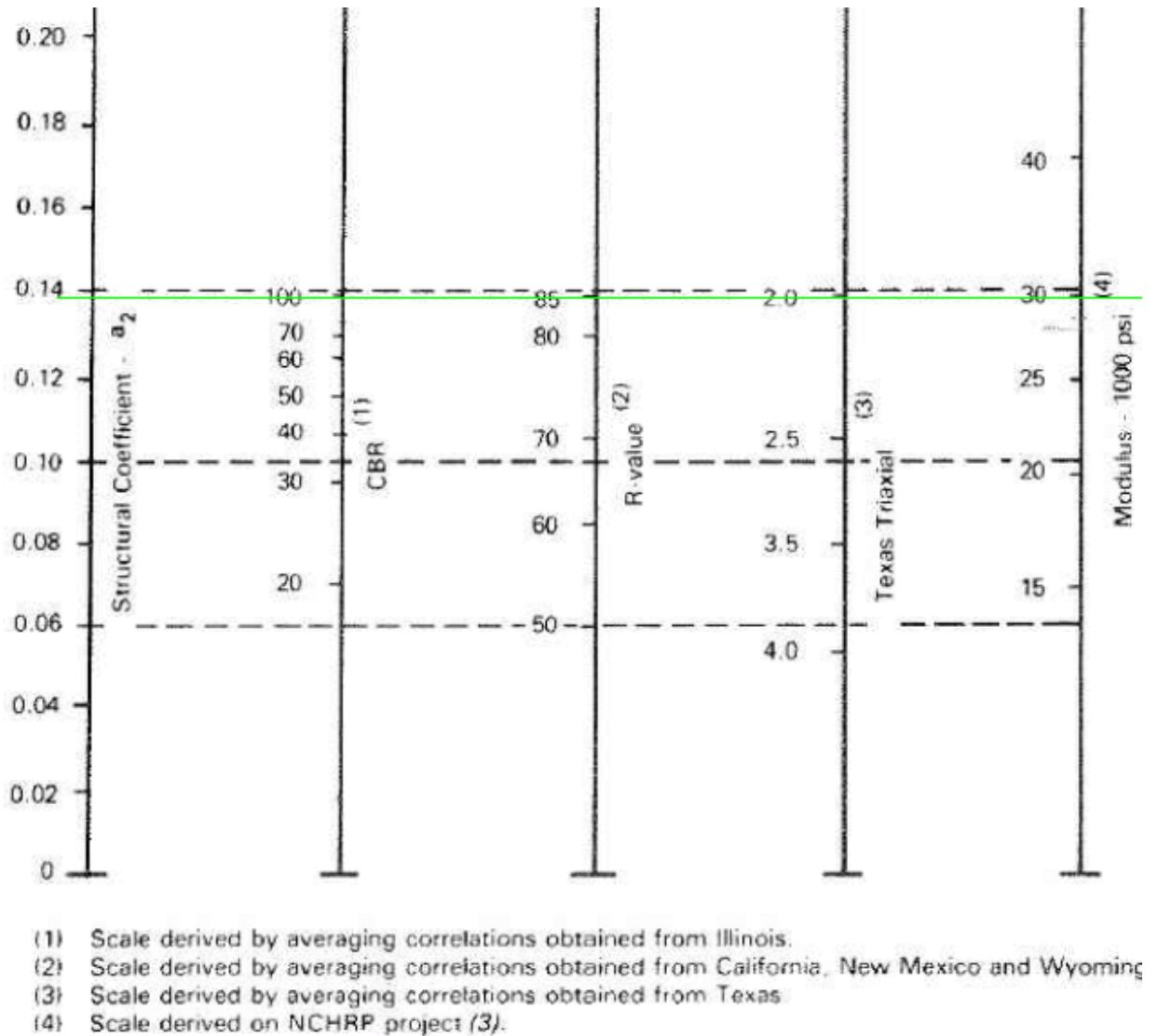


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)

En el gráfico se aprecian los siguientes resultados:

Coeficiente Estructural de la Base (a_2) = 0.138

CBR = 98.6

Módulo Resiliente (M_r) = 29,451

ANEXO M: Calculo Coeficiente a_3 y M_R de la Sub –Base

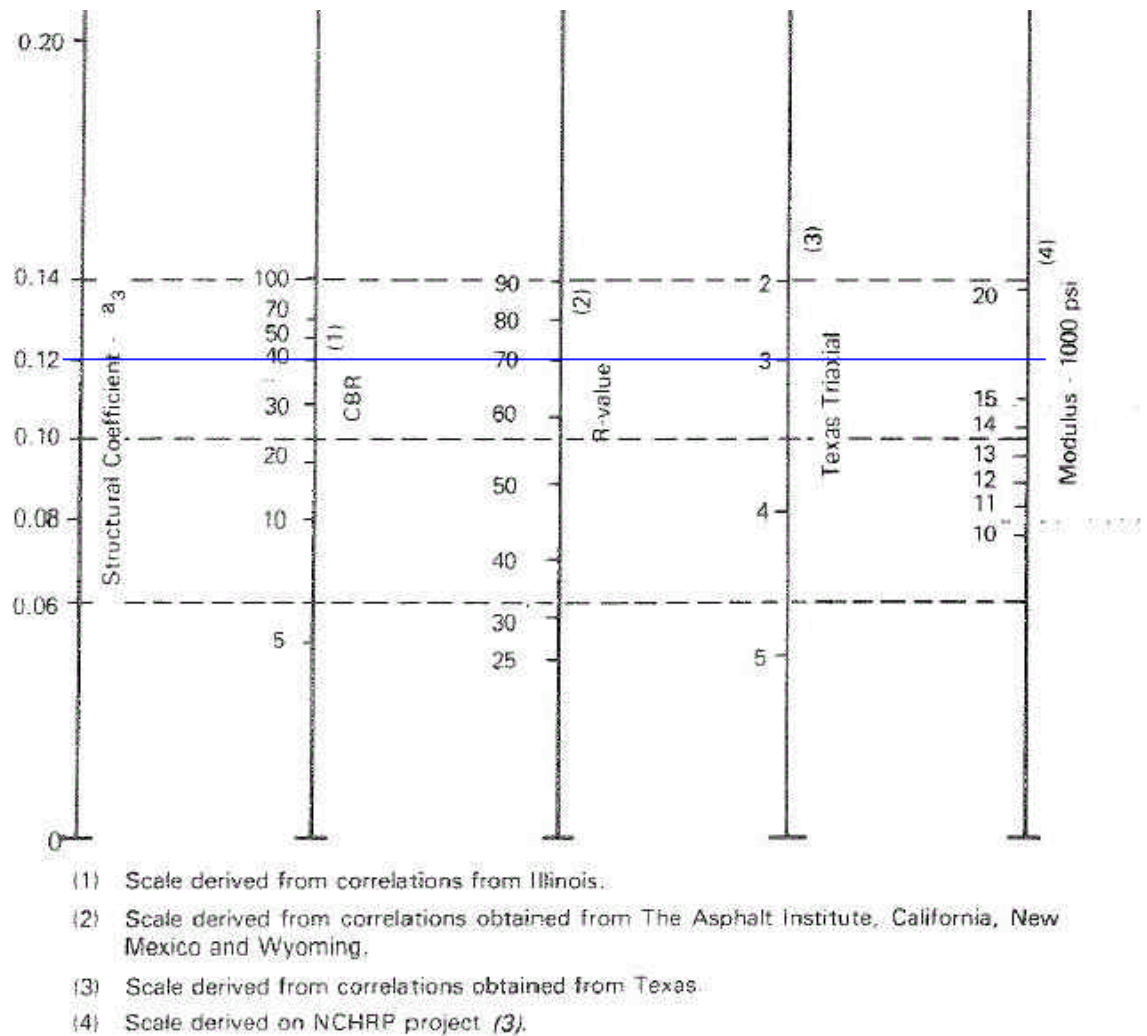


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)

Según el grafico se aprecian los siguientes resultados:

Coeficiente Estructural de la Base (a_2) = 0.121

CBR = 41.10

Módulo Resiliente (M_r) = 17,200

ANEXO N: Calculo Numero Estructural (SN)

