



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

TESINA

Diseño de adoquinado de 2,476. 50 m² de calles en el barrio Rigoberto López Pérez, en el municipio de Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua.

Para optar al título de: **Ingeniero Civil**

Elaborada por:

Br. María Elba Matamoros Rosales.

Br. Yarling Elizabeth Acuña Herrera.

Tutor:

Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Managua - Nicaragua

Abril - 2015

Carta del tutor

Carta de aprobación de protocolo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
COORDINACION DE NORMATIVAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

HOJA DE CONCLUSION DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Br. María Elba Matamoros Rosales. 2) Br. Yarling Elizabeth Acuña Herrera.
NOMBRE DEL CURSO: Obras Horizontales
NOMBRE DE LA TESINA: Diseño de adoquinado de 2,476. 50 m ² de calles en el barrio Rigoberto López Pérez, en el municipio de Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua.
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1) Estudio de suelo. 2) Estudio de tránsito. 3) Diseño de estructura de pavimento articulado por el Método AASHTO 93.
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____ Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo:

Primordialmente a mi ser superior, **Dios** por ser el Rey de Reyes, creador del universo, por regalarme la vida, paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para seguir luchando día a día y vencer todos los obstáculos que se me han presentado, para alcanzar mis sueños.

A mis **padres José Ramón Matamoros Zeledón y María Inés Rosales Gonzales**, que me apoyaron en todo momento con sus consejos, sus valores por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

Con mucho amor y cariño a mi **compañero Josué Moncada Hernández** por su apoyo constante y muy especialmente a mi hija **Cristel Abigail Moncada Matamoros** que es el motivo más grande que me impulsa a lograr esta meta.

A todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron para poder concluir con éxito este proyecto

Br. María Elba Matamoros Rosales.

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo:

Primordialmente a mi ser superior, **Dios** por ser el Rey de Reyes, creador del universo, por regalarme la vida, paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para seguir luchando día a día y vencer todos los obstáculos que se me han presentado, para alcanzar mis sueños.

A mis **Padres Rigoberto Acuña Casco y Lesbia Herrera Olivera**, que me apoyaron en todo momento con sus consejos, sus valores por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

Con mucho amor y cariño a mi **esposo Neris Miguel Matey López** por su apoyo constante y muy especialmente a mi hija Lesling Moriel Matey Acuña que es el motivo más grande que me impulsa a lograr esta meta.

A una familia muy querida de apellido Marcelita y a todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron para poder concluir con éxito este proyecto

Br. Yarling Elizabeth Acuña Herrera.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: sobre todas las cosas por darnos la paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para culminar nuestros estudios y seguir adelante en nuestras vidas.

A nuestras familias. De manera especial a nuestras familias, pilar esencial en nuestro desarrollo moral y educativo.

A nuestros padres, quienes con sus consejos han sabido guiarnos para culminar nuestra carrera profesional y sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzos constantes, siendo nuestro mayor deseo que sepan que el logro de nosotros, es el logro de ellos, gracias por el apoyo recibido durante la formación profesional porque han sacrificado gran parte de su vida para formarnos y educarnos, siendo la ilusión de su vida convertirnos en personas de bien.

Gracias por esto y todo lo demás que nos han dado, nuestro triunfo es su triunfo

A nuestro tutor. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga por dedicarnos tiempo y compartir sus conocimientos para orientarnos en la realización de este trabajo.

A nuestros Maestros. Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo.

Agradecemos también a todas aquellas personas que a lo largo de todos estos años, nos acogieron como parte de su familia, nos brindaron su ayuda incondicional y nos apoyaron en los momentos más difíciles.

“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”

Nelson Mandela

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “**Diseño de adoquinado de 2,476. 50 m² de calles en el barrio Rigoberto López Pérez, en el municipio de Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua**”; presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método AASHTO-93.

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

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

Capítulo II: Aquí se presenta la información sobre el estudio de suelo suministrado por la alcaldía de Pueblo Nuevo en el tramo a adoquinar; donde se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base y subrasante que soportarán las cargas a las que serán sometidas, inducidas por la cantidad de ejes equivalentes de diseño, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

Capítulo III: En este capítulo se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, necesario para determinar el número ESALs. Describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, período de diseño, proyección del tránsito, tránsito Inicial en el año 0, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el período de diseño.

Capítulo IV: Este capítulo comprende el diseño de pavimento articulado; en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño; el cual sirve como base para determinar el módulo de resiliencia y el valor de los coeficientes estructurales.

Posteriormente se determinaron los espesores requeridos en la estructura de pavimento; para lo cual se implementó la comprobación con el programa Pavement Analysis Software Pavement Desing.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones. Producto del presente trabajo con el objetivo que sea de utilidad para la construcción del tramo en estudio.

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

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Ubicación y localización del proyecto	5
1.5.1 Macro localización	5
1.5.2 Micro localización	6

CAPÍTULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo	8
2.1.1 Suelo	8
2.1.2 Meteorización	8
2.1.3 Las propiedades físico-mecánicas	8
2.1.4 Granulometría.....	9
2.1.5 Trabajo de campo.....	10
2.1.6 Estudio de laboratorio.....	10
2.1.6.1 Resultados obtenidos	11
2.1.6.1.1 Sondeos manuales.....	11
2.1.6.1.2 Estratigrafía del suelo	14
2.1.6.1.3 Determinación del CBR	14
2.1.6.1.4 Investigación de fuente de materiales	15
2.1.6.1.4.1 Banco de materiales “Roberto Vilches”	15
2.2 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento	17
2.2.1 Superficie de rodamiento.....	17
2.2.2 Base	17

2.2.3 Sub – base	18
2.2.4 Sub – rasante	20

CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Estudio de tránsito.....	22
3.1.1 Aforos vehiculares	22
3.1.2 Volumen de tránsito.....	22
3.1.3 Análisis de cargas equivalentes	23
3.1.4 El tránsito.....	23
3.1.5 Recopilación de datos	23
3.1.5.1 Clasificación vehicular	23
3.1.5.1.1 Vehículos de pasajeros	24
3.1.5.1.2 Vehículos de carga.....	24
3.1.5.1.3 Equipo pesado.....	24
3.2 Estudios de campo	24
3.2.1 Volumen de tránsito.....	24
3.2.2 Expansión a 24.0 Horas	25
3.3 Tránsito promedio diario.....	28
3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA)	28
3.5 Proyección del tránsito	30
3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	30
3.5.2 Crecimiento poblacional	30
3.5.3 Crecimiento vehicular	31
3.5.4 Producto interno bruto (PIB):.....	32
3.6 Tránsito de diseño	33
3.6.1 Período de diseño (N).....	33
3.6.2 Factor direccional (FD)	34
3.6.3 Factor de crecimiento (FC)	34
3.6.4 Factor de distribución por carril	35
3.6.5 Determinación del tránsito de diseño	35

CAPÍTULO IV DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

4.1 Introducción	39
4.2 Índice de serviciabilidad	39
4.2.1 Serviciabilidad inicial:	39
4.2.2 Serviciabilidad final:	39
4.2.3 Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI)	40
4.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento	41
4.4 Confiabilidad (R)	43
4.5 Desviación estándar (S_0)	44
4.6 Coeficiente de drenaje	45
4.7 Propiedades de los materiales	46
4.7.1 Determinación del CBR de diseño	46
4.7.2 Módulo Resiliente (MR)	48
4.7.3 Coeficientes estructurales de capa	49
4.7.4 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1	50
4.7.5 Coeficiente estructural para base granular a2	50
4.8 Calculo de espesores	50
4.8.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)	51
4.9 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción	52
4.10 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software™, Pavement Desingend Analysis, versión 3.3. .	54

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	56
Recomendaciones	57
Bibliografía	58

ÍNDICE DE TABLA

Tabla N° 1. Sondeos efectuados	10
Tabla N° 2. Ensayos de laboratorios	11
Tabla N° 3. Resultados de ensayos de suelo	13
Tabla N° 4. Estratigrafía del suelo	14
Tabla N° 5. Valores de CBR	15
Tabla N° 6. Resultados de ensayos de laboratorios del banco de materiales	16
Tabla N° 7. Especificaciones de materiales para base granular.....	18
Tabla N° 8. Granulometría para base	18
Tabla N° 9. Especificaciones de materiales para sub-base.....	19
Tabla N° 10. Granulometría para sub-base	19
Tabla N° 11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante	20
Tabla N° 12. Aforo vehicular en ambos sentidos, septiembre 2014	25
Tabla N° 13. Factores de ajustes de la estación 3804 del tramo: Pueblo Nuevo – Shell Palacagüina	26
Tabla N° 14. Conteo Vehicular expandido a 24.0 hrs, por tipo de vehículo en ambos sentidos de lunes 24 al domingo 30 de noviembre del año 2014	27
Tabla N° 15. TPDiurno para cada tipo de vehículo y TPDiurno ajustado en el mes de noviembre, año 2014	28
Tabla N° 16. Cálculo del tránsito promedio diario anual	29
Tabla N° 17. Proyección de Tasa de Crecimiento Poblacional (2006- 2020)	30
Tabla N° 18. Datos históricos del TPDA	31
Tabla N° 19. Producto interno bruto (PIB)	32
Tabla N° 20. Período de diseño (N).....	33
Tabla N° 21. Factor de distribución por dirección (FD).....	34
Tabla N° 22. Factor de distribución por carril.....	35
Tabla N° 23. Tránsito proyectado, para el tramo. Mercado municipal - MINED al año 2034.....	36
Tabla N° 24. Tránsito de diseño para el tramo: Mercado municipal – MINED, Pueblo Nuevo	37
Tabla N° 25. Valor de la serviciabilidad final.....	40

