



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

TESINA

**DISEÑO DE 948 METROS DE ADOQUINADO, EN EL BARRIO PEDRO
JOAQUÍN CHAMORRO, MUNICIPIO DE LA TRINIDAD, DEPARTAMENTO
DE ESTELÍ.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborada por:

Br. Alvin Josué Rodríguez Urrutia.

Br. Marco Antonio Molina López.

Tutor

Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña.

Managua, Septiembre 2017

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. Alvin Josué Rodríguez Urrutia 2) Br. . Marco Antonio Molina López
NOMBRE DEL CURSO: Obras Horizontales
NOMBRE DE LA TESINA: DISEÑO DE 948 METROS DE ADOQUINADO, EN EL BARRIO PEDRO JOAQUÍN CHAMORRO, MUNICIPIO DE LA TRINIDAD, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ.
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.
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA 1) 2) 3)
FIRMA TUTOR: _____ Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña.

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 mi **Madre**, quien me formó con buenas costumbres, hábitos, principios y valores; forjados en roca imposible de triturar; porque desde su vientre me amó e infundió el Amor más grande a Dios, por educarme, y guiarme en el camino de la verdad, rectitud y justicia.

A mi Hermana: porque siempre ha estado pendiente de mí, en cada momento de mi carrera hasta ver culminados mis estudios.

Br. Alvin Josué Rodríguez Urrutia.

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 mi **Madre: Xiomara de los Ángeles López**, quien ha dado su vida día a día por mí y mis hermanos. Formándome con buenas costumbres, hábitos, principios y valores, por educarme, y guiarme en el camino de la verdad, rectitud y justicia.

A mi **Hermano: Luis Rubén Molina** porque siempre se ha significado un padre, ya que ha dado su mayor esfuerzo por que no me falte nada y verme triunfar y ser un gran ejemplo a seguir.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

Br. Marco Antonio Molina López.

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Sobre todas las cosas por estar en cada momento de nuestras vidas, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente por darnos la paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para culminar nuestros estudios y seguir adelante en la vida.

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

A nuestro tutor. Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña, por su aporte invaluable en nuestra formación profesional, por asesorarnos, brindarnos su tiempo, dedicación, confianza y apoyo para la realización de nuestro trabajo.

A nuestros maestros. Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo y convertirnos en buenos profesionales.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “**Diseño de 948 metros de adoquinado, en el barrio Pedro Joaquín Chamorro, municipio de La Trinidad, departamento de Estelí**”; presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método AASHTO-93.

Este trabajo contiene cinco capítulos; donde cada uno está constituido por un tema específico.

Capítulo I. Aspectos Generales: Se aborda las generalidades del tema; tales como: introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo II. Estudio de Suelos: Presenta la información sobre el estudio de suelo realizado por la alcaldía de Estelí 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, sub-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. Estudio de tránsito: 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. Diseño de estructuras de pavimento: Comprende el diseño de pavimento articulado; de forma manual, 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 sirvió 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.

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	5

CAPÍTULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo	7
2.1.1 Suelo	7
2.1.2 Meteorización	7
2.1.3 Las propiedades físico-mecánicas	7
2.1.4 Trabajo de campo.....	8
3.1.1 Estudio de laboratorio.....	9
3.1.1.1 Resultados obtenidos	10
3.1.1.1.1 Sondeos manuales.....	10
3.1.1.1.2 Estratigrafía del suelo	16
3.1.1.1.3 Determinación del CBR de diseño.....	21
3.1.1.1.4 Investigación de fuente de materiales	21
3.1.1.1.4.1 Banco de materiales “El Guasimal”	21
2.2 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento	22
2.2.1 Superficie de rodamiento.....	22
2.2.2 Base	23
2.2.3 Sub – base	24
2.2.4 Sub – rasante	24

CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Estudio de tránsito.....	27
3.1.1 Aforos vehiculares.....	27
3.1.2 Capacidad de la vía.....	27
3.1.3 Análisis de cargas equivalentes.....	28
3.1.4 El tránsito.....	28
3.1.5 Recopilación de datos.....	28
3.1.5.1 Clasificación vehicular.....	28
3.1.5.1.1 Vehículos de pasajeros.....	29
3.1.5.1.2 Vehículos de carga.....	29
3.1.5.1.3 Equipo pesado.....	29
3.1.5.1.4 Otros.....	29
3.2 Estudios de campo.....	29
3.2.1 Volumen de tránsito.....	29
3.2.2 Expansión a 24.0 Horas.....	31
3.1 Tránsito promedio diurno.....	33
3.2 Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	33
3.3 Proyección del tránsito.....	35
3.3.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	35
3.3.2 Crecimiento poblacional.....	35
3.3.3 Crecimiento vehicular.....	36
3.3.4 Producto interno bruto (PIB):.....	37
3.4 Tránsito de diseño.....	38
3.4.1 Período de diseño (N).....	38
3.4.2 Factor direccional (FD).....	39
3.4.3 Factor de crecimiento (FC).....	39
3.4.4 Factor de distribución por carril.....	40
3.4.5 Determinación del tránsito de diseño.....	40

CAPÍTULO IV DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

4.1 Introducción	44
4.2 Índice de serviciabilidad	44
4.2.1 Serviciabilidad inicial:	44
4.2.2 Serviciabilidad final:	44
4.2.3 Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI)	45
4.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento	46
4.4 Confiabilidad (R)	49
4.5 Desviación estándar (S_0)	49
4.6 Coeficiente de drenaje	50
4.7 Propiedades de los materiales	51
4.7.1 Determinación del CBR de diseño	51
4.7.2 Módulo Resiliente (MR)	53
4.7.3 Coeficientes estructurales de capa	54
4.7.4 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1	55
4.7.5 Coeficiente estructural para base granular a2	55
4.8 Calculo de espesores	55
4.8.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)	56
4.9 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción	57
4.10 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software™, Pavement Desingend Analysis, versión 3.3. .	59
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
Bibliografía	62

ÍNDICE DE TABLA

Tabla N° 1. Sondeos efectuados	9
Tabla N° 2. Ensayos de laboratorios	10
Tabla N° 3. Resultados de ensayos de suelo	14
Tabla N° 4. Estratigrafía del suelo	20
Tabla N° 5. Valores de CBR	21
Tabla N° 2.6. Resultados de ensayos de laboratorios del banco de materiales	22
Tabla N° 7. Especificaciones de materiales para base granular.....	23
Tabla N° 8. Especificaciones de materiales para sub-base.....	24
Tabla N° 9. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante	25
Tabla N° 10. Tránsito diario semanal de 12 horas, del 6 al 12 de abril, año 2015	30
Tabla N° 11. Factores de ajustes de la estación 108 del tramo: San Isidro – La Trinidad.....	31
Tabla N° 12. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos del lunes 06 al domingo 12 de abril del año 2015	32
Tabla N° 13. TPDiurno para cada tipo de vehículo del lunes 06 al domingo 12 del mes de abril, año 2015	33
Tabla N° 14. Cálculo del tránsito promedio diario anual	34
Tabla N° 15. Estimaciones y proyecciones de la población del municipio de La Trinidad.....	35
Tabla N° 16. Datos históricos del TPDA.....	36
Tabla N° 17. Producto interno bruto (PIB)	37
Tabla N° 18. Período de diseño (N).....	38
Tabla N° 19. Factor de distribución por dirección (FD).....	39
Tabla N° 20. Factor de distribución por carril.....	40
Tabla N° 21. Tránsito proyectado, para el tramo de calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad al año 2035	41
Tabla N° 22. Tránsito de diseño para el tramo de calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad al año 2035	42
Tabla N° 23. Valor de la serviciabilidad final.....	45

Tabla N° 24. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)	48
Tabla N° 25. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes	49
Tabla N° 26. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles	50
Tabla N° 27. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	51
Tabla N° 28. Valores de CBR para diseño	52
Tabla N° 29. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño	52
Tabla N° 30. Cálculo para determinar el CBR de diseño.....	53
Tabla N° 31. Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito	57
Tabla N° 32. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo N° 1. Imagen de calle en el barrio Pedro Joaquín Chamorro de municipio de La Trinidad	II
Anexo N° 2. Imagen. Calle a adoquinar en el barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad.....	III

ANEXOS CAPÍTULO II

Anexo N° 1. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	V
Anexo N° 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS	VI
Anexo N° 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K	VII
Anexo N° 4. Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores del CBR	VIII

ANEXOS CAPTULO III

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

ANEXOS CAPÍTULO IV

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

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El municipio de La Trinidad pertenece al departamento de Estelí y está ubicado a 25 km al sur de la ciudad de Estelí y a 120 km al norte de Managua sobre la carretera panamericana; tiene una extensión territorial de 261 km² y una altitud de 601.22 msnm .

