

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO GEOMETRICO CON ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 3.0 KM DEL TRAMO EMPALME EL PAPATURRO A LA COMARCA BOAQUITO, MUNICIPIO DE TEUSTEPE, DEPARTAMENTO DE BOACO, 2023”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Jorge Alanís
Duarte Delgado
Carnet: 2017-1415U

Br. Fausto Rubén
Artola Ampié
Carnet: 2018-0774U

Br. Michael Alexander
Vanega Alvir
Carnet: 2017-1511U

MSc. Ing. Gioconda
Isabel Juárez Romero

27 de septiembre de 2024
Managua, Nicaragua

Agradecimientos

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Yonaira Verónica Delgado Velázquez y Jorge Alberto Duarte Cucalón por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por ser el pilar más importante de mi vida, por demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional, y transmitirme el deseo de superación, es gracias a ustedes que hoy he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que hoy soy.

A toda mi familia y amigos que siempre estuvieron presentes para darme ánimos y recordarme que yo pude, puedo y podré con todo lo que me proponga.

Br. Jorge Alanís Duarte Delgado

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para culminar mis estudios de manera satisfactoria y ayudarme en cada etapa de mi vida.

A mis amados padres, Janeth del Carmen Ampié y Fausto Artola Altamirano por siempre brindarme su apoyo incondicional y creer en que yo podría lograr mis metas en momentos en los cuales incluso yo había perdido la confianza de lógralo. Gracias por siempre creer en mí, por inculcarme valores, por impulsarme a lograr mis sueños y enseñarme que el trabajo duro siempre deja su recompensa, por esto y muchas cosas más les doy las gracias.

A nuestra tutora de tesis Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero por su constante apoyo a lo largo de la realización de este proyecto, por haber compartido sus conocimientos con nosotros y por ayudarnos alcanzar nuestra meta, ha sido un honor estar bajo su tutela durante el proceso de elaboración del presente trabajo monográfico.

A mis compañeros de tesis y amigos Jorge Duarte y Michael Vanegas, agradezco su colaboración y apoyo a lo largo de este proceso y me gustaría decir que ha sido un placer trabajar en este proyecto con ustedes.

A los amigos que me apoyaron a lo largo de mi etapa universitaria, en la cual nos apoyamos mutuamente y por lo cual agradezco su amistad, en especial a mi estimada amiga María Fernanda Guido Aguirre, gracias por brindarme tu apoyo incondicional durante la realización de este proyecto.

De corazón gracias a todos.

Br. Fausto Rubén Artola Ampié

Agradecimiento

Me encuentro sumamente agradecido por la culminación de este trabajo. En esta travesía, he sido bendecido por la orientación y el apoyo de personas extraordinarias. En primer lugar, agradezco a Dios, que me presto vida y la fortaleza para superar los desafíos que se presentaron en el camino hacia la realización de este proyecto.

A mis amados padres, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi vida, les debo mi más profundo agradecimiento. Su constante apoyo moral y material han sido el combustible que me impulsó a alcanzar mis metas. Sin su aliento y confianza en mí, este logro no sería posible.

A mi distinguida tutora de tesis, MSc. Ing. Gioconda Juárez Romero, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Su dedicación, paciencia y sabiduría fueron fundamentales en cada etapa de este proceso. Su orientación experta y sus valiosos consejos han dejado una huella imborrable en mi formación académica y profesional.

A mis estimados compañeros de tesis, les agradezco por su colaboración, compañerismo y apoyo mutuo a lo largo de este recorrido.

Gracias de todo corazón.

Br. Michael Alexander Vanega Alvir

Resumen ejecutivo

En el presente documento se proponer el diseño tanto geométrico como de estructura de pavimento articulado el cual consta de una longitud de 3.00 km, que inicia en el empalme el papaturro y finaliza en la comarca de Boaquito. El presente documento consta de 3 capítulos Principales, los cuales se desglosan a continuación:

Capítulo I: Generalidades

En este capítulo se presentan aspectos básicos tanto del documento como del proyecto que contiene introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo II: Marco teórico

En este capítulo se aborda todos los aspectos teóricos que se ha de cada uno de los diferentes estudios que se realizaron para el desarrollo del presente trabajo monográfico, los cuales son el estudio topográfico, estudio de tránsito, estudio Suelos, diseño de la estructura de pavimento, diseño geométrico del tramo en estudio.

Capítulo III: Análisis y presentación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los estudios realizados, teniendo en cuenta todos los aspectos teóricos que hayan sido mencionados en el capítulo III.

A continuación, se muestra un breve resumen de los 5 estudios que fueron realizados

- Estudio topográfico: Abarca todo lo correspondiente a la topografía del tramo en estudio, teniendo en cuenta lo que establece el ministerio de transporte e infraestructura (MTI), en el Manual para Revisión de Estudios Topográficos, 2008.
- Estudio de tránsito: Se aborda lo referente al estudio de tránsito realizado en el tramo en estudio, en el cual se realizó la caracterización del flujo vehicular y realizar las proyecciones de tránsito futuro en un periodo de diseño establecido y así obtener el valor del ESAL de diseño para el tramo.

- Estudio de suelos: En este estudio se realizó el análisis de los suelos encontrado en el tramo en estudio mediante la realización de sondeos manuales, esto para conocer las características físico-mecánicas de los suelos del tramo.
- Diseño de estructura de pavimento: En este estudio se realizó el diseño de la estructura de pavimento del tramo, esto mediante el uso del método AASHTO 93 para el diseño de espesores de pavimento y apoyándose en el manual para el diseño de pavimentos, SIECA 2002.
- Diseño geométrico: En esta sección del presente trabajo monográfico, se realizó el diseño geométrico del tramo en estudio, en base al manual centroamericano de normas de diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011 y apoyándose del software de diseño AutoCAD Civil 3D.

Para terminar, se analizan las conclusiones a las cuales se llegó, esto de acuerdo a los objetivos planteados. Las recomendaciones se desarrollan en base a lo planteado en las conclusiones y objetivos, abordando ciertos aspectos técnicos los cuales a consideración de los sustentantes pueden no haber quedado muy claros en el desarrollo del presente estudio monográfico. En la sección referente a la bibliografía es usada como apoyo para el desarrollo del estudio monográfico en cuestión.

En la sección de anexos se muestra toda aquella información la cual se considere pertinente para el correcto desarrollo del presente estudio, como pueden ser tablas, ilustraciones, fotografías, etc.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1.	Introducción	1
1.2.	Localización del tramo en estudio	2
1.2.1.	Macro localización	2
1.2.2.	Micro localización.....	3
1.3.	Antecedentes.....	4
1.4.	Justificación	5
1.5.	Objetivos.....	6
1.5.1.	Objetivo General	6
1.5.2.	Objetivos Específicos.....	6
2.1.	Estudio topográfico.....	8
2.1.1.	Levantamientos topográficos.....	8
2.1.2.	Levantamiento topográfico usando estación total	9
2.1.3.	Relieve del terreno.....	9
2.1.4.	Análisis de pendientes	10
2.2.	Estudio de tránsito.....	12
2.2.1.	Clasificación vehicular	12
2.2.2.	Estaciones de conteo vehicular	13
2.2.3.	Aforo vehicular	13
2.2.4.	Tránsito promedio diario anual (TPDA)	14
2.2.5.	Tasa de crecimiento vehicular.....	16
2.2.6.	Tránsito de diseño	17
2.2.7.	Ejes equivalentes (ESAL)	19
2.2.8.	ESAL de diseño	20

2.3.	Estudio de suelos	22
2.3.1.	Ensayos realizados en el estudio de suelos.....	22
2.3.2.	Clasificación de los suelos.....	26
2.3.3.	CBR de diseño.....	27
2.4.	Diseño de la estructura de pavimento.....	30
2.4.1.	Diseño de pavimento por el Método AASHTO 93.....	30
2.4.2.	Variables para el diseño	31
2.4.3.	Cálculo de espesores	34
2.4.4.	Verificación de resultados con el software WinPAS.....	35
2.5.	Diseño geométrico.....	37
2.5.1.	Generalidades.....	37
2.5.2.	Clasificación de la carretera	37
2.5.3.	Clasificación del área del tramo en estudio.....	38
2.5.4.	Clasificación funcional de la carretera.....	38
2.5.5.	Vehículo de diseño	38
2.5.6.	Velocidad de diseño.....	39
2.5.7.	Definición de la sección transversal	39
2.5.8.	Alineamiento horizontal	40
2.5.9.	Curva horizontal simple	44
2.5.10.	Alineamiento vertical.....	45
2.5.11.	Curvas verticales	47
3.1.	Estudio topográfico.....	50
3.1.1.	Levantamiento topográfico del tramo Empalme El papaturro- comarca Boaquito 50	
3.1.2.	Equipos utilizados para el levantamiento topográfico	50

3.1.3.	Procedimiento de levantamiento topográfico del tramo	50
3.1.4.	Depuración de los puntos en Excel	51
3.1.5.	Información extraída del equipo	51
3.1.6.	Análisis de pendientes del tramo en estudio	54
3.1.7.	Clasificación del terreno de acuerdo al porcentaje de pendiente	58
3.2.	Estudio de tránsito	60
3.2.1.	Información base	60
3.2.2.	Datos de campo	60
3.2.3.	Resultados obtenidos	61
3.2.4.	Tránsito promedio diario anual (TPDA)	64
3.2.5.	Tasa de crecimiento vehicular	71
3.2.6.	Tránsito de diseño	78
3.2.7.	Cálculo del ESAL´s de diseño	82
3.2.8.	ESAL de diseño	84
3.3.	Estudio de suelos	87
3.3.1.	Metodología	87
3.3.2.	Análisis granulométrico	90
3.3.3.	Clasificación de los suelos	93
3.3.4.	CBR de diseño	98
3.3.5.	Determinación de CBR de diseño del tramo en estudio	98
3.3.6.	Banco de material	102
3.4.	Diseño de estructura de pavimento	106
3.4.1.	Metodología	106
3.4.2.	Variables de diseño	106
3.4.3.	Determinación de los coeficientes estructurales de capas	111

