

Facultad de Tecnología de la Construcción

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO ACHUAPA – COMARCA EL RODEITO, APLICANDO EL METODO AASHTO- 93”.

Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. José Ángel
Ortez Cornejo
Carnet: 2018-
0162N

Br. Ana Francis
Quintana García
Carnet: 2018-0218N

Tutor:

Dr. Sergio Junior
Navarro Hudiel

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres y demás familiares que fueron parte del proceso de formación agradeciéndoles infinitamente todo el esfuerzo que hicieron para que podamos salir adelante.

A el Dr. Sergio Navarro que fue nuestro tutor y nos dedicó tiempo y apoyo para poder cumplir con el objetivo propuesto.

A todos los demás docentes que fueron parte de nuestra formación académica y que nos formaron con carácter y sabiduría para poder enfrentar los obstáculos que se nos puedan presentar en nuestra vida profesional.

Br. Ana Francis Quintana García

Br. Jose Angel Ortez Cornejo

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la sabiduría, el entendimiento y salud para poder finalizar cada una de las etapas de mi formación académica, por ayudarme a superar los obstáculos en el transcurso de esta etapa y mantenerme enfocada en mis metas lo que me permitió llegar hasta aquí.

A mi madre mujer ejemplar por ser mi apoyo incondicional, por ser pilar de mi formación personal y académica, gracias a sus consejos y oraciones que no me permitieron darme por vencida en este proceso y me impulsan cada día para ser una mejor persona.

A mi padre persona intachable, de valores que me ha dado su apoyo incondicional en mi formación personal y académica, con amor y paciencia me acompañó en cada etapa de este proceso siendo su presencia pilar fundamental para llegar hasta aquí.

A mis hermanos que siempre han sido para mí ejemplo de superación y por lo tanto son mis ejemplos a seguir, por brindarme su apoyo moral y demostrarme que creen en mí.

Br. Ana Francis Quintana García

DEDICATORIA

El presente trabajo monográfico se lo dedico primeramente a Dios todo poderoso a la Virgencita del Carmen y San Judas que me han guiado por el buen camino brindándonos sabiduría y paciencia para poder lograrlo.

A mis padres Fanny Cornejo y Fernando Ortez que fueron pilares esenciales en mi desarrollo personal y profesional; que me apoyaron desde el primer día para poder lograr mis metas.

A mis abuelos que siempre fueron un ejemplo de superación para mí y modelos a seguir en honradez y trabajo duro, educándome en la fe del señor y con los valores que hoy me definen como persona.

A todas mis tías que siempre me apoyaron y me dieron ánimos, consejos para lograr ser una persona con buenos valores.

Br. Jose Angel Ortez Cornejo

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se propone el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado aplicando el método de la AASHTO-93, para el tramo de carretera de 2 kilómetros ubicado en el municipio de Achuapa departamento de León.

En el **capítulo I generalidades** se muestran las generalidades del estudio como la ubicación del proyecto los antecedentes del lugar

En el **capítulo II estudio topográfico** se detalla el proceso del levantamiento topográfico haciendo uso de la estación total (modelo Leica TS-06) donde se describe el proceso para la georreferenciación para poder dar inicio al levantamiento y la medición de la línea base también se muestran las características del terreno obtenidas del levantamiento como sus curvas de nivel, las pendientes del terreno.

En el **capítulo III estudio de tránsito** se describe el estudio de tránsito en el cual se realizó un aforo vehicular en la estación 0+500 haciendo uso del formato de conteo basado en los anuarios de tráfico del 2020, con dichos datos del aforo se hizo el cálculo del TPDA donde se utilizaron los factores de ajuste que se encuentran en el anuario de tráfico, luego se hizo el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular tomando en cuenta las variables para dicho calculo producto interno bruto (PIB), crecimiento poblacional (POB) y por último se realizó el cálculo de la carga de ejes equivalentes que estarán afectando al tramo.

En el **capítulo IV estudio de suelos** se muestran los resultados de los ensayos de suelos realizados a las muestras obtenidas de sondeos manuales que se realizaron cada 500 metros a 1.5 metros de profundidad y evaluando dichos resultados con la norma NIC 2000.

En el **capítulo V diseño geométrico** se muestran los resultados del diseño geométrico haciendo uso del software Civil 3D, tanto el trazado en planta como el de perfil así como todos los componentes de cada trazado y haciendo los cálculos manuales los cuales se comparan con los resultados generados en Civil

3D, tomando como base la norma centroamericana para el diseño geométrico de carreteras (SIECA, 2011).

En el **capítulo VI diseño de pavimento** se describe el proceso para el cálculo de los espesores que componen el paquete estructural del tramo empleando el método AASHTO-93 donde se hicieron uso de los ábacos y nomogramas correspondientes para el diseño de pavimento articulado.

Y por último en el **capítulo VII conclusiones y recomendaciones** se muestran las recomendaciones y conclusiones que se deben de tomar en cuenta para el proceso del diseño y la etapa constructiva.

CONTENIDO

CAPITULO I. GENERALIDADES.....	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Localización del tramo.....	2
1.2.1 Macro Localización	2
1.2.2 Micro Localización.....	2
1.3 Antecedentes	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 General	5
1.5.2 Específicos.....	5
CAPÍTULO II. ESTUDIO TOPOGRÁFICO	
2.1 Generalidades	7
2.2 Metodología.....	7
2.3 Trabajo de campo	7
2.3.1 Levantamiento topográfico.....	7
2.3.2 Equipo utilizado.....	8
2.3.3 Proceso de georreferenciación.....	8
2.3.4 Medición de la línea base	9
2.3.5 Ubicación de BM sobre la línea	10
2.3.6 Seccionamiento del camino	11
2.3.7 Sección transversal.....	11
2.4 Procesamiento de datos	12
2.4.1 Pendiente	12

2.4.2 Tipo de terreno.....	13
2.4.3 Curvas de nivel	13
CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TRÁNSITO	
3.1 Generalidades	15
3.2 Metodología.....	15
3.3 Estación del aforo vehicular	15
3.4 Aforo vehicular	16
3.5 Transito promedio diario (TPD).....	18
3.6 Vector geográfico	19
3.7 Estaciones de mayor cobertura (EMC).....	19
3.8 Factores de ajuste.....	20
3.9 Transito promedio diario anual (TPDA)	21
3.9.1 Composición vehicular.....	23
3.10 Proyección del trafico	23
3.10.1 Tasas de crecimiento (TC).....	23
3.10.2 Crecimiento del TPDA	24
3.10.3 Producto Interno Bruto (PIB).....	25
3.10.4 Crecimiento poblacional.....	26
3.10.5 Consumo de hidrocarburos.....	27
3.10.6 Resumen tasas de crecimiento	28
3.10.6 Crecimiento vehicular	29
3.11 Tránsito de diseño.....	29
3.11.1 Tipo de carretera.....	29
3.11.2 Periodo de diseño	29
3.11.3 Factor direccional (LD).....	30

3.11.4	Factor de distribución de carril (LC).....	30
3.11.5	Factor de crecimiento	31
3.11.6	Calculo del tránsito de diseño.....	31
3.12	ESAL's.....	32
3.12.1	Factor de equivalencia (FESAL).....	32
3.12.2	Calculo de Esal	34
CAPITULO IV. ESTUDIO DE SUELOS.....		
4.1	Generalidades	37
4.2	Metodología.....	37
4.2.1	Principales tipos de suelos	37
4.3	Ubicación sondeos	38
4.4	Trabajo de campo	38
4.4.1	Condiciones actuales del tramo.....	38
4.4.2	Sondeos manuales sobre la línea	39
4.5	Ensayes de laboratorio.....	39
4.5.1	Análisis granulométrico.....	39
4.5.2	Límites de Atterberg.....	41
4.5.3	Estatigrafía del suelo	42
4.5.4	Clasificación de suelos	45
4.5.5	Proctor estándar.....	46
4.6	C.B. R de la subrasante	47
4.6.1	Valores promedios de CBR	48
4.6.2	Percentil de diseño	48
4.6.3	CBR de diseño	49
4.7	Resultados de los ensayes de los Bancos	49

4.7.1 Banco de material Cerro La Pila	49
4.7.2 Ensayes Banco de material	50
4.7.3 C.B. R del Banco de material.....	51
4.8 Evaluación banco de material	51
4.9 Usos de los tipos de suelos	52
CAPITULO V: DISEÑO GEOMETRICO.....	
5.1 Generalidades	54
5.2 Trazado en planta	54
5.2.1 Clasificación del terreno.....	54
5.2.2 Velocidad de diseño.....	54
5.2.3 Vehículo de diseño	56
5.2.4 Ancho de carril	56
5.2.5 Hombros.....	56
5.2.6 Tasa de sobre elevación o peralte.....	56
5.2.7 Bombeo.....	57
5.2.8 Factor de fricción lateral.....	58
5.2.9 Radio de curvatura.....	58
5.2.10 Grado de curvatura	59
5.2.11 Sobreanchos en curvas	59
5.2.12 Tangente máxima	61
5.2.13 Curvas circulares simples	61
5.3 Trazado en perfil	66
5.3.1 Pendiente máxima	66
5.3.2 Curvas verticales.....	67
CAPITULO VI. DISEÑO DE PAVIMENTO	

6.1 Generalidades	71
6.2 Superficie de rodadura pavimento articulado	71
6.2.1 Cama de arena	71
6.3 Espesores mínimos.....	71
6.3.1 Subbase	71
6.3.2 Base	72
6.3 Periodo de diseño	72
6.4 Método de la AASHTO-93	72
6.4.1 Numero de cargas equivalentes (ESAL´s)	73
6.4.2 Confiabilidad	73
6.4.3 Desviación estándar	74
6.4.4 Serviciabilidad	75
6.4.5 Modulo de resiliencia	76
6.5 Coeficientes estructurales.....	76
6.5.1 Coeficiente estructural (a1) carpeta de rodamiento	76
6.5.2 Coeficiente estructural (a2) para base.....	77
6.5.3 Coeficiente estructural (a3) subbase	79
6.5.4 Resumen de resultados obtenidos coeficientes estructurales	79
6.6 Números estructurales	80
6.6.1 SN3 (Subbase).....	80
6.6.2 SN2 (base)	81
6.7 Diseño de espesores.....	82
6.7.1 Espesor capa de rodamiento	82
6.7.2 Espesor de la base	83
6.7.3 Espesor subbase	83

6.7.3 Resumen de espesores obtenidos	84
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	
7.1 Conclusiones.....	86
7.2 Recomendaciones.....	88
VIII. BIBLIOGRAFIA	
IX. ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Puntos de partida	8
Tabla 2 Puntos de la línea base.....	9
Tabla 3 Transito promedio diario.	18
Tabla 4 Vector geográfico	19
Tabla 5 Estación de mayor cobertura	20
Tabla 6 Factores de ajuste.....	21
Tabla 7 Calculo del tránsito promedio diario anual.....	22
Tabla 8 Tasas de crecimiento	25
Tabla 9 Tasa de crecimiento del producto interno bruto	26
Tabla 10 Tasa de crecimiento poblacional	27
Tabla 11 Tasa de crecimiento de hidrocarburos.....	28
Tabla 12 Resumen tasas de crecimiento.....	28
Tabla 13 Período de diseño	29
Tabla 14 Factor direccional.....	30
Tabla 15 Factor de distribución.....	30
Tabla 16 Transito de diseño.....	32
Tabla 17 Pesos permitidos por ejes.....	33
Tabla 18 Valores FESAL interpolados para los diferentes tipos de ejes.....	34
Tabla 19 Resultados ESAL de diseño	35
Tabla 20 Ensayos realizados	39
Tabla 21 Granulometría	40
Tabla 22 Resumen límites de Atterberg.....	42
Tabla 23 Clasificación de suelo	45
Tabla 24 Descripción de los tipos de suelos.....	46
Tabla 25 Resultados proctor estándar	47
Tabla 26 Valores de CBR obtenidos.....	47
Tabla 27 Porcentaje de valores iguales o mayores	48
Tabla 28 Percentil de diseño.....	48
Tabla 29 Resultados ensayos banco de material.....	50
Tabla 30 Resultados CBR banco de material.....	51

Tabla 31 Especificaciones a cumplir.....	52
Tabla 32 Elementos de diseño geométrico para carreteras regionales	54
Tabla 33 Tasa de sobre elevación	57
Tabla 34 Pendiente transversal o bombeo	57
Tabla 35 Valores para diseño	58
Tabla 36 Sobreanchos en curvas	60
Tabla 37 Elementos de curvas horizontales	65
Tabla 38 Pendientes máximas para carreteras colectoras rurales.....	66
Tabla 39 Elementos de curvas verticales	69
Tabla 40 Valores de confiabilidad	73
Tabla 41 Valores ZR	74
Tabla 42 Desviación estándar.....	74
Tabla 43 Niveles de serviciabilidad.....	75
Tabla 44 Coeficientes estructurales obtenidos	79
Tabla 45 Variables para SN3	80
Tabla 46 Variables para el uso de ábaco SN2	81
Tabla 47 Espesores obtenidos.....	84
Tabla 48 Puntos exportados de la estación total	III
Tabla 49 Formato utilizado para el aforo	VII
Tabla 50 Factores equivalencia de carga, eje simple.....	VIII
Tabla 51 Resultado análisis granulométrico S1-M1	IX
Tabla 52 Resultado análisis granulométrico S1-M2	X
Tabla 53 Resultado análisis granulométrico S2-M1	XI
Tabla 54 Resultado análisis granulométrico S2-M2	XII
Tabla 55 Resultado análisis granulométrico S3-M1	XIII
Tabla 56 Resultado análisis granulométrico S3-M2	XIV
Tabla 57 Resultado análisis granulométrico S4-M1	XV
Tabla 58 Resultado análisis granulométrico S4-M2	XVI
Tabla 59 Resultado análisis granulométrico S5-M1	XVII
Tabla 60 Resultado análisis granulométrico S5-M2	XVIII
Tabla 61 Resultados ensaye límites de Atterberg S1-M1	XIX

Tabla 62 Resultados ensaye límites de Atterberg S1-M2	XIX
Tabla 63 Resultados ensaye límites de Atterberg S2-M2	XIX
Tabla 64 Resultados ensaye límites de Atterberg S2-M1	XX
Tabla 65 Resultados ensaye límites de Atterberg S3-M1	XXI
Tabla 66 Resultados ensaye límites de Atterberg S3-M2	XXI
Tabla 67 Resultados ensaye límites de Atterberg S4-M1	XXII
Tabla 68 Resultados ensaye límites de Atterberg S4-M2	XXII
Tabla 69 Resultados ensaye límites de Atterberg S5-M1	XXII
Tabla 70 Resultados ensaye límites de Atterberg S5-M2	XXIII
Tabla 71 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-6 (0)	XXIV
Tabla 72 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-7 (1)	XXV
Tabla 73 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-4 (0)	XXVI
Tabla 74 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-7-6 (7)	XXVII
Tabla 75 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-4 (0)	XXVIII
Tabla 76 Clasificación funcional según TPDA	XXIX
Tabla 77 Resultados aforo día Lunes	XXX
Tabla 78 Resultados aforo día martes	XXXI
Tabla 79 Resultados aforo día miércoles.....	XXXII
Tabla 80 Resultados aforo día jueves.....	XXXIII
Tabla 81 Resultados aforo día viernes	XXXIV
Tabla 82 Resultados aforo día sábado	XXXV
Tabla 83 Resultados aforo día domingo	XXXVI

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Macro localización del tramo Achuapa – El Rodeíto.....	2
Ilustración 2 Micro localización del tramo Achuapa – El Rodeíto.....	2
Ilustración 3 Ubicación de BM.....	10
Ilustración 5 Análisis de taludes del terreno natural Error! Marcador no definido.	
Ilustración 6 Curvas de nivel	13
Ilustración 7 Estación de aforo.....	16
Ilustración 9 Ubicación sondeos manuales.....	38
Ilustración 10 Estatigrafía del suelo	43
Ilustración 11 Dimensiones vehículo de diseño.....	56
Ilustración 12 Elementos curvas circulares simples	62
Ilustración 13 Coeficiente estructural a1	77
Ilustración 14 Coeficiente estructural a2.....	78
Ilustración 15 Coeficiente estructural a3.....	79
Ilustración 16 Interpolación numero estructural SN3.....	81
Ilustración 17 Interpolación número estructural SN2.....	82
Ilustración 18 Estación utilizada para el levantamiento topográfico	II
Ilustración 19 Levantamiento topográfico	II
Ilustración 20 Establecimientos de puntos de control.....	II
Ilustración 21 Conteo vehicular Est. 0+500	V
Ilustración 22 Tipos de vehículos de carga y sus dimensiones.....	VI

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1 Composición aforo vehicular	18
Grafico 2 Composición TPDA	23
Grafico 3 CBR de diseño.....	49
Grafico 4 Curva granulométrica S1-M1.....	IX
Grafico 5 Curva granulométrica S1-M2.....	XI
Grafico 6 Curva granulométrica S2-M2.....	XII
Grafico 7 Curva granulométrica S3-M1.....	XIII
Grafico 8 Curva granulométrica S3-M2.....	XIV
Grafico 9 Curva granulométrica S4-M1.....	XV
Grafico 10 Curva granulométrica S4-M2	XVI
Grafico 11 Curva granulométrica S5-M1	XVII
Grafico 12 Curva granulométrica S5-M2	XVIII



CAPITULO I.

GENERALIDADES



1.1 Introducción

En Nicaragua, en los últimos años la construcción de nuevas carreteras ha sido un avance que ha venido creciendo exponencialmente y esto ha dado paso a un desarrollo económico, social y cultural de las personas en cada rincón del país brindando seguridad vial con carreteras que están hechas con una buena ejecución.

Se realizó el diseño geométrico y estructura de pavimento para el tramo que se encuentra ubicado en el municipio de Achuapa el cual conecta con la comarca el rodeito, tomando como referencia el manual centroamericano para el diseño de carreteras SIECA 2011 y el manual centroamericano para el diseño de pavimentos.

Para lograr cumplir los alcances de dicho trabajo monográfico, primeramente, se realizó el levantamiento topográfico y los resultados del levantamiento se muestran en el capítulo II, así como algunas características del terreno y los procesos que se llevaron para poder realizar dicho levantamiento.

En el estudio de tránsito que se muestra en el capítulo III, se obtuvieron las cargas equivalentes de diseño (ESAL's) y tránsito de diseño mediante el cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA) y posteriormente la tasa de crecimiento vehicular.

Uno de los aspectos importante para el diseño de pavimentos es el estudio de suelos, dicho estudio se encuentra en el capítulo IV, donde se encontró mediante análisis de laboratorios aplicando la metodología AAHSTO (T-88, T-89, T-90, T-99, T-93); y se conocieron los diferentes tipos de suelo que conforman el suelo del tramo en estudio.

En el capítulo V se muestra el resultado del diseño geométrico que se realizó con ayuda del programa Civil 3D donde se obtuvieron las curvas circulares y verticales que se diseñaron y posteriormente la obtención de los planos del diseño.

Y, por último, en el capítulo VI se calcularon los espesores de todas las capas que conforman la carretera mediante el método AASHTO-93.

1.2 Localización del tramo

El tramo de carretera está ubicado en el municipio de Achuapa departamento de León, el cual inicia en las coordenadas 13° 03' 16.7" N, 86° 35' 5.1" W y finaliza en 13° 03' 36.7" N, 86° 34' 12.2" W, el tramo en estudio es de 2 km.

1.2.1 Macro Localización

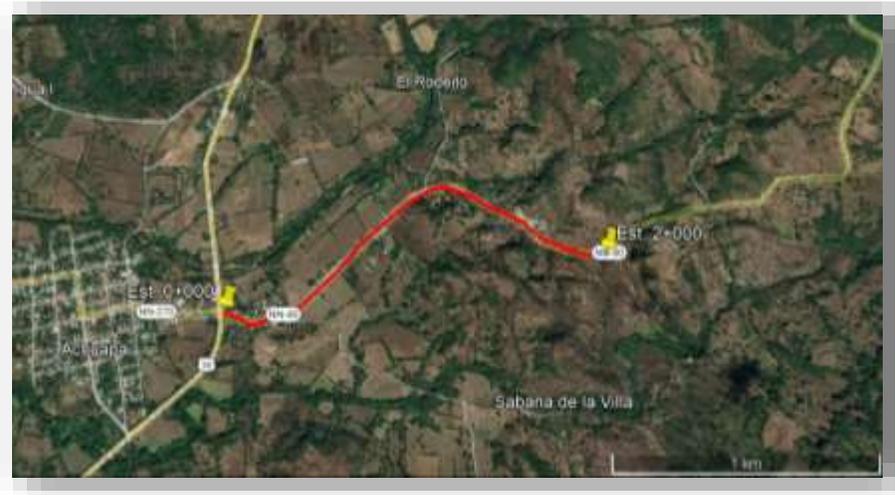
Ilustración 1 Macro localización del tramo Achuapa – El Rodeíto



Fuente: <https://earth.google.com/web/@13.05215219,86.56305321,6333.76089881a,0d,35y,0.3524h,7.5297t,359.9987r?>

1.2.2 Micro Localización

Ilustración 2 Micro localización del tramo Achuapa – El Rodeíto



Fuente: Elaboración propia

1.3 Antecedentes

“La carretera en estudio fue creada en los años 1985 y 1986 con el fin de unirla con la carretera que va de El sauce a Estelí”. (Osorio Pérez , 2015, pág. 40)

Acorde con Osorio Pérez (2015) la red de intercomunicación en el municipio de Achuapa está formada por distintos caminos principales (carretera de macadam) como la que comunica a Achuapa con Rio Grande y El Sauce, construida a inicios de la década de 1970 y adoquinada en el año 2011. Existe también otra carretera importante en el municipio que comunica a Achuapa con San Juan de Limay, esta fue la vía de conexión entre occidente y el norte, construida también en la década de 1970.