El desarrollo socio económico de las ciudades demanda nuevas vías de comunicación terrestre y ampliación de las existentes, que faciliten sus intercambios comerciales, mejoren su competitividad. Estas obras de ingeniería civil son promovidas por los gobiernos locales y centrales.

Desde la antigüedad la construcción de vías de comunicación ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada.

Los pavimentos son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, que se construyen sobre terreno natural, para que personas, animales y vehículos puedan transitar sobre ellos, en cualquier época del año de manera segura, cómoda y económica.

El pavimento de adoquines de concreto está compuesto, casi siempre, por tres capas: la capa de rodadura (los adoquines), la capa de arena y la base.

Los espesores de las capas dependen del tránsito que va a soportar el pavimento, de la dureza del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas; y deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito, durante un tiempo determinado, sin deformarse ni deteriorarse. El tránsito, que va a circular por la vía durante el período de diseño, la dureza del suelo y la calidad de los materiales disponibles, definen el espesor de las capas de la estructura del pavimento.

El proyecto en estudio, está ubicado en el barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad y tiene el propósito de mejorar las condiciones viales del barrio antes mencionado, diseñando un proyecto de pavimento articulado de 948 metros de calle.

1.2 Antecedentes

La Trinidad es conocida por los antepasados como reducción del Guasimal, era una pequeña hacienda de ganados propiedad de una señorita de apellido Garmendia, originaria de granada, este municipio tiene una extensión territorial de 261 km² y una altitud de 601.22 msnm

El 95% de las calles tienen carpeta de rodamiento de macadam, solo 1.4 km están adoquinadas pero más del 75 % de estas han sido encunetadas. Todos lo expuestos nos indican que existen problemas en cuanto a la accesibilidad en varios sectores. Por tal razón se dificulta algunas comunidades obtener servicios de atención elemental y por ende mejorar los niveles de vida de los habitantes.

La superficie actual de rodamiento se encuentra sobre suelos inestables, existen sitios donde el agua ha deteriorado la superficie de rodadura, los daños más visibles son los baches, huellas en formas de surcos y erosiones de talud.

En cuanto a la condición vial actual de este sector, presenta un déficit en lo que respecta a calles adoquinadas, presentando un 100% de las mismas revestidas de material macadán o suelo natural, actualmente esta calle presenta condiciones de circulación vehicular desfavorables.

Actualmente la población de la Trinidad presenta grandes avances y logros en cuanto a desarrollo se refiere, ya que goza de acceso a las diferentes fuentes de información y por la situación privilegiada de estar a la orilla de la carretera panamericana.

1.3 Justificación

El mejoramiento de la calle, del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad permitirá que la población de este barrio tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando el nivel de vida de la población.

La calle en estudio presenta un tránsito vehicular bajo, por el mal estado en que se encuentra, a pesar de ser una vía que comunica a la comunidad de El Rosario.

Este proyecto pretende mejorar la infraestructura vial del municipio de La Trinidad y así beneficiar directamente a la población del Barrio Pedro Joaquín Chamorro y a los habitantes de la comunidad de El Rosario.

El diseño de la estructura de pavimento articulado permitirá realizar la construcción del adoquinado de esta vía, ya que teniendo en buen estado las vías de comunicación se reducen los costos de mantenimiento del transporte público, privado y el tiempo de traslado vehicular.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar 948 metros de adoquinado, por el método AASHTO 93, de las calles del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las características físico mecánicas del suelo del sitio del proyecto y del banco de materiales, “El Guasimal”, para así garantizar el material adecuado a utilizar en el diseño y construcción de las calles del barrio pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad.
- Realizar los estudios de tránsito por medio de aforos de vehículos, para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la capacidad de carga que debe tener el pavimento en su diseño.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.

1.5 Ubicación y localización del proyecto

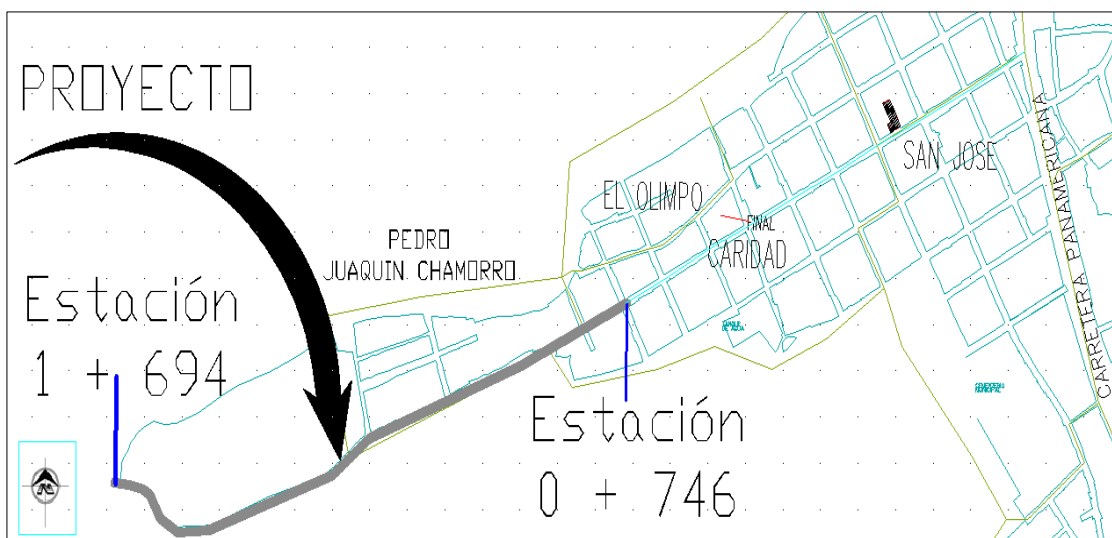
El proyecto está ubicado en el barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad, el cual se encuentra a 120 Km al norte de Managua.

El clima del municipio es tropical seco con poca precipitación pluvial. La temperatura media es de 23°C. Su precipitación varía entre los 800 y 2000 mm anuales.

1.5.1 Macro localización



1.5.2 Micro localización



CAPÍTULO II

ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo

2.1.1 Suelo

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

2.1.2 Meteorización

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

2.1.3 Las propiedades físico-mecánicas

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, 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.

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.

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 analizan 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.

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 Pedro Joaquín Chamorro, en el municipio de La Trinidad”**, el cual se encuentra localizado en él, departamento de Estelí. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas.

2.1.4 Trabajo de campo

Las actividades de campo para la toma de muestras de suelos en las calles se realizaron el día 25 de Febrero del año en curso, 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 9 (nueve), sondeos manuales con una profundidad máxima de 1.5 metros, los que se distribuyeron tomando en consideración las áreas que presentan daños en todo el tramo en estudio. La ubicación de los sondeos en la plataforma del camino o carretera se hizo de forma alterna, al centro, derecha e izquierda del eje central de la vía, cabe mencionar que este estudio de suelos fue realizado por el laboratorio de materiales y suelos. GEONNIC. S. A. Ingenieros Consultores.

Los sondeos manuales o pozos a cielo abierto son ejecutados normalmente con barra, pala y palín. Con el objetivo de permitir una adecuada inspección de las paredes y determinar los tipos de suelos que hay en el sitio del proyecto; sus dimensiones fueron de 1m x 1m x 1.5m.

Se hizo un recorrido en los alrededores del proyecto, con la finalidad de identificar una posible fuente de materiales, que pueda suplir al proyecto de material de base y sub-base de adecuada calidad.

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 Nº. 1. Sondeos efectuados

Localización	Estación
Barrio Pedro Joaquín Chamorro, La Trinidad	0 + 000
	0 + 118
	0 + 236
	0 + 354
	0 + 472
	0 + 590
	0 + 708
	0 + 826
	0 + 944

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. GEONIC. S. A. Ingenieros Consultores.

3.1.1 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 AASHTO**, las que se mencionan a continuación:

Tabla N°. 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. GEONIC. S. A. Ingenieros Consultores.

