UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Líder en Ciencia y Tecnología

Facultad de Tecnología de la Construcción|

Tesina para optar al Título de

INGENIERO CIVIL

"Diseño de pavimento flexible, tramo de 6.06 km Masaya - Las Flores"

Presentada Por:

Br. Hernán Manuel Cortez Mayorga.

Br. Daniel Antonio Sánchez Flores.

Tutor:

Msc. Ing. José Fernando Bustamante.

Asesor:

Ing. Alfonso Augusto Jirón Ramírez.

Managua, Nicaragua. Mayo del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

HOJA DE CONCLUSION DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Hernán Manuel Cortez Mayorga. 2) Daniel Antonio Sánchez Flores.
NOMBRE DEL CURSO: **Obras Viales.**
NOMBRE DE LA TESINA: **"Diseño de Pavimento Flexible Tramo de 6.06 Km Masaya – Las Flores"**
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1) Análisis Geotécnico. 2) Estudio de Tránsito. 3) Diseño de Pavimento.
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1. 2. 3.
FIRMA COORDINADOR:_____

FIRMA DEL TUTOR: _____

CC: Archivo.

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a Dios, por haber estado en nuestras vidas en todo momento y por habernos brindado la dicha de la salud, bienestar físico y espiritual para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres y familiares por su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante nuestra formación tanto personal como profesional. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que nos han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A nuestros docentes, por brindarnos su guía y sabiduría. Por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, en especial al Ing. José Fernando Bustamante, por haber guiado el desarrollo de este trabajo.

Hernán Manuel Cortez Mayorga.

Daniel Antonio Sánchez Flores.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su bondad, por darnos tanta fuerza y coraje para hacer este sueño realidad, a nuestros padres por enseñarnos todo el valor de la educación, que dentro de sus preocupaciones nos dieron la posibilidad de brillar.

A mi abuelito Oscar Cortez por su apoyo incondicional, por el tiempo sacrificado y por creer en mí. (HC).

Al Ingeniero Alfonzo Augusto Jirón Ramírez, por su valioso apoyo y asesoría en el transcurso del desarrollo correcto de nuestra propuesta de proyecto.

A todos los docente a lo largo de nuestra formación académica, por su capacidad para guiar nuestras ideas que han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesina, sino también en nuestra formación como Ingenieros.

Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional de nuestras familias, padres, hermano, compañeros y sin el estímulo de nuestros maestros. Esto es también es su triunfo.

Hernán Manuel Cortez Mayorga.

Daniel Antonio Sánchez Flores.

INDICE

GENERALIDADES
INTRODUCCIÓN. 1
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN. 2
Macro localización. 2
Micro localización. 3
OBJETIVOS 4
Objetivo General. 4
Objetivos Específicos. 4
ANTECEDENTES 5
JUSTIFICACIÓN 6

CAPITULIO I: ANALISIS DE SUELOS

1.1 Introducción. 7
1.2 Análisis de suelos del tramo. 8
1.2.1 Sondeos en línea. 8
1.2.2 Resultados de ensayes. 8
1.3 Análisis de suelos de Bancos de Materiales. 10
1.3.1 Sondeo de bancos de préstamo. 12
1.3.2 Resultados de ensayes. 12

CAPITULO II: ANALISIS DE ESTUDIO DE TRANSITO

2.1 Aforo vehicular 17
2.2 Tránsito promedio (TP). 18
2.3 Factores de ajustes 19
2.4 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). 20
2.5 Proyección del tránsito 21
2.5.1. Tasa de crecimiento 21
2.5.1.1. Producto Interno Bruto (PIB) 21
2.5.1.2. Censo Poblacional 21

2.5.1.3. Crecimiento vehicular 22
2.6 Tránsito de diseño 23
2.6.1. Período de diseño 23
2.6.2 Factor de Crecimiento (FC) 24
2.6.3 Factor de distribución por dirección (FD) 25
2.6.4 Factor de distribución por carril (fs) 25

CAPITULO III: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS

3.1 Variables de Diseño 28
3.1.1 ESAL's de Diseño 28
3.1.1.1 Peso de ejes de tipos de vehículo 29
3.1.1.2 Índice de serviciabilidad 29
3.1.1.3 Factores equivalentes 30
3.1.2 Confiabilidad (R) 32
3.1.3 Coeficiente de drenaje 33
3.1.4 Desviación estándar 34
3.1.5 Propiedades de los materiales 34
3.1.5.1 CBR de diseño 34
3.1.5.2 Módulo resiliente (MR) y coeficiente estructural (a) 35
3.1.5.3 Módulo resiliente de la base 35
3.1.5.4 Módulo resillente de la sub-base 36
3.1.5.5 Estabilidad Marshall 36
3.2 Determinación del número estructural (SN) 37
3.3 Cálculo de los espesores de capa (D) 38

CONCLUSIONES 41
RECOMENDACIONES. 43
GLOSARIO 44
ABREVIATURAS 52
Bibliografía 54

RESUMEN EJECUTIVO.

Las carreteras son una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles, son elementos esenciales para generar el flujo de bienes y servicios que promueven el desarrollo económico, la salud pública y la educación así como una ayuda en la administración del uso del suelo y de los recursos naturales.

La presente tesina tiene como objetivo: diseñar la estructura de pavimento flexible del tramo de 6.06 kilómetros, ubicado en Las Flores, comunidad de Masaya por medio del método AASHTO 93.

Este trabajo está constituido por cinco capítulos; donde cada uno de los cuales aborda un tema específico:

Generalidades: Se describen aspectos básicos del proyecto tales como: introducción, descripción del municipio, antecedentes, justificación y objetivos.

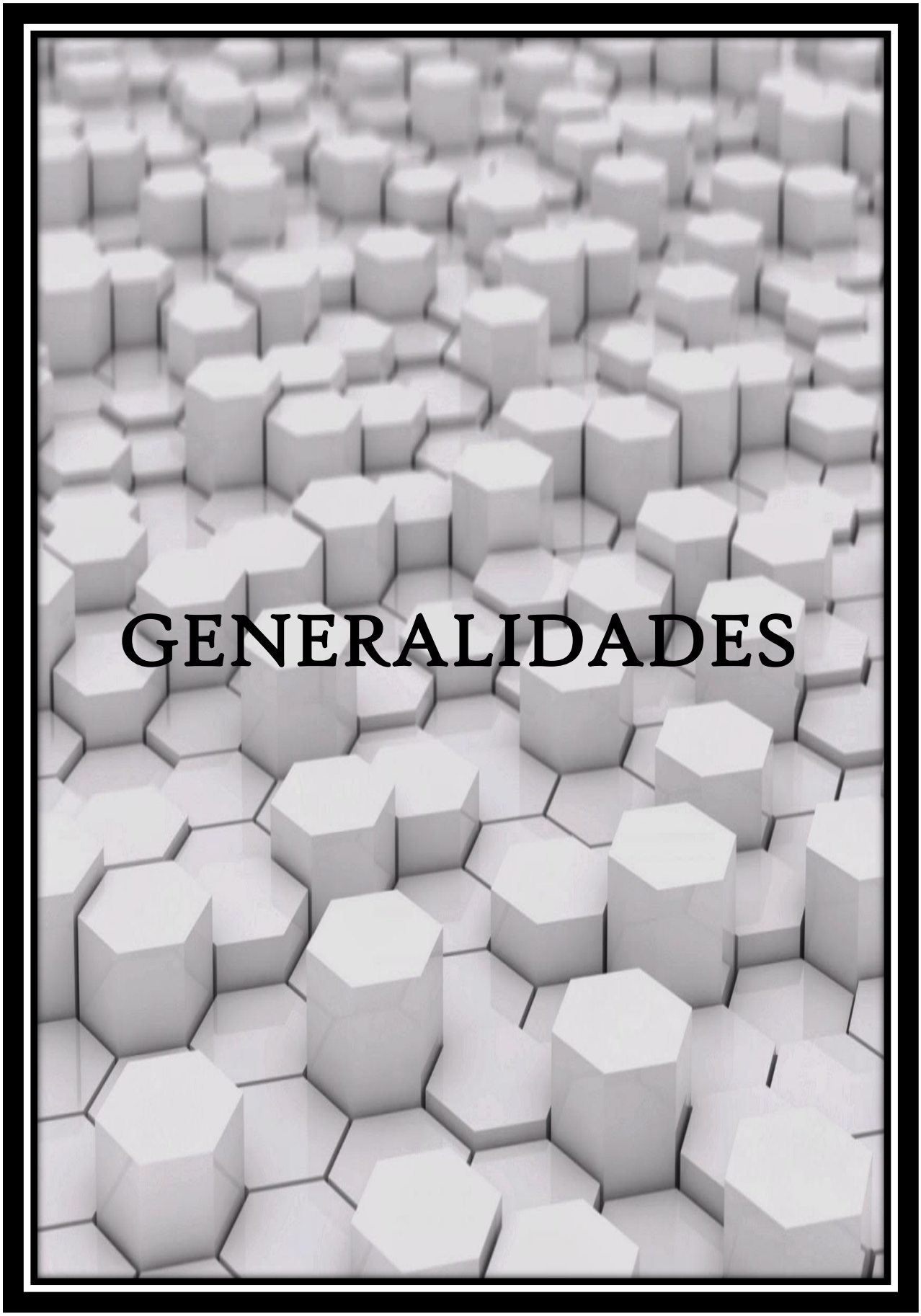
CAPITULO I: Análisis de estudio de suelos. Se examinan para conocer las características físico-mecánicas del suelo para la determinación de su utilidad en la vía como base, sub-base y sub-rasante, el mismo incluyen las muestras de suelo sobre la vía y los bancos de materiales. En estos se identifica: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

CAPITULO II: Estudio de tránsito. Necesario para determinar el número ESAL's, describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, proyección del tránsito, tasas de crecimiento, periodo de diseño, 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 periodo de diseño.

CAPITULO III: <u>Diseño de estructura de pavimento.</u> Se realiza por medio de la AASHTO-93, donde se aplica los siguientes factores: índice de serviciabilidad, pérdida de serviciabilidad, análisis de cargas y ejes equivalente para el diseño de pavimento, confiabilidad, desviación estándar, coeficiente de drenaje, módulo resiliente y coeficientes estructurales o de capas.