En el año 2011, por gestiones del Ministerio de Transporte e Infraestructura y la Alcaldía Municipal de Achuapa, se propuso la construcción del tramo carretero, sin embargo, no se pudo concretar por falta de fondos. (Quintana , 2022)

En el año 2018 la Alcaldía Municipal de Achuapa, realizó el revestimiento de concreto a las pendientes más pronunciadas del tramo, con el objetivo de que se contrarresten los problemas de movilización en las épocas de invierno. (Quintana , 2022)

En el año 2020 la Alcaldía Municipal de Achuapa, realizó el mantenimiento anual del tramo, aplicándole material selecto, pero cabe destacar que con el paso de los huracanes que afectaron al país en dicho año, acorde a pobladores de la zona y la información brindada por (Quintana , 2022) el tramo quedó intransitable por las fuertes precipitaciones y la falta de drenaje.

1.4 Justificación

El tramo de carretera es importante para todos los pobladores de la zona, porque esta ruta es la más corta para poder llegar a la ciudad de Estelí desde el municipio de Achuapa, ya que la ciudad de Estelí es una ciudad llamativa por su sector comercial donde todos los comerciantes de los municipios cercanos incluyendo a los del municipio de Achuapa llegan a vender sus productos.

También cabe resaltar que el turismo a nivel nacional está creciendo exponencialmente siendo esto un gran aporte a la economía nacional y esto va de la mano con las carreteras y la interconexión a nivel departamental y municipal, es por esto que se requiere que todas las carreteras sean de fácil acceso y cómodas para cualquier tipo de usuario.

Toda la población y usuarios del sistema de transporte en general se beneficiarán, pero, el sector con más beneficios será el sector del comercio ya que, para ellos es más factible viajar a la ciudad de Estelí para abastecer sus negocios que viajar hasta León su cabecera departamental todo esto por las distancias y tiempo de recorrido.

El impacto económico que se generará gracias a la obra será de gran ayuda para los habitantes de la zona porque ellos podrían aportar la mano de obra no especializada.

También se reducirán las emisiones de polvos generadas a lo largo del tramo y por último los terrenos de la zona aumentan su plusvalía al contar con una carretera en buenas condiciones.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

- Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo Achuapa – comarca el Rodeíto (estación 0+000 – 2+000), aplicando el método AASHTO 93.

1.5.2 Específicos

- Efectuar el levantamiento topográfico haciendo uso de estación total del tramo Achuapa – comarca el Rodeíto para la determinación de las características del terreno.
- Realizar un estudio de tránsito a través de un aforo vehicular para la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la cantidad de ejes equivalentes (ESAL).
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo y de los bancos de materiales, mediante la realización de estudio de suelo, aplicando la norma NIC 2019 y el manual de revisión de estudios de suelos del MTI.
- Diseñar geoméricamente el tramo Achuapa – comarca el Rodeíto, brindando seguridad vial y confort durante su vida útil, aplicando las normas SIECA 2011, mediante el uso del software Civil 3D.
- Calcular los espesores de la estructura de pavimento, aplicando el método AASHTO – 93.

CAPÍTULO II.

ESTUDIO TOPOGRÁFICO



2.1 Generalidades

El levantamiento topográfico se puede definir como el conjunto de operaciones de medios puestos en práctica para determinar las posiciones de los puntos del terreno y su representación en un plano este se extiende sobre una porción relativa pequeña de la superficie de la Tierra que, sin error apreciable, se considera como si fuera plana (García, 1994).

En el presente capítulo se muestra a detalle el proceso del levantamiento topográfico usando estación total y GPS de precisión tomando como referencia el manual de revisiones para levantamientos topográficos del MTI; y los resultados obtenidos de dicho levantamiento.

2.2 Metodología

Para realizar el levantamiento topográfico se hizo uso del manual de revisiones de levantamiento topográfico del MTI; el levantamiento fue realizado en un total de 4 días haciendo uso de estación total, para poder dar inicio al levantamiento se colocaron los BM sobre la línea haciendo uso de GPS en lugares estratégicos para que no fuesen movidos o dañados; cuando se colocaron todos los puntos se dio inicio con el proceso de seccionamiento del camino realizando estacionamientos a cada 20 metros en tramos cortos y 5 metros en curvas, tomando todos los desniveles que se encontraban en la línea.

2.3 Trabajo de campo

2.3.1 Levantamiento topográfico

Para el levantamiento que se realizó se hizo uso de la nivelación compuesta, aquí se hace uso de los puntos de control o BM's que se utilizan para trasladar el equipo a otro punto más adelante para poder seguir con el levantamiento, haciendo una vista hacia atrás con el equipo estacionado en el nuevo punto al punto donde estaba estacionado previamente.

2.3.2 Equipo utilizado

- Estación Total
- GPS de precisión
- Cinta
- Prisma

2.3.3 Proceso de georreferenciación

La georreferenciación se basa en que el levantamiento que se está realizando sea ubicado en el espacio mediante el uso de coordenadas geográficas (UTM).

Al momento de dar inicio se facilitó una coordenada inicial de la esquina de un negocio local georreferenciada por el sistema de coordenadas del Instituto nicaragüense de estudios territoriales (Ineter) a la cual se enraza; también se hizo uso del GPS de precisión dejándolo en el punto durante 30 minutos; ya que solo contábamos con poco tiempo con el préstamo del GPS de precisión, para tomar la coordenada del punto donde estaba estacionado el equipo, para poder dar comienzo con el levantamiento. Dichas coordenadas son mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1 Puntos de partida

Referencia para inicio			
Descripción	Este	Norte	Elevación
Esquina	545032.6403	1443203.668	309.93
Estacionamiento 1	545042.730	14433226.80	309.00
Est 0+000	545049.90	1443214.8	310.38
Est 2+008	546552.26	1443992.581	340.501

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para el proceso de georreferenciación en el tramo de estudio se colocaron dos bancos de nivel uno ubicado en la estación 0+000 y el otro ubicado en la estación 2+008, haciendo uso del GPS de precisión durante 30 minutos, los cuales se colocaron de forma que no puedan ser dañados o movidos de su punto

inicial referenciados a los postes de luz existentes para encontrarlos con facilidad y para poder usarlos como puntos de control en un futuro, los puntos están reflejados en la tabla de puntos de la línea base.

Dicho proceso se muestra en la ilustración 20 (Ver anexos, pág. II.)

2.3.4 Medición de la línea base

Para constituir los puntos de la línea base se tomaron en cuenta las siguientes características descritas en el manual de revisiones para levantamientos topográficos:

- Distancia máxima entre punto y punto: 400 m.
- Deberán ubicarse en sitios seguros en que no estén expuestos a ser destruidos o dañados de una u otra forma.
- Deberán ser referenciados y rotulados a un mínimo de tres (3) referencias de objetos fijos dentro del área de estudio.
- Visibilidad entre puntos y sin interferencias electromagnéticas.

En el levantamiento que se realizó se colocaron un total de 19 puntos colocándose fuera de la carretera en sitios estratégicos para que no sean destruidos estos fueron colocados con fichas en terreno que sea difícil su extracción ya que no se pudo recurrir a los mojones por falta de presupuesto cumpliendo así con las demás características descritas anteriormente; los 19 BM fueron utilizados posteriormente como puntos de cambio cuando se efectuó el seccionamiento de la carretera. Dichos puntos son mostrados en la tabla 2.

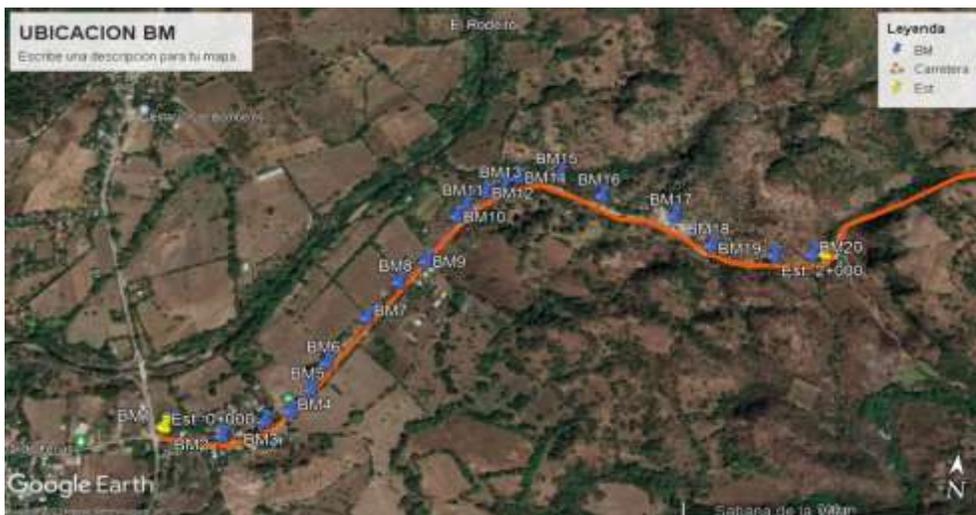
Tabla 2 Puntos de la línea base

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Ubicación de BM sobre la línea

Coordenadas BM					
Punto	Este	Norte	Elevación	Cód.	Descripción
0+000	545049.90	1443214.8	310.38	E1	Inicio
BM2	545128.715	1443206.416	310.33	E2	Banco nivel 2
BM3	545219.42	1443237.81	313.63	E3	Banco nivel 3
BM4	545293.55	1443289.022	314.16	E4	Banco nivel 4
BM5	545332.555	1443341.045	314.45	E5	Banco nivel 5
BM6	545356.029	1443381.506	314.96	E6	Banco nivel 6
BM7	545380.659	1443457.148	315.21	E7	Banco nivel 7
BM8	545446.752	1443590.633	315.87	E7	Banco nivel 8
BM9	545527.189	1443735.175	317.27	E8	Banco nivel 9
BM10	545607.893	1443907.916	324.74	E9	Banco nivel 10
BM11	545622.451	1443941.754	321.49	E10	Banco nivel 11
BM12	545686.877	1444004.484	317.93	E11	Banco nivel 12
BM13	545933.224	1444029.199	329.71	E12	Banco nivel 13
BM14	546007.385	1444019.224	332.06	E13	Banco nivel 14
BM15	546010.315	1444017.355	332.08	E14	Banco nivel 15
BM16	546090.274	1444010.134	334.37	E15	Banco nivel 16
BM17	546170.782	1443980.763	339.78	E16	Banco nivel 17
BM18	546217.668	1443942.278	346.67	E17	Banco nivel 18
BM19	546316.158	1443932.664	346.4	E18	Banco nivel 19
BM20	546497.119	1443960.976	339.36	E19	Banco nivel 20
2+008	546552.276	1443992.581	340.501	E20	Final

Ilustración 3 Ubicación de BM



Fuente:

Elaboración propia

2.3.6 Seccionamiento del camino

Para este proceso se hizo acorde a la metodología descrita en el manual de revisiones para levantamientos topográficos del MTI

Acorde a el manual de revisiones para levantamientos topográficos del MTI deberán de comprenderse las siguientes características:

- El ancho del seccionamiento deberá corresponder al derecho de vía existente.
- El ancho del seccionamiento deberá corresponder al derecho de vía existente más 10 m. adicionales más allá de los límites de derecho de vía existente.
- El ancho del seccionamiento deberá corresponder a una franja de 20 m. a cada lado del eje existente del camino.

En este apartado haciendo uso de la estación total y haciendo uso de los puntos establecidos en la línea base se realizó el seccionamiento del camino realizando los estacionamientos a cada 20 metros en tramos relativamente rectos y a cada y a cada 5 metros en las curvas del tramo tomando principalmente el eje del camino, orillas, cunetas y cercos, de igual manera se tomaron los detalles existentes en la zona, a través de este proceso se obtuvieron las coordenadas de cada punto tomado, dichas coordenadas de los puntos se muestran en la tabla 48 (Ver anexos, pág. III)

2.3.7 Sección transversal

Se le llama también perfil transversal y viene a ser el corte perpendicular al eje del perfil longitudinal en cada estaca (por lo menos); generalmente se toman varios puntos a la derecha y a la izquierda, dependiendo de la envergadura del proyecto (Mendoza & Mora, 2019, pág. 120).

Durante el levantamiento topográfico se hizo el levantamiento de 4 puntos o más de acuerdo a la topografía que se iba presentando en el terreno, en cada estacionamiento realizado el cual luego se utilizó para crear el alineamiento

2.4 Procesamiento de datos

2.4.1 Pendiente

De acuerdo con la tabla de clasificación de los terrenos en función de las pendiente longitudinal del terreno que se encuentra en la (SIECA, 2011), se realizó un cálculo de la pendiente a lo largo del eje central del tramo haciendo uso de la fórmula de la pendiente elevación final menos la elevación inicial dividido entre la distancia de elevación a elevación dando como resultado la pendiente de cada tramo seleccionado.

Tabla 3 Pendiente longitudinal

Pendiente longitudinal del terreno				
Estacionamiento	Elevación Inicial	Elevación final	Distancia	Pendiente
0+000 - 0+102.75	310.129	312.366	102.750	2.177%
0+102.75 - 0+ 207.96	312.366	313.705	105.210	1.273%
0+207.96 - 0+ 307.71	313.705	314.272	99.750	0.568%
0+307.71 - 0+404.35	314.272	314.916	96.640	0.666%
0+404.35 - 0+511.67	314.916	315.395	107.322	0.446%
0+511.67 - 0+611.407	315.395	315.953	99.735	0.559%
0+611.407 - 0+716.39	315.953	316.73	104.996	0.740%
0+716.39 - 0+822.14	316.73	317.658	105.750	0.878%
0+822.14 - 0+929.84	317.658	322.422	107.700	4.423%
0+929.84 - 1+032.12	322.422	320.008	102.280	2.360%
1+032.12 - 1+127.35	320.008	318.599	95.232	1.480%
1+127.35 - 1+232.05	318.599	325.04	104.700	6.152%
1+232.05 - 1+332.0	325.04	327.408	99.957	2.369%
1+332.0 - 1+432.35	327.408	331.762	100.356	4.339%
1+432.35 - 1+536.15	331.762	334.59	103.796	2.725%
1+536.15 - 1+638.90	334.59	343.012	102.692	8.201%
1+638.9 - 1+747.32	343.012	345.842	108.493	2.608%
1+747.32 - 1+858.10	345.842	341.521	110.780	3.901%
1+858.10 - 1+970.00	341.521	339.443	111.908	1.857%

Fuente: Elaboración propia

Realizando un promedio de las pendientes obtenidas, da como resultado una pendiente longitudinal del 2.51%

2.4.2 Tipo de terreno

Haciendo uso de la tabla para la clasificación del terreno en función a las pendientes que se encuentra en la norma centroamericana para el diseño de carreteras SIECA, según el resultado generado de la tabla 3 la pendiente longitudinal es menor al 5% lo cual nos indica que el terreno es plano.

Tabla 4 Clasificación del terreno en función a las pendientes

Tipo de terreno	Rango de pendientes
Llano o plano	$P < 5\%$
Ondulado	$5\% < P < 15\%$
Montañoso	$15\% < P < 30\%$

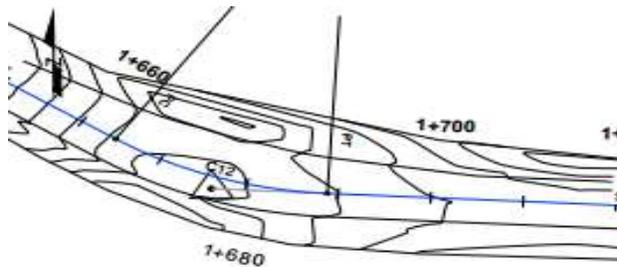
Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Curvas de nivel

Son el resultado de la intersección del terreno con una serie de planos horizontales y equidistantes. Esa intersección genera unas series de líneas planas, generalmente curvas. Todos los puntos pertenecientes a una de estas curvas tienen la misma cota (Bonillo , 2013).

Las curvas de nivel generadas en el programa Civil 3D con los datos que fueron levantados en el campo, las curvas principales fueron generadas a cada 1.5 m y las secundarias a cada 0.5 m.

Ilustración 4 Curvas de nivel



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III.

ESTUDIO DE TRÁNSITO



3.1 Generalidades

El flujo de tráfico en cualquier tramo de la red vial de Nicaragua, tiene sus propias características de volumen y composición por tipo de vehículo que normaliza las fluctuaciones que se presentan en las características del flujo a lo largo de diferentes intervalos de tiempo (MTI, 2020, pág. 1).

La importancia del estudio de tránsito en el diseño de pavimento es que gracias a este estudio podemos lograr identificar las cargas equivalentes que estarán actuando sobre la superficie de rodamiento durante y a futuro mediante el cálculo de las tasas de crecimiento poblacional y vehicular; en base a estos datos obtenidos se podrá diseñar con mayor efectividad las superficies que estarán sobre el terreno para que estas sean efectivas.

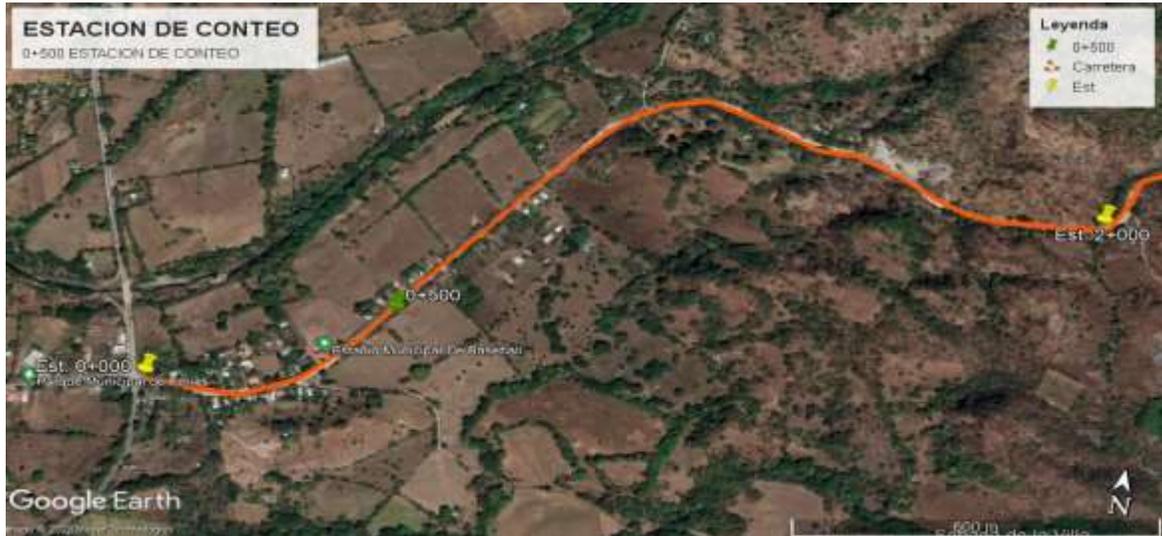
3.2 Metodología

Para la realización del estudio de tránsito se hizo un aforo vehicular tomando en cuenta los datos variables que se encuentran en el anuario de aforos para poder conocer la composición vehicular y poder realizar una proyección futura y satisfacer las necesidades vehiculares que pasaran en un futuro.

3.3 Estación del aforo vehicular

El aforo se realizó en el estacionamiento 0+500 ya que en esta posición se captaban todo el tráfico proveniente de los diferentes empalmes que se encuentran.

Ilustración 5 Estación de aforo



Fuente: Elaboración propia

3.4 Aforo vehicular

Se realizó el aforo vehicular sobre el tramo de estudio en un periodo de 7 días durante 12 horas haciendo uso de la clasificación que se encuentra establecido en el Anuario de Aforos (MTI, 2020) (Ver anexos, pág. VII), en el aforo realizado se tomó el flujo vehicular de ambos sentidos de la vía.

El aforo realizado se comenzó el día lunes 6 de febrero del año 2023 y se dio como finalizado el día domingo 12 de febrero del año 2023 realizándolo en un periodo de 7 días, el cual se encuentra en el primer cuatrimestre del año, valor que se toma en cuenta para la obtención de los factores de ajustes que se encuentran más adelante.

En el apartado de anexos se encuentran los datos del aforo que se tomó diario y por hora. (Ver tabla 77 anexos pág. XXX)

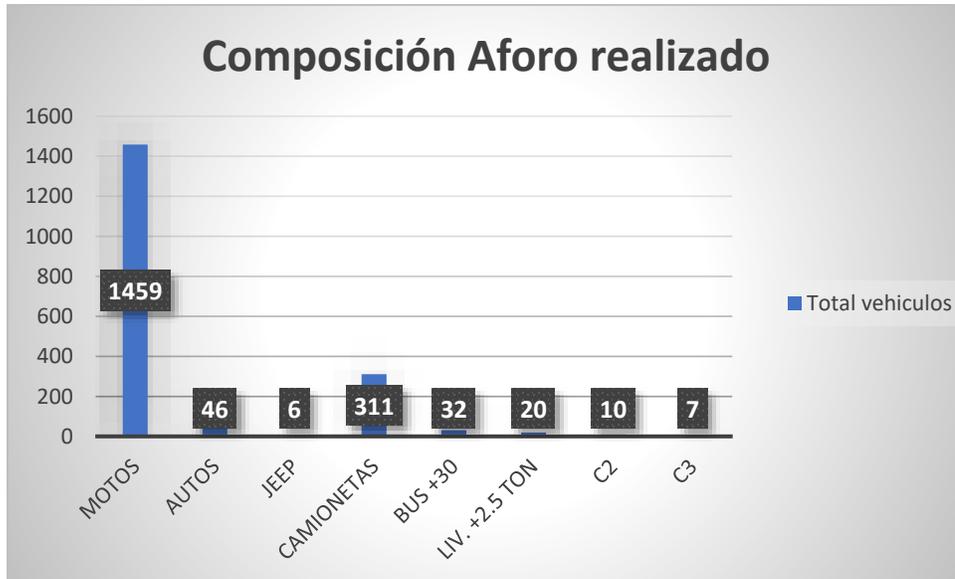
A continuación, se muestran en la tabla 5 un resumen de los datos recolectados durante todo el periodo del aforo, así como su composición.