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**.

3.1.1.1 Resultados obtenidos

3.1.1.1.1 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 siguientes tipos de suelo:

Estación 0 + 746

- La primera capa de la vía está conformada por materiales granulares. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **GM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-7**, con índice de grupo de cero. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de bueno, para ser utilizado como material de estructuras de pavimento.

- En la segunda capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limos arcillosos. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **ML**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de 6.

Estación 0 + 864

- En la primera capa se encuentran materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GC**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-7**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad.
- En la segunda capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, 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-4**, con índice de grupo de cero.
- Se observa, en el tercer estrato, un predominio de material elástico, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **MH (A-7-5)**, cuya fracción fina es de plasticidad variable de media a alta.

Estación 0 + 982

- Materiales granulares, los que están conformados por gravas de mala graduación, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifica del tipo **GW**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-1-a**, con índice de grupo cero.

La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. Considerando el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de bueno, para utilizarlo en estructuras de pavimento.

- En la segunda capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limos arcillosos. 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 12.

Estación 1 + 100

- Materiales granulares, los que están conformados por gravas de mala graduación, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifica del tipo **GW**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-1-a**, con índice de grupo cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. Considerando el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de bueno, para utilizarlo en estructuras de pavimento.

- En el segunda capa se encuentran materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-7**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad.

- En la tercera capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, 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-4**, con índice de grupo de cero.

Estación 1 + 218

- Los materiales granulares, que se encuentran en este sondeo desde la superficie hasta 0.30 metros, están conformados por gravas arcillosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GC**. 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.

- Desde 0.30 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, se observa un predominio de material elástico, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **MH (A-7-5)**, con índice de grupo 3.

Estación 1 + 336, 1 + 454 y 1 + 572

- Los materiales granulares, que se encuentran en la primera capa están conformados por arenas limosas. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GC**. 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.

- En la segunda capa se encuentran materiales finos, los cuales están conformados por gravas arcillosas. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **ML**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de 14, 6 y 12. Este material es de baja compresibilidad y de alta plasticidad.

Estación 1 + 690

- En la primera capa se encuentran materiales granulares, correspondientes a gravas limosas. En el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GC**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-6**, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material, es de baja compresibilidad y de media plasticidad.
- En la segunda capa se encuentran materiales finos, los cuales están conformados por limos arcillosos, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **MH**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de tres.

Tabla N°. 3. Resultados de ensayos de suelo

Estación	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
Tramo de calle. Barrio Pedro Joaquín Chamorro. La Trinidad																	
0 + 746	Sm - 1	1	0.00 - 0.37		100	86	81	75	73	58	52	43	35	55	25	GM	A-2-7 (0)
		2	0.37 - 1.50			100	97	88	87	76	73	62	54	45.1	15.5	ML	A-7-6 (6)
0 + 864	Sm - 2	1	0.00 - 0.18			100	89	81	72	64	48	38	24	45	21	GM	A-2-7 (0)
		2	0.18 - 0.62			100	99	98	90	87	75	45	--	NP	SM	A-4 (0)	
		3	0.62 - 1.50							100	99	95	93	61.8	27.8	MH	A-7-5 (19)
0 + 982	Sm - 3	1	0.00 - 0.12	100	85	75	68	57	49	34	25	15	10	--	NP	GW	A-1-a (0)
		2	0.12 - 1.50							100	93	70	52	55.1	29.5	CH	A-7-6 (12)
1 + 100	Sm - 4	1	0.00 - 0.17	100	85	75	68	57	49	34	25	15	10	--	NP	GW	A-1-a (0)
		2	0.17 - 0.80		100	86	81	75	73	58	52	43	35	55	25	GM	A-2-7 (0)
		3	0.80 - 1.45						100	90	78	63	51	40	9	SM	A-4 (3)
1 + 218	Sm - 5	1	0.00 - 0.30	100	95	86	79	70	62	46	33	23	15	31	9	GC	A-2-4 (0)
		2	0.30 - 1.50							100	98	90	81	62.8	31.1	MH	A-7-5 (20)
1 + 336	Sm - 6	1	0.00 - 0.33			100	87	75	65	50	41	28	19	30.2	8.9	GC	A-2-4 (0)
		2	0.33 - 1.50							100	95	87	76	48.3	19.6	ML	A-7-6 (14)
1 + 454	Sm - 7	1	0.00 + 0.40	100	95	86	79	70	62	46	33	23	15	31	9	GC	A-2-4 (0)
		2	0.40 + 1.50			100	97	96	96	83	75	68	60	41.6	13.2	ML	A-7-6 (6)
1 + 572	Sm - 8	1	0.00 - 0.45			100	87	81	75	60	54	41	26	30	8.3	GC	A-2-4 (0)
		2	0.45 - 1.50							100	94	86	76	45.3	16.5	ML	A-7-6 (12)
1 + 690	Sm - 9	1	0.00 - 0.50	81	67	62	57	57	44	31	25	18	13	40	16	GC	A-2-6 (0)
		2	0.50 - 1.50						100	65	62	58	53	66	28	MH	A-7-5 (3)
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. GEONIC. S. A. Ingenieros Consultores.

3.1.1.1.2 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:

Sondeo Sm – 1

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.37 metros un material granular que se clasifica del tipo GM (A-2-7) y desde 0.37 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, un predominio de material fino el cual está constituido por limos arcillosos, que se clasifica del tipo ML (A-7-6), con índice de grupo 6.

Sondeo Sm – 2

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.18 metros, se observa un material granular, que se clasifica del tipo **GC (A-2-7)**, con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de nula plasticidad.
- En el segundo estrato desde la profundidad anterior (0.18 metros), hasta la profundidad de 0.62 metros se observa un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café, del tipo **SM (A-4)**, con índice de grupo de cero.
- Subyace al estrato anterior, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, un material elástico, correspondiente a un limo arcilloso del tipo MH (A-7-5), con índice de grupo 19.

Sondeo Sm – 3

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad promedio de 0.12 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava de mala graduación, que se clasifica del tipo **GW (A-1-a)**, con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de nula plasticidad.
- En el estrato inferior, a partir de la profundidad promedio de 0.60 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se observa un material fino, el cual está constituido por limos arcillosos, del tipo **CH (A-7-6)**, con índice de grupo 12.

Sondeo Sm – 4

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad promedio de 0.17 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava de buena graduación, que se clasifica del tipo **GW (A-1-a)**, con índice de grupo cero, cuya fracción fina es de nula plasticidad.
- En el segundo estrato, desde 0.17 metros hasta la profundidad de 0.80 metros, se observa un material granular, que se clasifica del tipo **GM (A-2-7)**, con índice de grupo cero.
- En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.80 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se observa un material fino, el cual está constituido por un limo inorgánico, de color café, del tipo **SM (A-4)**, con índice de grupo de tres.

Sondeo Sm – 5

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.30 metros materiales granulares, que se encuentran conformados por gravas arcillosas, de color café del tipo **GC (A-2-4,)** con índice de grupo de cero.

- Desde 0.30 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, se observa un predominio de material elástico, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **MH (A-7-5)**, con índice de grupo 3.

Sondeo Sm – 6

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.33 metros un material granular conformado por gravas arcillosas de color café del tipo **GC (A-2-4)**, con índice de grupo de cero y desde 0.33 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, un predominio de material fino, el cual está conformado por gravas arcillosas, que se clasifica del tipo **ML (A-7-6)**, con índice de grupo 14.

Sondeo Sm – 7

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.40 metros un material granular conformado por gravas arcillosas de color café del tipo **GC (A-2-4)**, con índice de grupo de cero y desde 0.40 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, se observa un predominio de material fino, el cual está conformado por gravas arcillosas, que se clasifica del tipo **ML (A-7-6)**, con índice de grupo 6.

Sondeo Sm – 8

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.45 metros un material granular conformado por gravas arcillosas de color café del tipo **GC (A-2-4)**, con índice de grupo de cero y desde 0.45 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, se observa un predominio de material fino, el cual está conformado por gravas arcillosas, que se clasifica del tipo **ML (A-7-6)**, con índice de grupo 12.

Sondeo Sm – 9

- Se observa, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.50 metros materiales granulares, correspondientes a gravas limosas del tipo **GC (A-2-6)**, con índice de grupo de cero y desde 0.50 metros hasta la profundidad investigada 1.50 metros, se observa un material plástico, correspondiente a un limo arcilloso, que se clasifica del tipo **MH (A-7-5)**, con índice de grupo 3.