3.4.4.	Número estructural SN	114
3.4.5.	Cálculo de espesores	119
3.4.6.	Estructura de pavimento final	121
3.4.7.	Verificación de resultados con el software WinPAS 12.....	122
3.5.	Diseño geométrico.....	125
3.5.1.	Clasificación de la carretera	125
3.5.2.	Vehículo de diseño	126
3.5.3.	Velocidad de diseño.....	127
3.5.4.	Definición de la sección transversal	128
3.5.5.	Alineamiento horizontal	132
3.5.6.	Curva horizontal simple	134
3.5.7.	Alineamiento vertical.....	138
3.5.8.	Curvas verticales	139
3.5.9.	Ejemplo de curva vertical en cresta.....	140
3.5.10.	Resumen de los criterios de diseño geométrico	146
Conclusiones.....		148
Recomendaciones		151
Bibliografía.....		154
Anexos		II

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación del terreno en función de pendientes naturales	10
Tabla 2.	Ensayos de suelo de acuerdo a las normas AASHTO o ATM	22
Tabla 3.	Especificaciones para terraplén y sub-rasante.....	27
Tabla 4.	Valores de diseño de subrasante por nivel de tránsito.....	29
Tabla 5.	Base de datos del levantamiento.....	52
Tabla 6.	Códigos utilizados en el levantamiento.....	53
Tabla 7.	Pendientes en el tramo de estudio (Identificación de manera visual)	58
Tabla 8.	Clasificación del terreno del tramo en estudio según % de pendiente (SIECA 2011)	59
Tabla 9.	Aforo vehicular del tramo Empalme El Papaturre- Comarca Boaquito	62
Tabla 10.	Vector Geográfico	65
Tabla 11.	Factores de expansión a TPDA segundo cuatrimestre (mayo-agosto)	67
Tabla 12.	Trafico Promedio Diario Anual (Empalme el Papaturre-Comarca Boaquito)	68
Tabla 13.	Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura	70
Tabla 14.	Tasa de crecimiento de ECD N° 729, Empalme de Teustepe-Teustepe.	72
Tabla 15.	Proyecciones de población del periodo 2005-2020 para el municipio de Teustepe, Boaco	73
Tabla 16.	Cálculo de la Tabla de crecimiento Poblacional (POB).....	74
Tabla 17.	Producto Interno Bruto Anual (PIB), Periodo 2006-2020; Error! Marcador no definido.	

Tabla 18.	Tasa de crecimiento del PIB	75
Tabla 19.	Consumo de combustible en el país, periodo 2006-2020	76
Tabla 20.	Tasa de crecimiento debido al consumo de combustible	77
Tabla 21.	Tasa de crecimiento final	78
Tabla 22.	Periodos de diseño según el tipo de carretera	78
Tabla 23.	Factor de distribución direccional	79
Tabla 24.	Sentido del flujo vehicular del tramo Empalme el Papaturre-Comarca Boaquito	80
Tabla 25.	Factor de distribución por carril.....	81
Tabla 26.	Tránsito de diseño (Empalme el Papaturre-Comarca Boaquito).....	82
Tabla 27.	Índice de servicialidad inicial Po	83
Tabla 28.	Índice de servicialidad final Pt.....	83
Tabla 29.	Cálculo del Factor esa para un vehículo tipo Automóvil.....	84
Tabla 30.	Factores ESAL obtenidos mediante interpolación.....	84
Tabla 31.	ESAL de diseño (Tramo Empalme el Papaturre-Comarca Boaquito)	86
Tabla 32.	Estaciones de los sondeos manuales.....	88
Tabla 33.	Abertura de tamices	90
Tabla 34.	Resumen de ensayo granulométrico	91
Tabla 35.	Límites de consistencia y clasificación de los suelos	95
Tabla 36.	Resultados del ensayo Proctor	98
Tabla 37.	Clasificación del CBR.....	99
Tabla 38.	Valores de diseño de subrasante por nivel de tránsito.....	100
Tabla 39.	CBR Subrasante	100
Tabla 40.	Determinación del CBR de Diseño para la Subrasante	101

Tabla 41.	Ensayes de laboratorio para muestras provenientes del banco de material	103
Tabla 42.	Especificaciones de los materiales para base y sub-base granular	104
Tabla 43.	Evaluación del banco de material	104
Tabla 44.	Niveles de confiabilidad	107
Tabla 45.	Desviación Normal Estándar Z_r	108
Tabla 46.	Desviación estándar S_o	108
Tabla 47.	Índices de servicialidad	109
Tabla 48.	Coeficientes de drenajes de capas	110
Tabla 49.	Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles	111
Tabla 50.	Datos para la determinación del SN_3	115
Tabla 51.	Datos para la determinación de SN_2	117
Tabla 52.	Espesores mínimos sugeridos	120
Tabla 53.	Espesores de la estructura de pavimento	122
Tabla 54.	Datos requeridos por el software WinPAS	122
Tabla 55.	Sistema de clasificación funcional	125
Tabla 56.	Dimensiones de vehículos de diseño.	126
Tabla 57.	Velocidades de diseño del tramo en estudio	127
Tabla 58.	Bombeo normal de calzada	129
Tabla 59.	Ancho mínimo de hombros y aceras	131
Tabla 60.	Replanteo de curva horizontal #9	137
Tabla 61.	Pendientes máximas para carreteras colectoras rurales	138
Tabla 62.	Replanteo de curva vertical en cresta	144
Tabla 63.	Resumen de Criterios de Diseño Geométrico	146

Tabla 64.	Base de datos del levantamiento (Desde el Pto 1 al Pto 140)	VII
Tabla 65.	Formato para control de aforo vehicular	XIV
Tabla 66.	EMC N° 1082 San Marcos – Masatepe, ECD N° 729 Emp. Teustepe – Teustepe.....	XV
Tabla 67.	Clasificación Vehicular	XVI
Tabla 68.	Registro del TPDA histórico de ECD N° 901 Emp. de Boaco-Boaco	XVII
Tabla 69.	Registro del TPDA histórico de ECD N° 729 Emp. de Teustepe-Teustepe	XVIII
Tabla 70.	Registro de TPDA de EMC N° 1802 San Marcos – Masatepe.....	XIX
Tabla 71.	Tasa de crecimiento Interanual del Producto Interno Bruto (PIB)..	XX
Tabla 72.	Factor de Equivalencia Eje Simple, $P_t=2$	XXI
Tabla 73.	Factor de Equivalencia Eje Doble imagen , $P_t=2$	XXII
Tabla 74.	Peso por eje para vehículos livianos	XXIII
Tabla 75.	Clasificación de suelos AASHTO.....	XXVIII
Tabla 76.	Resultados del banco de material.....	XXXI
Tabla 77.	Coeficiente de permeabilidad K	XXXII
Tabla 78.	Dimensiones de vehículos de diseño (Apéndice A1)	XXXIII
Tabla 79.	Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.....	XXXV
Tabla 80.	Sobrecanchos sugeridos para vehículo de diseño WB-15.....	XXXVI
Tabla 81.	Factores de ajuste para diseño de sobre ancho de curvas.....	XXXVII
Tabla 82.	Sobrecanchos para vehículo de diseño WB-12	XXXVIII
Tabla 83.	Resumen de curvas horizontales del tramo en estudio.....	XXXIX
Tabla 84.	Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada	XLI

Tabla 85.	Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento.....	XLI
Tabla 86.	Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio	XLII
Tabla 87.	Resumen de curvas verticales del tramo en estudio	XLIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Macro localización del municipio de Teustepe, Boaco	2
Figura 2.	Micro localización, empalme el papaturro, tramo de carretera en estudio	3
Figura 3.	Sobreancho de curvas en carreteras	43
Figura 4.	Elementos de curvas horizontales	45
Figura 5.	Curva vertical en cresta	46
Figura 6.	Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (0+000 - 1+000).....	55
Figura 7.	Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (1+000 – 2+000).....	56
Figura 8.	Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (2+000 – 3+000).....	57
Figura 9.	Distribución del tráfico por tipo de vehículo	63
Figura 10.	Porcentajes de vehículos livianos y vehículos pesados	64
Figura 11.	Porcentaje de clasificación vehicular del TPDA	69
Figura 12.	Espesor mínimo de sub-rasante	87
Figura 13.	Ubicación de los sondeos manuales realizados en el tramo empalme el papaturro – comarca Boaquito.....	89
Figura 14.	Columna estratigráfica del tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito	97
Figura 15.	CBR de diseño de la Subrasante al 75 %.....	102
Figura 16.	Coeficiente estructural a_1	112
Figura 17.	Coeficiente estructural a_2 y módulo de resiliencia para base granular	113