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

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



GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN.

El tramo en estudio pertenece al departamento de MASAYA, siendo su posición geográfica 11º 58' latitud norte y 86º 06' longitud oeste, con una elevación de 242 msnm.

El departamento de Masaya en Nicaragua es un importante nudo de comunicaciones en el transporte. Tiene una activa industria de manufactura de productos cítricos ya que posee suelos muy ricos para la agricultura, sobre todo para los cultivos permanentes y semipermanentes como las pitahayas, la piña, la yuca y algunas oleaginosas como maní ajonjolí, soya, sorgo y granos básicos.

La producción artesanal es muy importante, se puede decir que es el centro de la artesanía nicaragüense, con un componente de cultura precolombina muy fuerte, se trabaja fundamentalmente la madera, el cuero, la cerámica, las piedras y los tejidos. Industrialmente se producen también; zapatos, productos de piel, jabón y almidón.

Nicaragua tiene una red vial de aproximadamente 17,490.50 km, según datos proporcionados por MTI, en los cuales el departamento de Masaya cuenta con 201.05 km, de los cuales 35.35 km son asfaltados, 31.47 km son adoquinados y 134.30 km son caminos de todo tiempo, las cuales debido a crecimiento avanzado de la flota vehicular y la interacción entre vehículos, peatones y animales, no cumple con un estándar de seguridad vial adecuado.

Se pretende con este diseño de pavimento flexible, que el beneficio a la población incurrirá en la disminución de los costos de operación del transporte, así mismo ahorro en mantenimiento e incrementos en los diferentes rubros de producción tanto agrícola como artesanal.

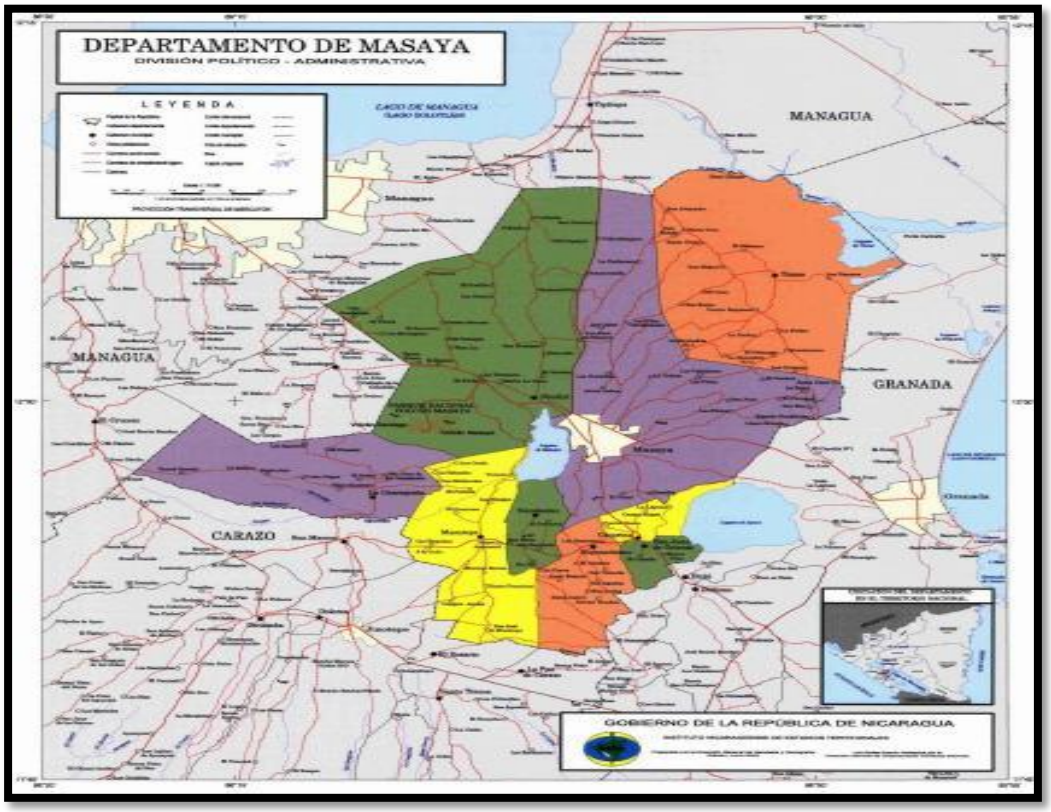
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.

El Departamento de Masaya se encuentra en la región Centro - Pacífico de Nicaragua, entre el lago de Managua, Xolotlán y el lago Nicaragua, Cocibolca. Se encuentra a 29 km de la ciudad de Managua y 15 km de Granada, formando parte del territorio más dinámico y urbanizado del país.

El departamento está conformado por nueve municipios, que geográficamente y en el sentido del reloj se enumeran: Nindirí, Masaya, Tisma, Catarina, San Juan de Oriente, Niquinohomo, Nandasmo, Masatepe y La Concepción. Los municipios de Catarina y San Juan de Oriente poseen la mayor altura sobre el nivel del mar.

Macro localización.

Imágen N° 1: Mapa de División Política-Nicaragua, Municipio de Masaya.

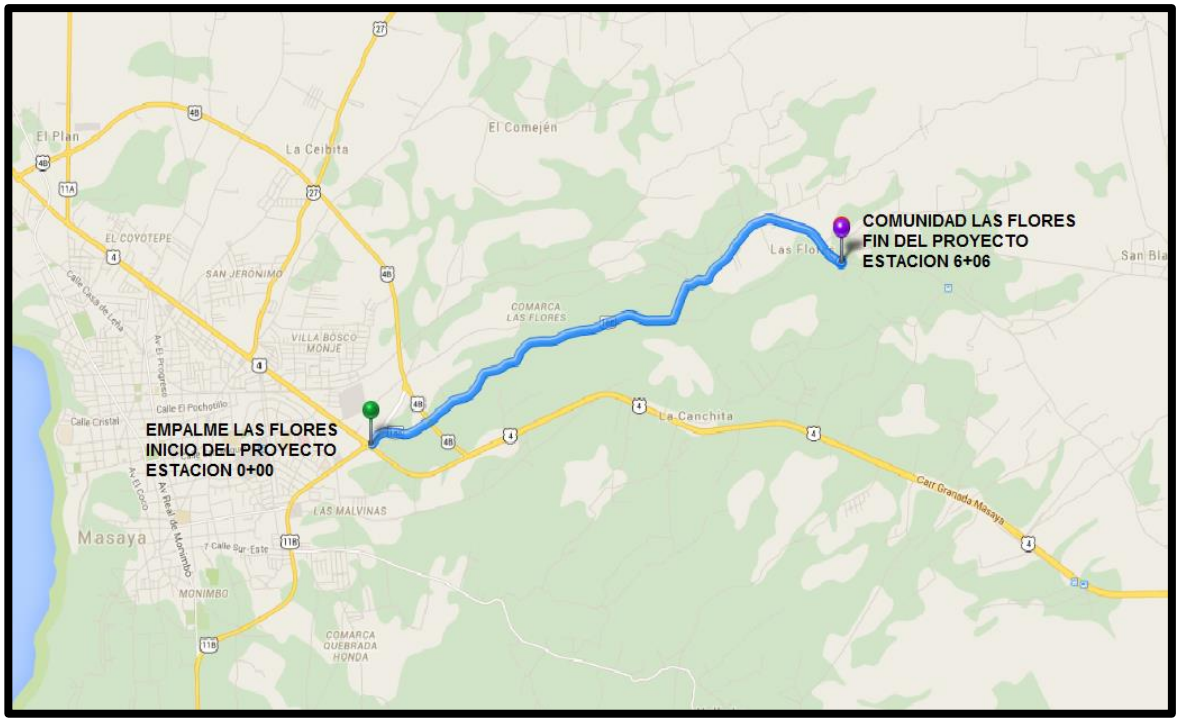


Fuente: Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER).

Micro localización.

Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA) la vía en estudio se clasifica como: Colectora rural; misma que se encuentra ubicada en el departamento Masaya, en el Km 31.5 carretera (Masaya–Granada), en la Intersección de (Masaya–Las Flores), hasta al final del poblado Las Flores, exactamente frente a las oficinas del organismo Visión Mundial, a su vez, el departamento de Masaya pertenece a la región metropolitana de Managua, que es la unidad territorial funcional dominada por la ciudad de Managua en cuyo entorno se integran los asentamientos humanos de los 29 municipios de los departamentos de Carazo, Masaya, Granada y Rivas.

Imágen N° 2: Mapa del Tramo del Proyecto.



Fuente: Google Mapa.

OBJETIVOS:

Objetivo General.

- Diseñar la estructura de pavimento flexible del tramo MASAYA – LAS FLORES por el método American Association of State Higway and Transportation Officials (AASHTO) versión 93.

Objetivos Específicos.

- Analizar los tipos de suelos, sus características y bancos de materiales existentes que se encuentran a todo lo largo del tramo; para obtener el CBR de diseño.

- Determinar el volumen vehicular que circula por la vía, para un período de diseño de 20 años, a través de la tasa de crecimiento estimada; para obtener la carga máxima.

- Diseñar el espesor de la estructura de pavimento flexible por el método de la AASHTO 93.

ANTECEDENTES.

El tramo de carretera Masaya – Las Flores, se clasifica como una ruta colectora rural según su clasificación funcional por estar ubicada en una zona rural.

El acceso a la comunidad de Las Flores es a través de una carretera de adoquín de doble vía. Este tramo es transitable desde el punto de vista funcional y se puede clasificar como regular ya que se le ha dado mantenimiento, el último mantenimiento que se le realizó al tramo fue en el año 2008 este realizado por la Alcaldía Municipal de Masaya.

La Alcaldía Municipal de Masaya, ha hecho grandes esfuerzos para mantener en condiciones transitables el tramo en estudio pero estructuralmente se encuentra en mal estado, debido a que no está diseñado para soportar las cargas que transitan por el tramo y además que dicho mantenimiento se realiza en periodos demasiado largos de la misma manera como la mayor parte de la red vial del departamento.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), realizó estudios de suelo y tránsito, con el fin de rediseñar la carpeta de rodamiento y ampliación de las obras de drenaje, mejorando así la infraestructura del tramo, dado a que el tramo también conecta con la circunvalación de Masaya.