Tabla N°. 4. Estratigrafía del suelo

Estación/Sondeo	0 + 746	0 + 864	0 + 982	1 + 100	1 + 218	1 + 336	1 + 454	1 + 572	1 + 690						
Profundidad (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9						
0.10	A - 2 - 7 (0); (GM)	A - 2 - 7 (0); (GM)	A - 1 - a (0); (GW)	A - 1 - a (0); (GW)	A - 2 - 4 (0); (GC)	A - 2 - 4 (0); (GC)	A - 2 - 4 (0); (GC)	A - 2 - 4 (0); (CC)	A - 2 - 6 (0); (GC)						
0.20															
0.30					A - 2 - 7 (0); (GM)										
0.40	A - 7 - 6 (6); (ML)	A - 4 (0); (SM)	A - 7 - 6 (12); (CH)		A - 7 - 5 (20); (MH)	A - 7 - 6 (14); (ML)	A - 7 - 6 (6); (ML)	A - 7 - 6 (12); (ML)	A - 7 - 5 (3); (MH)						
0.50															
0.60															
0.70															
0.80															
0.90															
1.00				A - 7 - 5 (19); (MH)							A - 4 (0); (SM)				
1.10															
1.20															
1.30															
1.40															
1.50															

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.1.3 Determinación del CBR de diseño

Se procedió a encontrar los valores de los CBR de los diferentes tipos de suelos localizados en la línea, que servirán como subrasante a una profundidad de 12.5 cm de la superficie de la tierra. Se eligieron los valores promedios de acuerdo a la tabla de relación aproximada entre los valores del CBR y la clasificación del suelo, (ver anexos capítulo II. Anexo N° 4, página VIII).

Tabla N°. 5. Valores de CBR

Clasificación		CBR	F	L. L	I. P
AASHTO	SUCS	95%			
A - 2 - 7 (0)	GM	30	3	55	25
A - 4 (3)	SM	22	2	40	9
A - 7 - 6 (6)	ML	8.5	4	45.1	15.5
A - 7 - 6 (12)	CH	5.6	1	55.1	29.5
A - 1 - a (0)	GW	68	2	--	NP
A - 2 - 4 (0)	GC	28	4	31	9
A - 7 - 5 (19)	MH	5.5	3	66	28
A - 2 - 6 (0)	GC	28	1	40	16

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.1.4 Investigación de fuente de materiales

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

3.1.1.1.4.1 Banco de materiales “El Guasimal”

Esta fuente de materiales está localizada a 500 metros del casco urbano del municipio de La Trinidad. Sus características se describen a continuación.

Esta fuente está conformada por materiales granulares A-1-a. En el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, se clasifica del tipo **GP**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se clasifica del tipo **A-1-a**, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material, es de baja compresibilidad y de nula plasticidad, su CBR es de 81.6%, su densidad seca máxima es de 1,962 Kg/m³ y su humedad óptima es de 12.1 %.

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 de pavimento.

Considerando los resultados de C.B.R. y el ensayo Proctor, este material puede ser utilizado como base ya que es un material de buena calidad.

Tabla N°. 6. Resultados de ensayos de laboratorios del banco de materiales

PVSS Kg/m ³	PVSC Kg/m ³	Densidad Kg./m ³	Humedad %	C.B.R 95%	% 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
Fuente de Materiales : "El Guasimal"																		
1,213	1,320	1,962	12.1	81.6			100	85	70	48	16	14	7	8	--	NP	GP	A-1-a (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. GEONIC. S. A. Ingenieros Consultores.

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/cm² (5000 PSI)¹.

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:

Tabla Nº. 7. Especificaciones de materiales para base granular

Nº	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).

¹ Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273.

2.2.3 Sub – base

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

Tabla Nº. 8. Especificaciones de materiales para sub-base

Nº	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).

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^o. 9. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante

N ^o	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

3.1 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 total y tipo de vehículos que circulan por una vía. Esto se hace por medio de Aforos (Conteos Vehiculares), ubicados en puntos 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.

El 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 de tránsito futuros.

3.1.2 Capacidad de la vía

Es el máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado periodo de tiempo.

La capacidad de la vía depende de las propias características de la vía, geometría y estado del pavimento y del tráfico, especialmente su composición.

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 la estación 0 + 796 del tramo de calle en el barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad, para realizar el conteo vehicular, el que se realizó en el mes de abril del año 2015, en un período de siete días a partir del lunes 06 al domingo 12 de abril, 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 X).

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.

3.1.5.1.4 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 10).

Tabla N°. 10. Tránsito diario semanal de 12 horas, del 6 al 12 de abril, año 2015

Aforo Vehicular de 12 horas durante una semana														
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	60	8	8	25	1	1	10	12	8	0	0	0	0	133
Martes	45	10	6	30	2	2	12	8	12	0	0	0	0	127
Miércoles	56	12	11	28	1	1	15	9	13	0	0	0	0	146
Jueves	58	7	9	32	3	3	16	8	15	0	0	0	0	151
Viernes	55	15	16	34	2	2	18	15	18	0	0	0	0	175
Sábado	51	18	15	38	1	4	13	10	19	0	0	0	0	169
Domingo	49	11	12	26	2	2	9	11	11	0	0	0	0	133
TOTAL	374	81	77	213	12	15	93	73	96	0	0	0	0	1034

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Expansión a 24.0 Horas

Los volúmenes de tráfico diario se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, haciendo uso del factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación Sumaria N° 108 tramo San Isidro – La Trinidad, Nic – 1. Se eligieron los factores de esta estación porque es la más próxima al proyecto

Tabla N°. 11. Factores de ajustes de la estación 108 del tramo: San Isidro – La Trinidad

Camino: Nic-1	Estación: 108	Tramo: Emp. San Isidro - La Trinidad.	Periodo L	Dias: 3	Horas:	Mes/Año	Agosto	2012	Km: 119.500									
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
TP(D)	235	821	238	975	61	5	179	267	262	35		211			0		10	3298
Factor Día	1.23	1.26	1.21	1.27	1.22	1.51	1.16	1.31	1.44	1.42	1.00	1.64	1.00	1.00	1.07	1.00	1.16	
Factor Semana	0.98	0.98	1.02	0.94	1.00	1.29	0.98	0.89	0.88	0.92	1.00	0.92	1.00	1.00	0.84	1.00	1.15	
Factor Expansión	0.90	0.96	0.99	0.99	0.92	1.56	1.02	1.01	1.20	1.26	26.67	1.04	1.00	1.00	0.96	0.61	0.69	
TPDA May-Ago	254	979	291	1153	69	15	206	315	394	57		330					9	4072
% TPDA	6.24	24.04	7.15	28.32	1.69	0.37	5.06	7.74	9.68	1.40		8.10					0.22	100
% Vehículos Livianos	67.80%						% Vehículos Pesados						31.97%			0.22%	100%	

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI. Año 2012. Página 223.

Tránsito expandido 24 hrs, = Factor día * Tránsito 12 hrs. (Ec - 3.2)

Tabla N°. 12. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos del lunes 06 al domingo 12 de abril del año 2015

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	1.23	60	74	45	55	56	69	58	71	55	68	51	63	49	60	460
Autos	1.26	8	10	10	13	12	15	7	9	15	19	18	23	11	14	103
Jeep	1.21	8	10	6	7	11	13	9	11	16	19	15	18	12	15	93
Camionetas	1.27	25	32	30	38	28	36	32	41	34	43	38	48	26	33	271
Micro Bus	1.22	1	1	2	2	1	1	3	4	2	2	1	1	2	2	13
Bus	1.16	1	1	2	2	1	1	3	3	2	2	4	5	2	2	16
Liviano de carga	1.31	10	13	12	16	15	20	16	21	18	24	13	17	9	12	123
C2	1.44	12	17	8	12	9	13	8	12	15	22	10	14	11	16	106
C3	1.42	8	11	12	17	13	18	15	21	18	26	19	27	11	16	136
Total		133	169	127	162	146	186	151	193	175	225	169	216	133	170	1321

Fuente: Elaboración propia

3.1 Tránsito promedio diario

Es el tránsito total registrado por día, dividido por los siete días de la semana del conteo elaborado en la estación 0 + 050 (ver tabla 10), se determina el tránsito promedio diario por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{TPDiurno} = \frac{\sum \text{TDiurno}}{7} \quad (\text{EC. 3.4})$$

TPDiurno = Tránsito promedio diario.