Tabla 5 Resumen Aforo Vehicular

<i>Fecha</i>	<i>Día</i>	<i>Vehículo de pasajeros</i>					<i>Vehículo de carga</i>			<i>Total veh. 12 horas</i>
		<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	
6/2/2023	lunes	198	6	0	43	5	2	1	0	255
7/2/2023	martes	218	8	1	51	5	3	2	1	289
8/2/2023	miércoles	233	5	0	47	5	4	2	1	297
9/2/2023	jueves	195	4	2	35	5	2	1	0	244
10/2/2023	viernes	242	8	2	38	5	3	2	0	300
11/2/2023	sábado	190	6	1	44	5	4	2	3	255
12/2/2023	domingo	183	9	0	53	2	2	0	2	251
Total vehículos		1459	46	6	311	32	20	10	7	1,891.00
Total		1,822.00					37			1,859.00
Composición		77.15%	2.43%	0.32%	16.45%	1.69%	1.06%	0.53%	0.37%	100.00%
		98.01%					1.99%			100.00%

Fuente: Elaboración propia

Grafico 1 Composición aforo vehicular



Fuente: Elaboración propia

3.5 Transito promedio diario (TPD)

El TPD es el promedio de vehículos que se registraron en el aforo vehicular en ambos sentidos de la carretera, dichos resultados se muestran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3 Transito promedio diario.

Grupo	Vehículo de pasajeros					Vehículo de carga			
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	Total
TPD	208	7	1	44	5	3	1.43	1.00	270
%Tpd	77%	2%	0%	16%	2%	1%	1%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia

3.6 Vector geográfico

El tramo en estudio ubicado en el municipio de Achuapa, departamento de Leon corresponde al vector geográfico R2 ya que se encuentra en la región pacifica norte según la tabla 4 que se encuentra en el anuario de aforos 2020.

Tabla 4 Vector geográfico

<i>Vector</i>	<i>Código</i>	<i>Región</i>	<i>Departamentos</i>
R1	PS	Pacifico Sur	Masaya - Granada - Carazo – Rivas
R2	PN	Pacifico Norte	Leon - Chinandega – Managua
R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia - Madriz - Estelí - Jinotega – Matagalpa
R4	AS	Atlántico sur	RACS
R5	AN	Atlántico norte	RACN

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico, (MTI, 2020)

3.7 Estaciones de mayor cobertura (EMC)

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día, pero debido al alto costo que repercute la ejecución el Ministerio no está en la capacidad de realizarlos los 365 días del año, por ende, se dividió el período en tres cuatrimestres, logrando obtener el Tráfico Promedio Anual (MTI, 2020, pág. 9).

El código del tramo de carretera Achuapa – El Rodeíto se encuentra en el tramo Achuapa – La Aceituna y está identificada con el código NN40 y con número de

estación 4902B de tipo ECS la cual pertenece a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe. Con la identificación de que estación es la que le pertenece al tramo aquí se reflejan datos que son de importancia para seguir con el análisis del estudio del tráfico como lo son factores, tasas de crecimiento vehicular, aforos realizados en años anteriores.

Tabla 5 Estación de mayor cobertura

EMC	NIC	N° Estación	Tipo	Nombre del tramo
1802 San Marcos – Masatepe	NN-40	4902 B	ECS	Achuapa - La Aceituna

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico, (MTI, 2020)

3.8 Factores de ajuste

Acorde a (MTI, 2020) para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de corta duración o conteo sumaria, se aplicaran los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de las estaciones de corta duración o conteo sumaria.

Con esta nueva metodología el sistema de conteo de tráfico, cuenta con factores diferentes para cada cuatrimestre del año, los que son utilizados de conformidad al período de levantamiento de la estación respectiva.

Según el anuario (MTI, 2020, pág. 13) los factores son los siguientes.

Factor día: Corresponde a expandir el trafico diurno de 12 horas de tráfico de 24 horas.

$$Factor\ dia = 1 + \frac{Trafico\ nocturno}{Trafico\ diurno}$$

Factor expansión: Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio anual por tipo de vehículo.

Para poder realizar la expansión de tráfico promedio diario (TPD) a tráfico promedio anual (TPDA) se necesitaron dos factores los cuales son el factor día y el factor expansión a TPDA, los cuales fueron escogidos de los datos del primer cuatrimestre (Enero – Abril) reflejados en la tabla 8 del anuario de aforo (MTI, 2020)

Tabla 6 Factores de ajuste

<i>Descripción</i>	<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
Factor día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.38	1.15	1.2	1.21
Factor semana	0.95	0.96	1	0.97	0.89	0.91	0.83	0.86
Factor Expansión a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.16	1.15	1.04	1.27

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, (MTI, 2020)

3.9 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día. Resultado de registro de volúmenes de tránsito en un punto, el TPDA obtenido tiende a ser representativo de un segmento de carretera (MTI, 2020).

$$TPDA = TPD * Fd * Fsem * Fexp *$$

Una vez que fue realizado el conteo vehicular, como ya se menciona anteriormente se tomó como referencia el anuario de aforo del MTI ubicando así la estación a la que corresponde el tramo en estudio el cual es EMC 1802 San Marcos – Masatepe la cual permitirá ajustar el tránsito promedio diario (TPD) a un tránsito promedio diario anual (TPDA) haciendo uso de los factores correspondientes.

Para el cálculo del tránsito promedio diario se realizó el siguiente proceso para cada tipo de vehículo:

$$TPD = \frac{\Sigma TD}{7} \quad \text{Ec-1 Tomada de (MTI, 2020)}$$

$$TPD = \frac{1459}{7} = 208$$

El proceso anterior corresponde a las motos que circulan por el tramo en ambos sentidos.

Tabla 7 Cálculo del tránsito promedio diario anual

Grupo	Vehículo de pasajeros				Vehículo de carga				Total
	Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	
TPDS	208	7	1	44	5	3	1.43	1.00	270
%Tpds	77%	2%	0%	16%	2%	1%	1%	0%	100%
factor día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.38	1.15	1.2	1.21	
factor sem.	0.95	0.96	1	0.97	0.89	0.91	0.83	0.86	
factor exp.	1.15	1.15	1.35	1.13	1.16	1.15	1.04	1.27	
TPDA	322.	10.0	2.00	63.00	8.00	4.00	2.00	2.00	413
% Tpd	77.97%	2.42%	0.48%	15.25%	1.94%	0.97%	0.48%	0.48%	100%
	96%				4%				100%

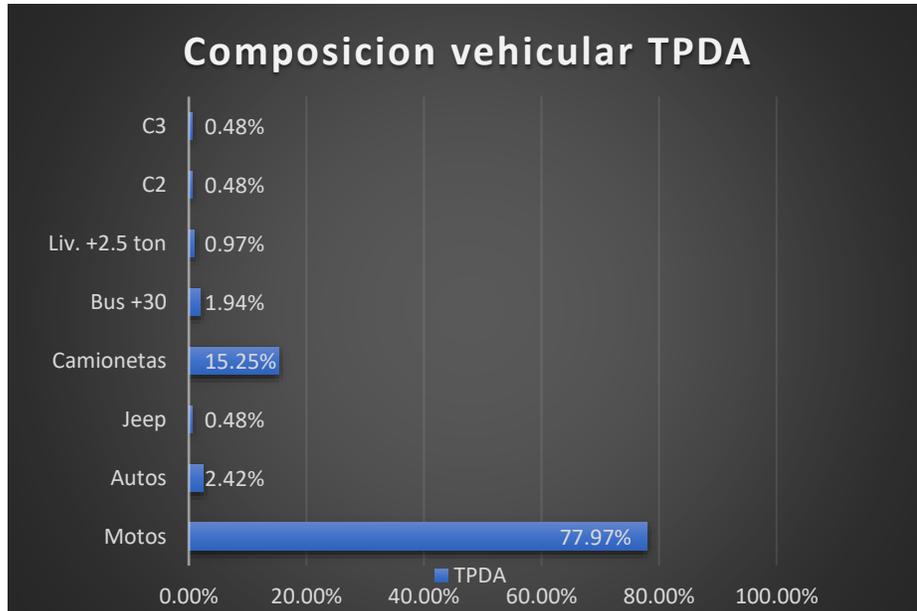
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cálculo realizado que se muestra en la tabla 7 se tiene el TPDA de la zona que es de 413 veh/día.

3.9.1 Composición vehicular

En el gráfico 2 se muestra como está compuesto el tráfico de la zona según el TPDA siendo las motocicletas el medio que más se refleja seguido por las camionetas y se logra observar que el transporte de carga por la zona no es de gran afluencia.

Gráfico 2 Composición TPDA



Fuente: Elaboración propia

3.10 Proyección del tráfico

3.10.1 Tasas de crecimiento (TC)

La tasa de crecimiento vehicular es la medida estadística de mayor relevancia para determinar el comportamiento del tráfico futuro, utilizado en el diseño geométrico y espesores estructurales de pavimento (MTI, 2020, pág. 17).

Es una de las variables que definen tanto las características geométricas de un tramo, así como la estructura de pavimento, lo cual denota la importancia del cálculo adecuado de las tasas de crecimiento basado en comportamiento actual, así como registros históricos (MTI, 2020).

Para la determinación de la tasa de crecimiento en el estudio de tránsito se tomaron en cuenta tres variables que influyen directamente en dicha tasa las cuales son: el producto interno bruto del país, el crecimiento poblacional de los últimos años y por último los registros del TPDA de años atrás.

De igual manera para poder realizar el cálculo se toma en cuenta el criterio de solo tomar las tasas de crecimiento que resulten positivas, excluyendo los valores mayores a 10 debido a los valores históricos de crecimiento de las principales.

3.10.2 Crecimiento del TPDA

Haciendo uso del anuario de aforos publicado por el MTI se hizo una búsqueda en los registros históricos de conteos vehiculares, datos encontrados en la ECD Achupapa – La aceituna donde se encuentra ubicado el tramo en estudio, en el anuario solo encuentran registrados los conteos vehiculares de los años 2002, 2004, 2015 y 2020; se tomaron los datos y se procedió a realizar los debidos cálculos.

Para el cálculo del crecimiento del tránsito promedio diario anual se realizó el cálculo haciendo uso de la siguiente fórmula descrita en el anuario de aforo 2020 página 17.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \text{Ec.- 2 Tomada de (MTI, 2020)}$$

Tomando en cuenta los valores del TPDA de los años 2015 y 2020 se muestra a continuación el proceso para el cálculo de la tasa de crecimiento:

$$TC = \left[\left(\frac{303}{420} \right)^{1/(2015-2020)} \right] - 1$$

$$TC = 6.75\%$$

Obteniendo una tasa de crecimiento para el año 2020 de 6.75%; en la tabla 8 se muestran las tasas de crecimiento para los diferentes años.

Tabla 8 Tasas de crecimiento

Año	TPDA	TC TPDA
2002	26	
2004	43	29%
2015	303	19%
2020	420	6.75%
Promedio		57.75%

Fuente: Elaboración propia

Como resultado para el crecimiento del TPDA se obtuvo un promedio de 57.75% la cual es un valor elevado para tomarlo en cuenta para el cálculo del crecimiento vehicular.

3.10.3 Producto Interno Bruto (PIB)

El producto interno bruto del país influye de gran manera para el cálculo de las tasas de crecimiento vehicular ya que es un indicador socioeconómico que indica el valor monetario de bienes y servicios de la región en un período.

Se indagó en las publicaciones de los registros históricos del banco central de Nicaragua (BCN) para poder encontrar los valores del PIB de diferentes años.

Con los valores del producto interno bruto se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para poder conocer la tasa de crecimiento del producto interno bruto.

Tabla 9 Tasa de crecimiento del producto interno bruto

<i>Año</i>	<i>PIB</i>	<i>TC PIB</i>
2002	-	-
2003	-	-
2004	-	-
2005	-	-
2006	118,837.7	
2007	124,870.3	5.0763%
2008	129,160.5	3.4357%
2009	124,907.7	-3.2926%
2010	130,416.3	4.4101%
2011	138,654.2	6.3166%
2012	147,661.4	6.4962%
2013	154,936.8	4.9271%
2014	162,351.3	4.7855%
2015	170,131.6	4.7923%
2016	177,894.9	4.5631%
2017	186,133.6	4.6312%
2018	179,873.3	-3.3633%
2019	173,264.3	-3.6743%
2020	169,838.2	-1.9774%
Promedio		4.9434%

Fuente: Elaboración propia

Para poder conocer la tasa de crecimiento final se realizó un promedio a todos los valores de las tasas de crecimiento que resultaron menores al 10% y excluyendo los valores negativos dando como resultado una tasa de crecimiento del producto interno bruto del 4.94 %

3.10.4 Crecimiento poblacional

De igual forma que se realizó el proceso anterior se aplica para el crecimiento poblacional, aquí se tomaron los datos publicados por el INIDE en su anuario 2020, se tomaron los datos poblacionales desde el año 2002 hasta el año 2020 y se aplicó la misma fórmula descrita anteriormente para poder obtener la tasa de crecimiento poblacional. Dichos datos poblacionales se muestran en la tabla 10.

Tabla 10 Tasa de crecimiento poblacional

<i>Año</i>	<i>POBLACION</i>	<i>TC POB</i>
2002	5,162,275	
2003	5,267,714	2.0425%
2004	5,374,820	2.0333%
2005	5,483,447	2.0210%
2006	5,522,606	0.7141%
2007	5,595,541	1.3207%
2008	5,668,876	1.3106%
2009	5,742,310	1.2954%
2010	5,815,524	1.2750%
2011	5,996,619	3.1140%
2012	6,071,045	1.2411%
2013	6,134,270	1.0414%
2014	6,198,154	1.0414%
2015	6,262,703	1.0414%
2016	6,237,927	-0.3956%
2017	6,393,824	2.4992%
2018	6,460,411	1.0414%
2019	6,527,691	1.0414%
2020	6,595,674	1.0415%
Promedio		1.4774%

Fuente: Elaboración propia

De igual forma se hizo un promedio para poder obtener el valor de la tasa de crecimiento poblacional dando como resultado una tasa de 1.4774%.

3.10.5 Consumo de hidrocarburos

Se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero esta vez con los datos históricos del consumo de hidrocarburos en este caso el consumo está reflejado en miles de barriles por año dicho dato se encuentra en las publicaciones del Banco Central de Nicaragua.

El promedio realizado se excluyen los valores mayores al 10% y los valores negativos obteniendo una tasa de crecimiento del consumo de hidrocarburos del 4.25%.

Tabla 11 Tasa de crecimiento de hidrocarburos

<i>Año</i>	<i>Combustible</i>	<i>TC</i>
1994	933.7	-
1995	957.5	2.5490%
1996	947.7	-1.0235%
1997	987.5	4.1996%
1998	1135.6	14.9975%
1999	1257.7	10.7520%
2000	1321.1	5.0409%
2001	1402.8	6.1842%
2002	1476.7	5.2680%
2003	1510.4	2.2821%
2004	1563.9	3.5421%
2005	1581.7	1.1382%
2006	1622.9	2.6048%
2007	1715.9	5.7305%
2008	1705.9	-0.5828%
2009	1820.5	6.7179%
2010	1860.8	2.2137%
2011	1914	2.8590%
2012	2055.1	7.3720%
2013	2132.4	3.7614%
2014	2273.5	6.6170%
2015	2581.6	13.5518%
2016	2846	10.2417%
2017	1957.6	-31.2157%
Promedio		4.2550%

Fuente: Elaboración propia

3.10.6 Resumen tasas de crecimiento

Tabla 12 Resumen tasas de crecimiento

Resumen tasas de crecimiento	
Variable	TC
TPDA	57.75 %
PIB	4.94%
POB.	1.48%
COM.	4.25%

Fuente: Elaboración propia

3.10.6 Crecimiento vehicular

Con las variables calculadas que se necesitan para realizar el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular se realizó un promedio, excluyendo la tasa del TPDA de 57.75 % ya que es un valor demasiado elevado con respecto al PIB y al POB; dando como resultado una tasa vehicular del 3.56%, la cual será usada para realizar la proyección del tráfico vehicular; dicho cálculo se muestra a continuación.

$$TC = \frac{4.94\% + 1.47\% + 4.25\%}{3}$$

$$TC = 3.56\%$$

3.11 Tránsito de diseño

3.11.1 Tipo de carretera

Para determinar el tránsito de diseño se clasificó el tramo de estudio en según su funcionalidad mediante el TPDA calculado, haciendo uso de la tabla 75 (Ver anexos, pág. XXXI) de la (SIECA, 2011), la carretera se puede clasificar como una colectora rural ya que cuenta con un TPDA de 413 el cual es menor al rango establecido de 3,000 – 500.

3.11.2 Periodo de diseño

Para cada tipo de carretera se recomienda un periodo de diseño ya establecido, en la siguiente tabla se muestran los periodos recomendados según el tipo de carretera determinado, al clasificar la carretera como una colectora rural se seleccionó un periodo de 10 años, ya que según la tabla 12 establecida en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico establece un rango entre 10 y 20 años.

Tabla 13 Período de diseño

<i>Tipo de carretera</i>	<i>Periodo de diseño</i>
Autopista regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales rurales	
Colectora suburbana	10 - 20 años
Colectora rural	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico (SIECA, 2011)

3.11.3 Factor direccional (LD)

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. (SIECA, 2002)

Tabla 14 Factor direccional

<i>Número de carriles en ambas direcciones</i>	<i>LD¹⁰</i>
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico (SIECA, 2011)

El tramo Achuapa – El Rodeíto cuenta con dos carriles por lo tanto el factor direccional según la tabla 15 es del 50% el cual será aplicado para el tránsito de diseño.

3.11.4 Factor de distribución de carril (LC)

En la tabla 14 establecida en la Norma Centroamericana para el diseño de pavimento define el valor de factor de distribución según el número de carriles en una dirección de la vía, el tramo cuenta con un solo sentido direccional en cada carril por lo tanto se utilizó el valor de 1.

Tabla 15 Factor de distribución

<i>Número de carriles en una sola dirección</i>	<i>LC¹¹</i>
1	1
2	0.8 – 1
3	0.6 - 0.8
4	0.5 - 0.85

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico (SIECA, 2011)

3.11.5 Factor de crecimiento

Se realizó el cálculo del factor de crecimiento haciendo uso de la ecuación correspondiente, el proceso del cálculo se muestra a continuación.

$$Fc = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec-3 Tomada de (MTI, 2020)}$$

$$Fc = \frac{(1 + 3.56\%)^{10} - 1}{3.56\%}$$

El factor de crecimiento que se aplicó en el diseño de tránsito es de 11.58.

3.11.6 Cálculo del tránsito de diseño

Una vez que se calcularon los factores anteriores se realizó el cálculo del tránsito de diseño para cada tipo de vehículo se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$TD = TPDA * FC * LD * LC \quad \text{Ec-4 Tomada de (MTI, 2020)}$$

FC: Factor de crecimiento

LD: Factor direccional

LC: Factor de distribución

A continuación, se muestra el procedimiento para el cálculo del tránsito de diseño para los autos.

$$TD = 456 * 11.76 * 0.5 * 1$$

$$TD = 32,201.8$$

Tabla 16 Transito de diseño

Tipo	TPDA	LD	LC	FC	Días del año	Tránsito de Diseño
<i>Motos</i>	456	0.5	1	11.76	365	978,934.9
<i>Autos</i>	15	0.5	1	11.76	365	32,201.8
<i>Jeep</i>	3	0.5	1	11.76	365	6,440.4
<i>Camionetas</i>	90	0.5	1	11.76	365	193,210.8
<i>Bus +30</i>	12	0.5	1	11.76	365	25,761.4
<i>Liv. +2.5 ton</i>	6	0.5	1	11.76	365	12,880.7
<i>C2</i>	3	0.5	1	11.76	365	6,440.4
<i>C3</i>	3	0.5	1	11.76	365	6,440.4
Total						1,262,310.8

Fuente: Elaboración propia

3.12 ESAL's

El transito está compuesto por vehículos de diferente peso y numero de ejes, y a los efectos del cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips a lo cual se le denomina como Esal. Las diferentes cargas actuantes sobre el pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden en diferente manera a una misma carga debido a estas diferentes respuestas en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento (AASHTO-93, 1993, pág. 21).

3.12.1 Factor de equivalencia (FESAL)

El factor equivalente de carga o LEF es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una dada carga de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje.

En el tramo Achuapa – El Rodeíto, para definir el tipo de factor de equivalencia se debe de tomar en cuenta el peso por eje de cada tipo de vehículo exceptuando las motocicletas, así como se debe de tomar en cuenta el peso de cada eje también se deberá de identificar qué tipo de eje es el que tiene.