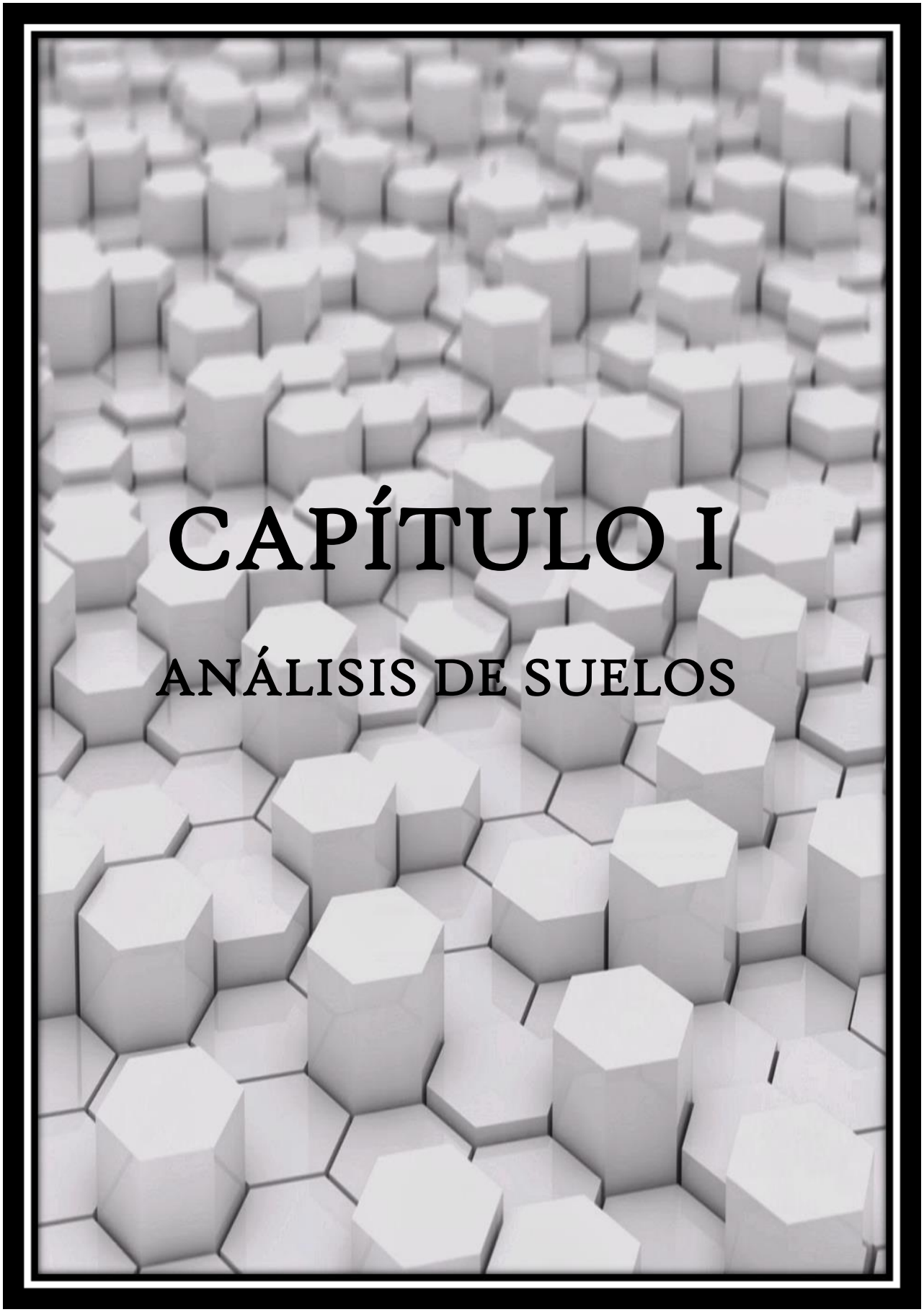
JUSTIFICACIÓN.

En las condiciones actuales el camino que va desde la rotonda las Flores hasta el Barrio las Flores, presenta altas condiciones de deterioro producto de separación del sello de las juntas del adoquín debido a las constantes lluvias durante el período del invierno y a la circulación del tráfico pesados ya que el tramo está ubicado próximo a la circunvalación de Masaya , esta condición del camino provoca a los dueños de vehículos, peatones, transporte comercial y población en general una gran dificultad para poder circular por esta vía, provocando pérdidas económicas y de tiempo para todos.

Es de gran prioridad la realización de este proyecto el cual actuaría como el inicio de una solución a los problemas que se presentan en esta vía, ya que se proporcionara una carpeta de rodamiento de pavimento flexible, resistente a las cargas impuesta por el tránsito tanto pesado como liviano, permitirá a la población una movilización más dinámica a sus centros de trabajo y esto facilitaría el desarrollo de las condiciones socioeconómicas.

Se eligió este proyecto debido a las múltiples necesidades que plantearon los habitantes de esta zona, las cuales fueron expuestas en el Cabildo Municipal realizado el día sábado 16 de Junio 2013, puesto que aun las instancias pertinentes no cuentan con toda la información técnica necesaria para dar inicio a la solución del problema.

Con este proyecto, se mejorará la imagen de la zona, que vendrá a ser factor fundamental para promover el desarrollo económico a los pobladores de la comunidad de las Flores, al incrementarse las actividades socio-económicas, por la integración e interrelación entre la comunidad de Las Flores y la ciudad de Masaya.



CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE SUELOS

1.1 Introducción.

La importancia de este capítulo es conocer el tipo de suelo existente tanto en el tramo en estudio como de los bancos de materiales que están próximos al tramo, conociendo sus características físicas-mecánicas y determinar los suelos que formaran parte de las estructura del pavimento.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), nos proporcionó información correspondiente al estudio de suelo del tramo Masaya – Las flores 6.06km y bancos de materiales, elaborados por los Ingenieros Consultores; Corea y Asociados S.A. (CORASCO).

Del documento se extrajo y analizo información técnica, tales como los resultados de ensaye obtenidos en el laboratorio tanto de los suelos del tramo como de los bancos de materiales, estos ensayes consiste en: análisis de granulometría, límites de consistencia, ensaye de próctor modificado y ensaye de CBR. (Ver anexo A-I. Pág.I).

Según los resultados de cada muestra, se empleó las normas de clasificación de suelo: AASHTO (ver anexo A-II. Pág.I), con el fin de identificar, caracterizar y determinar la calidad del material, para ser evaluados por la normas NIC-2000 (ver anexo A-III, IV. Pág.II) y así identificar si son óptimos para la estructura de pavimento.

1.2 Análisis de suelos del tramo.

1.2.1 Sondeos en línea.

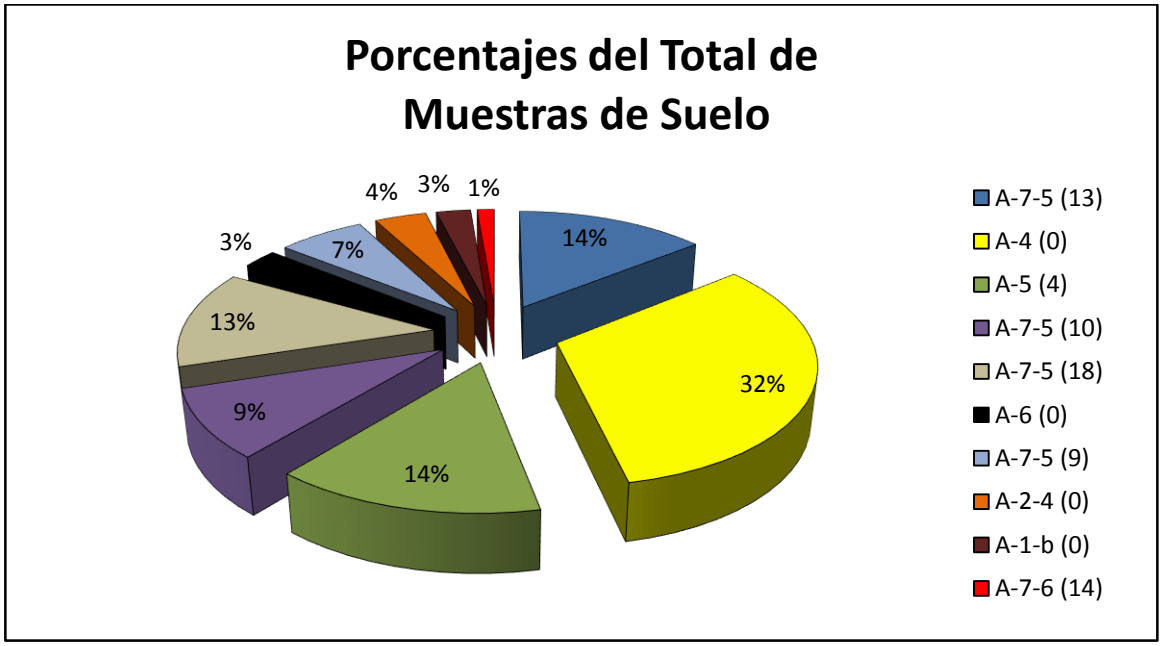
Los sondeos en línea fueron realizados manualmente a cada 250 mts en forma alterna a lo largo de toda la longitud del camino, iniciando desde la estación 0 + 00 en la rotonda las flores a 1.50 mts de profundidad, identificando de manera visual cada estrato del suelo encontrado, se clasifico cada muestra y se depositaron en diferentes bolsas plásticas por muestras y se enviaron al laboratorio para sus análisis.

1.2.2 Resultados de ensayes.

En cada sondeo realizado se obtuvieron muestras de suelo de cada estrato, anotándose todos los datos correspondientes a dicha muestra; profundidad, espesor, color y demás características. De los 25 sondeos que se realizaron, se obtuvo un total de 77 muestras, equivalentes a un promedio de dos (2) a seis (6) muestras por sondeo. (Ver Anexo A-V. Pág.IV).

En la siguiente gráfica se observa el suelo predominante de manera general:

Imágen N° 3: Porcentajes del Total de Muestras de Suelo.



Fuente: Elaboración propia.