Figura 18. Coeficiente estructural a_3 y módulo de resiliencia para sub-base granular	114
Figura 19. Espesores mínimos n función del número estructural.....	115
Figura 20. Determinación de SN3 (Sub-base)	116
Figura 21. Determinación de SN ₂ (Base)	118
Figura 22. Introducción de datos en el software WinPAS 12.....	123
Figura 23. Verificación de resultados en el software WinPAS 12.....	124
Figura 24. Sección transversal para el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito	131
Figura 25. Tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito Est 0+000.....	II
Figura 26. Tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito, Est 3+000.....	II
Figura 27. Condiciones actuales del tramo en estudio, presencia de encharcamiento en la vía	III
Figura 28. Levantamiento topográfico del tramo en estudio.....	III
Figura 29. Levantamiento del derecho de vía del tramo den estudio.....	IV
Figura 30. Establecimiento de BM en el tramo	IV
Figura 31. Asignación de coordenadas a BM	V
Figura 32. Levantamiento de detalles de puente	V
Figura 33. Cambio de estacionamiento en curva horizontal en el tramo.....	VI
Figura 34. Realización del conteo vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito	XI
Figura 35. Tránsito vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (Sentido NW-SE).....	XII
Figura 36. Tránsito vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (Sentido SE-NW).....	XIII
Figura 37. Peso por eje para vehículos de carga	XXIV

Figura 38.	Tamices para determinación de granulometría de los suelos.....	XXV
Figura 39.	Aparato de Arturo Casagrande y ranurador para la determinación del límite líquido	XXVI
Figura 40.	Determinación de límite plástico del suelo.....	XXVII
Figura 41.	Preparación de la muestra para ensaye Proctor estándar	XXIX
Figura 42.	Realización del ensaye Proctor modificado	XXIX
Figura 43.	Ubicación del Banco de material El Ventarrón.	XXX
Figura 44.	Dimensiones del vehículo de diseño	XXXIV
Figura 45.	Diseño de curvas horizontales en AutoCAD Civil 3D 2023	XL
Figura 46.	Diseño de curvas verticales en AutoCAD Civil 3D 2023	XLIV

Capítulo I

Generalidades



1.1. Introducción

La manera en que una población crece y se desarrolla, genera un mayor movimiento social y comercial, lo que trae consigo la necesidad de contar con vías que tomen en cuenta dichos aspectos. Una vía debe cumplir con las necesidades de los usuarios, es por ello que el diseño geométrico de la vía se debe realizar con mucho detalle para garantizar la seguridad en la vía y la circulación continua de los vehículos que por ella transitan; se debe considerar como un punto importante, el crecimiento del tránsito, ya que muchas veces es el principal factor en el deterioro de las carreteras.

En el empalme el papaturro, municipio de Teustepe, uno de los principales problemas que afecta a los habitantes del casco rural de dicho municipio, son la vía de acceso hacia la comunidad de Boaquito. Cabe mencionar, que las causas de la destrucción total o parcial de una obra vial pueden ser varias; la mala calidad del material de sub-rasante y/o el incremento no considerado del tránsito atraído por la construcción de una nueva carretera.

El objetivo de este trabajo es proponer un nuevo diseño tanto geométrico como de estructura de pavimento articulado para dicho tramo vial. Aquí se presenta una propuesta de pavimento articulado para un tramo de 3000 m que corresponde al tramo, el empalme papaturro y finaliza en la comarca de Boaquito.

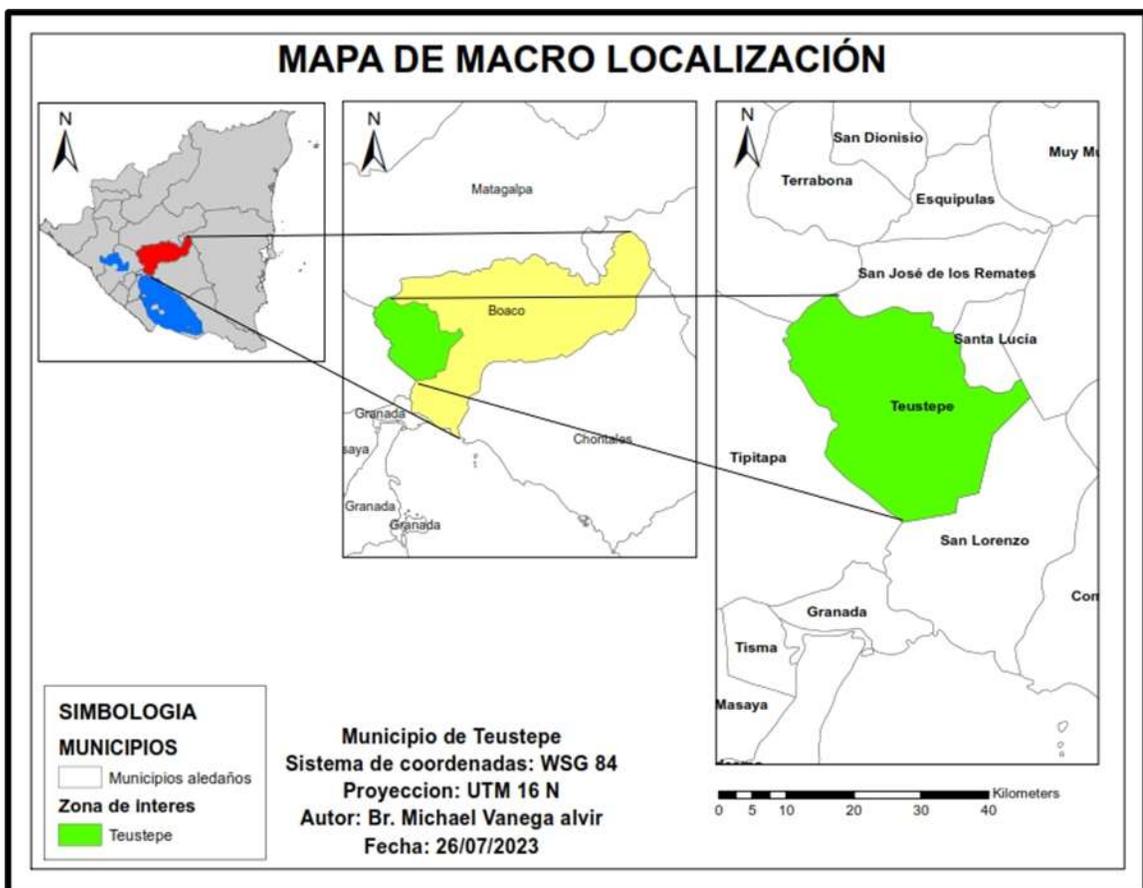
El diseño geométrico se realizó en base a lo que estipula el manual de centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011. En lo que respecta al diseño de pavimento articulado se utilizó el Método AASHTO 93, así como también se hizo uso del Manual para diseño de pavimentos, SIECA 2002. Esto con la finalidad de obtener un diseño de la vía satisfactorio que cumpla con los requerimientos que exigen las obras viales en el país.

1.2. Localización del tramo en estudio

1.2.1. Macro localización

El municipio de Teustepe se encuentra 71 kilómetros de la capital Managua y a 20 kilómetros de su cabecera departamental Boaco. Limita al norte con San José de los Remates y Ciudad Darío, al sur con Granada y Tipitapa, al este con San Lorenzo y al oeste con Tipitapa. Se ubica en las coordenadas 12° 25' 40" N, 85° 49' 16" O.

Figura 1. Macro localización del municipio de Teustepe, Boaco

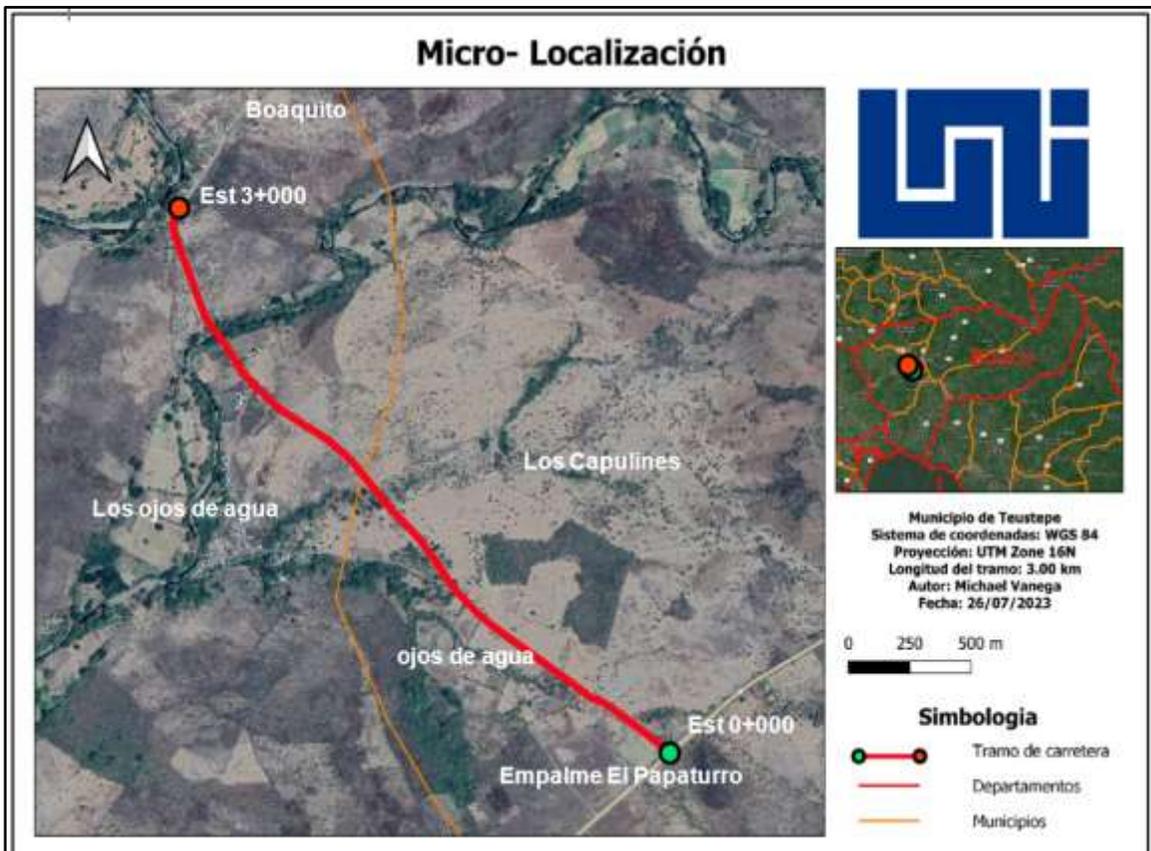


Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Teustepe/@12.4201053,85.8174067,3444m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x8f73bd70705be6ad:0x7bff99dc4387ece8!8m2!3d12.4213958!4d85.798695!16zL20vMDc4c3Ni?hl=es&entry=ttu>