Tabla N° 26. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)	43
Tabla N° 27. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.....	44
Tabla N° 28. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles	44
Tabla N° 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	45
Tabla N° 30. Valores de CBR para diseño	46
Tabla N° 31. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño	47
Tabla N° 32. Cálculo para determinar el CBR de diseño.....	47
Tabla N° 33. Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito	52
Tabla N° 34. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3	53

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo N° 1. Imagen de calle a adoquinar en el municipio de Pueblo Nuevo. Barrio Rigoberto López Pérez	II
---	----

ANEXOS CAPÍTULO II

Anexo N° 1. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	IV
Anexo N° 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS	V
Anexo N° 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K	VI

ANEXOS CAPÍTULO III

Anexo N° 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos	VIII
Anexo N° 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control.....	IX
Anexo N° 3. Diagrama de cargas permisibles	IX

ANEXOS CAPÍTULO IV

Anexo N° 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $\rho_t = 2$, SN= 5	XI
Anexo N° 2. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem, $\rho_t = 2$, SN= 5	XII
Anexo N° 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base	XIII
Anexo N° 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes	XIV

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Los adoquines de concreto son elementos individuales que colocados en un patrón definido, constituyen un pavimento articulado de grandes ventajas constructivas y por la calidad que se exige a los adoquines de concreto en los proyectos de calles o carreteras, se garantiza su durabilidad y resistencia a la abrasión del tránsito y la intemperie.

Actualmente el tramo en estudio se encuentra en estado regular y presenta una carpeta de rodamiento a base de macadán, la cual se deteriora considerablemente en periodos de invierno causando altos costos de operación a los productores de la zona y al transporte en general.

El proyecto en estudio tiene el propósito de mejorar las condiciones viales del barrio Rigoberto López Pérez del municipio de Pueblo Nuevo, diseñando un proyecto de pavimento articulado de 2,476. 50 m² de sus vías de acceso.

En este proyecto se diseñó la estructura de pavimento articulado, que consiste en la subrasante, base, cama de arena y la carpeta de rodamiento (adoquín), tomando en cuenta las características del tránsito y las características del suelo del sitio del proyecto y banco de materiales.

1.2 Antecedentes

En Nicaragua el desarrollo del sistema vial registró su mayor auge durante las décadas de los años 50 y 60 pasando de 590 Km, de carreteras (pavimentadas y no pavimentadas) en el año 1950 a un total de 11,201 Km, en 1969, es decir que se construyeron 10,021 Km. en ese período, de los cuales 906 Km, fueron carreteras pavimentadas.

En los últimos años en el municipio de Pueblo Nuevo se han desarrollado proyectos de mejoramiento de la red vial del casco urbano, debido al crecimiento que ha experimentado el municipio.

El barrio “Rigoberto López Pérez” fue asentado hace 25 años aproximadamente, en el sector suroeste del municipio; a medida que se ha desarrollado el municipio, se han construido lugares de importancia social tales como el cementerio, colegios de educación secundaria, mercado municipal y un sinnúmero de pequeños negocios que demandan cada vez más el mejoramiento de las vías de acceso.

Actualmente el tramo en estudio se encuentra en estado regular y presenta una carpeta de rodamiento a base de macadán, la cual se deteriora considerablemente en periodos de invierno causando altos costos de operación al transporte público y privado.

1.3 Justificación

Una carretera pavimentada obtiene gran importancia estratégica para el desarrollo económico y social de la zona por donde esta pasa, este tramo de calle ya terminado servirá para brindar un mejor acceso permitiendo tener ahorro de tiempo, facilitar la movilización de bienes, servicios, comodidad y seguridad de transporte de los pobladores.

Actualmente se está gestionando el financiamiento para llevar a cabo la construcción de esta vía, a través del adoquinado, lo que permitirá una utilización óptima de la vía, de una forma sostenida, ajustándose de esta manera a las posibilidades económicas y constructivas del país.

Ante la carencia de un buen revestimiento de esta calle, los pobladores se ven afectados; ya que en época seca debido a la acción del viento y al tráfico vehicular se genera una gran cantidad de polvo, el que ocasiona graves problemas respiratorios, enfermedades diarreicas, dérmicas y oculares, entre otras. Por otro lado en época lluviosa, sobre la calle que se incluye en este proyecto se generan charcas y lodo, es por ello que surge la necesidad de adoquinar esta calle con el propósito de mejorar las condiciones para la población que las transita.

La Justificación de este proyecto está vinculada estrechamente con los objetivos, políticas y estrategias que el gobierno está impulsando como es el de mejorar la infraestructura vial. Con dicho proyecto de mantenimiento se prevé, reducir los costos de operación vehicular y mejorar las condiciones de vida de la población.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar 2,476.50 m² de adoquinado, por el método AASHTO 93, de las calles del barrio Rigoberto López Pérez del municipio de Pueblo Nuevo, departamento de Estelí.

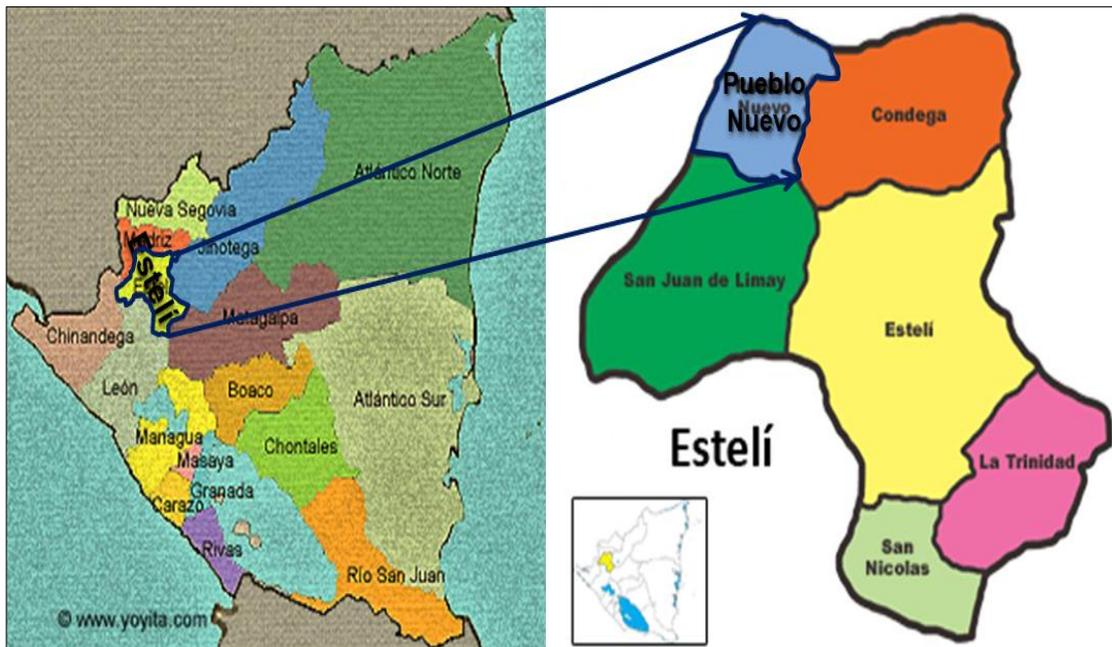
1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las características físico mecánicas del suelo del sitio del proyecto y del banco de materiales con el fin de garantizar el material adecuado a utilizar en tramo de calle en estudio del barrio Rigoberto López Pérez del municipio de Pueblo Nuevo.
- Realizar los estudios de tránsito por medio de aforos, para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la capacidad de carga que debe tener el pavimento para su diseño.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.