En la imágen anterior se puede observar que el material de suelo que existe en el camino está constituido, por un suelo A-7-5 con diferentes índice de grupo ((9),(10),(13),(18)), dando un resultado de 33 muestras equivalente al 43% del total, según la clasificación AASHTO es un suelo arcilloso con presencia de arena tanto de baja como alta plasticidad en función de su índice de grupo, pero que se encuentra a profundidades mayores de 20 cm.

El siguiente suelo que predomina es A-4(0) que se clasifica un suelo limo arenoso color gris compacto con un total de 25 muestras equivalente al 32% y un suelo tipo A-5(4) el cual se clasifica como limoso según su clasificación AASHTO, con un total de 11 muestras equivalente al 14%.

En el anexo A-VI (Pág.IX) se aprecia la estratigrafía de los suelo del tramo, predominando un suelo A-4(0) a una profundidad entre 0.00 y 0.20 mts, el cual para terreno de fundación es un suelo de regular a malo, de igual manera se encuentra el suelo A-7-5 que es un suelo arcilloso, por lo tanto, se propone sustituir el material existente a esa profundidad (0.20 mts), por un material de banco con el objetivo de promocionar mejor resistencia a la estructura de pavimento y calidad del material de terracería.

En el siguiente cuadro se detallan las características generales y los resultados de CBR de los tipos de suelos encontrados en los sondeos de línea a lo largo del tramo que fueron agrupados según su tipo:

TABLA N° 1: Resultados de CBR.

Grupo N°	Tipos De suelo	LL, %	IP, %	Pasa Tamiz No.4	Pasa Tamiz No.200	CBR, %		
						90%	95%	100%
1	A-7-6 (14) A-7-5(13)	52-73	13-25	98-100	64-87	4	6	10
2	A-4(0)	NP	NP	85-100	38-60	5	13	17
3	A-5(4)	41	7	100	54	7	14	34
4	A-2-4(0)	NP	NP	88-90	30	8	17	43
5	A-6(0)	NP	NP	100	69	4	9	13
6	A-1-b(0)	NP	NP	39	16	22	34	66

Fuente: Estudio de Suelo tramo Masaya – Las flores, Laboratorio de suelos CORASCO.

Según la granulometría y clasificación de los suelos (AASHTO), estos cuentan con una alta presencia de material fino, ya que según los ensayes un gran porcentaje de material queda retenido en la malla Nº200 para cada muestra, por lo tanto estos suelos se desprecian y se propone sustituir la terracería del tramo en estudio por un material de banco el cual debe presentar condiciones óptimas para dicha función.

1.3 Análisis de suelos de Bancos de Materiales.

En este caso se recurrió a posibles fuentes de materiales que pudieran ser utilizados, lo cual correspondió a sitios fuera de la zona de ubicación, debido a que en el sector únicamente se detectó una fuente de Material que no posee características idóneas para formar parte de una estructura.

Se localizó seis bancos de materiales, que por sus antecedentes se conoce que han sido utilizados como bancos de préstamo para la ejecución de obras de construcción y de mantenimiento.
Del proceso de investigación efectuado, se obtuvo los siguientes resultados:

- **Banco de Materiales Nº 1:** conocido con el nombre de "LA BARRANCA", ubicado sobre la carretera a Masaya en el km 27 1/2, sentido este, a una distancia aproximada de 4.6 km del sitio del proyecto.

  El contenido de material, es del tipo canteroso arenoso y de escoria volcánica, conocido como hormigón rojo. Actualmente el hormigón rojo se extrae en forma artesanal o manual. (Ver anexo A-VII. Pág.X).

- **Banco de Materiales Nº 2:** conocido como " EL COYOTEPE ", ubicado sobre la carretera Masaya - Tipitapa, a 3.0 km del empalme el Coyotepe, y a una distancia aproximada de 7.0 km del sitio del proyecto.

Presenta características de material canteroso arenoso. Se encuentra en una buena parte del área, descapotado y en proceso de explotación. En diferentes ocasiones el MTI, lo utiliza para trabajos de construcción y de mantenimiento. (Ver anexo A-VIII. Pág.X).

- **Banco de Materiales Nº 3:** conocido como " LA POMA o LAS FLORES", ubicado en el área del proyecto.

  El contenido de este banco corresponde a un material del tipo talpuja, con un alto contenido de poma. En la actualidad se encuentra descapotado y en proceso de explotación, en su mayoría por pobladores que en forma artesanal extraen material en pequeñas cantidades para brindarle mantenimiento a la superficie de rodadura del camino y usos caseros. (Ver anexo A-IX. Pág.XI).

- **Banco de Materiales Nº 4:** conocido como " CAÑA DE CASTILLA", ubicado sobre la carretera Granada - Nandaime, aproximadamente 2.0 km del empalme El Guanacaste en dirección a Granada, y a una distancia aproximada de 17.0 km, del sitio del proyecto.

  El contenido de este banco de préstamo corresponde específicamente a material del tipo escoria volcánica. En su mayor parte se encuentra descapotada y en proceso de explotación. (Ver anexo A-X. Pág.XI).

- **Banco de Materiales Nº 5:** conocido como " EL VARILLAL", ubicado sobre la carretera Granada - Nandaime, aproximadamente 5.0 km, de la ciudad de Granada, y a una distancia aproximada de 21.0 km, del sitio del proyecto.

  El contenido de este banco corresponde exclusivamente a material de tipo escoria volcánica, popularmente conocido como hormigón rojo. En su

mayor parte se encuentra descapotada y en proceso de explotación. (Ver anexo A-XI. Pág.XII).

- **Banco de Materiales Nº 6:** conocido como " EL HATILLO", ubicado sobre la carretera Granada - Masaya, en una desviación a la Izquierda de 2.0 km, del Km 37 de esta carretera, camino de acceso hacia la laguna de Apoyo; y a una distancia aproximada de 7.0 km del sitio del proyecto.

  El contenido de este banco corresponde a un material del tipo talpuja, con un contenido reducido de poma. En su mayor parte se encuentra descapotada y en proceso de explotación. (Ver anexo A-XII. Pág.XII).

1.3.1 Sondeo de bancos de préstamo.

Hicieron sondeos manuales y mecánicos en los bancos de materiales, identificaron de manera visual cada estrato del suelo encontrado, se clasificó cada muestra y se depositaron en diferentes bolsas plásticas por muestras y se enviaron al laboratorio para sus análisis.

1.3.2 Resultados de ensayes.

Se ensayaron de 1 a 2 muestras por cada banco, con el fin de identificar errores en los ensayes y estos se clasificaron por las normas internacionales AASHTO, a continuación se presenta de manera detallada la clasificación de cada ensaye de banco proveniente de los resultados que se encuentran en los anexos (A-XIII al A-XVIII. Pág.XIII).

TABLA N° 2: Resultados de ensayes.

BANCO	CLASIFICACION AASHTO	TIPO DE MATERIAL	CBR (%)	TERRENO DE FUNDACION
La Barranca	A-1-a(0)	Gravas y Arenas	32	Excelente
El Coyotepe	A-1-b(0)	Gravas y Arenas	56	Excelente
La poma o Las Flores	A-2-4(0)	Gravas y Arenas limosas y arcillas	21.8	Excelente a Bueno
Caña de Castilla	A-1-a(0)	Gravas y Arenas	-	Excelente
El Varillal	A-1-a(0)	Gravas y Arenas	38	Excelente
El Hatillo	A-5(3)	Suelos limosos	23	Regular a Malo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que los suelos ensayados de los bancos según la AASHTO en su mayoría están clasificados como un material excelente para fundación, debido a que son A-1-a, excepto el banco el Hatillo siendo A-5(3).

En función de la granulometría, del tipo de suelo y su CBR, se propone el material de banco El Coyotepe para ser sustituido por el material de terracería, este banco según su clasificación AASHTO es un material de grava y arena, excelente como terreno de fundación y con un CBR de 56% a un próctor modificado del 95%.

Una propiedad clave de los materiales que se utilizan como base y sub-base, es la distribución del tamaño de sus partículas al mezclarlos, esto con el objetivo de que exista cohesión entre ellos para dar mayor estabilidad y resistencia al ser colocadas como una capa, esto se comprobó para cada material de banco por medio de la sección 1003 de la AASHTO los márgenes de graduación para cada capa.

TABLA N° 3: Márgenes para graduaciones de capa Base y Sub-base.

Tamaño del Tamiz.		Graduación para capa Sub-base		Graduación para capa base			Bco1. La Barranca	Bco2. El Coyotepe	Bco3. La Poma o Las flores	Bco4. Caña de Castilla	Bco5. El Varillal	Bco6. El Hatillo
pulg.	**mm**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**% que pasa**	**% que pasa**	**% que pasa**	**% que pasa**	**% que pasa**	**% que pasa**
3"	**75.0**	100					97				100	
2"	**50.0**	97-100	100	100			83			100	92	
11/2"	**37.5**		97-100	97-100	100		80			97	86	
1"	**25.0**	65-79			97-100	100	68			88	76	
3/4"	**19.0**			67-81	67-81	97-100	62			77	64	100
1/.2"	**12.5**	45-59					54	100		63	53	99
3/8"	**9.5**				56-70	67-79	47	98		51	42	98
No. 4	**4.75**	28-42	40-60	33-47	39-53	47-59	33	93	100	24	21	90
No. 10	**2.00**						23	81	75	8	12	78
No. 40	**0.425**	9-17		10.0-19	12.0-21	12.0-21	9	44	48	2	5	59
No. 200	**0.075**	4--8	0-12	4.0-8.0	4.0-8.0	4.0-8.0	4	25	32	1	1	45

Fuente: Nic-2000, cuadro 1003-3, Pág. 522.

Con respeto a la tabla anterior, se tomó la muestra número uno con respecto a cada banco de material determinando que la graduación de sus agregados que se requieren para ser utilizados en nuestro diseño no se encuentra entre los rangos de graduación para base y sub-base. Por lo tanto se requirió el proceso de mezcla entre bancos para determinar la mezcla idónea que formara parte de las capas de la estructura de pavimento.