1.2.2. Micro localización

El tramo el empalme papaturro – Boaquito se sitúa a 7 km del municipio de Teustepe; localizada entre las coordenadas: inicio 12° 25' 45" N / 85° 43' 59" E, fin 12° 26' 58" N / 85° 45' 02 E.

Figura 2. Micro localización, empalme el papaturro, tramo de carretera en estudio



Fuente: <https://www.google.com/maps/dir/Boaquito/C7H8%2BJRJ+EMPALME+EL+PAPATURRO,+NIC9,+Empalme+de+Boaco/@12.440794,-85.752533,3602m/data=!3m2!1e3!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8f73a3205ff52705:0xba4806735e080ec4!2m2!1d-85.7483985!2d12.4524271!1m5!1m1!1s0x8f73a3c6acc61659:0x6222d9c6f0b1acf2!2m2!1d-85.732993!2d12.4290994?hl=es&entry=ttu>

1.3. Antecedentes

Según datos obtenidos a través de la alcaldía del municipio de Teustepe se sabe que la vía que comunica el empalme el papaturro con la comunidad de Boaquito hasta llegar al municipio de Santa Lucia data de la década de los 80, también se sabe que en sus inicios la vía no prestaba buenas condiciones aun para la movilización en esa época y que no fue hasta la década de los 90 que esta pequeña comunidad conto con un acondicionamiento de la vía. (Ver Anexos, Figura 27 , Pág. III).

A través de información obtenida del área de administración de proyectos y dirección social de la Alcaldía de Teustepe se conoce que en el transcurso de los años se le dio mantenimiento poco periódico a la porción de terreno sin revestir, lo que incluye solamente conformación y compactación del material que se coloca como base para el tránsito.

Luego de esto solamente se le ha brindado revestimiento con cascajo y una mezcla de balastro. Dicho mantenimiento da como resultado un camino para tráfico de verano. Durante el periodo de lluvias el material es arrastrado en la zona y por la inadecuada carpeta para el tipo de tráfico, el cual comprende camiones con los cuales se saca tanto agrícola como ganadera, así como también el tránsito de buses que se dirigen hacia las diferentes comunidades que se encuentran a lo largo del tramo.

Durante los últimos años el mantenimiento hasta ese entonces más o menos periódico en dicha zona, se ha venido disminuyendo, siendo el último en el año 2012. Debido a esto en la actualidad se puede observar la precariedad de la vía, siendo esto último más notorio en la temporada de invierno, dejando como resultado que varias partes de la vía sean difíciles de transitar para cierto tipo de vehículos.

1.4. Justificación

A lo largo de los años la problemática que ha afectado a los poblados aledaños al tramo del empalme del papaturro a la comarca Boaquito es la dificultad para movilizarse debido al pésimo estado del camino, que mayormente solo es transitable cómodamente en la temporada de verano ya que en la temporada de invierno el mal estado del camino se hace evidente debido a la presencia de encharcamientos y baches que dificultan la movilización de la población en vehículos ya sean propios o de transporte público.

En dependencia a la estación climática del año surgen afectaciones en la salud de los habitantes, enfermedades respiratorias producidas por el polvo, son las más comunes durante la estación seca, mientras que, en la temporada lluviosa, las aguas estancadas en las calles son los criaderos perfectos de mosquitos causantes de muchas epidemias.

Con el proyecto “Diseño geométrico con estructura de pavimento articulado de 3.0 km en el tramo Empalme el Papaturo a la comarca Boaquito, municipio de Teustepe, departamento de Boaco”, se daría solución en cierta medida al problema que afecta a los habitantes de este lugar; ya que tener vías de circulación vehicular bien diseñadas, debidamente señalizadas y en buenas condiciones, no sólo da un mejor aspecto estético a un lugar, sino que también beneficia a quienes las utilizan, sin importar si lo hacen de manera cotidiana o de forma casual.

Con el fin de obtener un buen diseño geométrico y potenciar las actividades productivas de la zona de influencia, se hace imperativo conocer las características que posee el territorio en estudio, ya que nos proporcionara toda la información necesaria para determinar el diseño, buscando la optimización de la realidad física y funcional.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar el diseño geométrico con estructura de pavimento articulado de 3.0 km del tramo empalme el papaturro a la comarca Boaquito, municipio Teustepe, departamento de Boaco.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Ejecutar el levantamiento topográfico del tramo en estudio para la definición de la rasante optima, procesando las coordenadas mediante el software Civil 3D 2023.
- Realizar un aforo vehicular manual, a fin de la obtención de volúmenes de tránsito, clasificación vehicular y el transito promedio diario anual (TPDA) del tramo en estudio, por medio de un conteo vehicular manual.
- Realizar un estudio de suelo, mediante sondeos manuales para la determinación de la capacidad de soporte y las propiedades físico-mecánica a lo largo del tramo en estudio y banco de materiales aledaños a utilizarse.
- Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado que soportarán las cargas de diseño, haciendo uso del método AASHTO-93.
- Realizar el diseño geométrico en base al manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque en riesgo y seguridad vial SIECA 2011, haciendo uso del software Civil 3D para la elaboración de un diseño eficiente y seguro del tramo en estudio.

Capítulo II

Marco Teórico



2.1. Estudio topográfico

La topografía se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella. Sin embargo, en un sentido más general, la topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes. La topografía ha tenido gran importancia desde el principio de la civilización. (Wolf & Ghilani, 2016).

En el presente capítulo se muestran los resultados del levantamiento topográfico realizado en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito, en el municipio de Teustepe, departamento de Boaco. Dicho levantamiento fue realizado por los sustentantes del presente trabajo monográfico. Este estudio se permitirá realizar el diseño geométrico del tramo ya ayudará a conocer las condiciones topográficas actuales del terreno lo cual resulta indispensable a la hora de realizar un diseño geométrico de carretera.

2.1.1. Levantamientos topográficos

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel del mar; trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; deslindar propiedades privadas y públicas; crear bancos de datos con información sobre recursos naturales y uso del suelo, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico. (Wolf & Ghilani, 2016).

Los levantamientos topográficos pueden tener diferentes finalidades, pero a grandes rasgos se puede decir que dichos levantamientos se realizan con el

objetivo de localizar diferentes objetos en el espacio, así como también medir el relieve de un terreno o las variaciones tridimensionales en una superficie determinada. Mediante un levantamiento topográfico se puede obtener la ubicación y elevación de elementos naturales o construcciones realizadas por el hombre como lo pueden ser edificios, puentes, carreteras etc. De esta forma es posible dibujar planos que contengan dicha información.

2.1.2. Levantamiento topográfico usando estación total

El levantamiento topográfico que se realizó en el tramo de estudio fue hecho empleando el uso de una estación total la cual es a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias. (Zeiske, 2000).

Una estación total alcanza su finalidad cuando se utiliza en la ingeniería de alta exactitud topográfica, como por ejemplo en la construcción de carreteras, viaductos, grandes edificaciones, canales de agua, etc.

2.1.3. Relieve del terreno

En topografía el relieve del terreno se describe como el conjunto de formas que puede tomar la superficie terrestre que resalta sobre un plano horizontal. Dependiendo de la zona el relieve puede variar de montañoso, ondulado o plano. (Wolf & Ghilani, 2016).

El relieve influye mucho en el diseño de una carretera ya que este mismo puede afectar la viabilidad de una obra desde el punto de vista económico y de seguridad, por esta razón resulta de gran importancia realizar un buen análisis del relieve del terreno sobre el cual se diseñará la carretera. Debido a esto a continuación se realizará un análisis de las pendientes del tramo en estudio para su posterior clasificación.

Una forma muy practica de visualizar el relieve de una superficie es mediante el uso de curvas de niveles. Una curva de nivel no es más que una línea que une puntos de igual elevación. En los mapas, las curvas de nivel representan la localización planimétrica de las trazas de las superficies de nivel para diferentes elevaciones. (Wolf & Ghilani, 2016).

2.1.4. Análisis de pendientes

La pendiente no es más que el porcentaje de inclinación ya sea ascendente o descendente entres dos puntos de una superficie. (Wolf & Ghilani, 2016). Teniendo en consideración lo que estipula el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011, en el cual se muestra la clasificación por tipo de terreno de acuerdo a las pendientes. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del terreno en función de pendientes naturales

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P (%)
Llano o plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 < P \leq 15$
Montañoso	$15 < P \leq 30$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Capítulo 3, pág. 116.