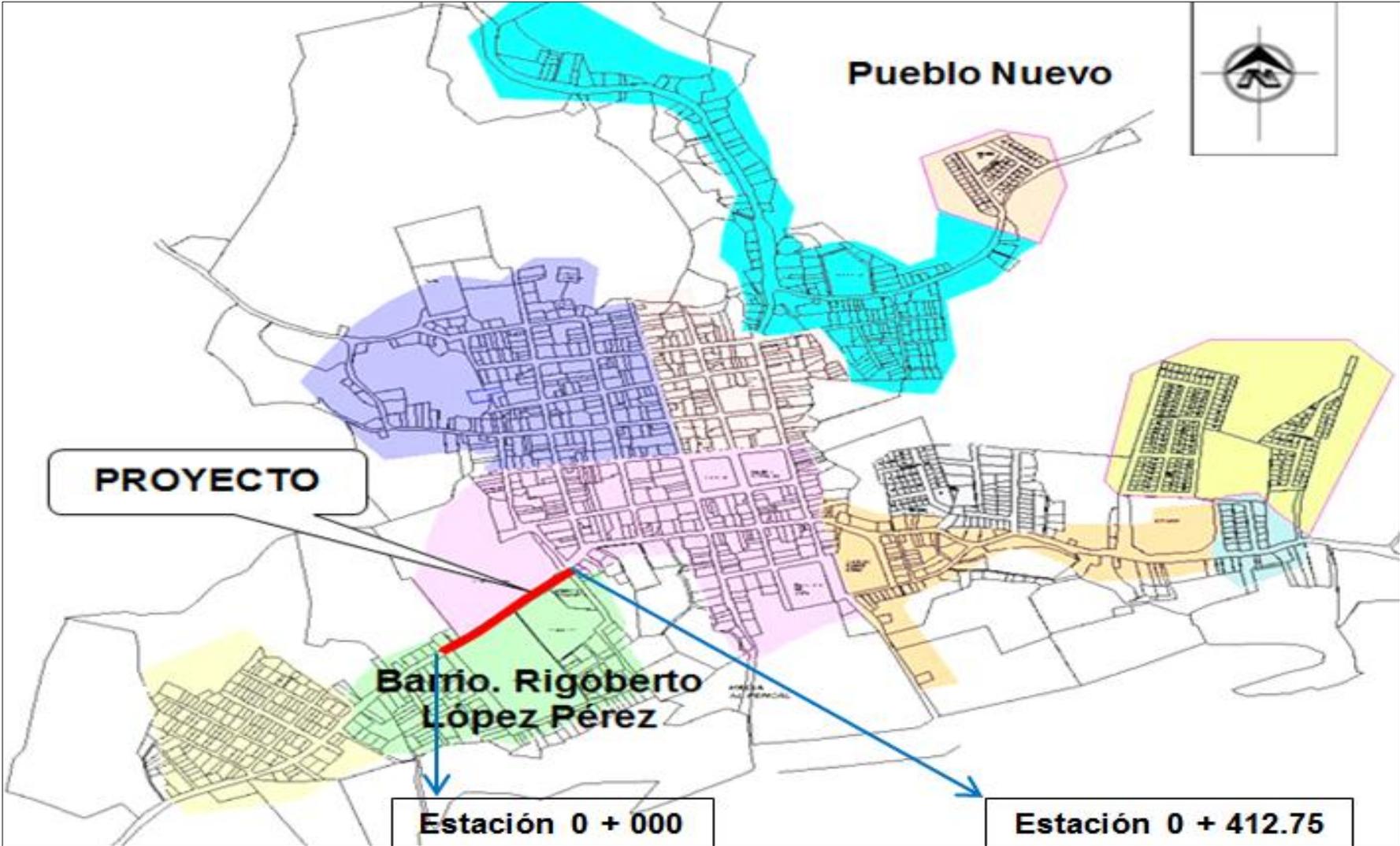
1.5 Ubicación y localización del proyecto

El proyecto se realiza en el barrio Rigoberto López Pérez, de la ciudad de Pueblo Nuevo, Estelí – Nicaragua. El clima del municipio es subtropical seco y bastante fresco, pero en las partes elevadas y montañosas húmedo. La temperatura oscila entre los 24 y 25 °C.

1.5.1 Macro localización



1.5.2 Micro localización



CAPÍTULO II

ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo

Los estudios de suelos se realizan con el propósito de conocer las diferentes características físicas y mecánicas de estos.

Los métodos más utilizados en Nicaragua para determinar la clasificación de los suelos son: **H.R.B. ASTM D-3282 (AASHTO M-145)**, y **S.U.C.S. ASTM D-2487**. Los resultados obtenidos al practicar los diferentes ensayos son usados para consideraciones de diseño de carreteras (Pavimento).

2.1.1 Suelo

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

2.1.2 Meteorización

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

2.1.3 Las propiedades físico-mecánicas

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

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

2.1.4 Granulometría

Es importante que el suelo este bien graduado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los hueco que dejan los áridos de mayor tamaño, reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante.

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

La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO¹.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

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

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

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

¹ Diseño de Pavimentos (AASHTO-93). Página 61.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **“Adoquinado en las calles del barrio Rigoberto López Pérez, en la ciudad de Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua”**. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo, para realizar el diseño de la estructura de pavimento requerida.

2.1.5 Trabajo de campo

Con el propósito de conocer las condiciones y características del sub-suelo, a lo largo del tramo en estudio, se procedió a la ejecución de 4 sondeos manuales, con una profundidad de 1.50 metros distribuidos a lo largo del tramo, con una separación entre sondeos de 130 metros aproximadamente

Las muestras obtenidas en el campo, se examinaron y clasificaron In Situ por el personal de campo, tomándose muestras alteradas, correspondiente a cada estrato, las cuales se trasladaron al laboratorio para realizarle los ensayos básicos necesarios.

Tabla N° 1. Sondeos efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación
Barrio Rigoberto López Pérez	S - 1	0 + 010
	S - 2	0 + 140
	S - 3	0 + 270
	S - 4	0 + 400

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. IDISA. Ingenieros Consultores

2.1.6 Estudio de laboratorio

Las muestras obtenidas en el campo se reagruparon en el laboratorio para realizarle los ensayos básicos necesarios, para tal efecto se utilizaron los procedimientos establecidos por las **Normas de la A.S.T.M.** (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), las que se mencionan a continuación:

Tabla Nº 2. Ensayos de laboratorios

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	T 27 – 88
Límite líquido de los suelos	T 89 – 90
Índice de plasticidad de los suelos	T 90 – 97
Pesos Unitarios (*)	T 19 – 88
Ensayo Proctor Estándar (*)	T 180 – 90
Ensayo C.B.R. (*)	T 193 – 81

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. IDISA. Ingenieros Consultores

(*) Ensayos realizados solo a la fuente de materiales.

La muestra para el Ensayo CBR se saturó por un tiempo de cuatro días, antes de ejecutar el Ensayo.

Los suelos en estudio se clasificaron por el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO** (Asociación Americana de Carreteras) en su designación **M 145 87**.

2.1.6.1 Resultados obtenidos

2.1.6.1.1 Sondeos manuales

En base a los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio, se puede afirmar que en todo el tramo en estudio predominan los tipos de suelo siguientes:

Estación 0 + 010

- En el estrato superior desde la superficie hasta la profundidad de 0.50 metros se observa un material granular correspondiente a una grava limosa que se clasifica del tipo **GM (A-2-4)**, con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de media plasticidad.

- En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.50 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se observa un material fino, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **ML (A-7-6)**, con índice de grupo 10 y de media plasticidad.

Estación 0 + 140

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.30 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava arcillosa, que se clasifica del tipo **GC (A-2-4)**, con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de media plasticidad.

En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.30 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metro, se observa un material fino, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **ML (A-6)**, con índice de grupo seis y de media plasticidad.

Estación 0 + 270

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.35 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava limosa, que se clasifica del tipo GM, según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y (A-2-4, en base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**), con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de media plasticidad.
- En el estrato inferior a partir de la profundidad de 0.35 metros, hasta 1.50 metro se observan materiales constituidos por arcillas inorgánicas, de color gris oscuro (negro). En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **CH**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de 12.

La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de malo para ser utilizado como material de cimentación de terracerías y/o estructuras de pavimento.

Estación 0 + 400

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.30 metros, se observan materiales granulares los que están conformados por arenas limosas de color café, Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **SM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-4**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad.
- A partir de la profundidad de 0.30 metros se observan materiales elásticos, los que se encuentran constituidos por arcillas inorgánicas, de color café rojizo. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **CH**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de quince. Este material es de alta compresibilidad y de alta plasticidad.

Tabla Nº 3. Resultados de ensayos de suelo

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% Que Pasa por el Tamiz								L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación			
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10			N°40	N°200	SUCS	AASHTO
Sm - 1; Estación 0 + 010																
Sm - 1	1	0.00 - 0.50			100	65	57	52	48	43	34	27	35	10	GM	A-2-4 (0)
	2	0.50 - 1.50							100	96	90	80	42	14	ML	A-7-6 (10)
Sm - 2; Estación 0 + 140																
Sm - 2	1	0.00 - 0.30			100	87	81	75	60	54	41	26	30	8.3	GC	A-2-4 (0)
	2	0.30 - 1.50							100	95	80	58	38.8	12	ML	A-6 (6)
Sm - 3; Estación 0 + 270																
Sm - 3	1	0.00 - 0.35			100	86	77	70	56	50	34	28	32.2	7.9	GM	A-2-4 (0)
	2	0.35 - 1.50							100	94	71	53	56.9	28	CH	A-7-6 (12)
Sm - 4; Estación 0 + 400																
Sm - 4	1	0.00 - 0.30			100	96	93	88	81	76	61	13	--	NP	SM	A-2-4 (0)
	2	0.30 - 1.50							100	96	90	78	50.4	23	CH	A-7-6 (15)
OBSERVACIONES:																
L.L. : Límite Líquido I.P: Índice Plástico I.G: Índice de Grupo N.P: Suelo No Plástico																

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. IDISA. Ingenieros Consultores

2.1.6.1.2 Estratigrafía del suelo

La secuencia estratigráfica del sitio en estudio se describe, considerándose desde la superficie hasta la profundidad investigada, la que se presenta a continuación en la tabla N° 4.