ΣTDi = Suma de Tránsito diario.

Tabla N° 13. TPDiurno para cada tipo de vehículo del lunes 06 al domingo 12 del mes de abril, año 2015

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDs
Motos	460	66
Autos	103	15
Jeep	93	13
Camionetas	271	39
Micro Bus	13	2
Bus	16	2
Liviano de carga	123	18
C2	106	15
C3	136	19
Total	1321	189

Fuente: Elaboración propia

3.2 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 de calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad 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 vía previamente establecido.

La estación permanente que está asociada con el tramo de calle en estudio por estar más cerca del sitio del proyecto es la estación **108** localizada en San Isidro – La Trinidad. (ver tabla N° 11).

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

$$\text{TPDA} = \text{TPDiurno} \times \text{factor expansión} \quad (\text{EC. 3.6})$$

$$\% \text{TPDA} = \frac{\text{TPDA Moto}}{\text{TOTAL TPDA}} \times 100 \quad (\text{EC. 3.7})$$

Tabla N° 14. Cálculo del tránsito promedio diario anual

Vehículos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Totales	
TPDiurno	66	15	13	39	2	2	18	15	19	189	
Factor expansión	0.9	0.96	0.99	0.99	0.92	1	1.01	1.2	1.02		
TPDA	59	14	13	39	2	2	18	18	19	184	
% TPDA	32.07	7.61	7.07	21.20	1.09	1.09	9.78	9.78	10.33	100	
% Vehículos livianos					69	% Vehículos pesados				31	100

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Vehículos livianos} = 32.07 + 7.61 + 7.07 + 21.20 + 1.09 = 69.04 \approx 69$$

$$\% \text{ Vehículos pesados} = 1.09 + 9.78 + 9.78 + 10.33 = 30.98 \approx 31$$

3.3 Proyección del tránsito

3.3.1 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:

3.3.2 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°. 15. Estimaciones y proyecciones de la población del municipio de La Trinidad

AÑO	Tasa de Crecimiento. (TC)
2005 - 2010	0.70
2010 - 2015	0.50
2015 - 2020	0.60
Promedio TC	0.60

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

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2015 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de La Trinidad es de 0.50.

3.3.3 Crecimiento vehicular

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

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (\text{EC. 3. 8})$$

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 – 1) San Isidro – La Trinidad.

Tabla Nº. 16. Datos históricos del TPDA

(Nic - 1) - San Isidro - La Trinidad. Estación. No. 108							
AÑO	2001	2003	2005	2007	2008	2010	2012
TPDA	2561	2460	2976	3531	3586	3597	4072

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2012 MTI. Pag. 96

Aplicando la ecuación No. 8 para determinar la tasa de crecimiento para el período (2010 – 2012) obtenemos.

$$TC = \left[\left(\frac{4072}{3597} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * 100$$

$$TC = 0.0639 * 100 = 6.4\%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo creció a una tasa de **6.4 %**.

3.3.4 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 N°. 17. Producto interno bruto (PIB)

AÑO	PIB	% CRECIMIENTO PIB
2004	829.8	5.3
2005	893.9	4.3
2006	1,203.7	4.2
2007	1,306.6	5.3
2008	1,469.4	2.9
2009	1,432.5	(2.8)
2010	1,475.8	3.2
2011	1,626.9	6.2
2012	1,723.1	5.1
2013	1,768.9	4.5
2014	1,904.7	4.7
Promedio		4.4

Fuente: Estadísticas macroeconómicas, BCN. Anuario 2014.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento vehicular, crecimiento económico y poblacional presentados anteriormente y dado a que en promedio nos da un valor de 3.77 %, siendo este valor muy alto para el sitio del proyecto, se tomó el valor que ofrece el Anuario de Aforos de Tráfico del año 2010, el cual ofrece una tasa de crecimiento de **2.92%** a nivel de todo el país². Esta es una tasa moderada la cual utilizaremos para las proyecciones del tránsito en la zona.

² Anuario de aforos de tráfico año 2010 MTI. Pag. 16.

3.4 Tránsito de diseño

3.4.1 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. 18. 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.

3.4.2 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 N°. 19. 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.

3.4.3 Factor de crecimiento (FC)

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

$$FC = \frac{(1+Tc)^n - 1}{Tc} * 365 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

Tc: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores obtenemos:

i: 2.92 %.

n: 20 años.

$$FC = \frac{(1 + 0.0292)^{20} - 1}{0.0292} * 365 \quad (\text{EC. 3. 10})$$

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

3.4.4 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 Nº. 20. 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.

3.4.5 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.

$$TPDA_{2035} = T_{02015} * (1 + Tc)^n \quad (\text{EC. 3. 11})$$

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°. 21. Tránsito proyectado, para el tramo de calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad al año 2035

Tipo de vehículo	TPDA₂₀₁₅	Tasa de crecimiento	N	TPDA Proyectado 2035
Motos	59	0.0292	20	105
Autos	14	0.0292	20	25
Jeep	13	0.0292	20	23
Camionetas	39	0.0292	20	69
Micro Bus	2	0.0292	20	4
Bus	2	0.0292	20	4
Liviano de carga	18	0.0292	20	32
C2	18	0.0292	20	32
C3	19	0.0292	20	34
Total				328

Fuente: Elaboración propia

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

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

$$T_D = TPDA_{2015} * FC * FD * F'_C \quad (\text{EC. 3.12})$$

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°. 22. Tránsito de diseño para el tramo de calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad al año 2035

Tipo de vehículo	TPDA ₂₀₁₅	FC	FD	Fc'	TD 2035
Motos	59	9728	0.5	1	286976
Autos	14	9728	0.5	1	68096
Jeep	13	9728	0.5	1	63232
Camionetas	39	9728	0.5	1	189696
Micro Bus	2	9728	0.5	1	9728
Bus	2	9728	0.5	1	9728
Liviano de carga	18	9728	0.5	1	87552
C2	18	9728	0.5	1	87552
C3	19	9728	0.5	1	92416
Total					894976

Fuente: Elaboración propia

$$TD = 59 \times 9728 \times 0.5 \times 1$$

$$TD \text{ (motos)} = 286976$$

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, 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 de 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) dependiendo del tránsito y del índice de servicio inicial (P_o).

Tabla N°. 23. 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: Diseño de pavimentos 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. Anexo N° 2 y N° 3, página XI).

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 N° 2, páginas XIII y XIV).

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 2 kips, 2000 lbs de los factores equivalentes de carga, para pavimentos flexibles, por tanto se realiza la regla de tres.

$$2000 \quad 0.0018$$

$$200 \quad X$$

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

$$X = 0.00018$$

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

ESALs de diseño = TD * Factor Carga.

ESALs (autos) de diseño = 68096 * 0.00038

ESALs (autos) de diseño = 26

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

Tabla N°. 24. 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	14	2200	Simple	68096	0.00038	26
		2200	Simple	68096	0.00038	26
Jeep	13	2200	Simple	63232	0.00038	24
		2200	Simple	63232	0.00038	24
Camionetas	39	2200	Simple	189696	0.00038	72
		4400	Simple	189696	0.0034	645
Micro Bus	2	4400	Simple	9728	0.0034	33
		8800	Simple	9728	0.0502	488
Bus	2	11000	Simple	9728	0.1265	1231
		22000	Simple	9728	2.35	22861
Liviano de cargas	18	8800	Simple	87552	0.0502	4395
		17600	Simple	87552	0.9206	80600
C2	18	11000	Simple	87552	0.1265	11075
		22000	Simple	87552	2.35	205747
C3	19	11000	Simple	92416	0.1265	11691
		36300	Tándem	92416	1.4325	132386
Total ESALs de diseño						471324

Fuente: Elaboración propia.

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

ESAL o W18 = 471324 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 circula es liviano, se asume un valor de confiabilidad (R) de **85 %**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como una zona urbana y para tipo de caminos colectores.

Tabla N°. 25. 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.

Se elige como una colectoras urbana, ya que es una calle del barrio Pedro Joaquín Chamorro del casco urbano del municipio de la Trinidad.