En base a lo anterior se procede a realizar el análisis de las pendientes promedio del tramo en estudio, esto mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{H_2 - H_1}{L} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Fuente: Topografía, 14va Edición, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 749

Donde:

H₁= Elevación del primer punto

H₂= Elevación del segundo punto

L= Distancia entre los dos puntos

2.2. Estudio de tránsito

Los estudios de tránsito juegan un papel muy importante en la elaboración de estructuras de pavimento, ya que al realizar los análisis de tránsito nos permite conocer la cantidad y tipo de vehículos que circulan en el tramo donde se pretende ejecutar la obra a diseñar, los cuales darán como resultado el peso y la cantidad de ejes equivalentes para diseñar la estructura de pavimento.

En el presente capítulo se abordarán los resultados obtenidos mediante el estudio de tránsito realizado en el tramo, empalme el papaturro- comarca Boaquito. (Ver Anexos, Figura 34, Pág. VI, Figura 35, Pág. VII y Figura 36, Pág. VIII). Mediante dicho estudio se realizó la proyección de tráfico para un periodo de 20 años, determinando tasa de crecimiento vehicular en base al PIB y el crecimiento poblacional del sector en estudio, también se hará uso de los datos de TPDA históricos que se encuentran en el Anuario de aforo vehicular del año 2020

El cálculo del ESAL de diseño se realizó en base a la proyección de tráfico. La obtención de dichos datos es de gran importancia para el proyecto ya que influye directamente en el diseño de espesores de pavimento de acuerdo a las solicitudes de cargas.

2.2.1. Clasificación vehicular

La clasificación vehicular del tramo en estudio se realizó tomando en cuenta lo que se indica en el anuario de aforo de tráfico 2020 del MTI, en el cual se han designado cuatro categorías (Ver Anexos Tabla 66, Pág. XVI)

- **Vehículos de pasajeros:** son motocicletas, automóviles, jeep, camionetas (pick up), microbús (capacidad menor o igual a 15 pasajeros), minibús (capacidad entre 15 y 30 pasajeros como máximo), bus (capacidad mayor a 30 pasajeros).
- **Vehículos de carga:** Estos son los vehículos livianos de carga (peso máximo de 4 toneladas), camiones de carga C2-C3 (peso mayor de 4 toneladas), camiones de carga pesada (tipo Tx-Sx \leq 4 ejes), camiones Tx-

$Sx \geq 5$ ejes (considerados combinación de tractor, camión y semirremolque), camión $Cx-Rx \leq 4$ ejes (combinación de camión y remolque), $Cx-Rx \geq 5$ ejes (combinación camión remolque).

- **Equipo pesado:** Estos son los vehículos de tipo agrícola, así como también los vehículos de construcción.
- **Otros:** en esta categoría se encuentran los remolques y/o tráileres (pequeños que sean halados por cualquier tipo de automotor), también se incluyen los halados por cualquier tracción animal.

2.2.2. Estaciones de conteo vehicular

El Ministerio de transporte e Infraestructura (MTI) en el Anuario de Aforos de tráfico (2020), define las estaciones de conteo vehicular de la siguiente manera:

- **Estación de mayor cobertura:** Se define como estación de conteos continuos en los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años por razón de una mejor distribución en la logística se dividió el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, logrando obtenerse el tráfico promedio diario anual (TPDA) que no es más que el promedio de los periodos. (MTI, 2020).
- **Estación de Corta Duración:** Se Aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA. (MTI, 2020).
- **Estación de Conteo Sumaria:** Son estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA. (MTI, 2020).

2.2.3. Aforo vehicular

Un aforo vehicular es el procedimiento mediante el cual se registra a los vehículos que circular por una zona determinada. Gracias a los aforos vehiculares es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos tomando como referencia sus distintas características. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007)

El ministerio de transporte e infraestructura (MTI), en su manual para revisión de estudio de tránsito (2008), establece que para caminos de menor importancia es permitido realizar aforos de tres días continuos, para posteriormente realizar una proyección de dicho aforo y transformarlo en un aforo de 7 días a la semana mediante el uso de los factores de expansión que nos proporciona el Anuario de Aforo de Trafico, MTI (2020), los cuales se abordaran más adelante.

2.2.3.1. Composición vehicular del TPDA

La composición vehicular se refiere al porcentaje de vehículos livianos y vehículos pesados que transitan por el tramo en estudio, partiendo de los datos que se obtuvieron de la expansión del TP(D) a TPDA se determina la composición vehicular en forma de porcentaje, la cual se utilizara para realizar la comparación de dicha composición con la composición vehicular de las estaciones de conteo más cercanas ya sean estaciones de corta duración o estaciones de conteo Sumarias, seleccionando de esta forma la estación que más se parezca en relación a la composición vehicular

2.2.4. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía. Para obtener el tráfico promedio diario anual TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces esta información anual, es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

Siguiendo la metodología establecida en el anuario de aforo de tráfico (2020), es necesario tomar en cuenta lo que en el anuario se describen como Vector geográfico y vector de volumen.

2.2.4.1. Factores de expansión

Para obtener el tráfico promedio diario anual (TPDA), es de suma importancia el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, estos factores se obtienen en el anuario de aforo de tráfico del MTI (2020).

El anuario de aforos de tráfico, MTI 2020, nos presenta los factores de ajustes utilizados para realizar la expansión del TPD a TPDA, dicho valores se obtienen en dependencia de la estación de corta duración (ECD), así como también la estación de mayor cobertura, según la dependencia de estaciones establecida en dicho anuario. Estos factores varían según la época del año ya que dichos factores están dados en el Anuario en periodos de cuatrimestrales, esto acorde a los registros de conteo realizados por el MTI, y al aforo del tramo en estudio el cual fue realizado en la última semana del mes de agosto, cumpliendo así con el periodo obligatorio.

Siguiendo lo que se estipula en el anuario de aforo de tráfico, MTI (2020), el tráfico promedio diario anual es calculado en base a la siguiente ecuación:

$$TPDA = TP(D) * fd * fs * fe \quad Ec. 2$$

Fuente: *Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 11*

Donde:

TP(D): Tráfico Promedio diurno, equivalente al tráfico promedio obtenido durante los días de aforo.

Fd: Factor día. Conocido también como factor nocturno, corresponde expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas.

Fs: Factor semana, es el factor para expandir el resultado obtenido para un período corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo).

2.2.5. Tasa de crecimiento vehicular

Es el incremento anual de volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentajes. Se determina basándose en los datos de las estaciones de conteo, así como también tomando en cuenta otras variables, como pueden ser el crecimiento poblacional a través de los años y el crecimiento del producto interno bruto en el país.

El anuario de aforo de tráfico, MTI 2020, establece una metodología para el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular, el cual se realiza mediante el uso de la siguiente formula:

$$TC_n = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} - 1 \right] \quad Ec. 3$$

Fuente: Anuario de aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 15

Donde:

TC_n =Tasas de crecimiento que se tenga en el período de análisis

$TPDA_n$ =Tráfico promedio diario actual.

$TPDA_{n-1}$ = Tráfico promedio diario actual del año base

n: Diferencia de años

El MTI en el anuario de aforo de tráfico, 2020 también establece una metodología para el cálculo de la tasa de crecimiento de las diferentes variables de las cuales se puedan disponer sus datos históricos como lo pueden ser el crecimiento poblacional (POB), el producto interno bruto (PIB) y los datos históricos acerca del consumo de combustible en el país. Esta operación se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$TC_n = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right] \quad Ec. 4$$

Fuente: Anuario de aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 16

Donde:

TC_n =Tasas de crecimiento que se tenga en el período de análisis

$TPDA_n$ =Tráfico promedio diario del año en análisis.

$TPDA_{n-1}$ = Tráfico promedio diario del año anterior.

n = Diferencia de años

Una vez obtenida una serie de tasas de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación:

$$Tf = [(Tc_1 * Tc_2 * \dots * Tc_n)^{1/n} - 1] * 100 \quad Ec. 5$$

Fuente: Anuario de aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 15

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final

TC_n = Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

n = Cantidad de tasas de crecimiento

2.2.6. Tránsito de diseño

El tránsito de diseño se refiere a la proyección de tránsito que se espera circule por el tramo en estudio, dicha proyección es realizada en base a un periodo de diseño, esta proyección se realiza en base a los datos históricos del tránsito obteniendo así un tráfico futuro en cual se estima de la siguiente forma:

$$TD = TPDA * FC * FD * FC' \quad Ec. 6$$

Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, Cal y Mayor & Cárdenas, 2007, Pág. 53

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor direccional.

FC': Factor de Carril.

2.2.6.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección de tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente. También podemos decir que la vida útil del pavimento es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en el que alcanza el mínimo de servicialidad. (AASHTO, 1993).

2.2.6.2. Factor de crecimiento

Este factor depende de los años en los cuales está proyectado el tránsito, la tasa de crecimiento anual vehicular; además refleja la medida en la que aumentara el flujo de vehículos en el periodo de diseño y se calcula utilizando la siguiente formula:

$$FC = \frac{(1 + i)^n - 1}{i} * 365 \quad Ec. 7$$

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, Pág. 23.