Tabla N° 4. Estratigrafía del suelo

Estación/Sondeo	0 + 010		0 + 140		0 + 270		0 + 400
Profundidad	S1		S2		S3		S4
0.10	A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)
0.20							
0.30							
0.40	A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)		A - 2 - 4 (0)
0.50							
0.60	A - 7 - 6 (10)		A - 6 (6)		A - 7 - 6 (12)		A - 7 - 6 (15)
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							

Fuente: Elaboración propia

2.1.6.1.3 Determinación del CBR

Se procedió a encontrar los valores de los CBR de los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como subrasante. Se eligieron los valores promedios de acuerdo a la tabla de relación aproximada entre los valores del CBR y la clasificación del suelo.

Tabla N° 5. Valores de CBR

Estación	Sondeo	Clasificación		CBR 95%	L.L (%)	I.P (%)	F
		AASHTO	SUCS				
0 + 010	S1	A - 2 - 4	GM	51	35	10.3	1
		A - 7 - 6	ML	13	42	14.3	1
0 + 140	S2	A - 2 - 4	GC	40	30	8.3	1
		A - 6	ML	14	38.8	12.4	1
0 + 270	S3	A - 2 - 4	GM	51	32.2	7.9	1
		A - 7 - 6	CH	8	56.9	27.5	1
0 + 400	S4	A - 2 - 4	SM	35	--	NP	1
		A - 7 - 6	CH	4.5	50.4	23.4	1

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. IDISA. Ingenieros Consultores

2.1.6.1.4 Investigación de fuente de materiales

Con el propósito de suministrar a la obra un material adecuado de cimentación, se tomó una muestra de la fuente de materiales “Roberto Vilches”, para su evaluación y análisis.

2.1.6.1.4.1 Banco de materiales “Roberto Vilches”

Esta fuente de materiales está localizada a 2 km carretera a Limay Comunidad La Lamia. Sus características se describen a continuación.

Esta fuente, se encuentra conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas de buena graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GW**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-4**, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material, es de baja compresibilidad y de media plasticidad, su CBR es de 82.4 %, su densidad seca máxima es de 1,679 Kg/m³ y su humedad óptima es de 11.5%.

En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado como material de base y sub-base en estructuras se pavimento.

Tabla N° 6. Resultados de ensayos de laboratorio del banco de material

PVSS	PVSC	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	I.P.	Clasificación	
Kg/m ³	Kg/m ³	Kg./m ³	%	95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
Fuente de Materiales : "Roberto Vilches"																		
1,167	1,374	1,679	11.5	82.4		100	60	37	23	17	11	8	5	3	39.9	7.4	GW	A-2-4 (0)
OBSERVACIONES:																		
PVSS = Peso Volumétrico, Seco Suelto, PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto, L.L. = Límite Líquido, I.P. = Índice de Plasticidad																		

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. IDISA. Ingenieros Consultores

Según la granulometría del banco de materiales Roberto Vilches el material es granular con pocos granos finos lo que hace que el material sea grueso.

La cantidad de material fino es suficiente para amarrar el material, aunque no cumpla con el L.L que es de 39.9% y el I.P que es de 7.4, pero si cumple con el CBR que es de 82.4%.

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

2.2.1 Superficie de rodamiento

La superficie de rodamiento consistirá de una estructura semi-flexible compuesta de unidades de adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10.

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

El adoquín a utilizarse será denominado tipo tráfico cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor de 350 kg/cm^2 (5000 PSI)².

2.2.2 Base

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

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

Tabla N° 7. Especificaciones de materiales para base granular

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

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

Tabla N° 8. Granulometría para base

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

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

2.2.3 Sub – base

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

Tabla N° 9. Especificaciones de materiales para sub-base

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

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

Tabla N° 10. Granulometría para sub-base

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

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

2.2.4 Sub – rasante

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

Tabla N° 11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante

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

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

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE TRÁNSITO

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

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

3.1 Estudio de tránsito

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

3.1.1 Aforos vehiculares

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

3.1.2 Volumen de tránsito

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

3.1.3 Análisis de cargas equivalentes

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

3.1.4 El tránsito

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

Para su correcta elaboración se realizaron tres etapas

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

3.1.5 Recopilación de datos

Se eligió una estación donde inicia el proyecto, (mercado municipal), para recopilar los datos a través de conteos vehiculares, el que se realizó en el mes de noviembre del año 2014, en un período de siete días a partir del lunes 24 de noviembre al domingo 30 de noviembre, durante doce horas, iniciando a las 6:00 am y concluyendo a las 6:00 pm.

3.1.5.1 Clasificación vehicular

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías (ver anexos capítulo III. Anexo N° 1, página VIII).

3.1.5.1.1 Vehículos de pasajeros

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

3.1.5.1.2 Vehículos de carga

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

3.1.5.1.3 Equipo pesado

Estos son los vehículos agrícolas y vehículos de construcción.

Otros

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

3.2 Estudios de campo

3.2.1 Volumen de tránsito

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

El volumen de tránsito que circula por la vía, se determinó a través de aforos; el aforo se realizó durante una semana; en un período de tiempo de 12 horas correspondiente de 6:00 am a 6:00 pm cada día.

A continuación se presenta el resultado del conteo vehicular (ver tabla N° 12).

Tabla N° 12. Aforo vehicular en ambos sentidos, noviembre 2014

Aforo Vehicular de 12 horas														
Día	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga							
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	T2 - S1	T2 - S2	T3 - S1	T3 - S2	TOTAL
Lunes	180	150	10	60	5	12	60	40	30	0	0	0	0	547
Martes	150	148	12	75	6	11	64	39	28	0	0	0	0	533
Miércoles	166	149	11	55	4	13	72	42	33	0	0	0	0	545
Jueves	185	152	10	59	7	12	68	35	35	0	0	0	0	563
Viernes	182	153	14	62	6	10	71	41	29	0	0	0	0	568
Sábado	160	130	10	48	8	12	52	38	30	0	0	0	0	488
Domingo	162	132	12	55	6	8	54	34	26	0	0	0	0	489
TOTAL	1185	1014	79	414	42	78	441	269	211	0	0	0	0	3733

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Expansión a 24.0 Horas

Los volúmenes de tráfico diario de doce horas se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, haciendo uso del Factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación Sumaria N° **3804** tramo Pueblo Nuevo – Shell Palacagüina, Nic – 38.

Tabla N° 13. Factores de ajustes de la estación 3804 del tramo: Pueblo Nuevo – Shell Palacagüina

Camino: Nic 38		Estación: 3804		Tramo: Pueblo Nuevo - Shell Palacagüina.				Periodo	L	Dias: 3	Horas:	Mes/Año		Julio	2011	Km: 264.870		
Grupos	Motos	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos 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
TP(D)	160	131	21	152		2	14	63	22	2		1			1		2	572
Factor Dia	1.24	1.47	1.25	1.28	1.41	1.11	1.18	1.21	1.26	1.13	1.00	1.22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	
Factor Semana	0.96	1.06	1.12	1.02	0.95	0.97	0.99	0.89	0.86	0.80	1.00	1.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.22	
Factor Expansión	1.06	1.00	1.01	0.95	0.98	1.09	0.96	1.03	0.93	1.17	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53	
TPDA May-Ago	202	204	30	190		2	16	70	22	2		1			1		1	741
% TPDA	27.26	27.53	4.05	25.64		0.27	2.16	9.45	2.97	0.27		0.13			0.13		0.13	100.00
% Vehiculos Livianos						% Vehiculos Pesados												
84.75%						15.11%									0.13%	100.00%		

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI. Año 2011. Página 251.