Tabla 17 Pesos permitidos por ejes

Tipo de vehículo	Tipo de eje	Peso por eje (Kip)
<i>Autos</i>	Simple	2.2
	Simple	2.2
<i>Jeep</i>	Simple	2.2
	Simple	2.2
<i>Camionetas</i>	Simple	2.2
	Simple	4.4
<i>Bus +30</i>	Simple	11
	Simple	22
<i>Liv. +2.5 ton</i>	Simple	8.8
	Simple	17.6
<i>C2</i>	Simple	11
	Simple	22
<i>C3</i>	Simple	11
	Doble	36.3

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, (SIECA, 2002)

Como se muestra en la tabla 17, se tienen los pesos por cada eje de los vehículos los cuales están dados en kips. El peso del eje establecido para las camionetas es de 2.2

Una vez definidos los pesos por cada tipo de eje se hizo uso de la tabla de factores de equivalencia (Ver anexos) para poder encontrar el valor FESAL haciendo uso de la interpolación para encontrar los valores que no están definidos en la tabla. Aquí se asumió un numero estructural de 2 esto se asumió según la importancia de la carretera y se definió un nivel de serviciabilidad final igual a $P_t=2$ ya que es un camino de transito menor.

A continuación, se realiza el cálculo del tipo de vehículo C2 para definir su factor de equivalencia:

Peso (Kips) C2	Factor equivalente eje simple
10	0.085

11	X
12	0.177

$$X = \left(\frac{(0.177 - 0.085)}{(12 - 10)} * (11 - 10) \right) + 0.085$$

$$X = 0.131$$

El factor de equivalencia a utilizar en el cálculo del ESAL para el vehículo C2 en su eje de 11 kips es de 0.131.

Tabla 18 Valores FESAL interpolados para los diferentes tipos de ejes

FESAL			
Pesos (tabla)	FESAL	Pesos (ejes)	FESAL interpolado
2	0.0002	2.2	0.00048
4	0.003		
4	0.003	4.4	0.0048
6	0.012		
8	0.035	8.8	0.055
10	0.085		
10	0.085	11	0.131
12	0.177		
16	0.598	17.6	0.9196
18	1		
36	1.38	36.3	1.4355
38	1.75		

Fuente: Elaboración propia

3.12.2 Calculo de Esal

Cuando ya se encontraron todos los factores equivalentes de carga para cada tipo de eje se calcula el Esal de diseño haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$ESAL (W18) = TD * FESAL \quad \text{Ec-5 Tomada de (SIECA, 2002)}$$

Para el tipo de vehículo C2 se suman los dos valores de FESAL que se interpolaron para cada eje dando como resultado un FESAL de 2.48 y el tránsito de diseño calculado para un periodo de 10 años es de 6337.6 lo cual se procedió a realizar el cálculo.

$$ESAL(W18) = 6440 * 2.48$$

$$ESAL (W18) = 15,979$$

Dando como resultado un Esal de diseño para el vehículo C2 de 15,979.

Tabla 19 Resultados ESAL de diseño

Tipo de vehículo	Transito Diseño	Peso por eje (Kip)	Tipo de eje	Fesal	W18 ESAL de diseño
<i>Autos</i>	32,201.8	2.2	Simple	0.00048	31.0
		2.2	Simple	0.00048	
<i>Jeep</i>	6,440.4	2.2	Simple	0.00048	7.0
		2.2	Simple	0.00048	
<i>Camionetas</i>	193,210.8	2.2	Simple	0.00048	1,021.0
		4.4	Simple	0.0048	
<i>Bus +30</i>	25,761.4	11	Simple	0.131	63,915.0
		22	Simple	2.35	
<i>Liv. +2.5 ton</i>	12,880.7	8.8	Simple	0.055	12,554.0
		17.6	Simple	0.9196	
<i>C2</i>	6,440.4	11	Simple	0.131	15,979.0
		22	Simple	2.35	
<i>C3</i>	6,440.4	11	Simple	0.131	10,089.0
		36.3	Doble	1.4355	
ESAL TOTAL					103,596.0

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la tabla 19 el Esal de diseño total para el periodo de diseño es de 103,596 psi.



CAPITULO IV.

ESTUDIO DE SUELOS



4.1 Generalidades

El estudio de suelos está relacionado con la mecánica de suelos que según (Villalaz , 2004) la mecánica de suelos es la parte de la ciencia física que trata de la acción de las fuerzas sobre los cuerpos. De igual forma la mecánica de suelos es la rama de la mecánica que trata de la acción de las fuerzas sobre la masa de los suelos. Hoy en día es cada vez más concluyente el hecho de que ningún ingeniero deja de efectuar un estudio de las condiciones del subsuelo.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las distintas muestras que se tomaron de los sondeos manuales del tramo ubicados a cada 500 metros sobre la línea.

4.2 Metodología

Para poder llevar a cabo el presente capítulo se realizaron sondeos manuales sobre la línea y banco de materiales; los cuales se encuentran ubicados a cada 500 metros de distancia entre uno y otro con una profundidad de 1.5 metros tomando muestras de cada capa de suelo que se encontraba en los sondeos manuales; dichas muestras fueron analizadas tomando en cuenta las normas establecidas en la NIC2019.

4.2.1 Principales tipos de suelos

Arenas: La arena es el nombre que se le da a los agregados finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

Limos: Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras o limo orgánico como el que suele encontrarse en ríos, el diámetro de las partículas está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm.

Arcillas: Son las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

4.3 Ubicación sondeos

En la ilustración 9 se muestra la imagen satelital de la ubicación de los sondeos manuales sobre el tramo.

Ilustración 6 Ubicación sondeos manuales



Fuente: Elaboración propia

4.4 Trabajo de campo

4.4.1 Condiciones actuales del tramo

Se realizaron visitas de reconocimiento técnico al sitio de proyecto, efectuándose un recorrido a lo largo de la vía, revisando el drenaje, los tipos de materiales que conforman la calzada, los posibles bancos de materiales, reconociendo las diferentes curvas de la vía.

El tramo atraviesa a lo largo de su recorrido elevaciones que van desde los 300 msnm hasta los 370 msnm y con un terreno en su mayoría ondulado con pocas pendientes y curvas no muy pronunciadas, el camino carece de cunetas; el camino cuenta con un ancho promedio de 5 metros.

4.4.2 Sondeos manuales sobre la línea

Para poder conocer las características físicas – mecánicas del suelo se realizaron un total de 5 sondeos manuales ubicados a cada 500 metros con una profundidad de 1.5 metros y un diámetro de 60 cm aproximadamente, ubicados en lados izquierdos y derechos de la línea; dichos sondeos se realizaron a cada 500 metros por cuestiones de presupuesto y tiempo ya que no contábamos con todos los recursos para realizarlos a cada 250 metros como lo menciona en la norma AASHTO.

Los ensayos de las muestras encontradas en los sondeos manuales se efectuaron conforme a los requerimientos del Método AASHTO los cuales se muestran en la tabla 20

Tabla 20 Ensayos realizados

Numero	Ensaye	Designación
1	Granulometría	AASHTO T-88
2	Limite liquido	AASHTO T-89
3	Indice de plasticidad	AASHTO T-90
4	Proctor estándar	AASHTO T-99
5	CBR	AASHTO T-93

Fuente: Elaboración propia

4.5 Ensayes de laboratorio

4.5.1 Análisis granulométrico

Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado, pero al aumentar la finura de los granos se tiene que recurrir a procedimientos por sedimentación (Villalaz , 2004, pág. 46)

Los resultados de laboratorio evidencian que los suelos encontrados en la estructura de pavimento actual evidencia que la capa de rodamiento está conformada la mitad por materiales granulares los cuales son las que pasan menos del 35% por el tamiz N° 200 y el resto está conformada por materiales limo arcillosos aquí son las partículas que pasan más del 35% por el tamiz N° 200.

En la tabla 21 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos granulométricos

Tabla 21 Granulometría

Estación	Número de muestra	Profundidad (cm)		Granulometría								
		De	a	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
0+000	1	0	15	100	100	90	81	65	53	43	25	19
0+000	2	15	150	98	97	90	86	70	62	59	41	34
0+500	1	0	27	100	100	100	100	89	78	74	56	42
0+500	2	27	150	10	100	100	97	92	79	77	70	60
1+000	1	0	27	100	100	100	96	88	81	76	51	42
1+000	2	27	123	100	98	92	87	74	65	63	48	33
1+000	3	-	--	MANTO ROCOSO								
1+500	1	0	15	96	92	87	84	74	59	47	25	19
1+500	2	15	100	100	99	87	79	63	48	41	21	15
1+500	3	-	---	MANTO ROCOSO								
2+000	1	0	50	100	100	100	100	100	100	93	74	48
2+000	2	50	100	100	100	100	100	100	100	99	90	58

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Límites de Atterberg

4.5.2.1 Límite líquido

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25 g/cm³ (Villalaz , 2004, pág. 70).

4.5.2.2 Límite plástico

Es el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable (Villalaz , 2004, pág. 77).

A todas las pruebas obtenidas se procedió a realizar los ensayos tomando en cuenta las normas AASHTO-T89 para obtener el límite líquido y AASHTO-T90 para el límite plástico y luego el índice de plasticidad para poder clasificar los suelos dichos resultados se muestran en la siguiente tabla en modo resumen:

Tabla 22 Resumen límites de Atterberg

Estación	Número de muestra	Clasificación AASHTO	Índice de grupo	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad
0+050	1	A-2-6	0	29	19	11
0+050	2	A-2-7	1	41	24	17
0+500	1	A-4	0	30	24	6
0+500	2	A-7-6	7	41	27	14
1+000	1	A-4	1	32	24	8
1+000	2	A-2-4	0	29	22	7
1+000	3	-	-	-	-	-
1+500	1	A-2-6	0	39	23	16
1+500	2	A-2-4	0	25	18	7
1+500	3	-	-	-	-	-
2+000	1	A-4	2	35	26	9
2+000	2	A-4	4	36	27	9

Fuente: Elaboración propia

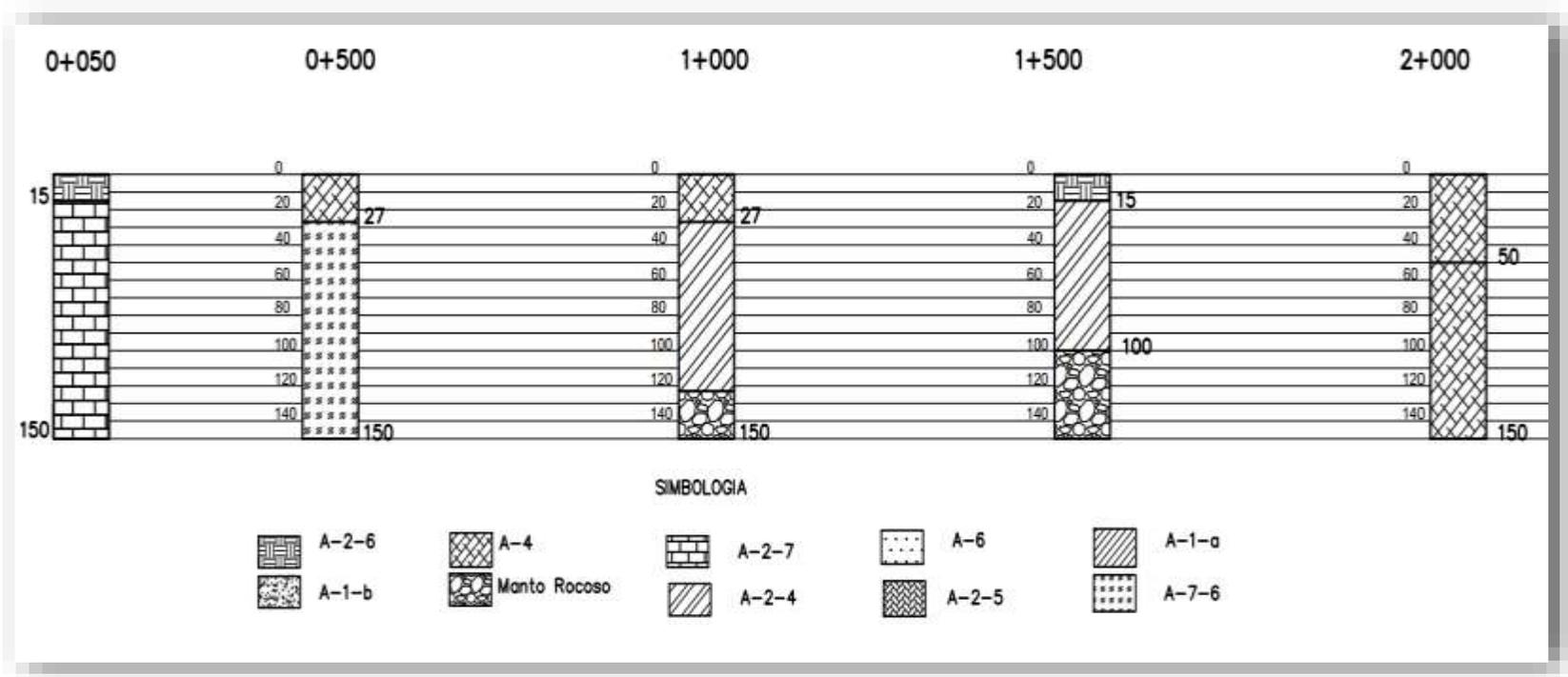
4.5.3 Estadigrafía del suelo

Se analizaron 9 muestras de las cuales dos de estas se encontraban en manto rocoso las cuales no se realizaron las pruebas correspondientes; dos muestras de tipo de suelo A-2-6 de color gris claro ubicadas en las estaciones 0+050 y 1+500, una muestra con un tipo de suelo A-2-7 de color café claro ubicada en la estación 0+050, dos muestras de tipo A-2-4 de color gris ubicadas en las estaciones 1+000 y 1+500, cuatro muestras de tipo A-4, tres de ellas color gris oscuro y una color amarillo ubicadas en las estaciones 0+500, 1+000 y 2+000 , y por ultimo una muestra de suelo del subgrupo A-7-6 con un color gris y ubicada en la estación 0+500.

Como se puede observar los materiales granulares son los que predominan (A-2-4, A-2-6, A-2-7) los cuales tienen una calidad de excelente a bueno para ser usados en la subrasante.

A continuación, se muestra el perfil estatigráfico del suelo

Ilustración 7 Estratigrafía del suelo



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al perfil estatigráfico se desglosa lo siguiente:

En el primer sondeo ubicado en la estación 0+050 se encontraron dos muestras del suelo la cual la primera está ubicada hasta los 0.15 m de profundidad y se clasifica como un suelo A-2-6 y la segunda de 0.15 m hasta los 1.50 m del sondeo y se clasifica como un suelo A-2-7; los dos tipos de materiales se consideran buenos a excelentes para la subrasante.

En el segundo sondeo ubicado en la estación 0+500 se encontraron de igual forma dos muestras de suelo, la primera se encontró hasta los 0.27 m siendo esta muestra un tipo de suelo A-4 y el resto de material encontrado es un material A-7-6 los cuales se consideran malos para la subrasante.

En el tercer sondeo que se realizó en la estación 1+000 se encontraron 3 tipos distintos de material, la primera muestra está ubicada hasta los 0.27 m de profundidad y se clasifico como un suelo A-4 el cual es un material malo para la subrasante, la segunda muestra comienza desde 0.27 m hasta 1.20 m de profundidad y se clasifica como un suelo A-2-4 siendo este un material excelente para la subrasante; y los 0.30 m restantes se encontró con un manto rocoso el cual no se pudo obtener muestras.

En el cuarto sondeo realizado ubicado en la estación 1+500 se encontraron 3 tipos de material, el primer tipo se encuentra al inicio hasta una profundidad de 0.15 m y se clasifico como un tipo A-2-6, el siguiente tipo de material que se encuentra ubicado desde 0.15 m hasta 1.0 m de profundidad y se clasifico como un tipo A-2-4 y por último se encontró una capa de manto rocoso de 0.5 m.

En el último sondeo sobre la línea ubicado en la estación 2+000 se encontraron 2 tipos de material iguales A-4 con la diferencia que la primera muestra tiene un índice de grupo (IG) de 2 ubicado a 0.50 m de profundidad y la segunda un IG de 4 ubicado desde 0.50 m hasta el final del sondeo 1.5 m.

4.5.4 Clasificación de suelos

Tabla 23 Clasificación de suelo

Estación	Numero de muestra	Clasificación AASHTO
0+050	1	A-2-6
0+050	2	A-2-7
0+500	1	A-4
0+500	2	A-7-6
1+000	1	A-4
1+000	2	A-2-4
1+000	3	-
1+500	1	A-2-6
1+500	2	A-2-4
1+500	3	-
2+000	1	A-4 (2)
2+000	2	A-4 (4)

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 23 se encontraron varios tipos de suelos y se clasificaron haciendo uso del sistema de clasificación de la AASHTO que es la que se utiliza para la clasificación de las capas de las carreteras, a continuación, se describen los tipos de suelos clasificados:

- **Grupo A-4:** El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz N° 200. Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de N° 200.
- **Subgrupo A-2-4:** Incluyen varios materiales granulares que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz N° 200 y con una porción que pasa el tamiz N° 40. Comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP.
- **Subgrupo A-2-6 y A-2-7:** Incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla

plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7 respectivamente.

- **Subgrupo A-7-6:** Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.

Simplificando lo anterior podemos encontrar los tipos de materiales de cada grupo y subgrupo los cuales están plasmados en la siguiente tabla:

Tabla 24 Descripción de los tipos de suelos

Clasificación AASHTO	Descripción del tipo de material
A-4	Limo arenosa con gravilla
A-2-4	Gravilla areno arcilla con limo
A-2-6 y A-2-7	Grava y arena limosa arcillosa
A-7-6	Limo con poca arena y arcilla

Fuente: Elaboración propia

4.5.5 Proctor estándar

Esta prueba permite determinar la humedad óptima es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas. El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor. (AASHTO-93, 1993, pág. 62)

En la tabla 25 se muestra un resumen los resultados de la prueba de compactación proctor estándar en el cual se utilizó un martillo con un peso de 10 libras y se realizaron 25 golpes por cada capa.

Tabla 25 Resultados proctor estándar

Clasificación AASHTO	Peso Vol. Máximo seco (Kgs./m ³)	Humedad optima
A-4 (0)	1,685	14.40%
A-2-4 (0)	1,908	6%
A-2-6 (0)	1,956	5.60%
A-2-7 (1)	1,710	18.40%
A-7-6 (7)	1,758	14.50%

Fuente: Elaboración propia

4.6 C.B. R de la subrasante

A continuación, se muestran los valores CBR de la subrasante

Tabla 26 Valores de CBR obtenidos

Estación	Número de muestra	Clasificación AASHTO	Profundidad (cm)		CBR (100%)
			De	A	
0+050	1	A-2-6	0	15	19.41
0+050	2	A-2-7	15	150	8.17
0+500	1	A-4	0	27	18.75
0+500	2	A-7-6	27	150	16.62
1+000	1	A-4	0	27	18.75
1+000	2	A-2-4	27	123	25.91
1+000	3	-	123	150	-
1+500	1	A-2-6	0	15	19.41
1+500	2	A-2-4	15	100	25.91
1+500	3	-	100	150	-
2+000	1	A-4	0	50	18.75
2+000	2	A-4	50	100	18.75

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Valores promedios de CBR

En la siguiente tabla se muestran los valores CBR de menor a mayor y se determina la frecuencia con la que se encuentran cada tipo de suelo y se buscan los valores iguales o mayores de cada valor de CBR.

Tabla 27 Porcentaje de valores iguales o mayores

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	N° valores iguales o mayores	% valores iguales o mayores
A-2-7 (1)	8.17	1	10	100%
A-7-6 (7)	16.62	1	9	90%
A-4 (0)	18.75	4	8	80%
A-2-6 (0)	19.41	2	4	40%
A-2-4 (0)	25.91	2	2	20%
Sumatoria		10		

Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Percentil de diseño

De acuerdo con el cálculo del ESAL's de diseño que es de 92,511 y haciendo uso de la tabla 28 del manual centroamericano para el diseño de pavimento recomienda los valores del percentil del 60, 75 y 87.5% según el ESAL's de diseño, por lo tanto, se tomó el valor de 75% ya que el ESAL's de diseño se encuentra en ese rango.

Tabla 28 Percentil de diseño

Nivel de transito	Valor percentil para diseño de subrasante
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> DE 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente: Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos (SIECA, 2002)

4.6.3 CBR de diseño

Haciendo uso del valor percentil para el diseño de subrasante recomendado de 75% y los valores de CBR se realizó la gráfica para poder encontrar el valor de CBR para la subrasante.

Grafico 3 CBR de diseño



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la gráfica 3 generada se tiene que el valor CBR de diseño para la subrasante es de 19.

4.7 Resultados de los ensayos de los Bancos

Cerca de la ubicación de la carretera se encuentra ubicado el cerro La Pila al cual se le realizaron los ensayos correspondientes básicos: granulometría límites de Atterberg y C.B.R, realizando un total de 5 calicatas a una profundidad de 3 metros excepto cuando la densidad del material existente impidió llegar a esa profundidad.

4.7.1 Banco de material Cerro La Pila

Este terreno ubicado en el Cerro La Pila se encuentra ubicado en las coordenadas UTM X= 545195.570 Y= 1443051.490 y pertenece al señor Jaminton Casco Centeno, las muestras de este banco de material corresponden con un material de composición andesítica, parcialmente alterada, con un volumen estimado de 40,000 metros cúbicos y un posible uso para subbase.

4.7.2 Ensayes Banco de material

A continuación, en la tabla 29 se muestran los resultados de los ensayos realizados de las 5 muestras tomados del banco de material.

Tabla 29 Resultados ensayos banco de material

Granulometría (% en peso que pasa las mallas)					
Tamices	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3	Muestra N° 4	Muestra N° 5
3"	100	-	96	100	100
2"	82	100	82	97	93
1 1/2"	67	94	74	90	83
1"	48	84	61	82	66
3/4"	39	75	55	79	59
3/8"	23	55	43	72	44
N° 4	13	42	31	61	32
N° 10	7	30	22	51	26
N° 40	6	18	13	30	20
N° 200	4	12	9	18	10
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)
Límites de Atterberg					
Límite líquido %	28	28	28	26	26
Índice plástico %	7	7	7	6	7
Proctor Estándar					
Peso Vol. Máximo seco (Kg/m ³)	-	-	2,095	2,049	-
Humedad óptima	-	-	12	9	-

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 29 se muestra el análisis granulométrico realizado, límites de Atterberg y los valores de proctor estándar y acorde a la clasificación se puede concluir que el tipo de suelo que predomina en las 5 muestras es A-2-4 (0) el cual es grava arena limosa y es de excelente calidad para la subbase y es apto para usarlo como material de relleno.