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_o comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

Tabla N°. 26. 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 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 N°. 27. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

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

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

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

4.7 Propiedades de los materiales

4.7.1 Determinación del CBR de diseño

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

El suelo de la subrasante de una unidad de diseño es un material sobre el cual se efectuaron 9 ensayos de CBR a una profundidad de 30 cm y los resultados fueron 8.5, 22, 28, y 30%. Con estos datos se calcula el CBR de diseño para un tránsito de 4.71324×10^5 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 28 cm de la superficie:

Tabla N°. 28. Valores de CBR para diseño

Clasificación		CBR	F	L. L	I. P
AASHTO	SUCS	95%			
A - 2 - 7 (0)	GM	30	2	55	25
A - 4 (0)	SM	22	1	40	9
A - 7 - 6 (12)	ML	8.5	1	45.1	15.5
A - 2 - 4 (0)	GC	28	4	31	9
A - 2 - 6 (0)	GC	28	1	40	16
			9		

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. GEONIC. S. A. Ingenieros Consultores.

Tabla N°. 29. 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 = 471324 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

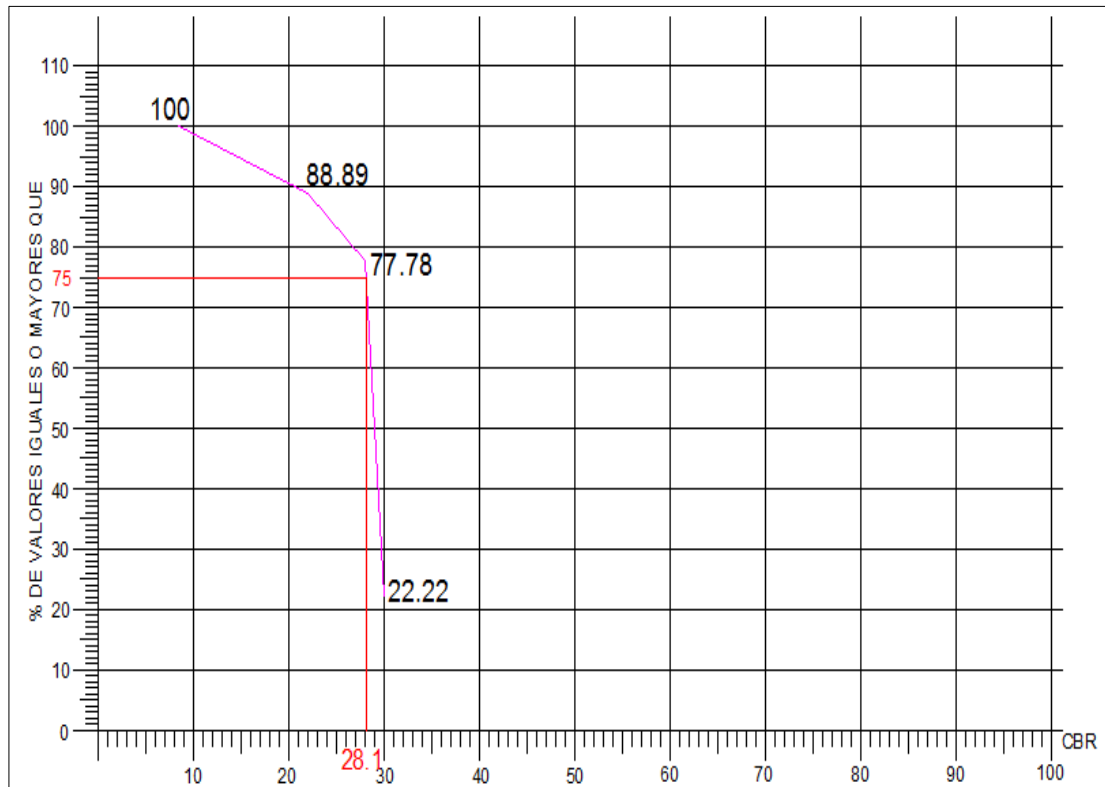
Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla N°. 30. 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 - 7 - 6 (12)	ML	8.5	1	9	$(9/9)*100 = 100$
A - 4 (3)	SM	22	1	8	$(8/9)*100 = 88.89$
A - 2 - 4 (0)	GC	28	5	7	$(7/9)*100 = 77.78$
A - 2 - 6 (0)					
A - 2 - 7 (0)	GM	30	2	2	$(2/9)*100 = 22.22$
			9		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°. 1. Determinación del CBR de la subrasante



Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 28.1%.

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%

$$MR = 1,500 \times CBR$$

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

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

Cálculo para determinar el módulo de resiliencia, para CBR de 28.1 % en la sub-rasante.

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

$$MR = 4,326 \times \ln(28.1) + 241$$

$$MR = 14671.54 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base pertenece al banco de materiales El Guasimal, con CBR 81.6%

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 28,650 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 XVI).

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 0.137**, 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 XVI).

4.8 Calculo de espesores

Tenemos los valores encontrados anteriormente.

- Ejes equivalentes ESALs: 471324 ejes equivalentes por carril de diseño.
- Confiabilidad (%) R: 85.

- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Serviciabilidad (Δ psi): 2.2
- Propiedades de los materiales
 - ✓ Módulo Resiliente Sub – Rasante: 14671.54 PSI
 - ✓ Módulo Resiliente Base: 28,650 PSI
 - ✓ Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45
 - ✓ Coeficiente Estructural Base a2: 0.137
- 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 XV) Obteniendo un resultado de SN para subrasante = 2.4 y SN para base = 1.9

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

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

$$SN1 = D1^* \times a1$$

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

$$SN1^* = 1.8$$

BASE

$$SN = SN2^* - SN1^*$$

$$SN = 2.4 - 1.8$$

$$SN = 0.6$$

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

$$D2 = 0.6 / (0.137 \times 1)$$

$$D2^* = 4.38 \text{ pulgadas de base}$$

Como verificación:

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

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.137 \times 4.38 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.6$$

$$SN = 2.4$$

$$SN_1^* + SN_2 \geq SN$$

$$1.80 + 0.6 \geq 2.4$$

$$2.4 \geq 2.4 \text{ OK}$$

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°. 31. 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 4.38 pulgadas,

el cual cumple con los espesores mínimos sugeridos por la AASHTO – 93.