Tránsito expandido 24 hrs, = Factor día * Tránsito 12 hrs (Ec. 3.1)

Tabla N° 14. Conteo Vehicular expandido a 24.0 hrs, por tipo de vehículo en ambos sentidos de lunes 24 al domingo 30 de noviembre del año 2014

Tipo de Vehículo	Factor Día	Día Lunes		Día Martes		Día Miércoles		Día Jueves		Día Viernes		Día Sábado		Día Domingo		Tránsito total 24 horas
		12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	
Motos	1.24	180	223	150	186	166	206	185	229	182	226	160	198	162	201	1469
Autos	1.47	150	221	148	218	149	219	152	223	153	225	130	191	132	194	1491
Jeep	1.25	10	13	12	15	11	14	10	13	14	18	10	13	12	15	101
Camionetas	1.28	60	77	75	96	55	70	59	76	62	79	48	61	55	70	529
Micro Bus	1.41	5	7	6	8	4	6	7	10	6	8	8	11	6	8	58
Bus	1.18	12	14	11	13	13	15	12	14	10	12	12	14	8	9	91
Liviano de carga	1.21	60	73	64	77	72	87	68	82	71	86	52	63	54	65	533
C2	1.26	40	50	39	49	42	53	35	44	41	52	38	48	34	43	339
C3	1.13	30	34	28	32	33	37	35	40	29	33	30	34	26	29	239
Total		547	712	533	694	545	707	563	731	568	739	488	633	489	634	4850

Fuente: Elaboración propia

3.3 Tránsito promedio diario

Es el tránsito total registrado por día, dividido por los siete días de la semana del conteo elaborado en el mercado municipal, donde inicia el proyecto (ver tabla N° 10), se determina el tránsito promedio diario por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{TPDiurno} = \frac{\sum \text{TDiurno}}{7} \quad (\text{EC. 3.2})$$

TPDiurno = Tránsito diario.

ΣTDi = Suma de tránsito diario.

Tabla N° 15. TPDiurno para cada tipo de vehículo del domingo 24 al lunes 30 del mes de noviembre, del año 2014

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDiurno
Motos	1469	210
Autos	1491	213
Jeep	101	14
Camionetas	529	76
Micro Bus	58	8
Bus	91	13
Liviano de carga	533	76
C2	339	48
C3	239	34
Total	4850	692

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

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

Para obtener el tránsito promedio diario del tramo comprendido entre el mercado municipal y el MINED se tomó como referencia los datos registrados por el MTI; mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones permanentes, ubicadas en toda la red vial del país.

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

La estación permanente que está asociada con el tramo que va del mercado municipal al MINED; es la estación **3804** localizada en Pueblo Nuevo – Shell Palacagüina, (ver tabla N° 11)

Tomando los valores del TPDiurno, de la tabla N° 13 y los factores de expansión de la tabla N° 11; determinamos el TPDA para cada tipo de vehículo.

$$\text{TPDA} = \text{TPDiurno} \times \text{factor expansión} \quad (\text{EC. 3.3})$$

Tabla N° 16. Cálculo del tránsito promedio diario anual

Vehículos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Totales
TPDiurno ajustado	210	213	14	76	8	13	76	48	34	692
Factor expansión	1.06	1.00	1.01	0.95	0.98	0.96	1.03	0.93	1.17	
TPDA	223	213	14	72	8	12	78	45	40	705
% TPDA	31.63	30.21	1.99	10.21	1.13	1.70	11.06	6.38	5.67	100
% Vehículos livianos					75	% Vehículos livianos			25	100

Fuente: Elaboración propia

% Vehículos livianos = $31.63 + 30.21 + 1.99 + 10.21 + 1.13 = 75.17 \approx 75$

% Vehículos pesados = $1.70 + 11.06 + 6.38 + 5.67 = 24.81 \approx 25$

3.5 Proyección del tránsito

3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc)

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

3.5.2 Crecimiento poblacional

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

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), actualmente Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005 ajustándose a los techos departamentales proyectados al 30 de junio de cada año. (Ver tabla N° 15 y tabla N° 16).

Tabla N° 17. Proyección de Tasa de Crecimiento Poblacional (2006-2020)

AÑO	Tasa de Crecimiento. (TC)
2005 – 2010	0.4
2010 – 2015	0.3
2015 – 2020	0.3
Promedio TC	0.33

Fuente: Estimaciones y proyecciones de población. INIDE. Año 2007. Página 96.

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2010 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de Pueblo Nuevo fue de 0.3.

3.5.3 Crecimiento vehicular

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

$$TC = \left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (\text{EC. 3.4})$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Tráfico promedio diario actual.

TPDA_o: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación sumaria cubierta por el MTI; al que corresponde nuestro tramo en estudio (NIC – 38) Pueblo Nuevo – Shell Palacagüina.

Tabla Nº 18. Datos históricos del TPDA

Pueblo Nuevo (Nic - 38) – Shell Palacagüina. Estación. No. 3804										
AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
TPDA	305		461			304			568	741

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2011 MTI. Pag. 84

Aplicando la ecuación No. 7 para determinar la tasa de crecimiento para el período (2010 – 2011) obtenemos.

$$TC = \left[\left(\frac{741}{568} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] * 100$$

$$TC = 0.3046 * 100 = 30.46 \%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo creció a una tasa de **30.46 %**.

3.5.4 Producto interno bruto (PIB):

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un período. El PIB se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

El PIB promedio de los últimos 10 años es de 4.17 %.

Tabla Nº 19. Producto interno bruto (PIB)

AÑO	PIB	% CRECIMIENTO PIB
2003	28,795.50	2.5
2004	30,325.20	5.3
2005	31623.9	4.3
2006	119,235.20	4.2
2007	125,231.50	5
2008	130,235.00	4
2009	127397.7	2.2
2010	132,012.90	3.60
2011	139,206.30	5.4
2012	146,451.30	5.2
Promedio		4.17

Fuente: Estadísticas microeconómicas, BCN. Anuario 2012

Tomando en cuenta el promedio de las tasas de crecimiento; poblacional (0.33), vehicular (30.46) y crecimiento económico (4.17) da como resultado un valor de 11.64 %, siendo este valor muy alto, se tomó el valor que ofrece el Anuario de Aforos de Tráfico del año 2010, la cual ofrece una tasa de crecimiento del **2.92%** a nivel de todo el país. Esta es una tasa moderada la cual utilizaremos para las proyecciones del tránsito en la zona.

3.6 Tránsito de diseño

3.6.1 Período de diseño (N)

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

Basándonos en el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectora sub urbana es de 10 a 20 años.

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

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

Tabla Nº 20. Período de diseño (N)

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

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

3.6.2 Factor direccional (FD)

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

Tabla Nº 21. Factor de distribución por dirección (FD)

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

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

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

3.6.3 Factor de crecimiento (FC)

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

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores obtenemos:

i: 2.92 %.

n: 20 años.

$$FC = \frac{(1 + 0.0292)^{20} - 1}{0.0292} * 365 \quad (\text{EC. 3.6})$$

$$FC = 9,728.26 \approx 9,728$$

3.6.4 Factor de distribución por carril

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

Tabla N° 22. Factor de distribución por carril

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

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

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

3.6.5 Determinación del tránsito de diseño

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

$$TPDA_{2034} = T_{o2014} * (1 + i)^n \quad (\text{EC. 3.7})$$

Dónde:

To = Tránsito Inicial en el año n.

i= Tasa de crecimiento anual en

n= Número de año en el período de diseño.

Tabla N° 23. Tránsito proyectado, para el tramo. Mercado municipal - MINED al año 2034

Tipo de vehículo	TPDA ₂₀₁₄	Tasa de crecimiento	N	TPDA Proyectado 2034
Motos	223	0.0292	20	397
Autos	213	0.0292	20	379
Jeep	14	0.0292	20	25
Camionetas	72	0.0292	20	128
Micro Bus	8	0.0292	20	14
Bus	12	0.0292	20	21
Liviano de carga	78	0.0292	20	139
C2	45	0.0292	20	80
C3	40	0.0292	20	71
Total				1254

Fuente: Elaboración propia

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

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

$$T_D = TPDA_{2014} * FC * FD * F'_C \quad (\text{EC. 3.8})$$

Dónde:

TPDA₀: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento

FD: Factor de distribución por sentido

Fc': Factor de distribución por carril

Tabla N° 24. Tránsito de diseño para el tramo: Mercado municipal – MINED, Pueblo Nuevo

Tipo de vehículo	TPDA2014	FC	FD	Fc'	TD 2034
Motos	223	9728	0.5	1	1084672
Autos	213	9728	0.5	1	1036032
Jeep	14	9728	0.5	1	68096
Camionetas	72	9728	0.5	1	350208
Micro Bus	8	9728	0.5	1	38912
Bus	12	9728	0.5	1	58368
Liviano de carga	78	9728	0.5	1	379392
C2	45	9728	0.5	1	218880
C3	40	9728	0.5	1	194560
Total					3429120

Fuente: Elaboración propia

$$TD (\text{motos}) = 223 \times 9728 \times 0.5 \times 1$$

$$TD (\text{motos}) = 1084672$$

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

4.1 Introducción

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

El método utilizado para efectuar el diseño, fue el de la AASHTO-93. Este método considera las siguientes variables:

4.2 Índice de serviciabilidad

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

4.2.1 Serviciabilidad inicial:

$\rho_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$\rho_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles.

4.2.2 Serviciabilidad final:

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

$\rho_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito³.

³ Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172.

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

Tabla N° 25. Valor de la serviciabilidad final

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

Fuente: Manual AASHTO – 93

ρ_0 (Serviciabilidad Inicial)= 4.2 Para pavimentos flexibles.