4.7.3 C.B. R del Banco de material

En la tabla 30 se muestran los resultados de las pruebas C.B.R que se realizaron a las muestras número 3 y número 4 a los porcentajes de compactación 90%, 95% y 100% ya que son las muestras de suelos con una clasificación de excelente calidad para material de la subbase.

Tabla 30 Resultados CBR banco de material

C.B.R		
	Muestra N°3	Muestra N° 4
90%	62	34
95%	85	42
100%	110	52

Fuente: Elaboración propia

Resumiendo, los datos obtenidos de los ensayos realizados tomando como referencia la muestra numero 3 la cual se clasifica como un suelo A-2-4 (0) el cual es un material grava arena limosa de excelente calidad para la subbase con un valor C.B.R de 85%, al 95% de compactación, el peso volumétrico máximo seco es de 2,095 kg/m³ y un porcentaje de humedad optima del 12%.

4.8 Evaluación banco de material

En el siguiente apartado se evaluaron los resultados de los ensayos de los bancos de materiales acorde a la norma NIC-2019, dichas especificaciones a cumplir son mostradas a continuación:

- **Límite líquido (AASHTO T-89):** 25% máx.
- **Índice de plasticidad (AASHTO-T90):** para subbase 6% máx. y base 0% máx.

- **CBR (AASHTO T-190):** Subbase, al 95% de Proctor Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación 30% mín. y base, al 95% de Proctor Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación 80% mín.

Tabla 31 Especificaciones a cumplir

Ensaye	Valor a cumplir	Valor obtenido
Limite liquido	25% máx.	25%
Indice plasticidad	6% máx.	6%
CBR	80% mín.	85%
	30% mín.	

Fuente: (NIC, 2019)

Como se puede observar en la tabla 31 todos los valores a cumplir son satisfactorios.

4.9 Usos de los tipos de suelos

El suelo A-2-6 y A-2-7 encontrado en la estación 0+050 se utilizara para la subrasante ya que son considerados de buenos a excelente calidad, luego en el siguiente sondeo 0+500 los suelos encontrados A-4 y A-7-6 se consideran malos para la subrasante se sustituirá por el material encontrado en el banco de material que es un A-2-4 el cual es material excelente, en el sondeo 1+000 en una profundidad de 0.27m a 1.20m se encontró el material A-2-4 de excelente calidad para la subrasante; para el siguiente sondeo 1+500 el suelo es un A-2-6 y A-2-4 siendo esta calidad buena para subrasante el cual será utilizado para dicho proceso y por último se encontró un suelo A-4 el cual será sustituido por el material A-2-4 que se encontró en el banco de materiales.

CAPITULO V:

DISEÑO GEOMETRICO



5.1 Generalidades

El diseño geométrico de una carretera se trata de correlacionar los elementos físicos (número y ancho de carriles, grado de curvatura, visibilidad, distancia de adelantamiento, peraltes y otros) con un vehículo tipo a través de la física, la geometría analítica y las matemáticas (SIECA, 2011).

En el presente capítulo se muestra el diseño geométrico del tramo Achuapa – comarca el Rodeíto el cual está constituido por un trazado en planta el cual consta con sus diseños de curvas circulares y el trazado en perfil el cual está definido por la propuesta de subrasante y las secciones transversales de la carretera.

5.2 Trazado en planta

5.2.1 Clasificación del terreno

Con ayuda del software civil 3D y tomando como referencia el Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA, 2011) se hizo uso de la tabla de pendiente natural (ver tabla 4), para poder clasificar el terreno según dichas pendientes generadas en el software civil 3D, se clasifico el terreno como ondulado ya que el rango de pendientes se encuentra entre 5 y 10% (ver tabla 5).

5.2.2 Velocidad de diseño

Teniendo en cuenta que el tramo de carretera es una colectora rural y sabiendo que el tipo de terreno es plano, según la tabla 32 el manual de la SIECA recomienda una velocidad de diseño de 70 km/h; pero, en el capítulo II página 55 el manual recomienda que la velocidad de diseño se puede disminuir según las características geométricas del terreno; es por esta razón que se disminuyó a una velocidad de 50 km/h la cual cambia a 30 km/h a partir de la estación 1+000 hasta el final del tramo; porque en este último tramo del terreno la topografía cambia abismalmente teniendo más curvas las cuales no cumplen con los radios mínimos a la velocidad de 50 km/h mientras que con la velocidad de 30 km/h si cumple con la norma.

Tabla 32 Elementos de diseño geométrico para carreteras regionales

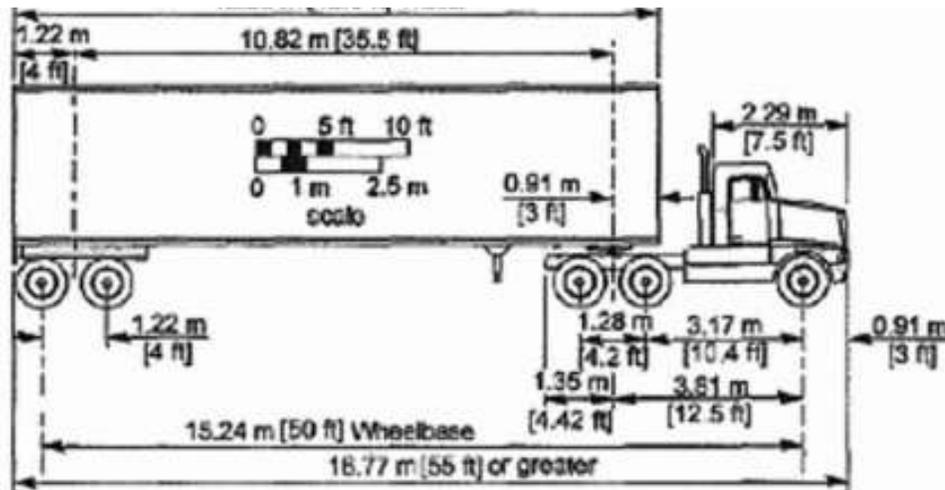
Descripción	Troncales		Colectoras	
	Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
TPDA, vehículos promedio diario	20,000 - 10,000	10,000 - 3,000	3,000 – 500	3,000 - 500
VH, vehículos por hora	2,000 - 1,000	1,500 - 450	300 – 500	450 - 75
FHP, Factor de hora pico	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
Vehículo de diseño	WB-20	WB-20	WB-15	WB-15
Tipo de terreno	P O M	P O M	P O M	P O M
Velocidad de diseño o directriz	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
Número de carriles	2 a 4	2 a 4	2	2
Ancho de carriles	3.6	3.6	3.3 -3.6	3.3
Ancho de hombros	int 1.0 - 1.5	int 0.5 - 1.0		
	ext. 1.8 - 2.5	ext. 1.2 - 1.8	ext. 1.2 - 1.5	ext. 1.2 - 1.5
Tipo de superficie de rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav. – Grava
Dist. de visibilidad de parada	110 – 170	85 – 140	65 – 110	65 - 110
Dist. de visibilidad de adelantamiento	480-600	410-540	350-480	350-480
Radio mínimo de curva, peralte 6%	195-335	135-250	90-195	90-195
Máximo grado de curva	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°33'	12°44' - 5°33'
Pendiente longitudinal máx. %	8	8	10	10
Sobreelevación %	10	10	10	10
Pendiente transversal de calzada	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3
Pendiente de hombros	2.5	2.5	2.5	2.5
Ancho de puentes entre bordillos	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1
carga de diseño de puentes (AASHTO)	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44
Ancho de derecho de vía	40-50	40-50	20-30	20-30
Ancho de mediana	4.0-10	2.0-6.0	-	-
Nivel de servicio según HCM	C-D	C-D	C-D	C-D
Tipo de control de acceso	Control parcial	Sin control	Sin control	Sin control
Clasificación funcional	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual centroamericano para la construcción de carreteras regionales, (SIECA , 2004)

5.2.3 Vehículo de diseño

Para el diseño geométrico del tramo Achuapa - Comarca El Rodeíto se seleccionó un vehículo de diseño WB-15 haciendo uso de la tabla 32, pág. 57 de elementos de diseño geométrico para carreteras regionales; se selecciona dicho vehículo de diseño WB-15 ya que se encuentra recomendado en la tabla de elementos del diseño geométrico de la SIECA.

Ilustración 8 Dimensiones vehículo de diseño



Fuente: Norma centroamericana para el diseño de carreteras (SIECA, 2011)

5.2.4 Ancho de carril

Para las carreteras colectoras rurales la norma centroamericana para el diseño geométrico de carreteras (SIECA, 2011) en su tabla de elementos geométricos recomienda usar un ancho de carril de 3.3 metros el cual se utilizó en el diseño; ya que existen restricciones en el derecho de vía.

5.2.5 Hombros

Haciendo uso de la tabla de elementos del diseño geométrico (Ver tabla 30, pág.57) el valor seleccionado para el tipo de carretera del ancho de los hombros es de 1.2 – 1.5 metros.

5.2.6 Tasa de sobre elevación o peralte

La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la *fuerza de fricción* desarrollada entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola,

generalmente, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal; por lo tanto, será necesario buscarle un complemento inclinando transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina peralte (Cardenas Grisales , 2013, pág. 189).

Tomando en cuenta las recomendaciones de la (SIECA , 2004) haciendo uso de la tabla 33 se eligió un valor de peralte del 8%

Tabla 33 Tasa de sobre elevación

<i>Peralte "e"</i>	<i>Tipo de área</i>
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Norma centroamericana para el diseño de carreteras regionales (SIECA , 2004).

5.2.7 Bombeo

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad (SIECA, 2011).

Tabla 34 Pendiente transversal o bombeo

<i>Tipo de superficie</i>	<i>Rango de pendiente transversal</i>
Alto	1.5 - 2.0
Bajo	2.0 - 6.0

Fuente: Norma centroamericana para el diseño de carreteras regionales (SIECA , 2004).

Según la tabla 34 se tomó un valor del 2% alto

5.2.8 Factor de fricción lateral

Acorde a la tabla 35 el factor de fricción máxima para la velocidad de 30 km/h es de 0.28 y para velocidad de 50 km/h es de 0.19.

5.2.9 Radio de curvatura

Es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad (SIECA, 2011, pág. 87).

Para el cálculo del radio mínimo se utiliza la siguiente formula que utiliza los valores de fricción lateral y la tasa de sobre elevación o peralte:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e_{max} + f_{max})} \quad \text{Ec-6 Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Haciendo uso de la tabla 35 se obtienen los radios de curvatura recomendados; para la velocidad de 50 km/h y con un peralte del 8% el radio mínimo que recomienda el manual para el diseño geométrico de carreteras es de 73 m y para la velocidad de 30 km/h es de 20 m.

Tabla 35 Valores para diseño

Velocidad de diseño KP/H	Factor de fricción máxima	Radio		Grado de curvatura
		calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163° 42'
30	0.28	19.7	20	57° 18'
40	0.23	40.6	41	27° 57'
50	0.19	72.9	73	15° 42'
60	0.17	113.4	113	10° 08'
70	0.15	167.8	168	06° 49'
80	0.14	229.1	229	05° 00'
90	0.13	303.7	304	03° 46'
100	0.12	393.7	394	02° 55'
110	0.11	501.5	501	02° 17'
120	0.09	667	667	01° 43'

Fuente: Norma centroamericana para el diseño de carreteras (SIECA, 2011)

5.2.10 Grado de curvatura

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} \quad \text{Ec-7 Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Entonces, para las velocidades de 50 km/h y 30 km/h con radios de 73 y 20 metros respectivamente se realizó el siguiente cálculo para el grado de curvatura, los cuales al ser comparados con los valores recomendados de la tabla 35 se puede observar que son iguales:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{73} = 15^{\circ} 41'$$

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{20} = 57^{\circ} 17'$$

5.2.11 Sobreanchos en curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación (SIECA, 2011).

En el sobre ancho de las curvas se obtiene el dato de la tabla 36 y se obtuvo el valor del sobre ancho con un radio de 73 m a una velocidad de 50 km/h el valor es de 2.6.

Tabla 36 Sobreanchos en curvas

Radio de curvatura	Ancho de calzada = 7.2 m						Ancho de calzada = 6.6 m						Ancho de calzada = 6.0 m					
	Velocidad de diseño						Velocidad de diseño						Velocidad de diseño					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1	1
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1	1			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Fuente: Norma centroamericana para el diseño de carreteras regionales (SIECA , 2004).

5.2.12 Tangente máxima

La tendencia actual en el diseño de carreteras se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja en sentido (SIECA, 2011).

La norma centroamericana para diseño de carreteras recomienda evitar longitudes en rectas superiores al resultado de la siguiente expresión:

$$Lr = 20 * Vd \quad \text{Ec-8 Tomada de (SIECA, 2011)}$$

La cual fue aplicada con la velocidad base del proyecto de 50 km/h y dio el siguiente resultado:

$$Lr = 20 * 50km/h$$

$$Lr = 1000 m$$

5.2.13 Curvas circulares simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares (Cardenas Grisales , 2013).

Longitud de la curva (L)

$$L = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

$$L = \frac{\pi * 88.43 * 25^{\circ} 45' 14''}{180}$$

$$L = 39.74 \text{ m}$$

Cuerda larga (CL)

$$CL = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2}$$

$$CL = 2 * 88.43 * \sin \frac{25^{\circ} 45' 14''}{2}$$

$$CL = 39.41 \text{ m}$$

Externa (E)

$$E = T * \tan \frac{\Delta}{4}$$

$$E = 20.21 * \tan \frac{25^{\circ} 45' 14''}{4}$$

$$E = 2.28 \text{ m}$$

Ordenada media (M)

$$M = R * (1 - \cos \frac{\Delta}{2})$$

$$M = 88.43 * (1 - \cos 25^{\circ} 45' 14'' / 2)$$

$$M = 2.22 \text{ m}$$

Grado de curvatura

$$G^{\circ}c = 2 * \text{Sen}^{-1} * \frac{c}{2R}$$

$$G^{\circ}c = 2 * Sen^{-1} * \frac{10}{2 * 88.43}$$

Estos datos se pueden corroborar que están correctos con los datos generados en el programa Civil 3D que se encuentran en la tabla 37 pág. 66

Nota: Las curvas de diseño requiere curva con espiral según la tabla 84 (Ver anexos, pág. XXXVII), según la norma si las curvas circulares son menores al radio recomendado que se observa en la tabla, se necesitan realizar curvas en espiral, en el caso de estudio, el terreno no está apto para realizar cambios en los derechos de vías ya que existen caseríos que se encuentran cerca del derecho de vía por lo que las curvas se diseñaron como circulares simples.

Tabla 37 Elementos de curvas horizontales

Elementos curvas horizontales											
Numero PI	Dirección	Deflexión	Radio	T	L	CL	E	M	PC	PI	PT
PI:1	N 79°32'13" E	25°45'14"	88.43	20.22	39.75	39.42	2.28	2.22	0+086.19	0+106.40	0+125.94
PI:2	N 55°36'33" E	22°06'07"	206.15	40.26	79.52	79.03	3.89	3.82	0+199.37	0+239.63	0+278.89
PI:3	N 39°53'32" E	09°19'55"	147.12	12.01	23.96	23.93	0.49	0.49	0+278.89	0+290.90	0+302.85
PI:4	N 30°36'53" E	09°13'23"	106.21	8.57	17.1	17.08	0.34	0.34	0+378.74	0+387.30	0+395.83
PI:6	N 43°54'30" E	35°45'38"	123.00	39.74	76.88	75.63	6.26	5.96	1+015.28	1+055.00	1+092.13
PI:7	N 52°18'54" E	18°59'49"	125.00	20.91	41.44	41.28	1.74	1.71	1+092.13	1+113.05	1+133.58
PI:8	N 63°26'00" E	41°13'59"	123.00	46.27	88.52	86.62	8.42	7.88	1+133.58	1+179.85	1+222.10
PI:9	S 85°50'19" E	20°13'23"	130.00	23.18	45.88	45.65	2.05	2.02	1+222.10	1+245.28	1+267.98
PI:10	S 80°48'05" E	10°08'54"	97.71	8.08	17.31	17.28	0.38	0.38	1+418.79	1+427.47	1+438.10
PI:11	S 79°13'10" E	13°18'43"	154.99	18.09	36.01	35.93	1.05	1.04	1+491.77	1+509.86	1+527.78
PI:12	S 83°55'10" E	17°17'17"	97.98	14.89	29.56	29.45	1.13	1.11	1+592.01	1+606.91	1+621.58
PI:13	S 70°49'38" E	31°06'13"	45.00	12.52	24.43	24.13	1.71	1.65	1+664.35	1+676.87	1+688.78
PI:14	N 87°28'45" E	12°17'01"	123.00	13.24	26.37	26.32	0.71	0.71	1+784.24	1+777.47	1+790.61
PI:15	N 72°43'48" E	17°12'52"	158.92	24.05	47.75	47.57	1.81	1.79	1+919.66	1+943.72	1+967.41
PI:16	N 55°20'59" E	17°32'47"	132.12	20.39	40.46	40.3	1.56	1.55	1+967.41	1+987.80	2+007.87

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Trazado en perfil

En este trazado en perfil o también llamado alineamiento vertical se representa tanto el perfil natural del terreno como el perfil terminado del eje de la carretera al que se le conoce como rasante el cual está constituido por tangentes y curvas.

5.3.1 Pendiente máxima

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ellas. En automóviles, las pendientes de subida de hasta 5% no tienen influencia apreciable en la velocidad, cuando se compara con la correspondiente en terreno plano. Cuando sube la pendiente, la velocidad decrece progresivamente y en las pendientes de bajada la velocidad tiene un pequeño aumento. En consecuencia, las restricciones a estas velocidades son impuestas por condiciones de seguridad y comodidad

Acorde a la clasificación del terreno según las pendientes encontradas el terreno es ondulado (Ver tabla 5), por consecuencia los terrenos ondulados generan unas pendientes muy fuertes lo que genera una reducción en las velocidades, es por esto que la SIECA sugiere valores de pendientes máximas según el tipo de terreno y la velocidad de diseño, dichos valores se pueden encontrar en el siguiente cuadro.

Tabla 38 Pendientes máximas para carreteras colectoras rurales

Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) para velocidad de diseño especificada							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío (ondulado)	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: Norma Centroamericana para el diseño de carreteras, (SIECA, 2011)

Según la tabla 38, las pendientes máximas para el tramo en estudio no deben de sobre pasar el 10% en el caso de la velocidad de 30 km/h y para la velocidad de 50 km/h las pendientes no deben de sobre pasar el 9%.

5.3.2 Curvas verticales

La curva vertical tiene por objeto suavizar los cambios de las pendientes en el alineamiento vertical, en cuya longitud se efectúa el paso gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia.

Existen dos tipos de curvas verticales, pueden ser en crestas o en columpio

5.3.2.1 Curvas verticales en crestas

Las curvas verticales en crestas se diseñan de acuerdo a las más amplias distancias de visibilidad de parada para la velocidad de diseño.

Para el cálculo de la distancia de la curva se puede tomar en cuenta que la distancia de visibilidad de parada es constante para una velocidad de diseño dada, se puede usar la siguiente expresión:

$$L = K * A \text{ Ec-9. Tomada de (SIECA, 2011)}$$

Donde:

K= Tasa de curvatura vertical

A= Diferencia algebraica de pendientes (Pe – Ps)

Usando la expresión anterior se procedió a realizar el cálculo de la longitud de la curva número 3 a modo de ejemplo para corroborar los datos, la cual tiene los siguientes datos:

Pendiente de entrada= +5.65%

Pendiente de salida= -3.93%

Tasa de curvatura= 7 m

$$A = (5.65\% - (-3.93\%))$$

$$A = 9.58\%$$

$$L = 7m * 9.58\%$$

$$L = 67.06$$

Tal y como se observa en la tabla 39 pág. 70 el resultado calculado es igual al resultado que se generó en el programa Civil 3D.

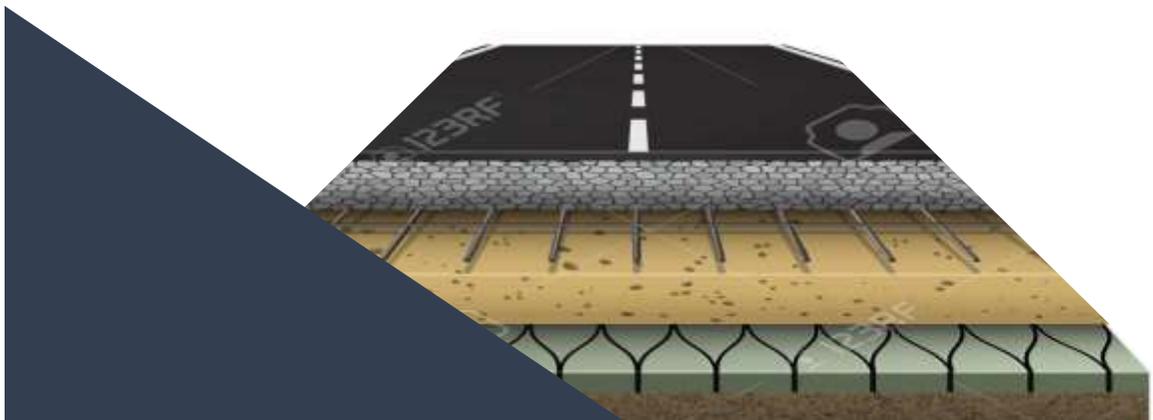
Tabla 39 Elementos de curvas verticales

Numero de curva	Estación PIV	Elevación	Tipo de curva	Longitud de curva	P1	P2	Factor K
1	0+097.56	309.96	Columpio	14.88	-0.17%	0.97%	13
2	0+822.60	316.93	Columpio	60.82	0.97%	5.65%	13
3	0+932.27	321.7	Cresta	67.05	5.65%	-3.93%	7
4	1+026.97	321.2	Columpio	109.25	-3.93%	4.48%	13
5	1+263.02	321.17	Cresta	9.54	4.48%	1.29%	7
6	1+323.12	328.105	Columpio	13.42	1.29%	3.53%	13
7	1+511.93	334.62	Columpio	18.42	3.53%	6.60%	13
8	1+654.29	343.73	Cresta	29.66	6.60%	-0.81%	7
9	1+823.52	343.46	Cresta	10.22	-0.81%	-3.37%	7
10	1+919.01	340.37	Columpio	18.87	-3.37%	-0.06%	13

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI.