Donde:

FC: Factor de crecimiento

i: Tasa de crecimiento anual vehicular

n: Periodo de diseño

2.2.6.3. Factor direccional

El manual centroamericano para diseño de pavimento, SIECA, en el capítulo tres, expresa que el factor distribución es la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

2.2.6.4. Factor de carril

Este factor se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. (AASHTO, 1993).

2.2.7. Ejes equivalentes (ESAL)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

2.2.7.1. Numero estructural asumible

Para el cálculo del ESAL de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularan por el tramo durante el periodo de diseño, y el factor de equivalencia de carga. acorde al capítulo tres del manual centroamericano para diseño de pavimento, SIECA, para calcular los ESAL´s que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y que en la mayoría de los casos se selecciona, como primera aproximación.

2.2.7.2. Índice de servicialidad

El índice de servicialidad de un pavimento es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de servicialidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. Se le asigna un valor de 5 a un pavimento en perfecto estado y un valor de 0 a un pavimento en pésimas condiciones. (AASHTO, 1993)

2.2.7.3. Factor ESAL

El proceso de convertir un tránsito mixto en un numero de ESAL´s de 80 KN o 18 Kips fue desarrollado por el Road Test AASHTO, para este ensayo se cargaron

varios pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron. (AASHTO, 1993).

Para implementar dicho factor se debe tener en cuenta el peso por eje de cada tipo de vehículo, (Ver Anexos Tabla 73, Pág. XXIII y Figura 37, Pág. XXIV), que varía dependiendo su eje (simple, tándem, tridem) y el valor de SN que se asume según la importancia de la vía.

Para definir el factor ESAL para cada tipo de eje haciendo uso de las tablas de la AASHTO 93. (Ver Anexos, Tabla 71 Pág. XXI Y Tabla 72, Pág. XXII), se deben de realizar interpolación para encontrar ciertos valores que no se encuentran definidos en los estudios realizados por la AASHTO, esto se realiza aplicando la fórmula de interpolación lineal siguiente:

Interpolación lineal

$$X_0 \rightarrow Y_0$$

$$X \rightarrow Y$$

$$X_1 \rightarrow Y_1$$

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} * (X - X_0) \quad Ec. 8$$

Fuente: Estadística, 4ta Edición 2009, (Spiegel & Stephen, 2009)

2.2.8. ESAL de diseño

Con los factores ESAL calculados en la sección anterior se procede a encontrar el valor para el ESAL de diseño del tramo en estudio, teniendo en cuenta la clasificación vehicular y el tipo de eje; usando la ecuación que nos proporciona la SIECA 2002.

$$ESAL(W18) = TD * F_{ESAL} \quad Ec. 9$$

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 3, Pág. 24

Donde:

ESAL(W18) = Equivalent simple axial load (ejes equivalentes)

TD = Transito de diseño del tramo en estudio

F_{ESAL} = Factor de equivalencia

2.3. Estudio de suelos

Los estudios de suelos representan un factor importante en el diseño de una vía, ya que de ellos se obtienen varios parámetros que son de gran importancia a la hora de realizar el diseño de pavimento de una vía. Los estudios de suelo deben proporcionar información suficiente sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Un estudio geotécnico se compone de varias fases empezando por el establecimiento de la campaña geotécnica a realizar y siguiendo con la realización de las prospecciones de campo, ensayos de laboratorio y un informe final donde figuraran de forma explícita conclusiones y recomendaciones. (MTI;Corea & Asociados S.A, 2008).

2.3.1. Ensayos realizados en el estudio de suelos

El MTI, en su Manual Para la Revisión de Estudios Geotécnicos establece los ensayos de laboratorio correspondientes al estudio de suelo para carreteras según las normas AASHTO o ASTM, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Para el tramo en estudio se realizó la clasificación de suelo por el método AASHTO, el cual es el recomendado para proyectos viales.

Tabla 2. Ensayos de suelo de acuerdo a las normas AASHTO o ATM

Tipo de Ensayo	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88	D-422
Límite líquido de los Suelos	T-89	D-423
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos	T-90	D-424
Clasificación Highway Research Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Humedad Natural		D-2216
CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos, MTI 2008, pág. 8

2.3.1.1. Análisis granulométrico

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. EL análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. (Rodriguez & Badillo, 1973).

Para la clasificación de los suelos es importante saber sus características granulométricas y de plasticidad, haciendo uso de estos datos se procede a realizar su clasificación según el sistema de clasificación seleccionado. Los sistemas de clasificación más conocidos son: sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Soil Unified Classification System).

Cabe resaltar que, para la clasificación del suelo del tramo en estudio, se usara el sistema de clasificación AASHTO.

El análisis granulométrico del tramo en estudio se realizó por el método mecánico de tamizado, que consiste en hacer pasar una muestra representativa del suelo a través de tamices con diferentes tamaños de abertura, los cuales se muestra a continuación. (Ver Anexos, Figura 38, Pág. XXV).

2.3.1.2. Límites de Atterberg

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg. (Villalaz, 2004)

Los límites mencionados son: límite líquido (LL), límite plástico (LP), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando lo que pasa de la malla N° 40. La diferencia entre los valores del límite líquido y límite plástico da el llamado índice de plasticidad (IP) de suelo. Los límites líquidos y plásticos de los suelos dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla. (Villalaz, 2004).

Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que es no plástico (N.P) y en ese caso se dice que el límite plástico es igual a cero. El índice de plasticidad indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico. (Villalaz, 2004).

2.3.1.3. Límite líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de una muestra, con el cual el suelo cambia de estado líquido a plástico. (Villalaz, 2004).

Para poder establecer valores definidos, reproducibles, de los límites, se propuso que el límite líquido se definiera arbitrariamente con el contenido de humedad al cual una masa de suelo húmedo colocada en un recipiente en forma de cápsula de bronce, separada en por la acción de una herramienta para hacer una ranura patrón, y dejada caer desde una altura de 1 cm, sufra después de dejarla caer 25 veces una falla o cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm. (Villalaz, 2004). (Ver Anexos, Figura 39, Pág. XXVI).

Para determinar el límite líquido (LL), se utiliza la siguiente formula:

$$LL = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s} * 100 \quad Ec. 10$$

Fuente: Mecánica de Suelo y Cimentaciones, Crespo Villalaz 2004, pág. 76

Donde:

P_h: Peso húmedo de la muestra (gr)

P_s: Peso Seco de la muestra (gr)

P_w: contenido de agua de la muestra (gr)

2.3.1.4. Límite plástico

El límite plástico (L.P), se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de una muestra secada al horno, para el cual los suelos 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 de limite líquido y al cual se evapora la humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. (Villalaz, 2004). (Ver Anexos, Figura 40, Pág. XXVII).

Para determinar el límite plástico se usa la siguiente formula:

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s} * 100 \quad Ec. 11$$

Fuente: Mecánica de Suelo y Cimentaciones, Crespo Villalaz 2004, pág. 77

Donde:

P_h: Peso húmedo de la muestra (gr)

P_s: Peso Seco de la muestra (gr)

P_w: contenido de agua de la muestra (gr)

2.3.1.5. Índice de plasticidad

Se denomina índice de plasticidad o índice plástico (I.P) a la diferencia numérica entre los límites líquidos y límites plásticos, e indica el margen de humedades

dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como se definen en los ensayos.

$$IP: LL - LP \quad Ec. 12$$

Fuente: Mecánica de Suelo y Cimentaciones, Crespo Villalaz 2004, pág. 77

2.3.1.6. Índice de liquidez

En los suelos el índice de liquidez es indicativo de la historia de los esfuerzos a que ha estado sometido el suelo. Si el valor de índice de liquidez es cercano a 0 se dice que el suelo está preconsolidado y si es cercano a 1 entonces se considera como normalmente consolidado. (Villalaz, 2004).

La expresión para obtener el índice de liquidez es:

$$IL = \frac{W_m - LP}{IP} \quad Ec. 13$$

Fuente: Fundamento de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, pág. 81

2.3.2. Clasificación de los suelos

Para la clasificación de los suelos del tramo en estudio se aplicó el método de clasificación AASHTO en el cual se toman en cuenta los datos obtenidos mediante el análisis granulométrico, así como también los valores de los límites líquidos y plásticos de cada sondeo realizado.

En el método AASHTO de clasificación de suelos encontramos que los suelos pueden ser clasificados en 7 grupos principales, los cuales a su vez se dividen en diferentes subgrupos. (Ver Anexos, Tabla 74, Pág. XXVIII).

También se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

El índice de grupo se encuentra utilizando la siguiente ecuación:

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad Ec. 14$$

Fuente: *Fundamento de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, pág. 81*

Donde:

F₂₀₀: porcentaje que pasa por el tamiz N° 200

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A 2-7, utiliza el índice de grupo parcial para PI, dado por la siguiente ecuación:

$$IG = 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad Ec. 15$$

Fuente: *Fundamento de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, pág. 81*

2.3.3. CBR de diseño

El valor relativo de soporte de un suelo (C.B.R), es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo. (Villalaz, 2004).

La norma NIC-2019 establece ciertos parámetros a cumplir en lo que respecta a los valores del C.B.R del tramo en estudio, los cuales se pueden observar en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 3. Especificaciones para terraplén y sub-rasante

Ensayo	Norma	Terraplén	Subrasante
		Valor requerido	Valor requerido
Límite Líquido	AASHTO T 89	40 máx.	30 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	25 máx.	10 máx.
CBR al 95% Proctor Modificado	AASHTO T 190	5 % mín.	15 % mín.