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

4.2.3 Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

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

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = \rho_0 - \rho_t \quad (\text{Ec - 4.1})$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

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

Definiremos como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (ver anexos capítulo III. Anexos N° 2 y 3, página IX).

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) existe un factor correspondiente que se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada eje de los vehículos la cual a su vez se sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes (ver anexos capítulo IV. Anexos N° 1 y 2, páginas XI y XII).

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

$$\text{Esal } 0 \text{ W18} = \text{TD} * \text{FactorCarga (Ec - 4.2)}$$

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

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

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

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

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

$$4000 - 2000 = 2000$$

$$0.002 - 0.0002 = 0.0018$$

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

2000	0.0018
200	X

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

$$X = 0.00018$$

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

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

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

En la tabla N° 24, se presentan los otros factores equivalentes de cargas.

Para obtener ESALs para cada tipo de vehículo sustituimos la ecuación 2

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

$$\text{ESALs (autos) de diseño} = 1036060 * 0.00038$$

$$\text{ESALs (autos) de diseño} = 393.70 \approx 394$$

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

Tabla Nº 26. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)

Tipo de vehículo	T0	Peso por eje en LBS	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Autos	213	2200	Simple	1036032	0.00038	394
		2200	Simple	1036032	0.00038	394
Jeep	14	2200	Simple	68096	0.00038	26
		2200	Simple	68096	0.00038	26
Camionetas	72	2200	Simple	350208	0.00038	133
		4400	Simple	350208	0.0034	1191
Micro Bus	8	4400	Simple	38912	0.0034	132
		8800	Simple	38912	0.0502	1953
Bus	12	11000	Simple	58368	0.1265	7384
		22000	Simple	58368	2.35	137165
Liviano de cargas	78	8800	Simple	379392	0.0502	19045
		17600	Simple	379392	0.9206	349268
C2	45	11000	Simple	218880	0.1265	27688
		22000	Simple	218880	2.35	514368
C3	40	11000	Simple	194560	0.1265	24612
		36300	Doble	194560	1.4325	278707
Total ESAL de diseño						1362486

Fuente: Elaboración propia.

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

ESAL o W18 = 1, 362,486 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

4.4 Confiabilidad (R)

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO.1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para nuestro tramo y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizara esta es liviano, se asume un valor de confiabilidad (**R**) de **80 %**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como una zona urbana y para tipo de caminos colectores.

Tabla N° 27. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

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

4.5 Desviación estándar (S_0)

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

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

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

Tabla N° 28. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35 pavimento Rígido
	0.45 Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 Pavimento Rígido
	0.50 Pavimento Flexible

Fuente: Libro de diseños para pavimentos. AASHTO 93. Tercera edición. Página 135.

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

4.6 Coeficiente de drenaje

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

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

Tabla Nº 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

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

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

El valor asumido en este diseño fue del 1.00, ya que se presenta una calidad de drenaje bueno.

4.7 Propiedades de los materiales

4.7.1 Determinación del CBR de diseño

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

El suelo típico de subrasante de una unidad de diseño es un material sobre el cual se efectuaron 4 ensayos de CBR y los resultados fueron 35, 40 y 51 %; con estos datos se calcula el CBR de diseño para un tránsito de 1.362486×10^6 ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas durante el período de diseño.

Solución:

Presentamos una tabla de resumen con los datos de CBR de la subrasante considerando una profundidad de 30 cm de la superficie:

Tabla N° 30. Valores de CBR para diseño

Clasificación		CBR	L.L	I.P	
AASHTO	SUCS	95%	(%)	(%)	F
A - 2 - 4	GM	51	35	10.3	1
A - 2 - 4	GC	40	30	8.3	1
A - 2 - 4	GM	51	32.2	7.9	1
A - 2 - 4	SM	35	0	0	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño

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

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

ESAL o W18 = 1, 362,486 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

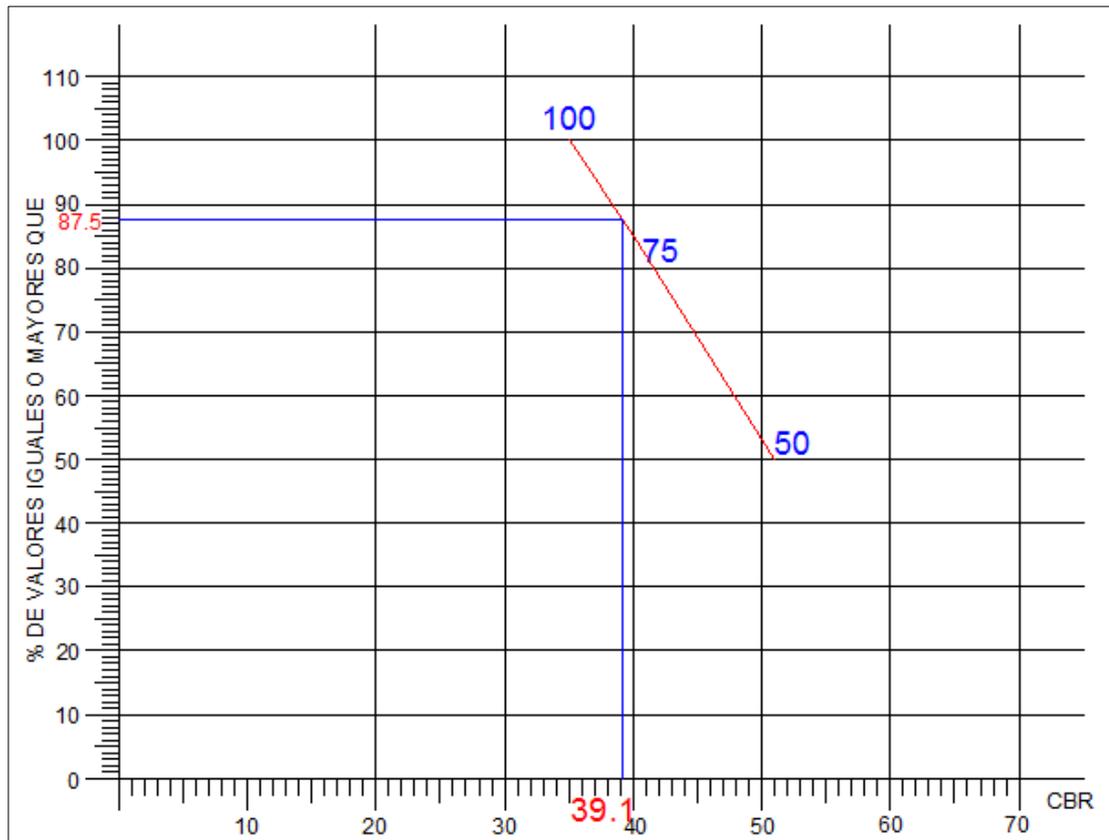
Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla N° 32. Cálculo para determinar el CBR de diseño

Clasificación		CBR	F	Número de valores iguales o mayores que	% de valores iguales o mayores
AASHTO	SUCS	95%			
A - 2 - 4	SM	35	1	4	$(4/4)*100 = 100$
A - 2 - 4	GC	40	1	3	$(2/4)*100 = 75$
A - 2 - 4	GM	51	2	2	$(1/4)*100 = 50$
			4		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°.4.1. Determinación del CBR de la subrasante



Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 87.5 % obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 39.1 %.

4.7.2 Módulo Resiliente (MR)

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

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

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

$$\mathbf{MR = 1,500 \times CBR \text{ (Ec 4.3)}}$$

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

$$\mathbf{MR = 4,326 \times \ln (CBR) + 241 \text{ (Ec 4.4)}}$$

Cálculo para determinar el módulo de resiliencia, para CBR de 39.1 % en la sub-rasante.

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

$$MR = 4,326 \times \ln 39.1 + 241$$

$$MR = 16100.65 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base pertenece al banco de materiales Roberto Vilches, con CBR 82.4 %

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 28,600 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. (Ver anexos capítulo IV. Anexo N° 4, página XIV).

4.7.3 Coeficientes estructurales de capa

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

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

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

4.7.4 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1

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

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

4.7.5 Coeficiente estructural para base granular a2

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

El coeficiente estructural **a2 es 0.135**, el cual se obtiene del nomograma para bases granulares no-tratadas de la AASHTO-93 Página Número 35. (Ver anexos capítulo IV. Anexo N° 4, página XIV).

4.8 Calculo de espesores

Tenemos los valores encontrados anteriormente.