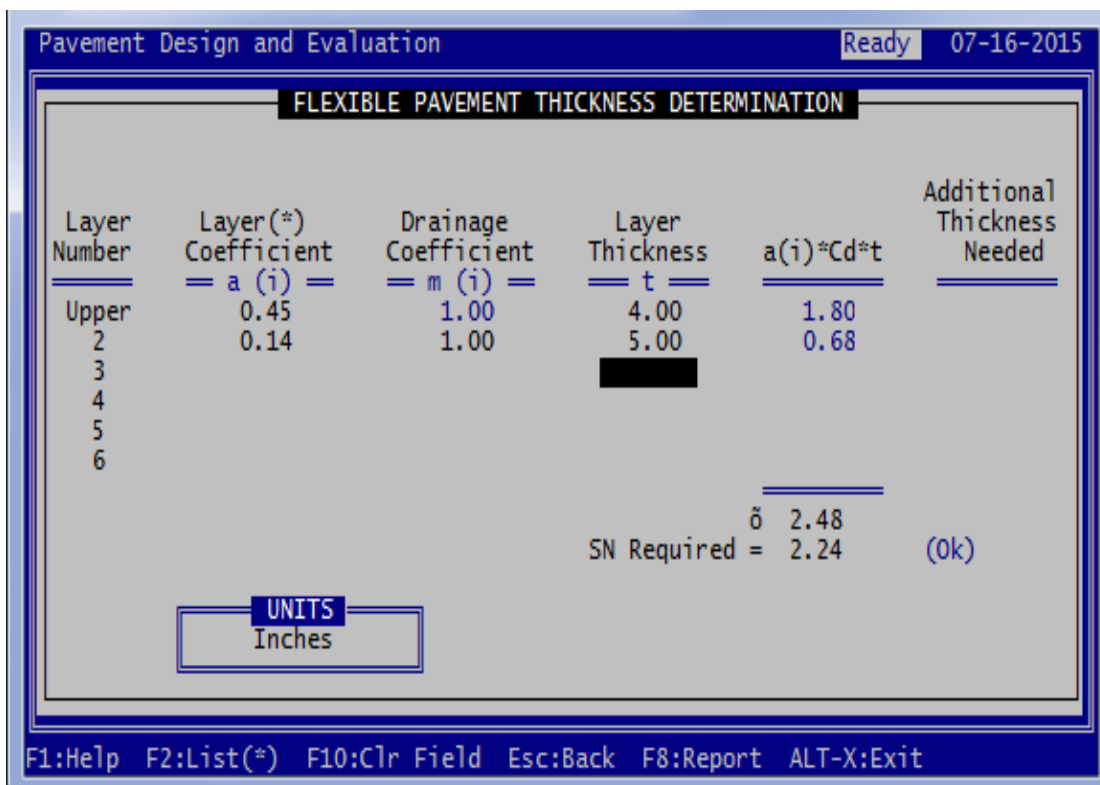
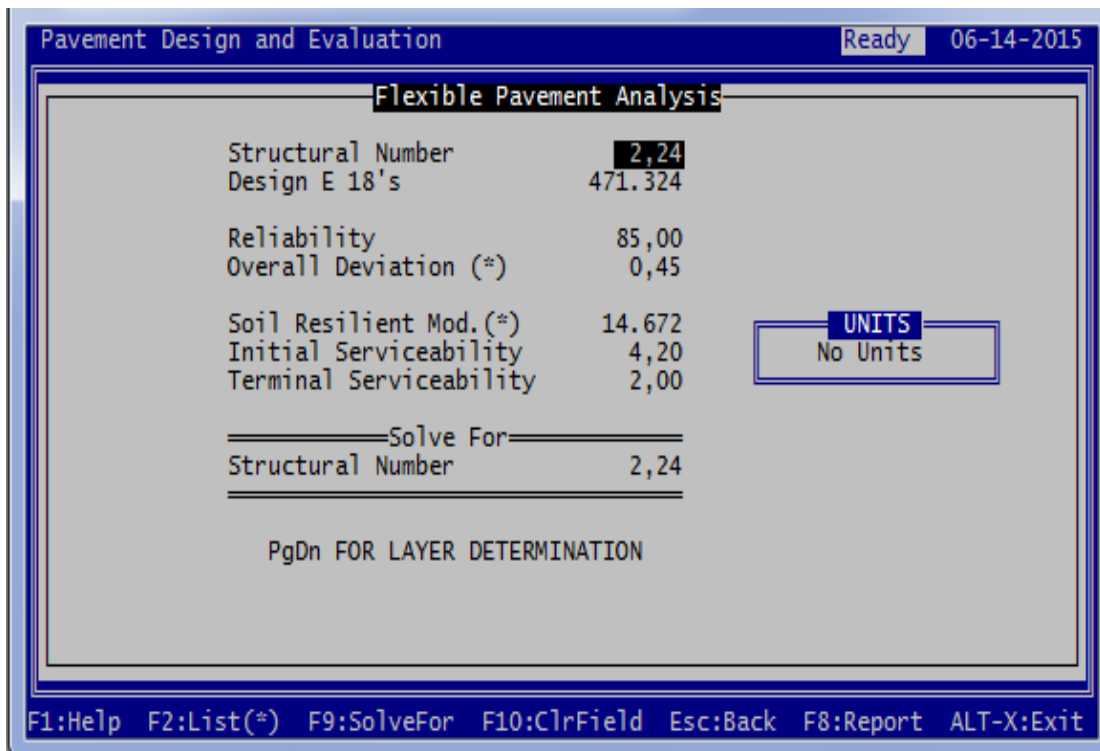
- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Colchón de arena = 2" (5 centímetros)
- ✓ Base = 5 " (12.5centímetros)

Tabla N° 32. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3

Variables	Valores
SN	2.4
ESALs	471324 ejes equivalentes por carril de diseño
Confiabilidad	85 %
Desviación estándar (S_0)	0.45
MR	14671.54 PSI
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	0.137

Fuente: Elaboración propia

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



Conclusiones

Sondeos de Línea

- Los suelos correspondientes al primer estrato estudiado, de acuerdo con los resultados obtenidos, se clasifican principalmente como A-2-7, A-1-a, A – 2 – 4, y A – 2 – 6.
- Los estudios geotécnicos que se realizaron en la investigación de la fuente de materiales “El Guasimal” determinaron que los materiales existentes en ella son aptos para su uso en las capas de la estructura de pavimento con la salvedad de que el material del banco analizado, antes de conformar la base deberá eliminarse las partículas mayores de 1 ½” pulgadas y de una pulgada.
- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con un 69%. El ESAL´s obtenido fue 471324 ejes equivalentes por carril de diseño.
- El resultado de espesor en el diseño de la base granular según el cálculo es de 4.38 pulgadas; el cual cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, que sugiere 10 cm (4 pulgadas) para ESALs entre 150000 y 500000.
- 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 bajo, no se propone sub-base, y los espesores calculados son:

Capa de rodadura de 4 Pulgadas equivalentes al adoquín.

Cama de arena de 2 pulgadas.

Capa de base 5 Pulgadas.

Recomendaciones

- Se recomienda cortar 27.5 cm ya que los suelos encontrados no son aptos para la estructura de pavimento.
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
- 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 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, 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.

Bibliografía

- Anuario de Aforos de tráfico 2012. 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.
- Programa Computarizado
- PAVEMENT DESINGS & ANALISIS: Created by Thomas P. Harman, M.S. C.E In Conjunction with Randell C. Riley. P.E & William Feltz. F.E. American Concrete Pavement Association. The Ohio Ready Mixed Concrete Association. <Versión 3.3><Copyright 1988>

ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo N° 1. Imagen de calle en el barrio Pedro Joaquín Chamorro de municipio de La Trinidad



Fuente: Fotografía tomada en el sitio del proyecto. Estación 1 + 050

Anexo N° 2. Imagen. Calle a adoquinar en el barrio Pedro Joaquín Chamorro del municipio de La Trinidad



Fuente: Fotografía tomada en el sitio del proyecto. Estación 1 + 500

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-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm):											
Límite líquido	—	—	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	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						
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº200 (Ø)	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4 (Úsese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SC	DETERMINENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRA - NULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN: MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC	SIMBOLOS DEL GRUPO	
		ARENAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	SP			
		ARENAS LIMPÍAS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SM			
		ARENAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	SW			
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GC			
		GRAVAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PARTÍCULAS FINAS)	GP			
	GRAVAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA EN LA MALLA Nº4					GW
						GP
						GM
						GC
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA LA MALLA Nº200 (ÚSESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	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				
		COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO				
		<p>INDICE PLÁSTICO</p> <p>LÍMITE LÍQUIDO</p> <p>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO</p>				
	LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	MH				
		CH				
		OH				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P _t					

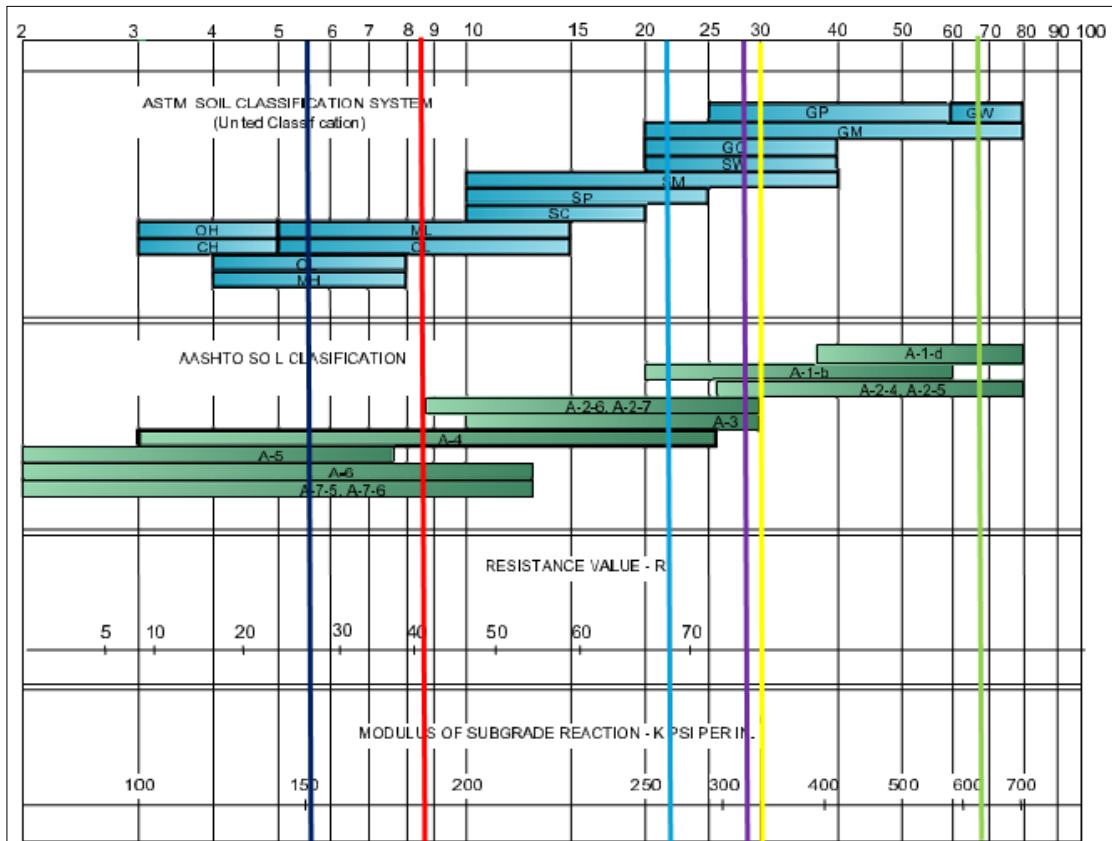
Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejó, pág 53.