Realizaron 2 mezclas provenientes de diferentes bancos, tanto de material fino como grueso, con el objeto de que la granulometría resultante, garantice las propiedades deseables por medio de las especificaciones que se desean con respecto a cada capa, que son las siguientes:

Mezcla N° 1: El Varillal y El Hatillo:

La mezcla es procedente del material de banco el Varillal con un 50 % de este y del banco el Hatillo con un 50%, luego de su mezcla se procedió a su clasificación AASHTO, dando como resultado un tipo de suelo A-1-a, siendo un suelo de grava y arena que para terreno de fundación es excelente, además, el CBR es de 61.40% a un próctor modificado al 95% el cual se encuentra dentro del rango mínimo que establece la NIC-2000 siendo un suelo idóneo para capa sub-base para nuestro diseño. (Ver anexo A-XIX. Pág.XIX).

Mezcla N° 2: El Varillal y El Coyotepe.

La mezcla de materiales de los bancos El Coyotepe con un 50% y El Varillal con 50% de este, suministra una excelente solución para la capa de base a construir. Las propiedades de los materiales de ambos bancos se complementan, de manera que la granulometría se comporta dentro de la envolvente recomendada por la AASHTO, siendo un tipo de suelo A-1-a, excelente para terreno de fundación con presencia de grava y arenas. (Ver anexo A-XX. Pág.XX).

Con respecto a su CBR, se obtuvo un 80% al próctor modificado de 95%, cumpliendo con las normas NIC-2000 siendo este el valor mínimo requerido para capa base, por lo tanto este será utilizado para nuestro diseño.

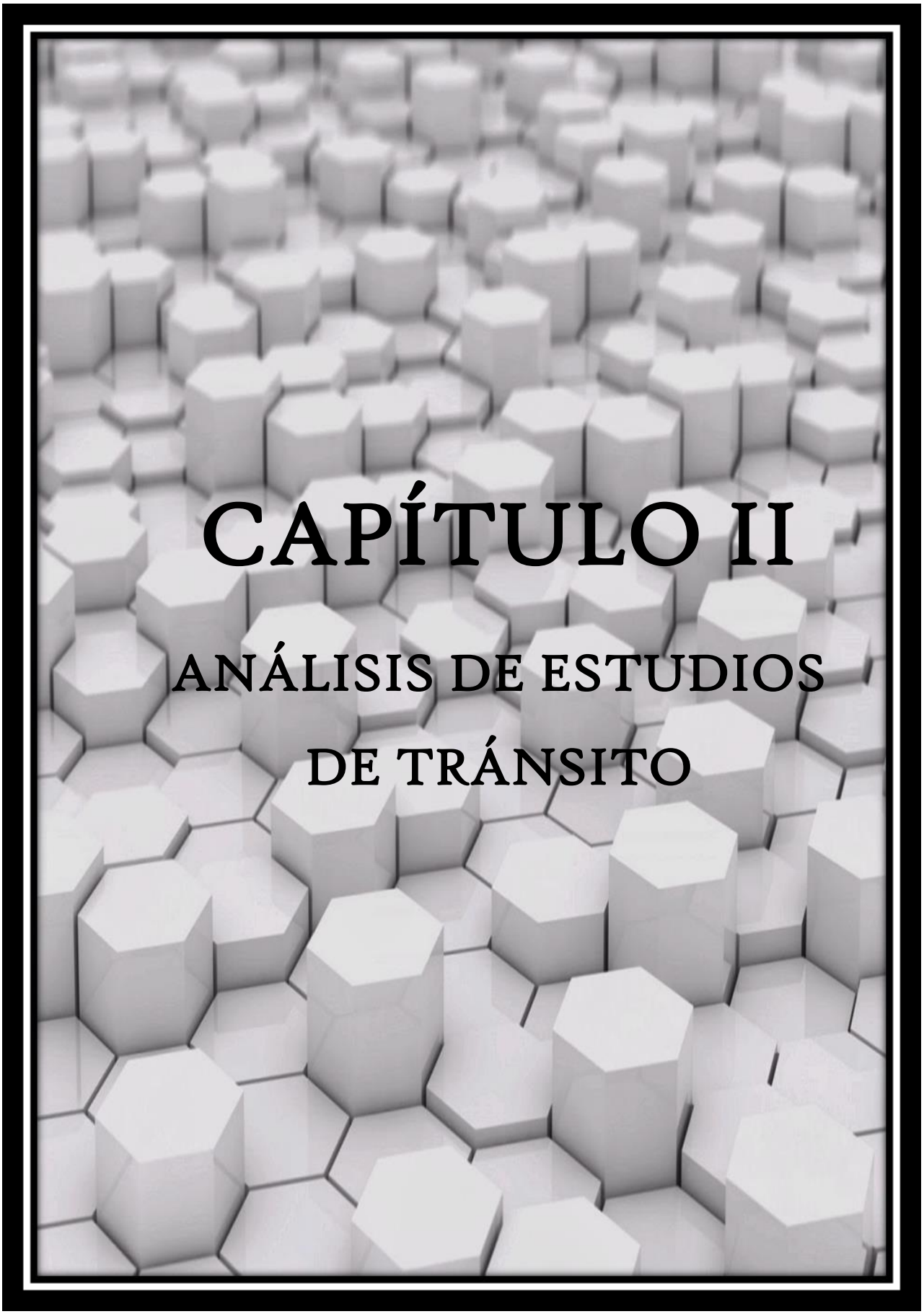
En la siguiente tabla se detalla la granulometría de las mezclas de los bancos que son, el Varillal y el Hatillo, también la mezcla de los bancos el Coyotepe y el Varillal.

TABLA N° 4: Márgenes para graduaciones de capa Base y Sub-base.

Tamaño del Tamiz.		Graduación para capa Sub-base		Graduación para capa base			Mezcla de Bco. Varillal - Hatillo	Mezcla de Bco. Coyotepe- Varillal
pulg.	**mm**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**% que pasa**	**% que pasa**
3"	**75.0**	100						
2"	**50.0**	97-100	**100**	100			**100**	
11/2"	**37.5**		**97-100**	97-100	**100**		**97**	**100**
1"	**25.0**	65-79			**97-100**	100	**94**	**97**
3/4"	**19.0**			67-81	**67-81**	97-100	**90**	**80**
1/.2"	**12.5**	45-59					**88**	**76**
3/8"	**9.5**				**56-70**	67-79	**86**	**69**
No. 4	**4.75**	28-42	**40-60**	33-47	**39-53**	47-59	**42**	**32**
No. 10	**2.00**						**31**	**28**
No. 40	**0.425**	9-17		10.0-19	**12.0-21**	12.0-21	**25**	**20**
No. 200	**0.075**	4--8	**0-12**	4.0-8.0	**4.0-8.0**	4.0-8.0	**4**	**5**

Fuente: Nic-2000, cuadro 1003-3, Pág. 522.

Por medio de los márgenes de graduación se pudo determinar que la mezcla de los bancos el Varillal y el Hatillo, se encuentra dentro la graduación B para capa sub-base, y la mezcla de los bancos el Coyotepe y el Varillal, está dentro de la graduación D para capa base, por lo tanto, estos suelos serán utilizados para formar parte de nuestro diseño de pavimento, para que exista cohesión entre ellos y den mayor estabilidad y resistencia al ser colocadas como una capa.



CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE TRÁNSITO

2.1 Aforo vehicular.

Por medio del estudio de tránsito nos permite conocer el volumen vehicular que circula por el tramo, así como también, el tipo, el peso y número de ejes con el que cuentan los vehículos.

Uno de los aspectos importante de este estudio es la realización del aforo vehicular, el que tiene como objeto cuantificar los volúmenes de transito bajo condiciones actuales. Para llevar a cabo el aforo se tomó en cuenta la tabla de tipología y descripción vehicular, para realizar este conteo según esta clasificación. (Ver anexo A-XXI. Pág.XXI).

Se realizó un aforo diario por 12 horas (6:00am 6:00pm), por 5 días (lunes, miércoles, viernes, sábado, domingo) en el mes de marzo del 2014, tomando como punto de control, el punto inicial del tramo: Rotonda Las Flores, Masaya, est. 0+00, y como punto final: Comunidad Las Flores, est. 6+06. (Ver anexo A-XXII. Pág.XXII).

Se escogió el punto de control inicial la est. 0+00, para ser parte del diseño de pavimento ya que presenta el mayor flujo vehicular, lo cual es importante para determinar las cargas que serán transmitidas en las capas de pavimento y suelo.

2.2 Tránsito promedio (TP).

Tabla N° 5: Cálculo del Tránsito Promedio para un Aforo Vehicular por 12hrs, punto inicial de tramo: Rotonda Las Flores.

DIA	BICICLETA	MOTO	AUTOS	JEEP	Camioneta	Micro Bus <15 pasajeros	Micro Bus 15-30 pasajeros	Bus	C2-Livianos	C2	C3	T2– S2	VA	TOTALES
1	513	220	241	76	264	19	9	21	35	52	44	8	2	1,504
2	408	286	196	93	195	22	12	18	44	68	32	6	4	1,384
3	629	257	194	54	209	23	17	27	56	73	38	7	3	1,587
4	432	226	214	31	198	18	14	15	33	61	19	3	1	1,265
5	274	135	97	14	104	9	8	9	18	34	15	2	0	719
TOTAL	2256	1,124	946	268	970	91	60	90	186	288	148	26	10	6,459
TPD	451	225	189	54	194	19	12	18	58	58	30	6	2	1,292

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el Transito Promedio Diario se utiliza la siguiente ecuación:

(Ecuación N° 1)

$$TP = \frac{Acumulado\ de\ conteo\ vehicular\ por\ tipo\ de\ vehiculo}{Cantidad\ de\ días\ del\ aforo}$$

TP=Tránsito promedio diario.

2.3 Factores de ajustes.

Los datos recolectados son una muestra representativa de un período de 5 días, se hace necesario estimar el TPDA. Para este propósito se utilizaron factores de ajustes diario, semanal y de temporada.

Estos factores fueron tomados del **Anuario de Aforos de Trafico 2011** proporcionados por el MTI y nos permiten determinar el volumen del tránsito del tramo de vía en estudio, siendo este de la estación 709 del tramo Empalme Teustepe – Empalme Boaco. (Ver anexo A-XXIII. Pág.XXIII).