- Ejes equivalentes ESALs: 1, 362,486 ejes equivalentes por carril de diseño.
- Confiabilidad (%) R: 80.
- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Serviciabilidad (Δ psi): 2.2
- Propiedades de los materiales

- ✓ Módulo Resiliente Sub – Rasante: 16100.65 PSI
- ✓ Módulo Resiliente Base: 28,600 PSI
- ✓ Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45
- ✓ Coeficiente Estructural Base a2: 0.135
- Drenaje (mi): 1.00

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

Para el cálculo de SN; utilizamos el nomograma para resolver la ecuación AASHTO (Ver anexos capítulo IV. Anexo N° 3, página XIII) Obteniendo un resultado de SN para subrasante = 2.46 y SN para base = 2.1

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

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

$$SN1 = D1^* \times a1 \text{ (Ec 4.5)}$$

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

$$SN1^* = 1.8$$

BASE

$$SN = SN2^* - SN1^* \text{ (Ec 4.6)}$$

$$SN = 2.46 - 1.8$$

$$SN = 0.66$$

$$D2 = SN/a2 \times m \text{ (Ec 4.7)}$$

$$D2 = 0.66 / (0.135 \times 1)$$

$$D2^* = 4.89$$

Como verificación:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 \text{ (Ec 4.8)}$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.135 \times 4.89 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.66$$

$$SN = 2.46$$

$$SN_1^* + SN_2 \geq SN \text{ (Ec 4.9)}$$

$$1.80 + 0.66 \geq 2.46$$

$$2.46 \geq 2.46 \text{ OK}$$

4.9 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción

Es normalmente impráctico y antieconómico el extender y compactar capas que tengan un espesor menor a determinados mínimos. El tráfico, por otra parte, puede dictaminar otros espesores mínimos recomendables para lograr que las mezclas tengan estabilidad y cohesión satisfactorias.

La tabla N° 31, que se presenta a continuación, sugiere algunos espesores mínimos para capas de rodamiento y bases, en función de los valores de cargas equivalentes en el período de diseño.

Tabla N° 33. Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito son los siguientes:

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

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

El resultado de espesor en el diseño de la base granular es de 4.89 pulgadas;

el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, es por ello que tomamos 15 cm (6 pulgadas) como lo indica la AASHTO en los espesores mínimos sugeridos para base granular.

- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Colchón de arena = 2" (5 centímetros)
- ✓ Base = 6 " (15 centímetros)

Esquema de la estructura de pavimento.

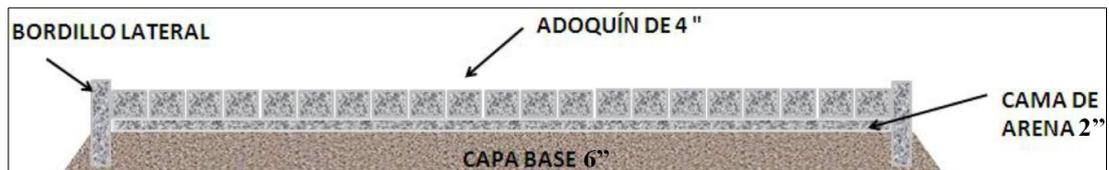
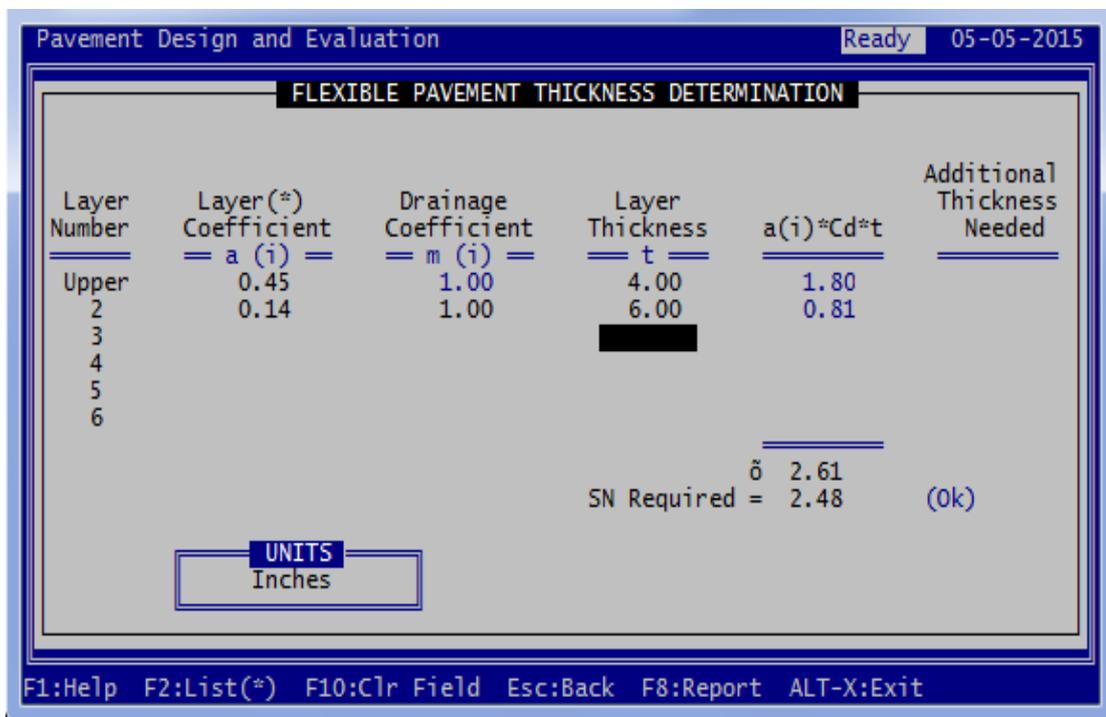
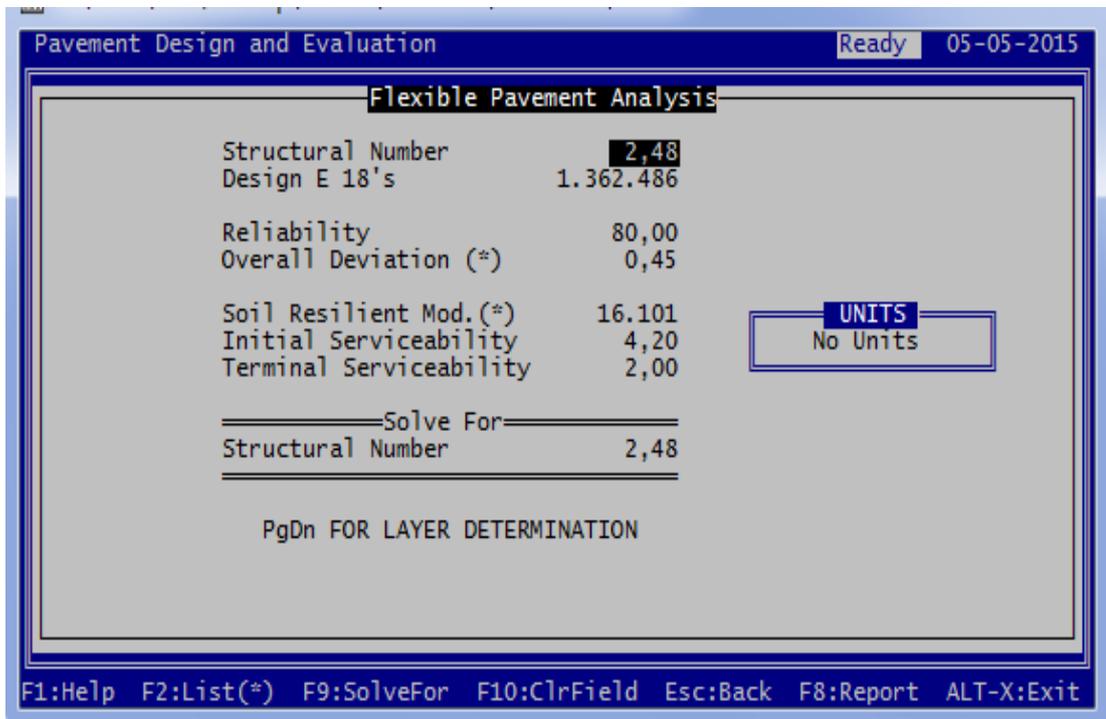


Tabla N° 34. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3

Variables	Valores
SN	2.46
ESALs	1, 362,486 ejes equivalentes por carril de diseño
Confiabilidad	80 %
Desviación estándar (S_0)	0.45
MR	16100.65PSI
Servicialidad inicial (P_0)	4.2
Servicialidad final (P_t)	2
Coeficiente de drenaje (m_1)	1
Coeficiente de capa a1	0.45
Coeficiente de capa a2	0.135

Fuente: Elaboración propia

4.10 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software, Pavement Design Analysis, versión 3.3.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los suelos correspondientes al primer estrato estudiado, de acuerdo con los resultados obtenidos, se clasifican como A – 2 – 4, del tipo GM y GC del cual se cortarían 30 cm y se sustituirá 15 cm de base por el material del banco Roberto Vilches, 5 cm colchón de arena y 10 cm de adoquín que forma la estructura de pavimento.
- El banco de materiales a utilizar será Roberto Vilches, el cual se clasifica según la AASHTO como A-2-4, con índice de grupo cero, presenta las siguientes características, CBR de 82.4 %, límite líquido 39.9 %, e índice plástico 7.4.
- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con 75 %. El ESAL's obtenido fue 1362486 ejes equivalentes por carril de diseño.
- El resultado de espesor en el diseño de la base granular según el cálculo es de 4.89 pulgadas; el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, es por ello que tomamos 6 pulgadas, como lo indica la AASHTO.
- Para el cálculo de la estructura de pavimento se utilizó el método de la AASHTO - 93, se hizo de manera manual y a través del programa computarizado Pavement Analysis Software versión 3.3 obteniendo los siguientes resultados:
Una estructura de pavimento constituida por 3 capas: la de rodadura con adoquín, la cama de arena y la base granular. Debido a que el tránsito es mayoritariamente de vehículos livianos con 75 %, no se propone sub-base.
- Espesores calculados:
Una capa de rodadura de 4 Pulgadas equivalentes al adoquín.
Una cama de arena de 2 pulgadas.
Una capa de base 6 Pulgadas.