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.

















Anexo Nº 4. Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores del CBR




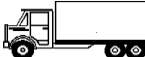
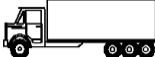







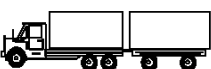

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág. 66.

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.
	CAMONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con lina 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.
	MINEBUS		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 (Traectores - 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 (Bemovientes).

Anexo N° 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 N° 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.

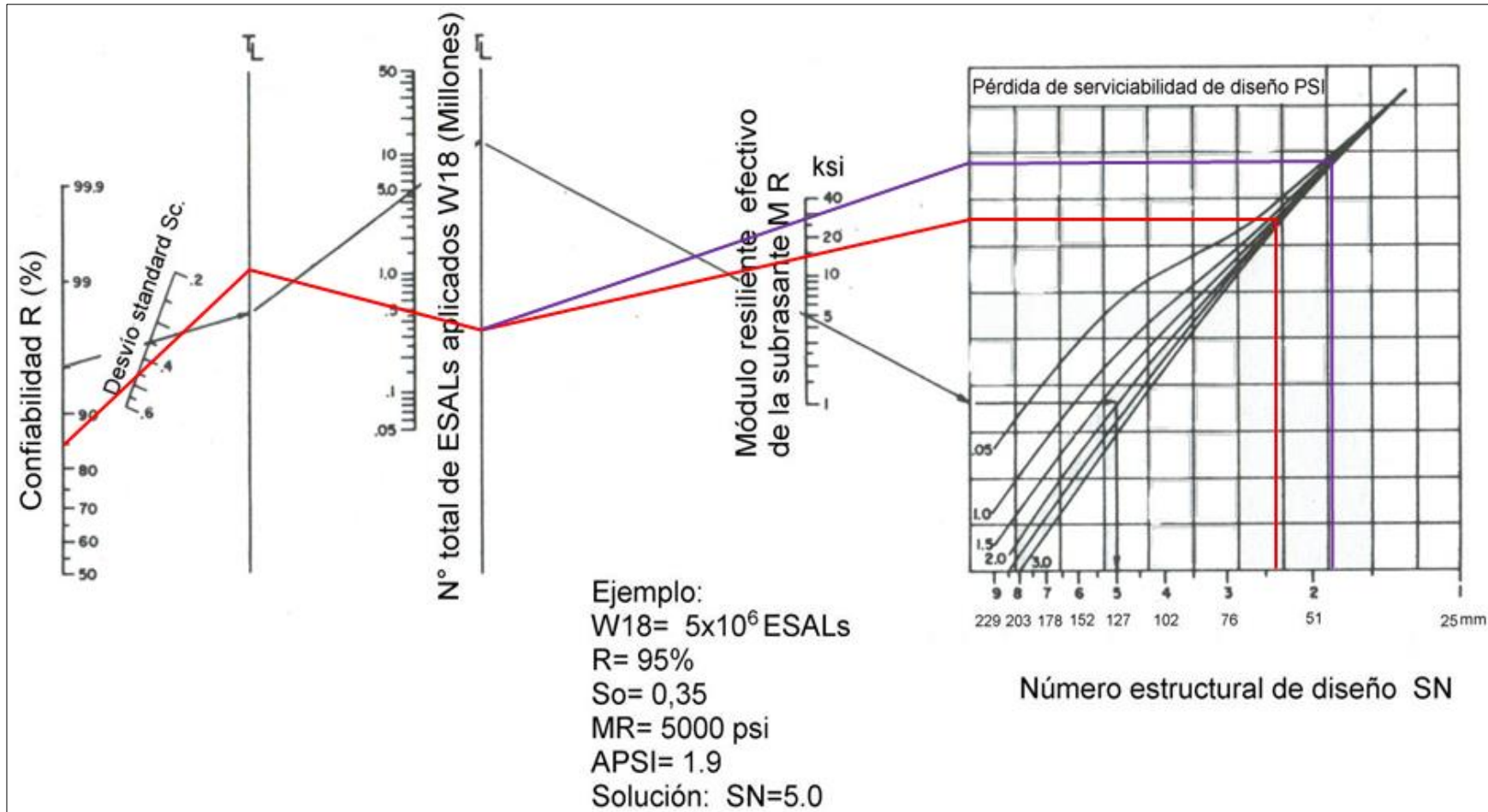
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 6.

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

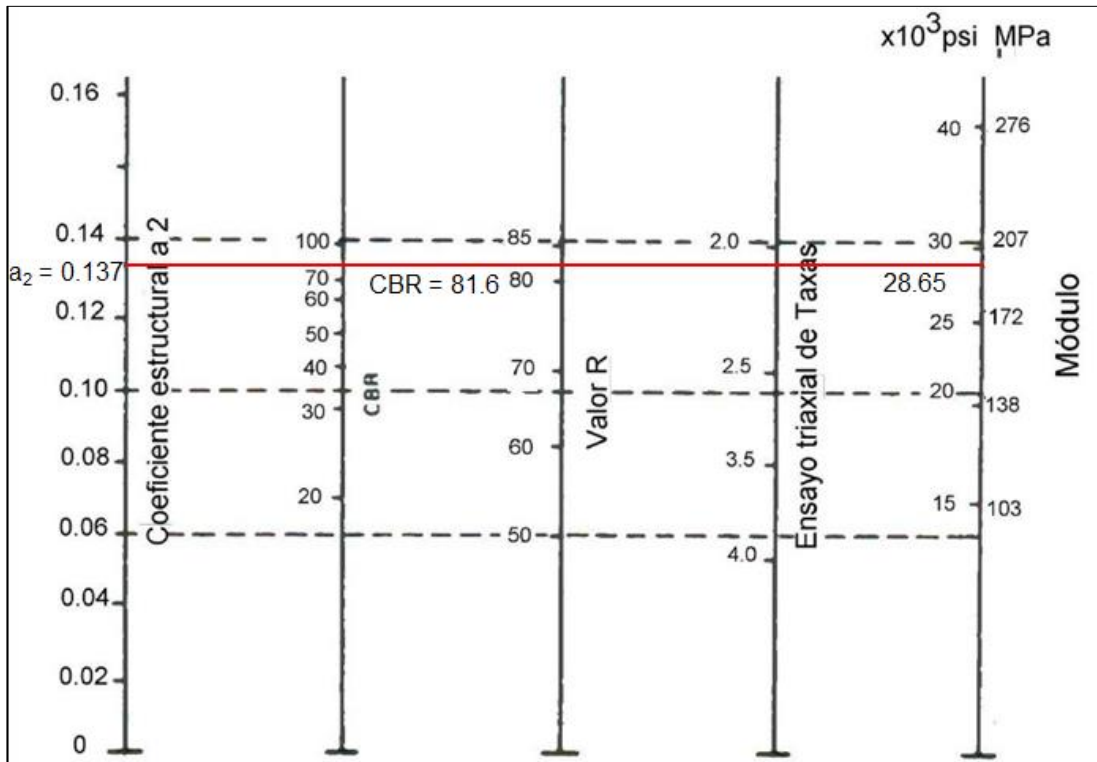
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 7.

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 N° 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