DISEÑO DE PAVIMENTO



6.1 Generalidades

En el presente capítulo se muestra el proceso del cálculo de diseño de pavimento articulado haciendo uso del método AASHTO-93, este se basa en un modelo que contempla muchas variables tales como; el tránsito actual las proyecciones del tráfico el cual mediante un valor llamado número estructural es el indicador y condicionante del espesor del pavimento.

6.2 Superficie de rodadura pavimento articulado

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 (SIECA, 2002, pág. 118).

6.2.1 Cama de arena

El uso de la arena tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base aquí se pueden usar varias opciones como la arena natural de río, arena volcánica o minerales debiendo estar libres de arcilla o cualquier otro material que pueda interferir con el drenaje el Manual Centroamericano de pavimentos en el capítulo 5, página 25, especifica que, la cama de arena puede ser de 3 a 5 cm, por lo que en este estudio se seleccionó el valor de 5 cm.

6.3 Espesores mínimos

6.3.1 Subbase

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño (SIECA, 2002, pág. 94).

Para el cálculo del espesor mínimo de la subbase se utilizó la siguiente formula:

$$D3 = \frac{SN - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3} \text{ Ec-10 Tomada de (SIECA, 2002)}$$

6.3.2 Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de esta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura (SIECA, 2002, pág. 95).

Para el cálculo del espesor mínimo de la subbase se utilizó la siguiente formula:

$$D2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$$

6.3 Periodo de diseño

Como se observa en la tabla 14 que se encuentra en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico se escogió un periodo de diseño de 10 años ya que para el tipo de carretera que es una colectora el rango recomendado es entre 10 y 20 años.

6.4 Método de la AASHTO-93

Para aplicar este método se deben de tomar en cuenta diferentes variables de diseño:

- Numero de cargas equivalentes (ESAL´s)
- Confiabilidad
- Desviación estándar
- Serviciabilidad final
- Módulo de resiliencia
- Numero estructural
- Coeficiente de drenaje
- Coeficiente estructural de capa

6.4.1 Numero de cargas equivalentes (ESAL's)

Según el cálculo realizado en el capítulo III de estudio de tránsito el número de cargas equivalentes W18 es de 103,596.

6.4.2 Confiabilidad

La confiabilidad de diseño puede definirse según la (AASHTO-93, 1993, pág. 131) como la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso.

Haciendo uso de la tabla 40 donde se muestran los diferentes niveles de confiabilidad según el tipo de carretera; se eligió un valor de confiabilidad $R = 75\%$ ya que el tipo de carretera que se definió fue una colectoras rural.

Tabla 40 Valores de confiabilidad

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas 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: Norma Centroamericana para el diseño de carreteras, (SIECA, 2011)

6.4.2.1 Valores ZR para diversos grados de confiabilidad

El valor ZR va de la mano con el valor de confiabilidad seleccionada en este caso el nivel de confiabilidad seleccionada es de 75% con este valor buscamos el valor de ZR en la siguiente tabla:

Tabla 41 Valores ZR

Confiabilidad	Valor de ZR
50	- 0.00
60	- 0.253
70	- 0.254
75	- 0.674
80	- 0.841
85	- 1.037
90	- 1.282
91	- 1.340
92	- 1.405
93	- 1.476
94	- 1.555
95	- 1.645
96	- 1.751
97	- 1.881
98	- 2.054
99	- 2.327
99.9	- 3.090
99.99	- 3.750

Fuente: Norma Centroamericana para el diseño de pavimentos, (SIECA, 2002)

Según la tabla 41 con un valor de confiabilidad de 75 el valor a seleccionar para ZR es de -0.674

6.4.3 Desviación estándar

El desvío estándar es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio.

Para encontrar el valor de desviación estándar se hace uso de las recomendaciones encontrados en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico SIECA los cuales son mostrados en la tabla 42, para el caso en estudio se optó un valor de 0.40.

Tabla 42 Desviación estándar

Fuente: Norma Centroamericana para el diseño de pavimentos, (SIECA, 2002)

Condición	So
Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nuevas	0.35 – 0.40
En sobre-capas	0.50

6.4.4 Serviciabilidad

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. En el procedimiento de diseño AASHTO, la Serviciabilidad está calificada en términos de Clasificación de Serviciabilidad Presente (PSR=Present Serviceability Rating). Para determinarla, un grupo de individuos circula sobre el pavimento y lo califica de 0 a 5 (AASHTO-93, 1993, pág. 19).

La serviciabilidad inicial se selecciona según el tipo de pavimento en el caso en estudio se considera un pavimento flexible, por lo tanto, la serviciabilidad inicial es 4.2 y la serviciabilidad final es según la categoría del camino en este caso se consideró un camino de tránsito menor así que la serviciabilidad final es de 2.

Tabla 43 Niveles de serviciabilidad

Fuente: Norma Centroamericana para el diseño de pavimentos, (SIECA, 2002)

Con los valores de serviciabilidad seleccionado se procede a realizar el cálculo de

Serviciabilidad Inicial Po	
Para pavimentos rígidos	Para pavimentos flexibles
4.5	4.2
Serviciabilidad Final Pt	
Para caminos principales	Para caminos de tránsito menor
2.5	2

la pérdida por serviciabilidad siguiendo el siguiente procedimiento:

$$\Delta PSI = P_o - P_I$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

Como resultado se obtiene que el valor a usar es de 2.2

6.4.5 Modulo de resiliencia

En la Guía de diseño (AASHTO-93, 1993), el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante. En el método AASHTO deben usarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio dado que las incertidumbres son tomadas en cuenta en la confiabilidad R. Es importante utilizar valores a la densidad y contenido de humedad que los suelos desarrollarán cuando se encuentren en servicio.

CBR menores o iguales a 10% usar:

$$Mr = 1500 * CBR \text{ Ec-11 Tomada de (AASHTO-93, 1993)}$$

CBR mayores a 10% usar:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

El valor de CBR de diseño de la subrasante es de 19% se utiliza la fórmula de la segunda condición ya que el CBR es mayor del 10%, obteniendo lo siguiente:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4326 * \ln(19) + 241$$

$$Mr = 12,978.6 \text{ psi}$$

6.5 Coeficientes estructurales

Son coeficientes que están relacionados con parámetros resistentes de bases granulares, subbase granulares, bases tratadas con asfalto y bases tratadas con cemento. Conforme a estos coeficientes, se puede proceder al diseño de un paquete estructural para un pavimento flexible” (AASHTO-93, 1993, pág. 117).

6.5.1 Coeficiente estructural (a1) carpeta de rodamiento

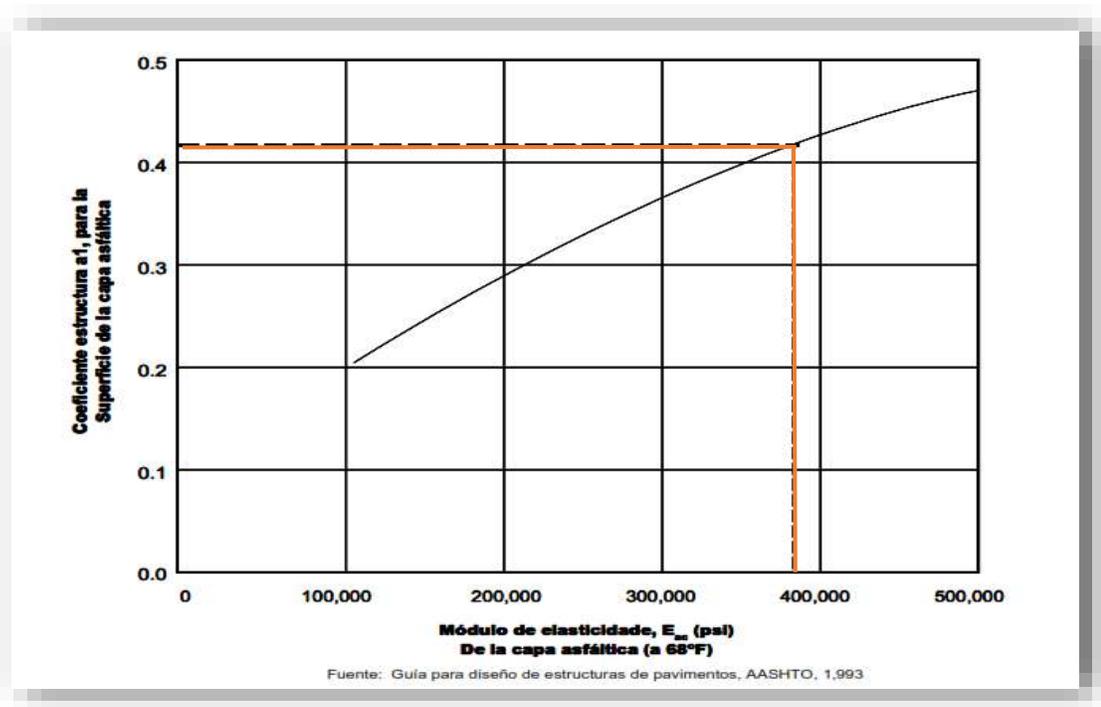
Para poder encontrar el valor del coeficiente estructural a1 se puede hacer uso del nomograma que se encuentra en el manual para diseño de pavimentos o de igual forma se puede tomar el valor recomendado de coeficiente estructural en

uno de los ejercicios resueltos cuándo es adoquinado dicho valor recomendado es de 0.45 y se encuentra en el capítulo 7 pagina 107.

Haciendo uso del nomograma se obtiene un valor de 0.42 y como se puede observar el valor es casi lo mismo, en este caso de estudio se usó el valor que se utilizó en el ejemplo que se encuentra en el manual de pavimentos.

Ilustración 10 Coeficiente estructural a1

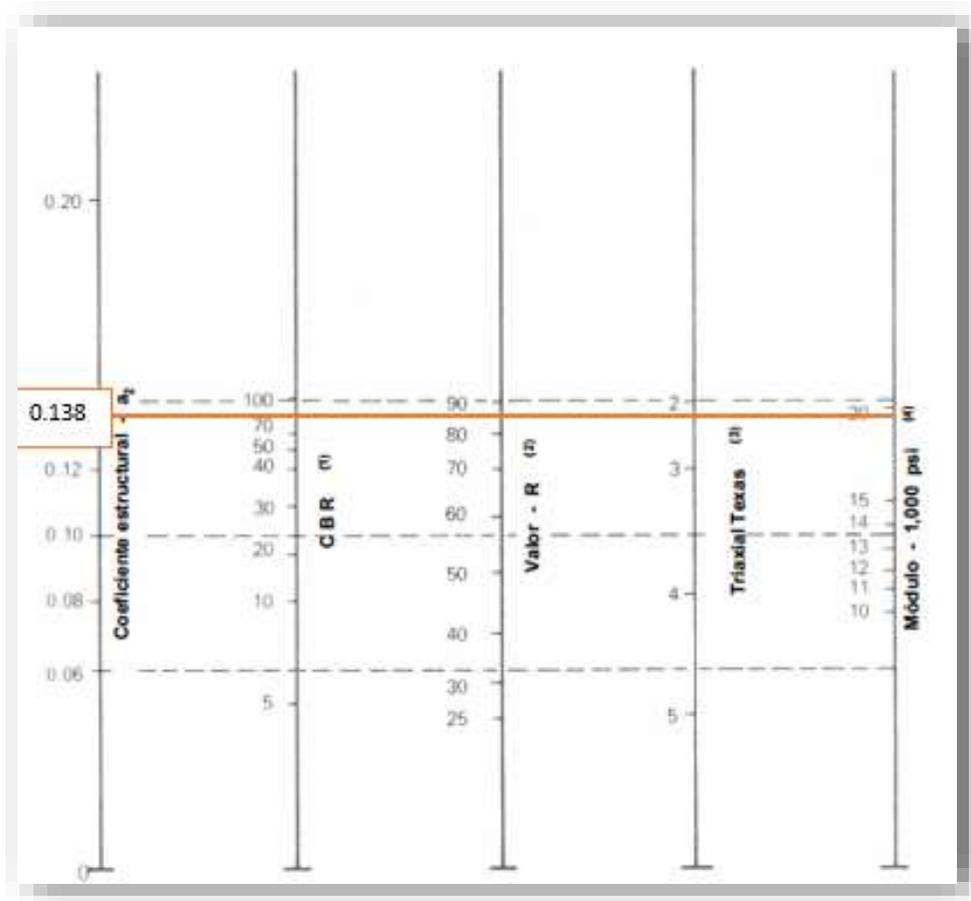
Fuente: Elaboración propia



6.5.2 Coeficiente estructural (a2) para base

El coeficiente estructural a_2 se calculó mediante el nomograma para dicha capa donde se tomó en cuenta el CBR del banco de material analizado el cual es de 85%.

Ilustración 11 Coeficiente estructural a2



Fuente:

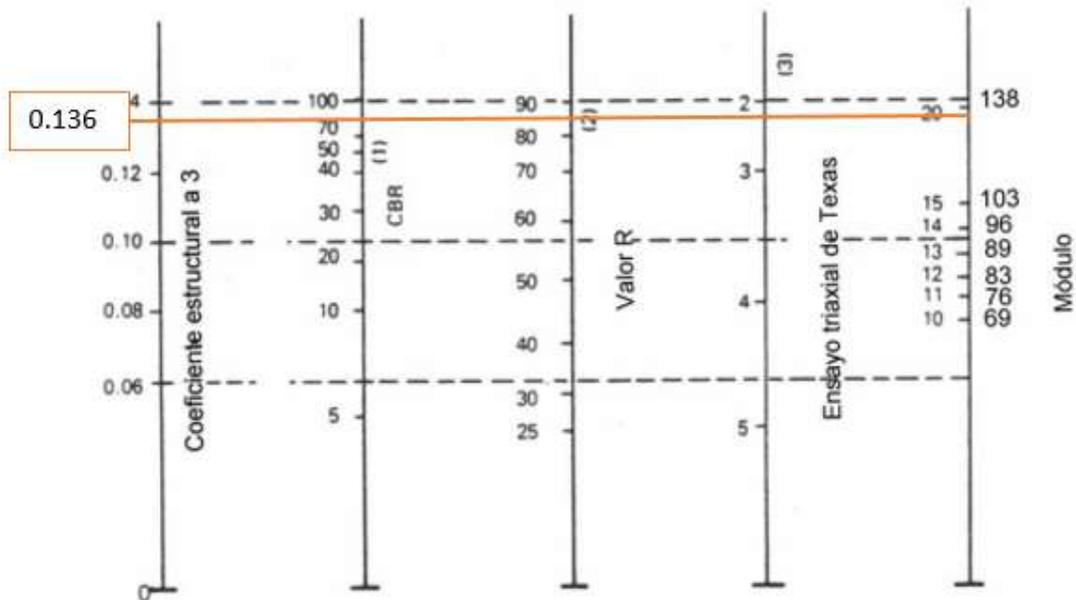
Elaboración propia

Como se observa al momento de interpolar el valor de CBR se obtuvo un valor del coeficiente estructural $a_2 = 0,138$

6.5.3 Coeficiente estructural (a3) subbase

Para el coeficiente estructural (a3) se toma de igual forma el valor de CBR del banco de material del 85% interpolando los datos como se muestra en la ilustración 13; obteniendo un valor $a_3=0.136$.

Ilustración 12 Coeficiente estructural a3



Fuente: Elaboración propia

6.5.4 Resumen de resultados obtenidos coeficientes estructurales

Tabla 44 Coeficientes estructurales obtenidos

Coeficientes estructurales	Valor obtenido
a1	0.45
a2	0.138
a3	0.136

Fuente: Elaboración propia

6.6 Números estructurales

Acorde a (AASHTO-93, 1993) con la fórmula de diseño se obtiene un valor llamado número estructural SN (structural number) y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

Las variables de entrada en este ábaco de diseño son:

- Transito estimado por carril
- Confiabilidad
- Desvío estándar de todas las variables
- Módulo resiliente efectivo de la subrasante
- Pérdida de Serviciabilidad

La expresión que liga al número estructural con los espesores de capa es:

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

En este caso de estudio para los valores del coeficiente de drenaje (m) se optó el valor de m=1

6.6.1 SN3 (Subbase)

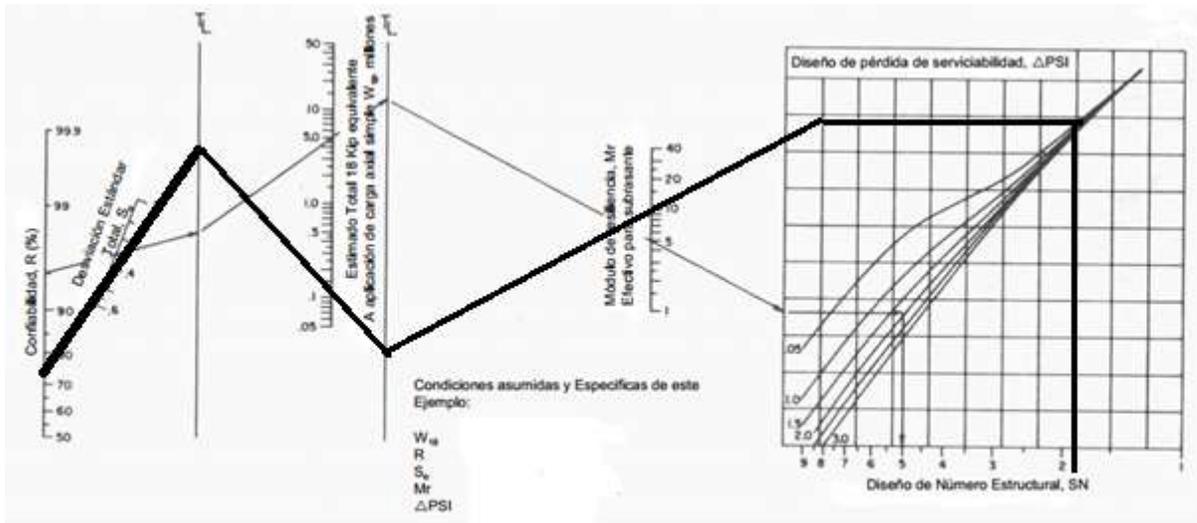
En la tabla 45 se muestran los valores que se utilizaron para conocer sal valor SN3.

Tabla 45 Variables para SN3

Variables	Valores
Nivel de confiabilidad	75%
Desviación estándar	0.4
ESAL's de diseño	101,943
Modulo Resiliencia (CBR>10%)	12.78 ksi
Perdida por serviciabilidad (ΔPSI)	2.2

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13 Interpolación numero estructural SN3



Fuente: Elaboración

Como resultado se obtuvo un valor $SN_3=1.9$

6.6.2 SN2 (base)

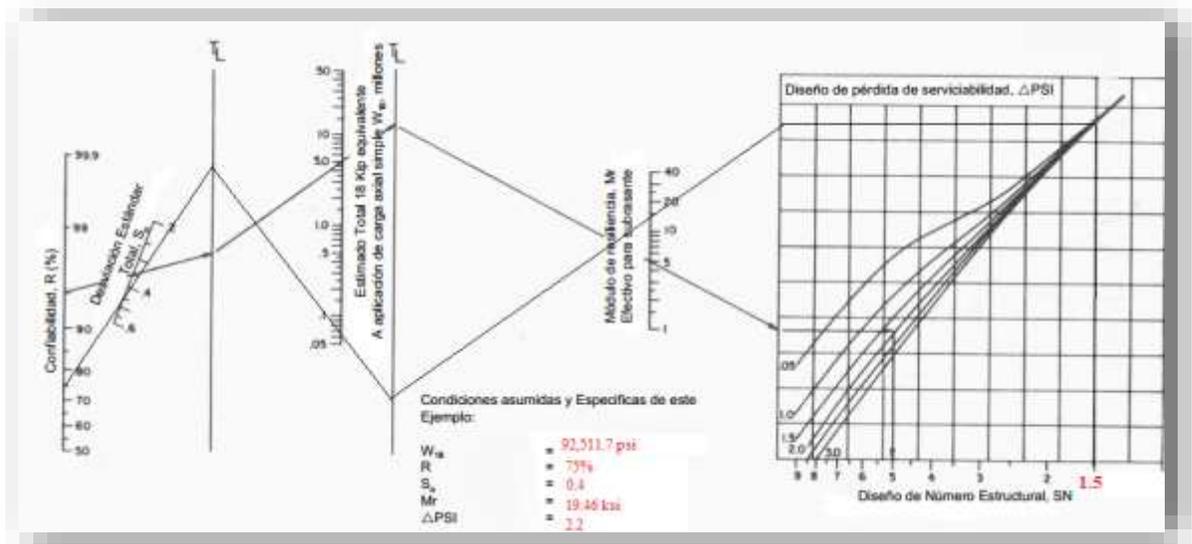
De igual forma se repite el procedimiento para la siguiente capa a continuación se muestran las variables que se utilizaron.