Fuente: *NIC-2019, Tomo II, pág. 826 y pág. 830*

2.3.3.1. Ensaye proctor

La determinación de la compactación de los suelos es usada para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante y así poder mejorar su compresibilidad y permeabilidad. La compactación en los suelos produce una disminución de los volúmenes de vacío, reemplazándolos por el agua adherida, por ello el suelo se encuentra parcialmente saturado. (Das, 2015).

Para determinar el grado de compactación óptimo de un suelo se realizan los ensayos Proctor, los cuales están especificados en la norma AASHTO T180 y T-90, así como también en la norma ASTM D-698. Los ensayos Proctor se divide en dos ensayos diferentes los cuales son: Proctor estándar y Proctor Modificado. (Ver Anexos, Figura 41, Pág. XXIX y Figura 42, Pág. XXIX).

La diferencia entre los ensayos Proctor estándar y Proctor modificado, radica únicamente en la energía de compactación empleada, ya que para el Proctor modificado la energía de compactación se estima en 4.5 veces mayor al Proctor modificado.

2.3.3.2. Determinación de CBR del tramo

Para determinar el valor del CBR de la subrasante se necesitará establecer a que profundidad se encuentra el nivel de la misma. El valor de CBR de la subrasante es un parámetro importante, ya que a partir de este se determinan otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento, los cuales veremos en el respectivo capítulo sobre el diseño de la estructura de pavimento.

Para la determinación del valor de resistencia de diseño, el criterio más se ha propagado es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor mediante lo estipulado en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de diseño de subrasante por nivel de tránsito

Nivel de Transito	Valor pecentil para el diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60
Entre 10000 y 1000000 ESAL	75
> de 1000000 ESAL	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1), 991

2.4. Diseño de la estructura de pavimento

Para el tramo en estudio se tiene proyectado una superficie de rodamiento articulada (adoquinado). El MTI en su manual para la revisión de diseño de pavimentos 2008, define que el pavimento articulado es aquel que está compuesto por pequeños bloques prefabricados (adoquines), normalmente de concreto, los cuales se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la sub-rasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo a las capacidades de soporte de la subrasante para prevenir la deformación. (Corea y asociados S.A, 2008).

2.4.1. Diseño de pavimento por el Método AASHTO 93

Para realizar el diseño de un pavimento existen varios métodos los cuales pueden variar dependiendo de cada región, en Centroamérica dos de los métodos más conocidos son: EL Método AASHTO 93, el método de Murillo López de Souza, el Método Argentino y el Método Británico; lo cuales se encuentran descritos en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Para el presente estudio se realizará el diseño de pavimento usando el método AASHTO 93.

Se ha elegido el método de diseño AASHTO ya que a diferencia de otros métodos introduce el concepto de servicialidad en el Diseño de Pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. El método AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural "SN" que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40,000 psi.

El procedimiento para realizar el diseño de un pavimento por el método AASHTO, se nos describe a detalle en la guía para diseño de pavimento AASHTO 1993, en la cual nos da la siguiente fórmula para el diseño de un pavimento flexible:

$$\log_{10} Wt_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Ec. 16

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. I-5

Dónde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 18 kips (80 KN) acumuladas conforme al tránsito vehicular.

Z_R: Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o: Desviación estándar de todas las variables

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad, es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad Final (P_t)

MR: Módulo resiliente de la subrasante.

SN: Número estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones de diseño.

2.4.2. Variables para el diseño

A continuación, se procederá a definir cada una de las variables de diseño para la estructura de pavimento articulado.

2.4.2.1. Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento teniendo en cuenta las Proyección de tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente. (SIECA, 2002).

2.4.2.2. ESAL

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas

aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto este compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 kips, por lo que se le denominara "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL. (AASHTO, 1993).

2.4.2.3. Confiabilidad (R)

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones. (AASHTO, 1993).

Habiendo seleccionado un valor de R podemos obtener el valor correspondiente a la Desviación Normal Estándar (Z_r), la cual depende del valor seleccionado para la confiabilidad (R).

2.4.2.4. Desviación estándar S_o

Este parámetro está directamente ligado al nivel de confiabilidad elegido para la vía. Corresponde a la función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

2.4.2.5. Pérdida de Servicialidad

En la sección 2.2.7.2, se detalló todo lo referente acerca de los índices de servicialidad, dichos índices se utilizarán para el cálculo de pérdida de servicialidad usando la siguiente fórmula:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad Ec. 17$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 4

Donde:

P_o = Índice de servicialidad Inicial

P_t = Índice de servicialidad final

2.4.2.6. Módulo de resiliencia

El módulo de resiliencia se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos. Se ha encontrado una relación entre el módulo de resiliencia y el CBR de laboratorio para la misma densidad.

El manual para el diseño de pavimentos, SIECA 2002 establece que para determinar el valor del módulo de resiliencia se hacen uso del valor del CBR, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para suelos con un valor de $CBR < 10\%$ se usará la siguiente Ecuación:

$$M_R = 1500 * CBR \quad Ec. 18$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 4, pág. 7

- Para suelos con un valor de $CBR > 10\%$ se usará la siguiente Ecuación:

$$M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad Ec. 19$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 4, pág. 8

2.4.2.7. Coeficiente de drenaje

Un factor muy importante a considerar a la hora de realizar el diseño de una carretera es el drenaje de aguas en los pavimentos, ya que el exceso de agua sumado a otros factores como pueden ser el incremento en el volumen de tránsito y por consiguiente el aumento de las cargas que recibe el pavimento, podrían provocar daños en la estructura en un tiempo menor al cual se tiene estimado a la hora de realizar el diseño. (SIECA, 2002).

2.4.2.8. Coeficientes estructurales de capas

El método AASHTO 93 asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos en el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos

coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. (AASHTO, 1993).

Los coeficientes de capa están representados con la siguiente terminología:

a_1 : Para la carpeta de rodamiento

a_2 : Para la base

a_3 : Para la sub-base

2.4.2.9. Número estructural SN

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometida durante su vida útil. Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa. (AASHTO, 1993)

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente fórmula:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad Ec. 20$$

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-35

Donde:

$a_{1, 2, 3}$: Coeficientes estructurales de capa.

$D_{1, 2, 3}$: Espesores de capa.

$m_{1, 2, 3}$ Coeficientes de drenaje de capas.

2.4.3. Cálculo de espesores

Contando con las variables de diseño ya determinadas en las secciones anteriores, se procede al cálculo de los espesores de la estructura de pavimento, tomando en consideración cada una de las fórmulas propuestas en la guía de pavimentos. (SIECA, 2002).

2.4.3.1. Espesor de la carpeta de rodamiento

Teniendo los respectivos valores para a_1 y D_1 se procede a calcular el Valor de SN_1 que será usando posteriormente para obtener los respectivos valores de D_2 y D_3 .

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \quad Ec. 21$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 107

2.4.3.2. Espesor de la base

Teniendo los valores del número estructural SN_2 , calculado mediante el uso del nomograma proporcionado por la AASHTO 93, el valor de a_2 y el valor del coeficiente de drenaje m_2 , se procede a calcular el valor de D_2 , y posteriormente recalculamos el valor de SN_2 .

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} \quad Ec. 22$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 18

2.4.3.3. Espesor de la sub-base

Para realizar el cálculo del espesor de la sub-base se toma en cuenta los valores de SN_1^* y SN_2^* calculados anteriormente, así como el valor del coeficiente de capa a_3 y el coeficiente de drenaje m_3

El valor de D_3 se determina mediante la aplicación de la siguiente Ecuación:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad Ec. 23$$

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 18

2.4.4. Verificación de resultados con el software WinPAS

Como alternativa y a modo de verificación, se calcularán los valores de espesores de capas de la estructura de pavimento articulado empleando el programa

WinPAS, el cual es una herramienta para diseño de espesores y costos durante el ciclo de vida de pavimentos, basado en la guía de diseño AASHTO 93

Para realizar esta comprobación el software solicita ciertos datos para el cálculo de las capas de pavimento, dichos datos han sido determinado en secciones anteriores de este capítulo y estos son:

- Número estructural requerido (SN_{req})
- ESAL de diseño
- Confiabilidad (R)
- Desviación estándar (S_o)
- Módulo de resiliencia de la sub-rasante
- Índices de servicialidad inicial y final (P_o y P_t)

2.5. Diseño geométrico

2.5.1. Generalidades

El diseño geométrico es una de las partes más importantes de un proyecto de carreteras y a partir de diferentes elementos y factores, internos y externos, se configura su forma definitiva de modo que satisfaga de la mejor manera aspectos como la seguridad, la comodidad, la funcionalidad, el entorno, la economía y la estética.

El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, que deben evitarse los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado manteniendo la coherencia en todos los elementos de diseño con las expectativas del conductor promedio. (SIECA, 2011).

En el diseño de una carretera debe prestarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y de los motociclistas que circulan por las carreteras en volúmenes significativos, particularmente a los primeros. (SIECA, 2011).

En el presente capítulo se muestra el diseño geométrico realizado para el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito, esto utilizando los criterios establecidos en el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011 y mediante el uso del software AutoCAD Civil 3D 2021.

2.5.2. Clasificación de la carretera

Siendo las carreteras un componente de un sistema integral de transporte, ha sido necesario clasificarlas de distintas maneras, según la necesidad de reflejar algunas características comunes o algún propósito determinado, así se han clasificado según su sistema operacional, según su clase, según su función o según tipo geométrico y orográfico. Estas clasificaciones han sido necesarias para facilitar la comunicación entre los planificadores, administradores, ingenieros y el público en general. (SIECA, 2011).