Se escogió este estación de aforo ya que no existe una propia al tramo en estudio y debido a que hay una semejanza al volumen vehicular diario, además porque la selección de esta estación de conteo debe estar relacionada al periodo climático (temporada seca o lluviosa), es decir, la temporada con que se ejecutó nuestro aforo vehicular debe ser la misma de la estación tomada, por lo tanto nuestro aforo se realizó en la temporada seca.

2.4 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Por medio del producto de los factores de ajustes (factor día, factor semana, y factor temporada) y del TPD de cada vehículo, se obtuvo el TPDA para cada tipo de vehículo registrado.

Tabla N° 6: Cálculo de Tránsito Promedio Diario Anual.

GRUPO	MOTO	AUTOS	JEEP	Cam.	Micro Bus < 15 pasajeros	Micro Bus 15-30 pasajeros	Bus	C2-Livianos	C2	C3	T2–S2	VA	TOTALES
TP	225	189	54	194	19	12	18	58	58	30	6	2	865
Factor Diario	1.26	1.30	1.35	1.37	1.19	1.44	1.35	1.39	1.64	1.48	2.00	1.00	
Factor Semanal	0.96	0.98	0.98	0.92	1.07	1.43	0.98	0.88	0.89	0.92	1.29	1.00	
Factor Temporada	1.13	1.07	1.13	1.05	1.34	1.54	1.09	1.12	1.05	1.05	0.78	1.00	
TPDA	308	258	81	257	32	38	26	80	89	43	12	2	1226
% TPDA	25.12	21.04	7.19	20.82	2.61	3.09	2.12	6.53	7.26	3.50	0.97	0.16	100
% VEHICULOS LIVIANOS 79.46%							% VEHICULOS PESADOS 20.54%						100%

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Proyección del tránsito.

2.5.1. Tasa de crecimiento:

Para estimar la tasa de crecimiento y realizar las proyecciones de tránsito de la vía en estudio se analizarán las siguientes variables: PIB (Producto Interno Bruto), tasa de crecimiento poblacional y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

2.5.1.1. Producto Interno Bruto (PIB).

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

Se realizó un análisis del comportamiento del producto interno bruto del año 2013, el cual reflejó una tasa del 4.6%. El PIB de este año en Nicaragua. (Ver anexo A-XXIV. Pág. XXIV).

2.5.1.2. Censo 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 por medio de una unidad de tiempo para su medición. En este caso, la tabla muestra la tasa de crecimiento poblacional por departamento siendo este Masaya con un porcentaje de 1.1%. (Ver anexo A-XXV. Pág. XXIV).

2.5.1.3. Crecimiento vehicular.

Tabla N° 7: Tasa de Crecimiento Vehicular Promedia y Estaciones Permanentes 2007.

No.	Estación Permanente	Tasas Crecimiento
100	Punta de Plancha – Emp. San Benito	2.2 %
107	Sébaco – Emp. San Isidro	6.3 %
111	Condega – Shell Palacagüina	9.0 %
200	Ent. INCAE – El Crucero	0.5 %
206	Nandaime – Rivas	6.6 %
300	Sébaco – Quebrada Honda	2.8 %
400	**Ent. Esquipulas – Emp. Ticuantepe**	**11.1 %**
405	**Emp. Guanacaste – Emp. Nandaime**	**-3.8 %**
700	Emp. Camoapa – Tecolostote	1.4 %
902	Boaco – El Portón	5.4 **%**
1100	Emp. Coyotepe – Emp. Zambrano	8.9 %
1200	Auto Hotel Nejapa – Emp. Santa Rita	8.3 **%**
1205	Emp. Chichigalpa – Chinandega	8.0 %
2400	**Chinandega (Rotonda) – Ranchería**	**10.5 %**
2603	Malpaisillo – Los Zarzales	6.5 %
2800	Los Brasiles – Nagarote	5.5 %

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico Año 2008, página: 13.

En general podemos decir que el crecimiento promedio anual del tráfico en las estaciones permanentes ubicadas en la red troncal principal del país es del **5.6 %.** El cual es obtenido mediante la suma de las tasas de crecimiento de las estaciones permanentes obteniendo un total de 89.2% dividido entre las 16 estaciones existentes.

Por lo tanto se propone utilizar una tasa de **4.5%** de diseño, una vez analizada la tasa del PIB y del crecimiento vehicular nacional ya que conecta a sectores por medio de la circunvalación que poseen una alta producción e incidencia turística de los sectores aledaños.

2.6 Tránsito de diseño.

En vista que el diseño del pavimento de la vía, se basa tanto en el tráfico actual así como en los incrementos de tránsito que se espera utilicen la carretera durante su vida útil, resulta necesario realizar las proyecciones de tránsito futuro.

En primer lugar resulta necesario determinar el periodo de proyección del tráfico, el cual está en función de la vida útil del pavimento, así como las tasas de crecimiento que se han determinado con anterioridad.

El tránsito proyectado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA * FC * FD * fc \qquad \text{(Ecuación N° 2)}$$

Donde:

- TD =Tránsito de diseño.
- $TPDA$ = Tránsito promedio diario anual.
- FC = Factor de Crecimiento.
- FD = Factor de Distribución Direccional.
- fc = Factor Carril.

2.6.1. Período de diseño.

Es el periodo por el cual se proyecta el tiempo de vida de la estructura para brindar seguridad y confort al circular sobre la vía.

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, es clasificado como colectora rural por lo tanto su periodo de diseño oscila entre 10 a 20 años.

Para efecto de diseño el período a utilizar es de 20 años.

Tabla N° 8: Períodos de diseño.

Tipo de Carretera	Período de diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	**10 - 20 años**
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. SIECA 2001. Pag.10.

2.6.2 Factor de Crecimiento (FC).

Esta dado en función por el período de diseño y la tasa de crecimiento vehicular, el cual puede variar en dependencia del tipo de vehículo. Su ecuación es:

$$FC = 365 \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right]$$

Donde:

1. FC= Factor de Crecimiento. (Ecuación N° 3)
2. i= Tasa de Crecimiento. (4.5%)
3. n= Período de Diseño. (20 años)

$$FC = 365 \times \left[\frac{(1+(4.5/100))^{20}-1}{4.5/100}\right] = 11{,}450.6$$

2.6.3 Factor de distribución por dirección (FD).

Se expresa con la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, valor es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro.

Tabla N° 9: Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD[10]
2	**50**
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2001.

2.6.4 Factor de distribución por carril (fs).

El factor está en función del número de carriles que tendrá cada dirección, por lo tanto nuestro tramo tendrá un carril por dirección y su factor será 1.

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en este carril[1] .

[1] AASHTO-93, Libro de diseño de pavimento, 3ra Ed. 2006, pág. 57.

Tabla N° 10: Factores de distribución según el número de carriles.

Número de carriles en cada dirección	% ESAL en el carril de diseño
1	**1.00**
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Año 2006. Pág. 58.

Resultados del cálculo del TD.

Por medio de los factores antes determinados (FC=11450.6, FD= 0.5, fs=1), se puede calcular el TD:

$$TD = TPDA * FC * FD * fc \quad \text{(Ecuación N° 4)}$$

Tabla N° 11: Cálculo de Tránsito de Diseño.

Vehículo	TPDA 2014	Factor Crec.	Factor Carril	Factor Direccional	Tránsito Diseño
Motos	308	11,450.6	1	0.5	1,763,392
Autos	258	11,450.6	1	0.5	1,477,127
Jeep	81	11,450.6	1	0.5	463,749
Camioneta	257	11,450.6	1	0.5	1,471,402
Mc. Bus < 15	32	11,450.6	1	0.5	183,210
Mc. Bus 15-30	38	11,450.6	1	0.5	217,561
Bus	26	11,450.6	1	0.5	148,858
C2 Liv.	80	11,450.6	1	0.5	458,024
C2	89	11,450.6	1	0.5	509,552
C3	43	11,450.6	1	0.5	246,188
T2 - S2	12	11,450.6	1	0.5	68,704
VA	2	11,450.6	1	0.5	11,451
Total	1226				**7,019,218**

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El diseño de Pavimento flexible consiste en determinar los espesores de cada capa que integran la estructura del mismo, basándose en obtener un número estructural del pavimento que pueda soportar el nivel de carga esperado.

La capacidad estructural del pavimento flexible depende de la resistencia de cada capa para transferir, distribuir y reducir la intensidad de los esfuerzos antes de que lleguen a la siguiente capa o a la sub-rasante.

Para realizar el diseño de pavimento de este proyecto utilizaremos el método de la AASHTO – 93.

3.1 Variables de Diseño.

3.1.1 ESAL's de Diseño.

Es el producto del factor ESAL's por el tránsito de diseño antes calculado.

$$\text{ESAL o W18} = TD * Factor\ ESAL$$

El ESAL's se define a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de una determinada carga, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Peso de ejes de tipos de vehículo.
- Índice de serviciabilidad.
- Factores equivalentes.

Una de las condiciones importantes del ESAL's es la composición del tránsito. El flujo vehicular está compuesto por vehículos de distinto tipo y peso, los vehículos livianos tienen una incidencia muy pequeña en el cálculo de los ESAL's y pueden ser despreciados tales como motos y bicicletas. Por el contrario, los vehículos pesados tienen una incidencia muy grande sobre los ESAL's y cualquier

variación en la cantidad de los mismos pueden arrojar diferencias significativas en el valor final.[2]

3.1.1.1 Peso de ejes de tipos de vehículo.

Cada vehículo está compuesto por ejes y estos se clasifican en función de la tipología y descripción del vehículo estos son:

Eje simple: es un elemento que está constituido por un solo eje y no esta articulado a otro.

Eje tándem: conformado por dos ejes articulados al vehículo.

Eje tridem: conformado por tres ejes articulados al vehículo.

El MTI plasma dos tablas de los tipos de vehículos con su respectivo eje y su peso permitido. (Ver anexo A- XXV. Pág.XXV). En nuestro aforo se pudo apreciar que se contabilizaron vehículos que en su mayoría son ejes simples y con minoría ejes tándem, destacándose el C3 y el T2-S2.

3.1.1.2 Índice de serviciabilidad.

Se define como la capacidad de brindar confort y seguridad al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se debe elegir una serviciabilidad inicial y final. La inicial (ρ_0), está en función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal (pt), está en 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**:**[3]

ρ_0 = 4.2 para pavimentos flexibles

ρ_t = 2.5 para caminos muy importantes.