Tabla 46 Variables para el uso de ábaco SN2

Variables	Valores
Nivel de confiabilidad	75%
Desviación estándar	0.4
ESAL's de diseño	101,943
Modulo Resiliencia (CBR>10%)	19.46 ksi
Perdida por serviciabilidad (ΔPSI)	2.2

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14 Interpolación número estructural SN2



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la interpolación se obtuvo un valor $SN_2=1.5$.

6.7 Diseño de espesores

6.7.1 Espesor capa de rodamiento

El cálculo para el espesor de la capa de rodamiento se omite ya que este caso de estudio lleva una capa de rodamiento de adoquines y esta capa ya cuenta con un espesor determinado; pero a continuación se muestra la formula en caso de que sea carpeta asfáltica.

$$D1 = SN1/a1$$

Por ende, el valor D1:

$$D1 = 4''$$

Se calcula el valor de SN1 corregido haciendo uso de la siguiente formula:

$$SN1^* = a1 * D1$$

$$SN1^* = 0.45 * 4$$

$$SN1^* = 1.8$$

6.7.2 Espesor de la base

Con los valores encontrados del número estructural para la base $SN_2 = 1.5$ SN_1 corregido 1.8 y el coeficiente estructural haciendo el uso del nomograma $a_2 = 0.138$ y teniendo en cuenta que el coeficiente de drenaje toma el valor de $m_2 = 1$ se realizó el siguiente cálculo:

$$D_2 = SN_2 - SN_1^* / a_2 * m_2$$

$$D_2 = 1.5 - 1.8 / 0.138 * 1$$

$$D_2 = -2.17''$$

Como resultado se obtuvo un valor negativo de -2.17 pulgadas, pero, como este valor está por debajo del valor mínimo recomendado por el manual de pavimentos se utilizará dicho valor que es de 4 pulgadas, este valor es escogido ya que el ESAL's de diseño se encuentra en el rango de 50,000 – 150,000; por lo tanto,

$$D_2 = 4''$$

Se calcula el valor SN_2^* corregido

$$SN_2^* = a_2 * m_2 * D_2$$

$$SN_2^* = 0.138 * 1 * 4$$

$$SN_2^* = 0.55$$

6.7.3 Espesor subbase

Para la determinación del espesor de la subbase se usan los valores encontrados de $SN_2^* = 0.55$ corregido y SN_1 corregido así como el coeficiente estructural de capa $a_3 = 0.136$; con los datos obtenidos se procedió a realizar el cálculo.

$$D_3 = SN_3 - (SN_2^* - SN_1^*) / a_3 * m_3$$

$$D_3 = 1.9 - (0.55^* - 1.8^*) / 0.136 * 1$$

$$D_3 = -3.32$$

El resultado obtenido para el espesor D_3 es negativo, por lo tanto, la norma sugiere que el diseño no necesita subbase.

Se toma en cuenta el valor $SN_3=1.9$ como valor requerido para realizar la comprobación de que el proceso es el correcto cumpliendo la siguiente condición:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN_{req}$$

$$1.8 + 0.55 > 1.9$$

$$2.35 > 1.9 \text{ Cumple condicion}$$

6.7.3 Resumen de espesores obtenidos

Tabla 47 Espesores obtenidos

Capa	Espesor (in)
Capa de rodamiento	4"
Cama de arena	2"
Base granular	4"
Espesor total	10"
	25.4 cm

Fuente: Elaboración propia

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



7.1 Conclusiones

En la realización del estudio topográfico, que se hizo con estación total y cumpliendo con lo que se establece en el manual de revisiones del MTI; de la estación total se exportaron un total de 909 puntos en formato txt. los cuales fueron exportados en el programa Civil 3D.

En lo que corresponde al estudio de tránsito, el aforo vehicular que se realizó en la estación 0+500 en un periodo de 7 días y con un conteo de 12 horas dividiendo el conteo que pasa por hora, todo esto para poder obtener el tránsito promedio diario anual que resulto de 491 veh/día haciendo uso del método que se encuentra en el anuario de aforo; para posteriormente poder encontrar el ESAL's de diseño que estará afectando la carretera en su vida útil el cual es de 101,943.

Se realizaron 5 sondeos manuales a lo largo de la línea ubicados a cada 500 metros con una profundidad de 1.5 metros se extrajeron varias muestras de cada sondeo, a las muestras se le realizaron ensayos (granulometría, límites de Atterberg, proctor estándar y CBR) donde se obtuvieron las siguientes características: CBR de la subrasante 19%, CBR del banco de materiales 85%, límite líquido 26%, índice de plasticidad 6% cumpliendo con los requisitos presentados en la norma NIC-2019.

Para el diseño geométrico realizado se tomó como referencia el manual centroamericano para el diseño de carreteras, la calzada cuenta con dos carriles de 3.3 metros cada uno, se seleccionó una velocidad de diseño base de 50 km/h cambiando esta velocidad en la estación 1+000 a una velocidad de 30 km/h para poder cumplir con los radios de curvaturas, también se seleccionó un valor de peralte del 8% y un bombeo normal del 2%. El diseño cuenta con alineamiento horizontal que está conformado por 15 curvas circulares simples y compuestas donde se cumplen todos los radios mínimos para las dos velocidades existentes el alineamiento vertical está constituido por 10 curvas verticales, 4 de ellas son en cresta y 6 en columpio cumpliendo con las pendientes mínimas y máximas de acuerdo a las velocidades de diseño.

Para el diseño de pavimentos donde se tomó como referencia el manual centroamericano para el diseño de pavimentos y aplicando el método AASHTO-93, la superficie de rodadura es de adoquinado y la base es una base granular haciendo uso de una cama de arena obteniendo los espesores de cada una de las capas; un espesor de 4 pulgadas para superficie de rodadura (adoquín), para la cama de arena el espesor es de 2 pulgadas y por último el espesor de la base es de 4 pulgadas siendo este espesor el mínimo que establece la norma ya que el valor calculado era menor por lo tanto se eligió este valor mínimo de 4 pulgadas, para este caso de estudio el cálculo de la subbase no se realizó ya que solo se contaba con los datos de un solo banco de materiales.

7.2 Recomendaciones

A continuación, se muestran algunas recomendaciones para llevar a cabo el diseño geométrico y que tenga una vida útil larga.

- Cumplir con especificaciones técnicas del diseño de espesores en el momento de realizar los movimientos de tierra y realizar la verificación de los espesores propuestos.
- Asegurar la correcta construcción del sistema de drenaje pluvial para garantizar la vida útil del tramo.
- Al momento de realizar la compactación del suelo asegurar que no pase tráfico vehicular; colocar buena señalización y realizar desvíos para no interferir en el tráfico.
- Garantizar que el adoquín a utilizar cumpla con las especificaciones técnicas de resistencia a la compresión para que no exista daño prematuro en el tramo.
- Desechar cualquier material encontrado que se encuentre fuera de las especificaciones técnicas que fueron encontradas en los sondeos manuales.
- Verificar la calidad de las muestras encontradas en el banco de material y que esté libre de cualquier sustancia patógena que pueda afectar la calidad de tal material.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- AASHTO-93. (1993). Nueva York: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Bonillo , M. (2013). *Taquimetria*. Sevilla.
- Cal , R., & Cardenas , J. (2018). *Ingenieria de Transito* . México : Alfaomega Grupo Editor .
- Cardenas Grisales , J. (2013). *Diseño geometrico de carreteras* . Bogota: Ecoe Ediciones .
- Casanova, L. (2002). *Topografia plana*. Venezuela: ULA.
- Garcia , F. (1994). *Curso Basico de Topografia* . Mexico: Arbol Editorial, S.A. de C. V.
- Madrid Mesa, G. G. (2001). *Guia para el diseño de pavimentos de adoquines de concreto para tráfico vehicular y peatonal*. Medellín.
- Mendoza , J., & Mora, S. (2019). *Altimetría*. Lima: M&CO.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras* . Bogotá: Agora Editores.
- MTI . (2008). *Manual Para La Revision de Estudios Topograficos*. Managua: PAST- DANIDA.
- MTI. (2020). *Anuario de Aforos de Trafico*. Managua: Division de administracion vial.
- NIC. (2019). *Especificaciones para construccion de caminos, calles y puentes*. Managua: MTI.
- Osorio Pérez , J. R. (2015). *Achuapa: Alma, Vida y Corazón* . León: Editorial Universitaria UNAN-LEON. 2015.

Quintana , G. (18 de Septiembre de 2022). Entrevista para recopilación de antecedentes del Tramo Achuapa - La Aceituna. (J. Á. Ortez , & A. F. Quintana , Entrevistadores)

SIECA . (2004). *Manual centroamericano para la construccion de carreteras regionales* . Guatemala : SIECA.

SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: SIECA .

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras*. Guatemala: SIECA.

Villalaz , C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México : Limusa.

IX. ANEXOS

Ilustración 15 Estación utilizada para el levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16 Levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17 Establecimientos de puntos de control



Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 Puntos exportados de la estación total

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción
1	545501.251	1443692.28	316.8705	Eje central
2	545503.676	1443691.21	316.7625	Banda izquierda
3	545504.729	1443690.81	316.6654	Zanja I.
4	545487.141	1443676.9	317.1025	Cerco
5	545499.864	1443670.62	316.9829	Banda derecha
6	545489.946	1443675.27	316.6361	Zanja D.
7	545489.219	1443675.74	316.5809	Cerco
8	545510.615	1443711.47	316.9607	Eje central
9	545513.128	1443710.55	316.8656	Banda izquierda
10	545514.149	1443710.14	316.9043	Zanja I.
11	545496.625	1443694.56	317.2654	Cerco
12	545507.395	1443689.39	317.2747	Banda derecha
13	545498.407	1443693.51	316.7131	Zanja D.
14	545497.866	1443693.89	316.8114	Cerco
15	545483.53	1443655.16	316.5784	Eje central
16	545485.836	1443653.67	316.399	Banda izquierda
17	545486.8	1443653.22	316.401	Zanja I.
18	545468.319	1443639.81	316.8023	Cerco
19	545481.5	1443633.38	316.7079	Banda derecha
20	545471.818	1443637.92	316.3849	Zanja D.
21	545470.747	1443638.63	316.2047	Cerco
22	545492.569	1443673.95	316.7299	Eje central
23	545494.868	1443673.04	316.5888	Banda izquierda
24	545495.895	1443672.71	316.5539	Zanja I.
25	545477.604	1443657.95	317.1597	Cerco
26	545490.109	1443651.27	316.9331	Banda derecha
27	545480.788	1443656.45	316.513	Zanja D.
28	545479.99	1443656.93	316.4042	Cerco
29	545524.796	1443752.03	318.2919	Eje central
30	545540.412	1443768.34	317.6581	Banda izquierda
31	545542.58	1443767.4	317.5747	Zanja I.
32	545527.32	1443750.51	317.4864	Cerco
33	545533.759	1443747.07	317.3589	Banda derecha
34	545536.166	1443745.61	317.8028	Zanja D.
35	545528.241	1443750.2	317.4236	Cerco
36	545534.741	1443771.34	318.0743	Eje central
37	545550.67	1443787.53	317.8583	Banda izquierda
38	545552.869	1443786.48	317.8106	Zanja I.
39	545536.967	1443770.15	317.6116	Cerco
40	545543.447	1443767.02	317.5337	Banda derecha
41	545546.562	1443765.68	317.8712	Zanja D.
42	545537.685	1443769.71	317.6641	Cerco

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción
43	545522.702	1443729.2	317.22	Eje central
44	545523.53	1443729.01	317.1426	Banda izquierda
45	545527.164	1443726.83	317.9247	Zanja I.
46	545521.069	1443729.96	317.2583	Cerco
47	545508.581	1443712.53	316.9533	Banda derecha
48	545507.932	1443712.88	316.9531	Zanja D.
49	545506.002	1443714.24	317.5813	Cerco
50	545530.456	1443748.89	317.4205	Eje central
51	545532.824	1443747.6	317.3443	Banda izquierda
52	545527.189	1443735.17	317.2774	Zanja I.
53	545518.858	1443731.06	317.2535	Cerco
54	545518.265	1443731.62	317.2328	Banda derecha
55	545515.507	1443733.17	318.4068	Zanja D.
56	545478.267	1443634.84	316.2507	Cerco
57	545428.161	1443543.36	315.6753	Eje central
58	545430.513	1443541.81	315.572	Banda izquierda
59	545431.816	1443541.14	315.5863	Zanja I.
60	545414.029	1443527.66	315.6883	Cerco
61	545429.307	1443520.97	315.7575	Banda derecha
62	545417.105	1443526.77	315.4511	Zanja D.
63	545416.106	1443527.21	315.4041	Cerco
64	545437.106	1443561.05	315.8453	Eje central
65	545439.604	1443559.55	315.7291	Banda izquierda
66	545440.777	1443558.97	315.634	Zanja I.
67	545423.978	1443544.31	315.6092	Cerco
68	545437.781	1443537.72	316.2142	Banda derecha
69	545425.857	1443544.28	315.5847	Zanja D.
70	545425.029	1443544.78	315.5629	Cerco
71	545411.173	1443509.08	315.459	Eje central
72	545414.182	1443507.31	315.3716	Banda izquierda
73	545415.078	1443506.87	315.4415	Zanja I.
74	545396.779	1443492.74	315.3897	Cerco
75	545411.995	1443487.06	315.8959	Banda derecha
76	545399.296	1443491.56	315.2953	Zanja D.
77	545398.484	1443491.85	315.254	Cerco
78	545419.702	1443526.05	315.5899	Eje central
79	545422.324	1443524.46	315.4274	Banda izquierda
80	545423.459	1443523.83	315.4269	Zanja I.
81	545405.263	1443511.62	315.5391	Cerco
82	545421.092	1443504.54	316.0134	Banda derecha
83	545408.332	1443510.01	315.3645	Zanja D.
84	545407.491	1443510.42	315.4094	Cerco
85	545449.536	1443603.96	316.2637	Eje central

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción
86	545465.646	1443618.84	316.2854	Banda izquierda
87	545467.686	1443618.02	316.2046	Zanja I.
88	545452.762	1443602.44	315.9579	Cerco
89	545459.734	1443599.34	315.9534	Banda derecha
90	545466.984	1443595.94	316.503	Zanja D.
91	545453.901	1443601.77	316.0763	Cerco
92	545459.002	1443622.58	316.5758	Eje central
93	545474.039	1443636.66	316.4222	Banda izquierda
94	545476.891	1443635.3	316.338	Zanja I.
95	545462.158	1443620.71	316.0908	Cerco
96	545468.813	1443617.68	316.2152	Banda derecha
97	545474.873	1443615.46	316.6508	Zanja D.
98	545463.106	1443620.09	316.2431	Cerco
99	545446.825	1443579.84	315.9532	Banda derecha
100	545449.046	1443578.6	315.8755	Zanja D.

Fuente: Elaboracion propia

Nota: El resto de puntos que se tomaron se encuentran compartidos en la siguiente carpeta de google drive

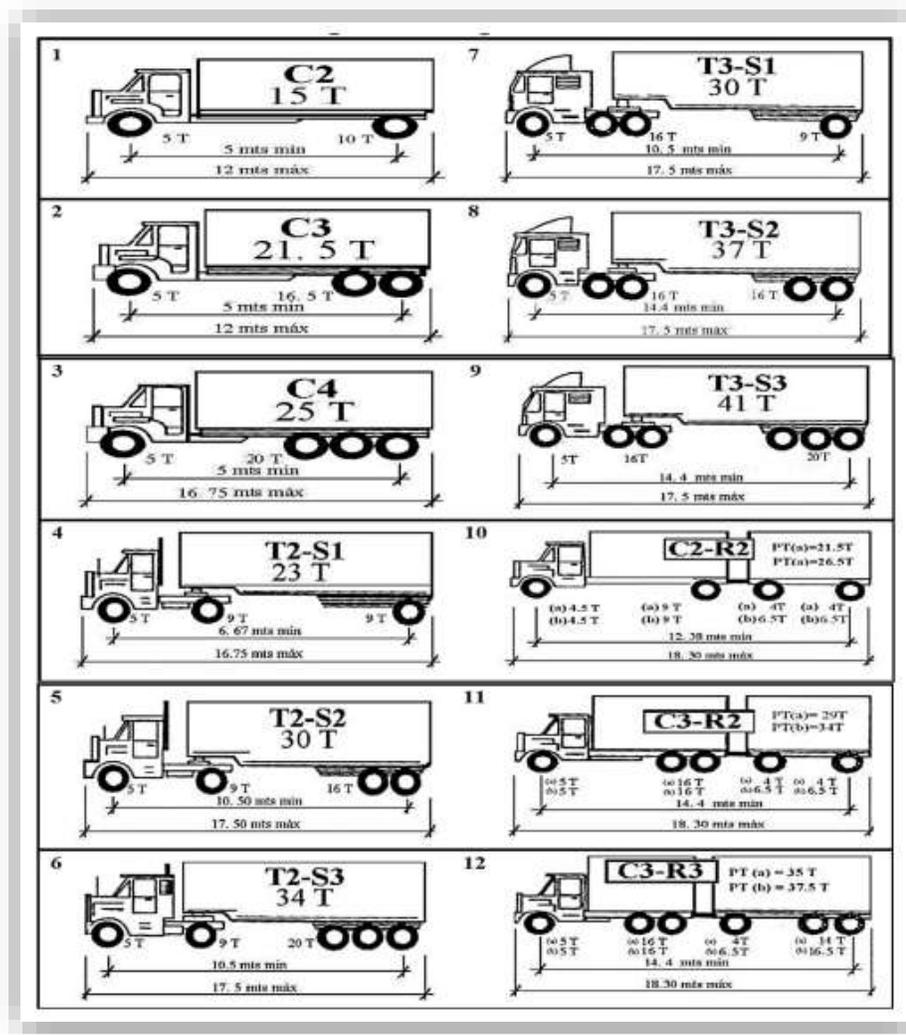
https://drive.google.com/drive/folders/1u5ydkCAaOb0wXo80W5tgAkNFhbv74QWw?usp=drive_link

Ilustración 18 Conteo vehicular Est. 0+500



Fuente: Elaboracion propia

Ilustración 19 Tipos de vehículos de carga y sus dimensiones



Fuente: Clasificación vehicular, MTI

Tabla 49 Formato utilizado para el aforo

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>		<i>Vehículo de pasajeros</i>					<i>Vehículo de carga</i>			<i>Total vehículo</i>	
			<i>Bicicletas</i>	<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>		<i>C3</i>
	6.00	7.00										
	7.00	8.00										
	8.00	9.00										
	9.00	10.00										
	10.00	11.00										
	12.00	13.00										
	13.00	14.00										
	14.00	15.00										
	15.00	16.00										
	16.00	17.00										
	17.00	18.00										

Fuente: Anuario de aforo de tráfico, (MTI, 2020)

Tabla 50 Factores equivalencia de carga, eje simple

Carga (kips)	Numero 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	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.09	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	0.35	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1	1	1	1	1	1
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	3.4	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	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, (SIECA, 2002)

Tabla 52 Resultado análisis granulométrico S1-M2

Est. 0+050 b. izquierda		Sondeo N° 1	Muestra N° 2	Peso muestra: 11,712.0 g	
Descripción: Grava y arenalimosa arcillosa			Clasificación: A-2-7		
NORMA AASHTO T-11					
TAMIZ	P.R.P	%R.P.	%R.A.	% PASA GRUESO	%PASA FINO
2 1/2	0	0	0	100	
2	261	2	2	98	
1 1/2	163	1	3	97	
1	781	7	10	90	
3/4	517	4	14	86	
1/2	0	0	0	0	
3/8	1885	16	30	70	
N° 4	872	8	38	62	
PASA N° 4	7233	62	100		
SUMA	11712	100			
N°10	4.4	3	41		59
N°40	26.8	18	59		41
N°200	10.3	7	66		34
PASA N°200	49.6	34	100		
SUMA	91.1	62			
P.R.P= Peso retenido parcial			%R.P.= Porcentaje retenido parcial		
			%R.A.= Porcentaje acumulado		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61 Resultados ensaye límites de Atterberg S1-M1

Límites de Atterberg						
NORMA AASHTO T-89 Y T-90						
Humedad	Tara	P-4	Peso seco	94.2		
	Peso W	100	Cont. Agua	5.8		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO
Tara	P-30	P-16	Tara	P-5	P-6	L.L (%) 29
P.B.H	36.95	33.65	P.B.H	23	25	L.P (%) 19
P.B.S	30.83	29.99	P.B.S	22.86	22.8	
Agua	6.12	5.66	Agua	2.14	2.2	I.P (%) 11
P. Recip.	10.7	10.7	P. Recip.	20.91	21.1	
P.S.	20.13	19.29	P.S	11.3	11.1	Clasificación A-2-6 Indice de grupo 0 Color Gris claro
% hum.	30.4	29.34	L.P	18.5	18.8	
FACTOR	0.954	1				
N° Golpes	17	25				
L.L	29	29.34	L.P	18.66		
Ubicación	0+050 Banda izquierda					
Profundidad	0.00 m - 0.05 m					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62 Resultados ensaye límites de Atterberg S1-M2