Recomendaciones

- Establecer medidas de control para la circulación vehicular sobre la vía en estudio, con el objetivo de evitar que vehículos fuera de diseño (que exceden el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.
- Para garantizar el buen funcionamiento y duración de vida útil de la carpeta y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
- Realizar pruebas de resistencia a los adoquines que cumplan lo establecido en el Manual Centroamericano Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA) página 500-65, para comprobar que cumple las especificaciones técnicas propuestas en el presente documento.
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
- La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10..
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.

Bibliografía

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

Otros

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

ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo N° 1. Imagen de calle a adoquinar en el municipio de Pueblo Nuevo. Barrio Rigoberto López Pérez



Estación 0 + 280

ANEXOS CAPÍTULO II

Anexo N° 1. Clasificación de suelos, según AASHTO

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

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

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

Anexo N° 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS

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

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

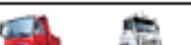
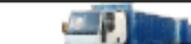
Anexo N° 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

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

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

ANEXOS CAPÍTULO III

Anexo N° 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxi, 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 tiras 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.
	MNIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T ₁ S ₁ X=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T ₁ S ₁ X=4.
	T ₁ S ₁ X=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C ₁ R ₁ X=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C ₁ R ₁ X=4
	C ₁ R ₁ X=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (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 (Dermovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2011. Pag. 28.

Anexo Nº 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control

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

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

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2011. Pag. 28.

Anexo Nº 3. Diagrama de cargas permisibles

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

ANEXOS CAPÍTULO IV

Anexo Nº 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $\rho_t = 2$, SN= 5

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

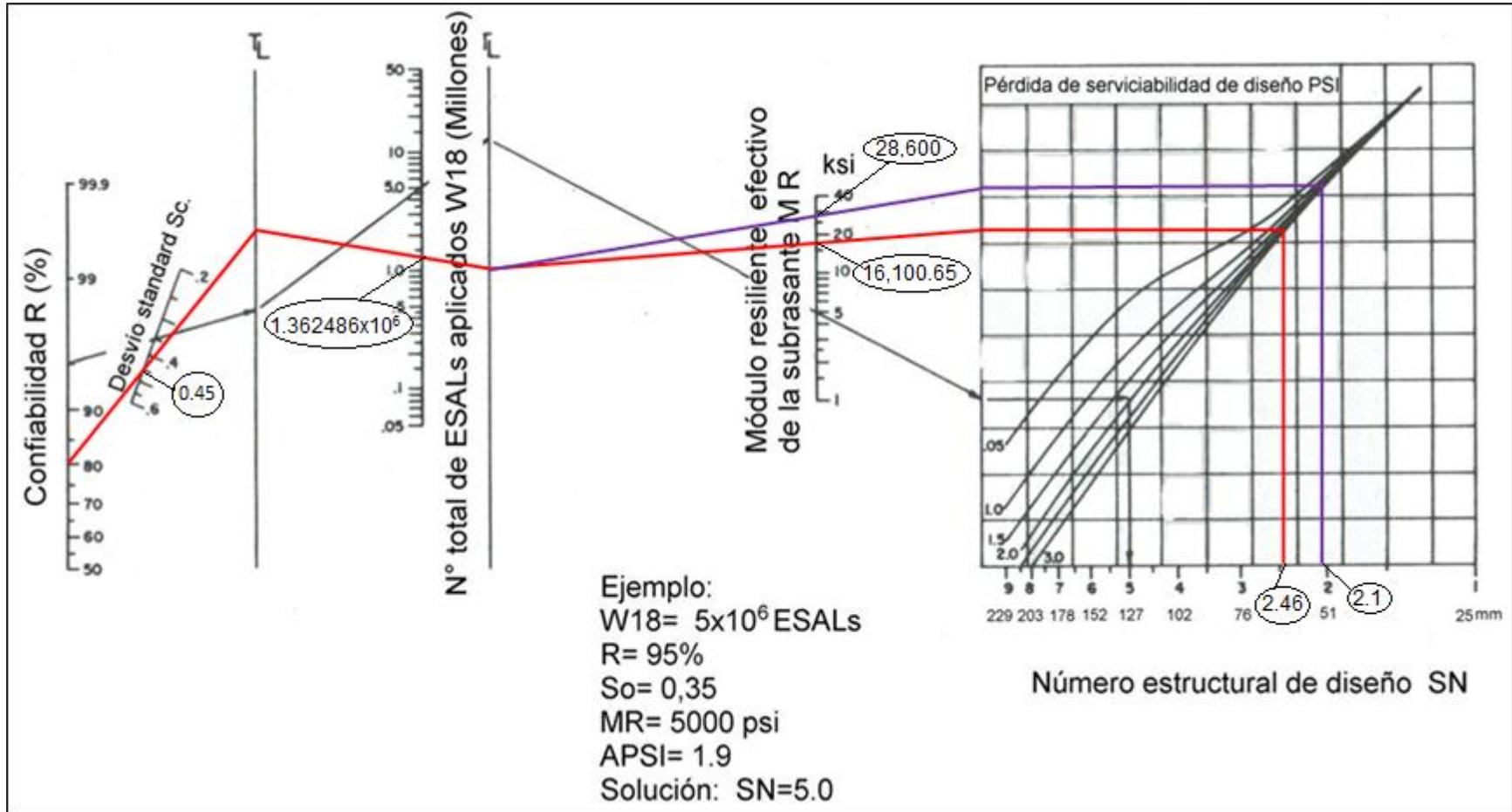
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 6.

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

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

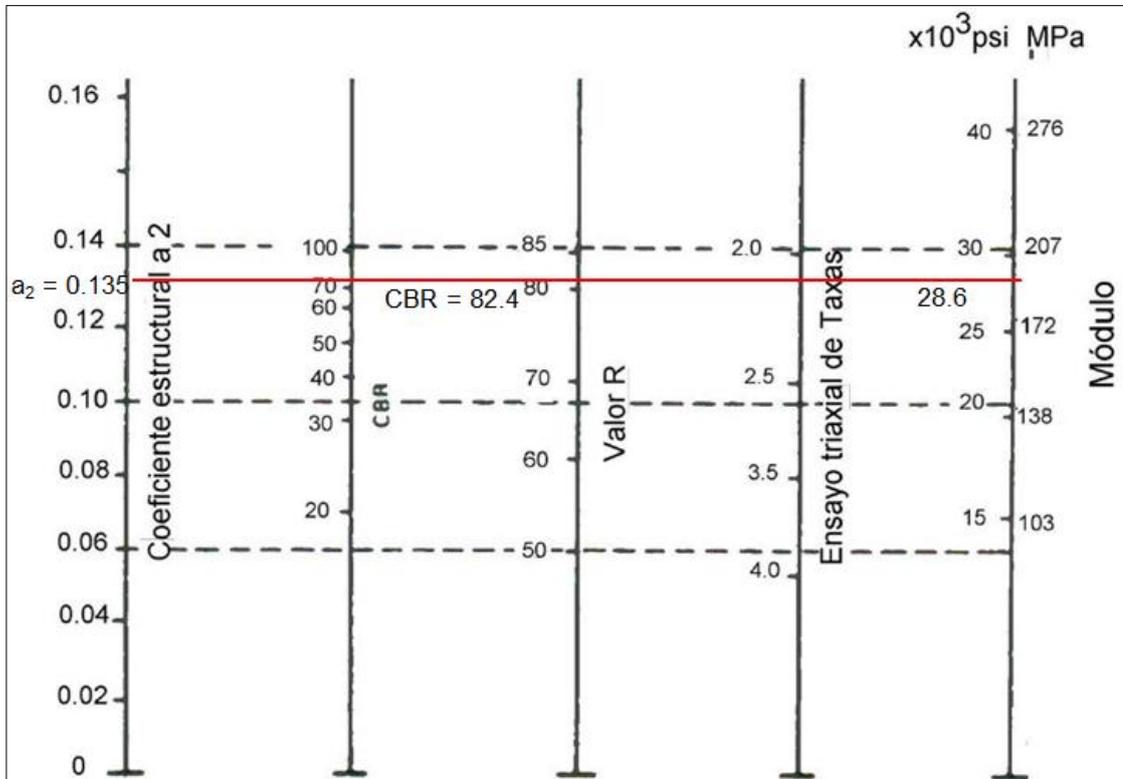
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 7.

Anexo N° 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base



Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejó, pág. 276.

Anexo Nº 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes



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