---

[2] AASTHO – 93, Libro de diseño de pavimento, 3ra Ed. 2006, pág. 58.
[3]Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172.

ρ_t = 2.0 para caminos de menor tránsito.

En función de estos valores se calcula la pérdida de serviciabilidad para caminos muy importantes, que se calcula por medio de la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y final:

$\Delta PSI = \rho_0 - \rho_t$ (Ecuación N° 5)

$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$ **$\Delta PSI = 1.7$**

3.1.1.3 Factores equivalentes.

Para el análisis de carga se utiliza la clasificación de los ejes de carga de cada vehículo, debido a que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento.

Los factores de equivalencia se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles. Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$\text{ESAL o W18} = TD * Factor\ ESAL \qquad \text{(Ecuación N° 6)}$$

Para realizar el cálculo del ESAL's 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 ocuparon las tablas de factores equivalentes de carga para pavimento flexible (ver anexo A-XXVI. Pág. XXVI), considerando una serviciabilidad final de 2.5 que es el valor que se recomienda para caminos muy importante y un coeficiente estructural de SN=5.

Tabla N° 9: Cálculo de Ejes Equivalente: (Tc=4.5%, ρ_0=4.2, ρ_t=2.5, SN=5)

Tipo de vehículo	Peso (ton-m)	Peso (Kips)	Tipo de eje	TD	Fact. ESAL's	ESAL's Diseño
Autos	1	2.2	Simple	1,477,127	0.00056	827
	1	2.2	Simple		0.00056	827
Jeep	1	2.2	Simple	463,749	0.00056	260
	1	2.2	Simple		0.00056	260
Cam.	1	2.2	Simple	1,471,402	0.00056	824
	2	4.4	Simple		0.0036	5297
Mc Bus < 15	2	4.4	Simple	183,210	0.0036	660
	4	8.8	Simple		0.556	101,865
Mc Bus 15-30	4	8.8	Simple	217,561	0.556	120,964
	8	17.6	Simple		0.9246	201,157
Bus	5	11	Simple	148,858	0.1385	20,617
	10	22	Simple		2.18	324,510
C2 Liv.	4	8.8	Simple	458,024	0.556	254,661
	8	17.6	Simple		0.9246	423,489
C2	5	11	Simple	509,552	0.1385	70,573
	10	22	Simple		2.18	1,110,823
C3	5	11	Simple	246,188	0.1385	34,097
	16.5	36.3	Doble		1.428	351,556
T2 - S2	5	11	Simple	68,704	0.1385	9,516
	9	19.8	Simple		1.459	100,239
	16	35.2	Doble		1.264	86,842
Total						3,219,864

Fuente: Elaboración propia.

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

ESAL o W18 = 3,219,864

3.1.2 Confiabilidad (R).

Se entiende por confiablidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportara satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el período de diseño.

La confiabilidad pretende incorporar algún grado de certidumbre al procedimiento de diseño, para asegurar que las diferentes alternativas de este se mantengan para el período de análisis. El factor de confiabilidad de diseño tiene en cuenta variaciones al azar tanto en las predicciones del tránsito como en las predicciones del comportamiento y por lo tanto proporciona un nivel predeterminado de confianza (R) en que los tramos del pavimento sobrevivirán al periodo para el cual fueron diseñados.[4]

Tabla N° 10: Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferente.

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 asume un valor de confiabilidad de **R=95%**, por estar en el rango propuesto por la AASHTO para la zona urbana y para tipo de colector.

[4] Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Alfonso Montejo Fonseca. Tercera Edición. Pág. 264.

3.1.3 Coeficiente de drenaje.

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

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje. El método deja en libertad al ingeniero de diseño para identificar cual nivel o calidad de drenaje se logra bajo una serie específica de condiciones de drenaje.

Tabla N° 11: Coeficientes de Drenaje para pavimentos flexibles

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

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

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

3.1.4 Desviación estándar.

Es la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito, teniendo en cuenta los errores en la predicción del mismo. Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a las predicciones futuras del tránsito.

Tabla N° 12: 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
	0.44 pavimento flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 pavimento rígido
	0.49 pavimento flexible

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

Para este estudio se asume un valor de **0.44** para una variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito

3.1.5 Propiedades de los materiales.

3.1.5.1 CBR de diseño.

Para la determinación de CBR de diseño nos basamos por medio de los resultados de ensayes de los bancos de materiales, debido a que el suelo existente en el tramo es variado (A-4(0), A-7-5 (13-18)), que son suelos de regular a malo para fundación clasificado por la AASHTO, además presentan CBR entre 6% y 13% a un próctor modificado al 95%.

Por lo tanto proponemos el material de banco " El Coyotepe", que es de tipo A-1-b(0) apto para un suelo de fundación con un CBR de 56% a un próctor modificado del 95%, además porque se encuentra localizado a 7 Km del área del proyecto, reduciendo los costos de transporte y movilización de maquinaria especializada.

3.1.5.2 Módulo resiliente (MR) y coeficiente estructural (a):

- **Subrasante.**

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.[5]

Esta propiedad caracteriza los materiales de la subrasante, a través de ensayos se han podido determinar que:

CBR < 10 $MR(PSI) = 1500 * CBR$ (Ecuación N° 7)

CBR > 20 $MR(PSI) = 4326 * LnCBR + 241$ (Ecuación N° 8)

Como se determinó que el CBR de la subrasante de la vía en estudio es de 56%, se utilizará la ecuación N° 8.

MR (PSI) = $4326 * Ln56 + 241$ = **17,654.7 PSI.**

3.1.5.3 Módulo resiliente de la base.

En función del CBR de la base (80% a un próctor modificado del 95%), se determinó el módulo resiliente de la base y su coeficiente estructural (a_2), por medio del nomograma de relación entre el coeficiente para base granular y distintos parámetros resistentes. (Ver anexo A–XXVIII. Pág.XXVIII)

Por lo tanto: $a_2 = 0.132$ y MR= 28 x 10^3 PSI.

[5] Libro de diseño para pavimento AASHTO 93. Tercera Edición. Página 93.

3.1.5.4 Módulo resillente de la sub-base.

El módulo resiliente de la sub-base y el numero estructural (a_3), se determinó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente para sub-base granular y distintos parámetros resistentes, en función del CBR de la sub-base (61.40% a un próctor modificado del 95%). (Ver anexo A–XXIX. Pág.XXIX).

Por lo tanto: $a_3 = 0.128$ y MR = 17.6×10^3 PSI.

3.1.5.5 Estabilidad Marshall.

Por medio del monograma de la estabilidad Marshall, se determina el coeficiente estructural de la carpeta de rodamiento (a_1) tomando como referencia los rangos del número ESAL´s para determinar el número Marshall, el cual es tomado de la siguiente tabla:

Tabla N° 13: Estabilidad Marshall.

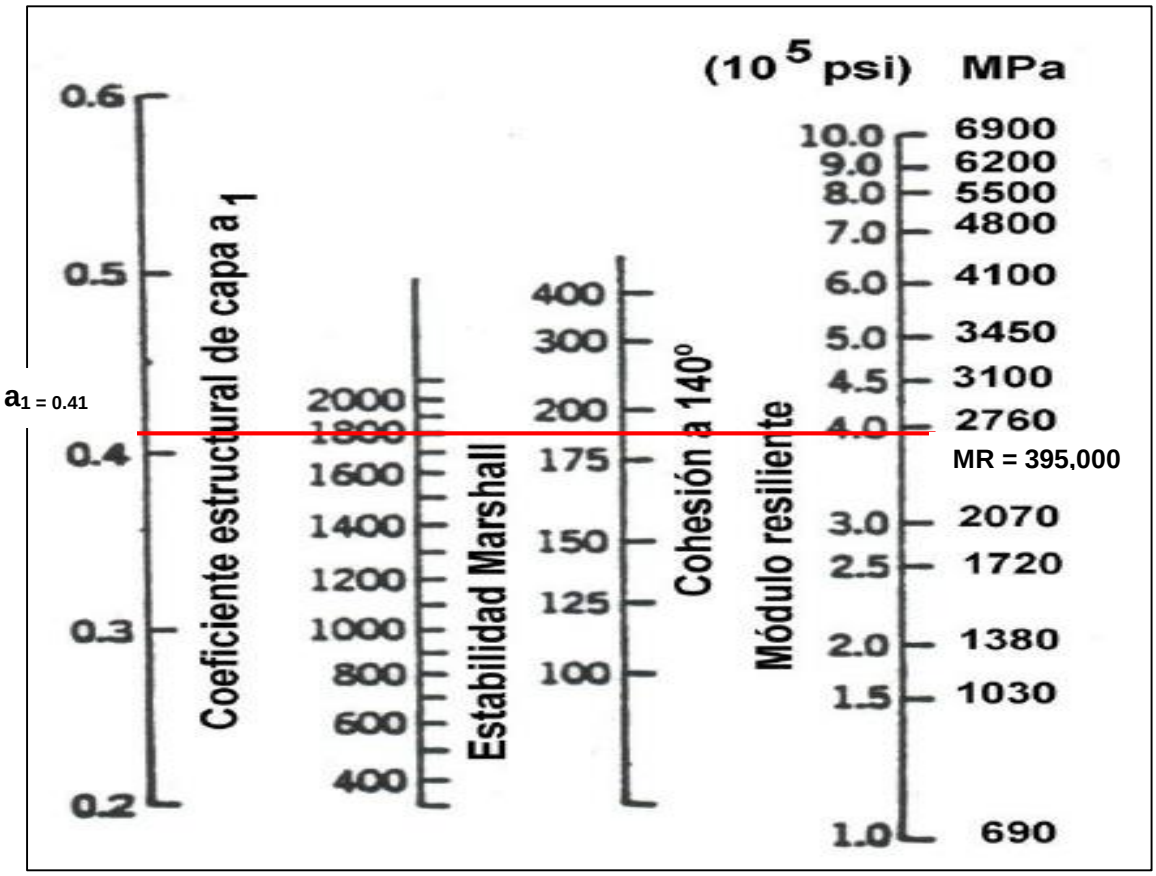
Estabilidad Marshall	Transito	Numero de ESAL´S
800	Ligero	< 100,000
1200	Medio	100,000 - 1,000,000
1800	**Pesado**	**> 1,000,000**

Fuente: Libro de diseño para pavimento AASHTO 93. Tercera Edición.