Design of Pavement Structures

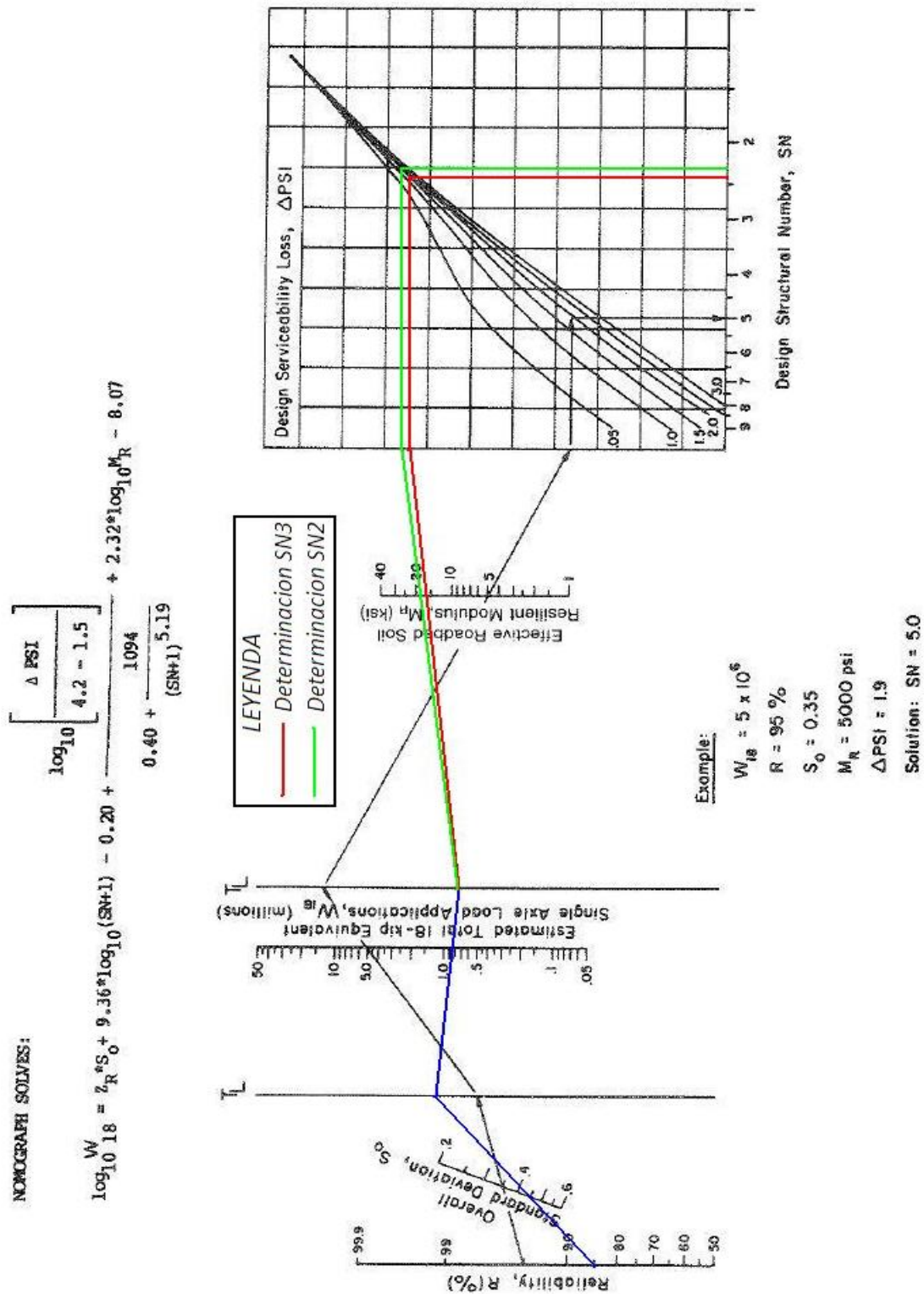


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

ANEXO O: Procedimiento Calculo SN1, SN2 y SN3

Calculo SN2 Sub Base:

Utilizando el grafico de solución de la ecuación de diseño AASHTO 93, para la sub base, obtenemos lo siguiente:

Las distancia medida sobre la cuadrícula desde 2 al punto X, $D_{2-x} = 5.33\text{cm}$, y la distancia correspondiente al intervalo 2 y 3 $D_{2-3} = 15.86\text{cm}$ (Anexo J)

$\frac{D_{2-x}}{D_{2-3}} = \frac{4.4834\text{cm}}{15.8623\text{cm}}$ Entonces $\frac{D_{2-x}}{D_{2-3}} = 0.2826$ aplicando logaritmo inverso resulta $\log^{-1}(0.2826) = 1.822$, dividimos entre diez y le sumamos 2, entonces **SN2=2.182**

Calculo SN3 Sub Rasante:

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo utilizando del gráfico, para el espesor de sub-base, SN3 será lo siguiente: Distancia medida sobre la cuadrícula desde 2 al punto X corresponde $D_{2-x} = 5.9275\text{cm}$, y la distancia correspondiente al intervalo 2 y 3 es decir $D_{2-3} = 15.8623\text{cm}$ (Anexo J)

$\frac{D_{2-x}}{D_{2-3}} = \frac{5.9275\text{cm}}{15.8623\text{cm}}$ Entonces $\frac{D_{2-x}}{D_{2-3}} = 0.3737$ aplicando logaritmo inverso resulta $\log^{-1}(0.3737) = 2.3392$, dividimos entre diez y le sumamos 2, entonces **SN3= 2.234.**

ANEXO P: Periodos de Diseños.

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SICA 2001

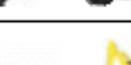
ANEXO Q: Tabla Clasificación de suelo, Según AASHTO

TABLA N° 1 : Clasificación de Suelos según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL		Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)						Materiales Limo - Arcillosos (más del35% que pasa el tamiz N° 200)			
GRUPOS		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				
% que pasa el Tamiz: N° 10 N° 40 N° 200											
		50 máx.									
		30 máx.	50 máx.	51 máx.							
		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 N° 40											
Límite Líquido				NO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.	41 máx.
	Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.	PLÁSTICO	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
	Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	20 máx.
Tipos de Material		fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación		Excelente a Bueno						Regular a Deficiente			
NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.) Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6 Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5											

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP $\geq$ 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP $<$ 30, la clasificación es A-7-5

ANEXO R: tipos de vehículos.

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