Límites de Atterberg						
NORMA AASHTO T-89 Y T-90						
Humedad	Tara	P-4	Peso seco	91.1	% W	9.77
	Peso W	100	Cont. Agua	8.9		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO
Tara	P-41	P-1	Tara	P-28	P-14	L.L (%) 41
P.B.H	33.8	32.88	P.B.H	25	25	L.P (%) 24
P.B.S	26.9	26.38	P.B.S	22.26	22.44	
Agua	6.9	6.5	Agua	2.74	2.56	I.P (%) 17
P. Recip.	15.21	15.5	P. Recip.	11.3	11.2	
P.S.	10.7	10.7	P.S	10.96	11.24	Clasificación A-2-7 Indice de grupo 1 Color Café claro
% hum.	42.59	41.45	L.P	25	22.8	
FACTOR	0.954	1				
N° Golpes	17	25				
L.L	40.63	41.45	L.P	23.89		
Ubicación	0+050 Banda izquierda					
Profundidad	0.05 m - 1.5 m					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63 Resultados ensaye límites de Atterberg S2-M2

Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg							
NORMA AASHTO T-89 Y T-90							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	95.2	% W	5.04
	Peso W	100		Cont. Agua	4.8		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-38	P-11	Tara	P-24	P-19	L.L (%)	41
P.B.H	38.4	37.07	P.B.H	25	25	L.P (%)	27
P.B.S	30.08	29.33	P.B.S	22.11	22.02	I.P (%)	14
Agua	8.32	7.74	Agua	2.89	2.98		
P. Recip.	10.7	10.7	P. Recip.	11.3	11		
P.S.	19.38	18.65	P.S	10.81	11.02		
% hum.	42.93	41.5	L.P	26.7	27	Clasificación	A-7-6
FACTOR	0.954	1				Indice de grupo	7
N° Golpes	17	25				Color	Gris
	L.L	40.96 41.5		L.P	26.89		
Ubicación			0+500 Banda derecha				
Profundidad			0.27 m - 1.50 m				

Tabla 64 Resultados ensaye límites de Atterberg S2-M1

Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg							
NORMA AASHTO T-89 Y T-90							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	93.4	% W	7.07
	Peso W	100		Cont. Agua	6.6		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-31	P-51	Tara	P-3	P-22	L.L (%)	30
P.B.H	37.32	37.07	P.B.H	25	25	L.P (%)	24
P.B.S	30.95	31.09	P.B.S	22.23	22.43	I.P (%)	6
Agua	6.37	5.98	Agua	2.77	2.57		
P. Recip.	11	11	P. Recip.	10.7	11.8		
P.S.	19.95	20.09	P.S	11.53	10.83		
% hum.	31.92	29.76	L.P	24	23.7	Clasificación	A-4
FACTOR	0.954	1				Indice de grupo	0
N° Golpes	17	25				Color	Gris oscuro
	L.L	30.45 29.76		L.P	23.88		
Ubicación			0+500 Banda derecha				
Profundidad			0.00 m – 0.27 m				

Tabla 65 Resultados ensaye límites de Atterberg S3-M1

Límites de Atterberg							
<i>NORMA AASHTO T-89 Y T-90</i>							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	85.7	% W	16.99
	Peso W	100		Cont. Agua	14.3		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-29	P-40	Tara	P-18	P-40	L.L (%)	32
P.B.H	32.78	32.78	P.B.H	25	25	L.P (%)	24
P.B.S	26.31	26.66	P.B.S	22.35	22.27	I.P (%)	8
Agua	6.47	6.12	Agua	2.65	2.73	Clasificación Indice de grupo Color	A-4 1 Café claro
P. Recip.	7.4	7.4	P. Recip.	11.2	10.8		
P.S.	18.91	19.26	P.S	11.15	11.47		
% hum.	34.23	31.77	L.P	23.8	23.8		
FACTOR	0.954	1					
N° Golpes	17	25					
L.L	32.66	31.77	L.P	23.78			
Ubicación				1+000 Banda izquierda			
Profundidad				0.00 m - 0.27 m			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66 Resultados ensaye límites de Atterberg S3-M2

Límites de Atterberg							
<i>NORMA AASHTO T-89 Y T-90</i>							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	84	% W	19.05
	Peso W	100		Cont. Agua	16		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-2	P-48	Tara	P-13	P-26	L.L (%)	29
P.B.H	36.27	34.42	P.B.H	25	25	L.P (%)	22
P.B.S	30.34	29.02	P.B.S	22.72	22.46	I.P (%)	7
Agua	5.93	5.4	Agua	2.28	2.54	Clasificación Indice de grupo Color	A-2-4 0 Gris
P. Recip.	10.7	10.7	P. Recip.	12.4	10.9		
P.S.	19.64	19.26	P.S	10.32	11.56		
% hum.	30.19	29.47	L.P	22.1	22		
FACTOR	0.954	1					
N° Golpes	17	25					
L.L	28.8	29.47	L.P	22.03			
Ubicación				1+000 Banda izquierda			
Profundidad				0.27 m - 1.23 m			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Resultados ensaye límites de Atterberg S4-M1

Límites de Atterberg								
NORMA AASHTO T-89 Y T-90								
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	95.9	% W 4.28		
	Peso W	100		Cont. Agua	4.1			
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO		
Tara	P-51	P-60	Tara	P-50	P-12		L.L (%) 39	
P.B.H	36.57	35.28	P.B.H	25	25		L.P (%) 23	
P.B.S	29.15	28.29	P.B.S	22.4	22.65			
Agua	7.52	6.99	Agua	2.6	2.45		I.P (%) 16	
P. Recip.	10.7	10.7	P. Recip.	11.2	12.1			
P.S.	18.45	17.59	P.S	11.2	10.45		Clasificación A-2-6	
% hum.	40.75	39.73	L.P	23.2	23.4			Indice de grupo 0
FACTOR	0.954	1						
N° Golpes	17	25						
	L.L	38.88	39.73	L.P	23.33			
Ubicación			1+500 Banda derecha					
Profundidad			0.00 m - 0.15 m					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 Resultados ensaye límites de Atterberg S4-M2

Límites de Atterberg								
NORMA AASHTO T-89 Y T-90								
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	90.7	% W 10.25		
	Peso W	100		Cont. Agua	9.3			
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO		
Tara	P-45	P-31	Tara	P-3	P-22		L.L (%) 25	
P.B.H	38.6	36.97	P.B.H	25	25		L.P (%) 18	
P.B.S	32.9	31.92	P.B.S	22.85	22.94			
Agua	5.76	5.05	Agua	2.15	2.06		I.P (%) 7	
P. Recip.	11.6	11.6	P. Recip.	10.7	11.6			
P.S.	21.3	20.32	P.S	12.15	11.34		Clasificación A-2-4	
% hum.	27.04	24.85	L.P	17.7	18.2			Indice de grupo 0
FACTOR	0.954	1						
N° Golpes	17	25						
	L.L	25.8	24.85	L.P	17.93			
Ubicación			1+500 Banda derecha					
Profundidad			0.15 m - 1.0 m					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69 Resultados ensaye límites de Atterberg S5-M1

Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg							
NORMA AASHTO T-89 Y T-90							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	93.4	% W	7.07
	Peso W	100		Cont. Agua	6.6		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-60	P-58	Tara	P-40	P-22	L.L (%)	35
P.B.H	34.76	35.59	P.B.H	25	25		
P.B.S	28.32	29.03	P.B.S	22.08	22.21	L.P (%)	26
Agua	6.44	6.56	Agua	2.92	2.79		
P. Recip.	10.7	10.7	P. Recip.	10.8	11.6	I.P (%)	9
P.S.	17.62	18.33	P.S	11.28	10.61		
% hum.	36.54	35.78	L.P	25.9	26.3	Clasificación	A-4
FACTOR	0.954	1				Indice de grupo	2
N° Golpes	17	25				Color	Amarillo
L.L	34.86	35.78	L.P	26.09			
Ubicación	2+000 Banda izquierda						
Profundidad	0.00 m - 0.50 m						

Tabla 70 Resultados ensaye límites de Atterberg S5-M2

Límites de Atterberg							
NORMA AASHTO T-89 Y T-90							
Humedad	Tara	P-2		Peso seco	89.7	% W	11.48
	Peso W	100		Cont. Agua	10.3		
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			INDICE PLASTICO	
Tara	P-31	P-29	Tara	P-10	P-29	L.L (%)	36
P.B.H	35	35.54	P.B.H	25	25		
P.B.S	28.54	29.23	P.B.S	21.94	21.23	L.P (%)	27
Agua	6.46	6.31	Agua	3.06	3.77		
P. Recip.	11.66	11.6	P. Recip.	10.7	7.4	I.P (%)	9
P.S.	16.94	17.63	P.S	11.24	13.83		
% hum.	38.13	35.78	L.P	27.2	27.3	Clasificación	A-4
FACTOR	0.954	1				Indice de grupo	4
N° Golpes	17	25				Color	Gris
L.L	36.38	35.78	L.P	27.24			
Ubicación	2+000 Banda izquierda						
Profundidad	0.50 m - 1.50 m						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-6 (0)

Proctor Estándar						
<i>AASHTO T-99</i>						
<i>Tipo de suelo A-2-6 (0)</i>						
Compactación de la muestra						
Peso del mate. más molde	6,062	6,240	6,355	6,277	6,265	Máximo
Peso del molde	4,420	4,420	4,420	4,420	4,420	
Peso del mate. del molde	1,642	1,820	1,935	1,857	1,845	
Peso volumétrico húmedo	1,752	1,942	2,066	1,982	1,969	
Peso vol. Seco Kg/m3	1,721	1,878	1,956	1,845	1,798	1,956
Contenido de agua de la muestra compactada						
P. tara más mate. húmedo	200	300	200	200	200	%H.O
P. de tara más mate. seca	196.46	290.14	189.39	186.22	182.65	
Peso de agua	3.54	9.86	10.61	13.78	17.35	
Peso de tara	0	0	0	0	1	
Peso material seco	196.46	290.14	189.39	186.22	181.65	
Contenido de humedad %	1.8	3.4	5.6	7.4	9.5	5.60
	<i>Golpes por capa</i>	25		<i>Diámetro</i>	10.18 cm	
	<i>Numero de capas</i>	3		<i>P. martillo</i>	10 lb	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-7 (1)

Proctor Estándar						
<i>AASHTO T-99</i>						
Tipo de suelo A-2-7 (1)						
Compactación de la muestra						
Peso del mate. más molde	5,966	6,049	6,175	6,317	6,232	Máximo
Peso del molde	4,420	4,420	4,420	4,420	4,420	
Peso del mate. del molde	1,546	1,629	1,755	1,897	1,812	
Peso volumétrico húmedo	1,650	1,739	1,873	2,025	1,934	
Peso vol. Seco Kg/m3	1,465	1,520	1,608	1,710	1,605	1,710
Contenido de agua de la muestra compactada						
P. tara más mate. Húmedo	200	300	200	200	200	%H.O
P. de tara más mate. Seca	177.62	262.24	171.67	168.92	165.98	
Peso de agua	22.38	37.6	28.33	31.08	34.02	
Peso de tara	0	0	0	0	1	
Peso material seco	177.62	262.24	171.67	168.92	164.98	
Contenido de humedad %	12.6	14.4	16.5	18.4	20.5	18.40
	<i>Golpes por capa</i>	25		<i>Diámetro</i>	10.18 cm	
	<i>Numero de capas</i>	3		<i>P. martillo</i>	10 lb	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-4 (0)

Proctor Estándar						
AASHTO T-99						
Tipo de suelo A-4 (0)						
Compactación de la muestra						
Peso del mate. más molde	5,872	6,088	6,226	6,167	6,083	Máximo
Peso del molde	4,420	4,420	4,420	4,420	4,420	
Peso del mate. del molde	1,452	1,668	1,806	1,747	1,663	
Peso volumétrico húmedo	1,549	1,780	1,928	1,864	1,775	
Peso vol. Seco Kg/m3	1,402	1,584	1,685	1,600	1,512	1,685
Contenido de agua de la muestra compactada						
P. tara más mate. Húmedo	200	300	200	200	200	%H.0
P. de tara más mate. Seca	181	266.9	174.83	171.67	170.36	
Peso de agua	19	33.1	25.17	28.33	29.64	
Peso de tara	0	0	0	0	1	
Peso material seco	181	266.9	174.83	171.67	169.36	
Contenido de humedad %	10.5	14.4	16.5	18.4	17.4	14.40
	<i>Golpes por capa</i>	25		<i>Diámetro</i>	10.18 cm	
	<i>Numero de capas</i>	3		<i>P. martillo</i>	10 lb	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-7-6 (7)

Proctor Estándar						
AASHTO T-99						
Tipo de suelo A-7-6 (7)						
Compactación de la muestra						
Peso del mate. más molde	6,067	6,195	6,306	6,217	6,083	Máximo
Peso del molde	4,420	4,420	4,420	4,420	4,420	
Peso del mate. del molde	1,647	1,775	1,886	1,797	1,663	
Peso volumétrico húmedo	1,758	1,895	2,013	1,969	1,918	
Peso vol. Seco Kg/m³	1,591	1,684	1,758	1,692	1,621	1,758
Contenido de agua de la muestra compactada						
P. tara más mate. Húmedo	200	300	200	200	200	%H.0
P. de tara más mate. Seca	181	266.67	174.67	171.82	169.06	
Peso de agua	19	33.33	25.33	28.18	30.94	
Peso de tara	0	0	0	0	1	
Peso material seco	181	166.67	174.67	171.82	168.06	
Contenido de humedad %	10.5	12.5	14.5	16.4	18.3	14.50
	<i>Golpes por capa</i>	25		<i>Diámetro</i>	10.18 cm	
	<i>Numero de capas</i>	3		<i>P. martillo</i>	10 lb	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75 Resultados ensaye proctor estándar suelo A-2-4 (0)

Proctor Estándar						
AASHTO T-99						
Tipo de suelo A-2-4 (0)						
Compactación de la muestra						
Peso del mate. más molde	6,105	6,206	6,315	6,311	6,245	Máximo
Peso del molde	4,420	4,420	4,420	4,420	4,420	
Peso del mate. del molde	1,685	1,786	1,895	1,891	1,825	
Peso volumétrico húmedo	1,798	1,906	2,022	2,018	1,948	
Peso vol. Seco Kg/m3	1,763	1,831	1,908	1,865	1,769	1,908
Contenido de agua de la muestra compactada						
P. tara más mate. Húmedo	200	300	200	200	200	%H.0
P. de tara más mate. Seca	196.08	288.18	188.68	184.84	181.65	
Peso de agua	3.92	11.82	11.32	15.16	18.35	
Peso de tara	0	0	0	0	1	
Peso material seco	196.08	288.18	188.68	184.84	180.65	
Contenido de humedad %	2	4.1	6	8.2	10.1	6.00
	<i>Golpes por capa</i>	25		<i>Diámetro</i>	10.18 cm	
	<i>Numero de capas</i>	3		<i>P. martillo</i>	10 lb	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76 Clasificación funcional según TPDA

TPDA	< 20,000		20,000 - 10,000		10,000 - 3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR - Autopista regional	6 -8	Pav.	4-6	Pav.				
TS - Troncales suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR - Troncales rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS - Colectoras suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR - Colectoras rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: Manual centroamericano para la construcción de carreteras regionales, (SIECA , 2004)

Tabla 77 Resultados aforo día Lunes

Fecha	Hora		Vehículo de pasajeros					Vehículo de carga			Total vehículo
			Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	
lunes 06 de febrero del 2023	6.00	7.00	10	0	0	2	1	0	0	0	13
	7.00	8.00	22	1	0	3	0	1	0	0	27
	8.00	9.00	19	1	0	4	1	0	0	0	25
	9.00	10.00	12	0	0	3	0	0	0	0	15
	10.00	11.00	13	0	0	3	0	0	0	0	16
	12.00	13.00	25	1	0	6	1	1	1	0	35
	13.00	14.00	23	1	0	3	0	0	0	0	27
	14.00	15.00	14	0	0	5	1	0	0	0	20
	15.00	16.00	15	0	0	4	0	0	0	0	19
	16.00	17.00	23	0	0	5	1	0	0	0	29
	17.00	18.00	22	2	0	5	0	0	0	0	29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78 Resultados aforo día martes

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>		<i>Vehículo de pasajeros</i>					<i>Vehículo de carga</i>			<i>Total vehículo</i>
			<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	
martes 07 de febrero del 2023	6.00	7.00	12	0	0	0	1	0	0	0	13
	7.00	8.00	25	2	0	6	0	0	1	0	34
	8.00	9.00	20	0	0	5	1	0	0	1	27
	9.00	10.00	22	1	0	5	0	0	0	0	28
	10.00	11.00	16	1	1	2	0	1	0	0	21
	12.00	13.00	27	1	0	9	1	1	0	0	39
	13.00	14.00	20	0	0	5	0	1	0	0	26
	14.00	15.00	12	0	0	4	1	0	0	0	17
	15.00	16.00	22	0	0	5	0	0	1	0	28
	16.00	17.00	19	1	0	6	1	0	0	0	27
17.00	18.00	23	2	0	4	0	0	0	0	29	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79 Resultados aforo día miércoles

Fecha	Hora		Vehículo de pasajeros					Vehículo de carga			Total vehículo
			Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	
miércoles 08 de febrero del 2023	6.00	7.00	15	0	0	2	1	0	0	0	18
	7.00	8.00	23	0	0	4	0	1	1	0	29
	8.00	9.00	20	0	0	7	1	1	0	0	29
	9.00	10.00	23	1	0	6	0	1	0	0	31
	10.00	11.00	19	1	0	3	0	1	0	1	25
	12.00	13.00	31	1	0	7	1	0	0	0	40
	13.00	14.00	22	1	0	4	0	0	1	0	28
	14.00	15.00	15	1	0	3	1	0	0	0	20
	15.00	16.00	21	0	0	3	0	0	0	0	24
	16.00	17.00	18	0	0	3	1	0	0	0	22
17.00	18.00	26	0	0	5	0	0	0	0	31	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80 Resultados aforo día jueves

Fecha	Hora		Vehículo de pasajeros					Vehículo de carga			Total vehículo
			Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	
jueves 09 de febrero del 2023	6.00	7.00	15	0	0	1	1	0	0	0	17
	7.00	8.00	19	0	1	3	0	0	0	0	23
	8.00	9.00	22	0	0	5	1	0	0	0	28
	9.00	10.00	12	0	1	1	0	0	0	0	14
	10.00	11.00	15	0	0	2	0	0	0	0	17
	12.00	13.00	27	0	0	6	1	1	0	0	35
	13.00	14.00	17	0	0	3	0	1	0	0	21
	14.00	15.00	13	1	0	2	1	0	0	0	17
	15.00	16.00	17	1	0	2	0	0	0	0	20
	16.00	17.00	19	1	0	4	1	0	1	0	26
17.00	18.00	19	1	0	6	0	0	0	0	26	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81 Resultados aforo día viernes

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>		<i>Vehículo de pasajeros</i>					<i>Vehículo de carga</i>			<i>Total vehículo</i>
			<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	
viernes 10 de febrero del 2023	6.00	7.00	19	2	0	2	1	0	0	0	24
	7.00	8.00	23	1	1	2	0	0	0	0	27
	8.00	9.00	20	0	0	6	1	2	0	0	29
	9.00	10.00	19	1	0	3	0	1	0	0	24
	10.00	11.00	25	1	0	2	0	0	0	0	28
	12.00	13.00	35	0	0	8	1	0	0	0	44
	13.00	14.00	17	0	0	3	0	0	0	0	20
	14.00	15.00	19	1	2	2	1	0	0	0	25
	15.00	16.00	19	1	0	1	0	0	0	0	21
	16.00	17.00	25	1	0	5	1	0	2	0	34
17.00	18.00	21	0	0	4	0	0	0	0	25	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82 Resultados aforo día sábado

Fecha	Hora		Vehículo de pasajeros					Vehículo de carga			Total vehículo
			Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Bus +30	Liv. +2.5 ton	C2	C3	
sábado 11 de febrero del 2023	6.00	7.00	16	0	0	2	1	1	0	0	20
	7.00	8.00	20	3	0	4	0	1	1	0	29
	8.00	9.00	14	0	0	6	1	1	0	0	22
	9.00	10.00	17	0	0	3	0	1	0	0	21
	10.00	11.00	17	0	0	2	0	0	0	0	19
	12.00	13.00	28	0	0	7	1	0	1	0	37
	13.00	14.00	12	2	0	4	0	0	0	1	19
	14.00	15.00	16	0	1	3	1	0	0	0	21
	15.00	16.00	17	0	0	6	0	0	0	1	24
	16.00	17.00	17	0	0	4	1	0	0	0	22
	17.00	18.00	16	1	0	4	0	0	0	1	22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83 Resultados aforo día domingo

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>		<i>Vehículo de pasajeros</i>					<i>Vehículo de carga</i>			<i>Total vehículo</i>
			<i>Motos</i>	<i>Autos</i>	<i>Jeep</i>	<i>Camionetas</i>	<i>Bus +30</i>	<i>Liv. +2.5 ton</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	
domingo 12 de febrero del 2023	6.00	7.00	11	0	0	3	1	0	0	0	15
	7.00	8.00	14	0	0	5	0	0	0	1	20
	8.00	9.00	12	0	0	5	1	0	0	0	18
	9.00	10.00	15	1	0	4	0	1	0	1	22
	10.00	11.00	17	1	0	3	0	0	0	0	21
	12.00	13.00	18	1	0	6	0	0	0	0	25
	13.00	14.00	17	1	0	5	0	1	0	0	24
	14.00	15.00	18	3	0	4	0	0	0	0	25
	15.00	16.00	19	1	0	7	0	0	0	0	27
	16.00	17.00	19	1	0	5	0	0	0	0	25
17.00	18.00	22	0	0	6	0	0	0	0	28	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84 Radios máximos según la velocidad de diseño

Metric	
Design speed (km/h)	Maximum radius (m)
20	24
30	54
40	95
50	148
60	213
70	290
80	379
90	480
100	592
110	716
120	852
130	1000

Fuente: (SIECA, 2011)