Donde nuestro número ESAL´s es **> 1,000,000** (3,219,864) obteniendo una estabilidad Marshall de **1,800**,dando como resultado de a_1 =0.41.

Imagen N° 4: Coeficientes estructurales para capas asfálticas relacionados con varios ensayos.

a_1 = 0.41 Estabilidad Marshall= 1800 MR = 3.95 x 10^5 psi



Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO 93. Página 110.

3.2 Determinación del número estructural (SN).

Por medio de las variables de diseño antes determinadas y calculadas, se procede a determinar el número estructural (SN) con respecto a cada capa por medio de la gráfica ábaco de diseño (ver anexo XXX. Pág.XXX).

Por lo tanto: SN1= 2.9, SN2= 3.44, SN3= 3.45.

3.3 Cálculo de los espesores de capa (D).

Una vez obtenido el número estructural SN, se requiere determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad soporte equivalente al número estructural de diseño mediante la siguiente ecuación, estas secciones son la superficie de rodamiento o carpeta asfáltica, base y sub-base, haciéndose notar que el actual método de AASHTO versión 1993, ya involucra coeficiente de drenaje para base y sub-base.

$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$ (Ecuación N° 9)

Ecuación del número estructural para la capa de rodamiento:

$SN_1 = a_1D_1$ (Ecuación N° 10)

Ecuación del número estructural para la capa base:

$SN_2 = a_2D_2m_2$ (Ecuación N° 11)

Ecuación del número estructural para la capa base:

$SN_3 = a_3D_3m_3$ (Ecuación N° 12)

Dónde:

- a_1, a_2 y a_3: Coeficiente de capa representativo de carpeta, base y sub-base respectivamente.
- D_1, D_2 y D_3: Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente en pulgadas.
- m_2 y m_3: Coeficiente de drenaje para la base y sub-base respectivamente.

A continuación se presentan los cálculos de SN.

- Carpeta de rodamiento:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.9}{0.41} = 7.07" \approx 7"$$

$$SN_1 = D_1 \times a_1 = 7" \times 0.41 = 2.87$$

- Base

$$SN_2 = SN_2 nomograma - SN_1 = 3.44 - 2.87 = 0.57$$

$$D_2 = \frac{SN_2}{m_2 \times a_2} = \frac{0.57}{1 \times 0.132} = 4.32"$$

Nota: se redondeó al valor mínimo de 6" que establece la AASHTO para capa base según el número ESAL's, a como se plasma en la siguiente tabla.

Tabla N° 14: Espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito.

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 pata diseño de pavimentos, AASHTO 93. Tercera Edición. Página 175.

$$SN2 = D2 \times 1 \times a2 = 6" \times 1 \times 0.132 = 0.792$$

- Sub-base:

$$SN_3 = SN_3 nomograma - (SN_1 c + SN_2 c) = 3.45 - (2.87 + 0.792) = -0.212$$

Luego de la realización de los cálculos de espesores se determinó que para la capa de sub-base se obtuvo un número estructural negativo, por lo tanto esta es considerada despreciada para nuestro diseño, el cual contara únicamente con la capa base y la carpeta de rodamiento o carpeta asfáltica.

Siendo estos los espesores de las capas resultantes para nuestra estructura de pavimento:

- Carpeta de rodamiento: $D_1 = 7"$
- Capa base: $D_2 = 6"$.

(Ver anexo XXXI. Pág. XXXI).

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

Luego de la obtención de información técnica, analizarla y procesarla para el desarrollo de los objetivos propuestos en este trabajo se concluye que:

1- De acuerdo a los resultados analizados en el estudio de suelos del tramo prevalecen a los primeros 0.20m de profundidad, suelos que varían desde A–4 hasta A–7–5, según la granulometría y clasificación de los suelos (AASHTO), estos cuentan con una alta presencia de material fino, por lo tanto estos suelos se desprecian y se propone sustituir la terracería del tramo en estudio por un material de banco el cual debe presentar condiciones óptimas para dicha función.

Por lo tanto se propone:

Material para terracería: Sustituirlos por un material de banco (El Coyotepe), el cual presenta condiciones óptimas para dicha función, siendo un suelo A-1-b(0) según AASHTO.

Material para Base: Será de la mezcla el Varillal y el Coyotepe**,** siendo un tipo de suelo A-1-a según su clasificación AASHTO, con respecto a su CBR, se obtuvo un 80% al próctor modificado de 95%, cumpliendo con las normas NIC-2000 siendo este el valor mínimo requerido.

2- El tránsito promedio diario anual tiene como resultado 1226 vehículos, los cuales 79.46% corresponde a vehículos livianos y el porcentaje restante son de vehículos pesado (20.54%), por lo tanto el estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos.

Dentro de los factores de diseño se encuentra la tasa de crecimiento vehicular, de crecimiento poblacional y del producto interno bruto, la considerada fue una tasa de 4.5% de diseño, proveniente de la tasa del PIB y del crecimiento vehicular nacional ya que conecta a sectores por medio de la circunvalación que

poseen una alta producción e incidencia turística de los sectores aledaños, obteniendo un tránsito de diseño 7,019,218 vehículos.

3- Para el cálculo de la estructura de pavimento se utilizó el método de la AASHTO – 93 de manera manual, por medio de las variables de diseño:

- ESAL´s= 3,219,864
- Índice de serviciabilidad ΔPSI= 1.7
- Confiabilidad R= 95%
- Desviación Estándar para pavimentos rígidos y flexibles Sc= 0.44
- MR subrasante= 17,654.7 PSI
- MR base= 28 x 10^3 PSI
- MR sub= 17.6 x 10^3 PSI

Por medio de ello se obtuvo que los espesores de cada capa de la estructura de pavimento son:

- Una capa de rodadura de 7 plg.
- Una capa de base de 6 plg.

RECOMENDACIONES.

1. Garantizar que la mezcla de los materiales de los bancos de préstamos se encuentre libre de cualquier agente contaminante.

2. Verificar las proporciones indicadas del material homogenizado para obtener los resultados esperados, es decir, que cumpla con la resistencia para la cual se ha diseñado.

3. Para el proceso de compactación, suele hacerse construyendo y compactando en el campo un terraplén de prueba con el suelo a usar, en el que se observa el número de veces que debe pasar el equipo correspondiente y el espesor de la capa de los suelos depositados para compactar.

4. Establecer medidas de control para la circulación vehicular sobre el tramo en estudio, para evitar que vehículos fuera de diseño (Exceda el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.

5. Para garantizar el buen funcionamiento y duración de vida útil de la capeta y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.

6. Los taludes deberán ser protegidos contra erosión, derrumbes, infiltración de agua que provoca saturación en la capas de la estructura. Una práctica muy usual es la colocación de pasto en los taludes.

7. Se recomienda realizar un estudio geométrico al tramo, que permita mayor ancho de carril debido a que actualmente circulan vehículos pesados.

GLOSARIO.

A

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

ABSORCIÓN: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

ADOQUÍN: Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

ADOQUINADO: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AGREGADO BIEN GRADUADO: Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral y que se encuentra centrado a una curva granulométrica especificada.

AGREGADO FINO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

AGREGADO GRUESO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

ALTITUD: Altura o distancia vertical de un punto superficial del terreno respecto al nivel del mar. Generalmente se identifica con la sigla “msnm” (metros sobre el nivel del mar).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material ô la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 µm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

ARENA: Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.

B

BANCO DE MATERIALES: Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor ô menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

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

C

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

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

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

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

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

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO: Es el contenido de humedad al cual un suelo O material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar O modificado.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente.

E

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

ESTUDIO DE SUELOS: Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de

gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de carga.

F

FINOS: Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla Nº 200 (0,074 mm).

FLUJO DE TRÁNSITO: Movimiento de vehículos que se desplazan por una sección dada de una vía, en un tiempo determinado.

G

GRANULOMETRÍA: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

GRAVA: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

I

IMPERMEABILIDAD: Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

INFRAESTRUCTURA VIAL DE CARRETERAS: Toda carretera que conforma o no el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

J

JUNTA: Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientes.

L

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

LIMOS: Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

M

MALLA: Abertura cuadrada de un tamiz.

MANTENIMIENTO VIAL: Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

MÓDULO RESILIENTE (Suelos): Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

MUESTRAS DE CAMPO: Materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos establecidos.

MUESTREO: Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.

N

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

P

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub-base, base y rodadura.

PAVIMENTO FLEXIBLE: Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

S

SUBBASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

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

SUELO ARCILLOSO: Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELO ARENOSO: Conformado por arena o con predominancia de ésta. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELOS INALTERADOS (No disturbados): Generalmente son cohesivos que conservan su estructura y humedad.

T

TALUD: Inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes.

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

TRAMO: Parte continúa de una carretera.

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

V

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

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

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

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

VÍA: Camino, arteria o calle.

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

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

ABREVIATURAS.

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

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

CBR: California Bearing Ratio.

CORASCO: Corea y Asociados S.A.

CREC: Crecimiento.

ESAL: Ejes de Cargas Estándar Equivalentes.

FC= Factor de Crecimiento

FD= Factor de Distribución Direccional

fc= Factor Carril

GC: Grava arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

MTI: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

MR= Módulo resiliente.

M1: Muestra 1.

M2: Muestra 2.

NP: No Plástico.

N°: Número.

PIB: Producto Interno Bruto.

PSI= Libras por pulgada cuadrada.

SC: Arena arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

SN= Coeficiente estructural.

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

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

TP: Tránsito Promedio.

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

VA= Vehículos agrícolas.

VPD: Vehículos por día

Bibliografía.

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO - 93).

2. Anuario de Aforos de Trafico MTI 2008.

3. Documentos de Internet: www.bcn.gob.ni (Banco Central de Nicaragua), www.inide.gob.ni (Instituto Nacional de Información de Desarrollo – INIDE de Nicaragua), www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MASAYA (Ficha Técnica de la ciudad de Masaya).

4. Especificaciones Técnicas Nic -2000.

5. Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos 2002. (SIECA).

6. Ministerio de transporte e infraestructura “Manual para Revisión Estudios de Transito”