2.5.3. Clasificación del área del tramo en estudio

Fundamentalmente, las áreas urbanas y rurales tienen diferentes características con respecto a la densidad y tipo de uso de la tierra, densidad de redes de calles y carreteras, naturaleza de los patrones de viaje y la forma en que estos elementos están relacionados, consecuentemente, los sistemas funcionales urbano y rural se clasifican separadamente de la siguiente manera:

- **Áreas urbanas** son aquellos lugares dentro de los límites establecidos por los funcionarios estatales y locales responsables con una población de 5,000 o más habitantes. (SIECA, 2011).
- **Áreas rurales** son áreas ubicadas fuera de los límites de las áreas urbanas (de menos de 5,000 habitantes). (SIECA, 2011).

2.5.4. Clasificación funcional de la carretera

La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño. (SIECA, 2011).

En la Tabla 54, Pág. 125 se muestra la clasificación funcional de carreteras en base a lo que establece el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011.

2.5.5. Vehículo de diseño

La SIECA 2011 establece como vehículo de diseño al vehículo más grande que se considera puede circular por la carretera o un vehículo con características especiales que deben tomarse en cuenta en el dimensionamiento de la vía. Este vehículo se usa para determinar el diseño de las características de la vía tales como radios en las intersecciones, radios de giro y el cálculo del sobre ancho de la vía. (SIECA, 2011).

2.5.6. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño (también conocida como velocidad de directriz es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. (SIECA, 2011).

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especialmente consideración a los siguientes aspectos:

- a- Distribución de las velocidades
- b- Tendencia de las velocidades
- c- Tipo de área
 - Rural
 - Urbana
- d- Condiciones del terreno
 - Plano
 - Ondulado
 - Montañoso
- e- Volúmenes de tránsito
- f- Consistencia en el diseño de carreteras similares o complementarias
- g- Condiciones ambientales

En carreteras colectoras de múltiples carriles, en áreas suburbanas y rurales las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras el rango de velocidades de diseño debe ser de 30 a 80 KPH y el rango de 20 a 60 KPH puede usarse en caminos vecinales. (SIECA, 2011).

2.5.7. Definición de la sección transversal

La sección transversal de una carretera o calle, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la

carretera ya que resulta de la combinación de distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno de los puntos considerados. (SIECA, 2011).

En esta sección se describen los distintos elementos de la sección transversal. Se explicarán sus dimensiones e inclinaciones en función de las variables de las cuales dependan.

2.5.8. Alineamiento horizontal

En la actualidad al realizar el diseño geométrico de una carretera se busca que esta cumpla con los requerimientos necesarios de seguridad y a su vez que el proyecto sea viable económicamente. Por esta razón al realizar el diseño de una carretera se diseñan curvas de gran amplitud que coincidan con la topografía del terreno y de esta forma reducir los costos de ejecución de la obra. (SIECA, 2011).

2.5.8.1. Longitud máxima en rectas

La SIECA 2011 establece como criterio para la longitud máxima de rectas la siguiente ecuación:

$$L = 20 * V \quad Ec. 24$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 82.

Donde:

L= Longitud de la recta, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

2.5.8.2. Tasa de peralte máximo

Las tasas de peralte generalmente están controladas por las condiciones del terreno (plano o montañoso), tipo de zona (urbana, rural) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuyo funcionamiento puede ser afectado por tasa altas de peralte. (SIECA, 2011).

En la SIECA 2011 se recomienda una tasa de peralte del 10% en zonas montañosas, pero generalmente el valor máximo razonable reconocido es del 8%, un 6% puede usarse en zonas suburbanas y para zonas urbanas se establece un 4%. El peralte puede omitirse en zonas urbanas de baja velocidad. (SIECA, 2011).

2.5.8.3. Factor de fricción lateral

Los máximos factores de fricción lateral permisibles para usar en el diseño de curvas de carreteras rurales y urbanas que se han tomado de los estudios realizado por la AASHTO varían desde 0.28 a 30 KPH hasta 0.14 a 80 KPH y varían directamente desde aquí hasta 0.09 a 120 KPH.

2.5.8.4. Radio mínimo

El radio mínimo 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. (SIECA, 2011).

Una vez establecido el valor del peralte máximo o sobre elevación (e), los radios mínimos de curvas horizontales se pueden calcular usando la siguiente ecuación:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e_{max} + f_{max})} \quad Ec. 25$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 87.

Donde:

R_{min} = Radio mínimo de la curva, m

e_{max} = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

V = Velocidad de diseño, KPH

f_{max} = Factor de fricción lateral

2.5.8.5. Grado de curvatura

El grado de curvatura es una forma de expresar la agudeza de una curva y se expresa, para definir un arco como el ángulo central subtendido por un arco de 20 metros. A partir esta definición se obtiene la Ec. 26. (SIECA, 2011).

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} \quad \text{Ec. 26}$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 88.

En donde:

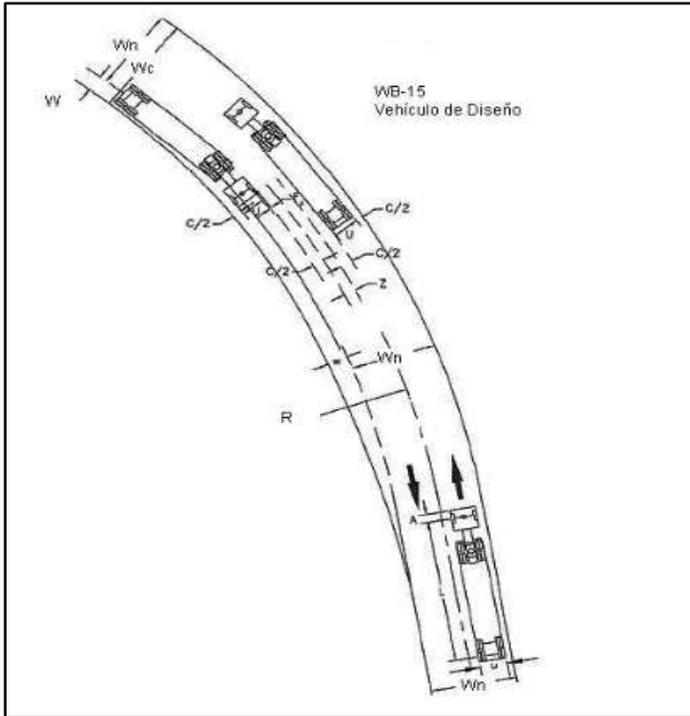
D20= Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curva, para un arco de 20 m.

R= Radio de la curva, m

2.5.8.6. Sobreancho

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 de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En carreteras con carriles de 3.60 metros y buen alineamiento la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Ver Figura 3). (SIECA, 2011).

Figura 3. Sobreancho de curvas en carreteras



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 109.

Para calcular un sobreebanco de diseño de la vía el cual se tomará como el sobre ancho máximo que puede llegar a presentarse en el tramo esto se realiza utilizando menor valor del radio mínimo antes calculado. Esto se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$S = n \left[R - \left(\sqrt{R^2 - L^2} \right) \right] + \frac{V}{10\sqrt{R}} \quad \text{Ec. 27}$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 109.

Donde:

S: Valor de sobreebanco en metros

n: número de carriles de la superficie de rodamiento

L: longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

R: radio de curvatura, metros

V: velocidad de diseño de la carretera, Kilómetros por hora

2.5.9. Curva horizontal simple

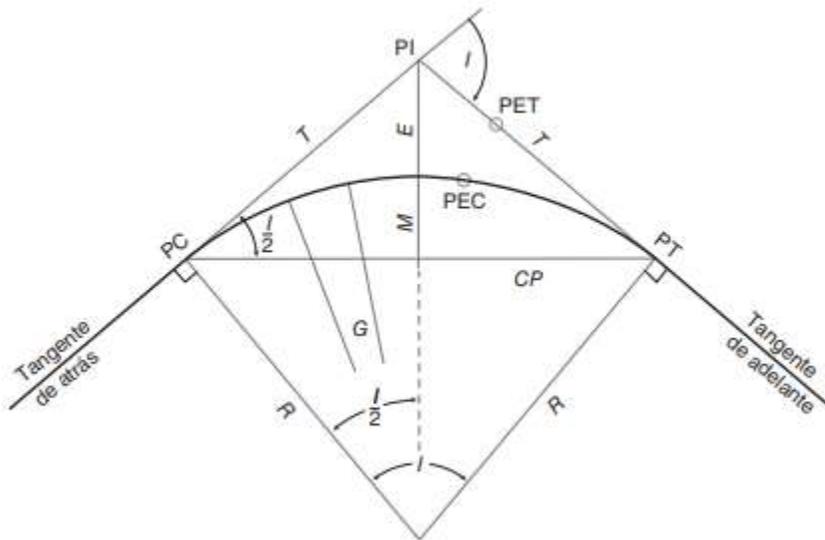
Una curva circular simple es un arco circular que conecta dos tangentes y es el tipo de curva más usada en el diseño geométrico de carreteras. (Wolf & Ghilani, 2016).

Una curva circular simple se caracteriza por tener los siguientes elementos:

- Radio de la curva: Es el radio que genera el diseño de la curva circular.
- Grado de curvatura: Es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva.
- Ángulo central: Es el ángulo subtendido por la curva circular. En curvas circulares simples es igual a la deflexión.
- Longitud de curva: Es la distancia o la longitud que posee el arco de la curva, que lo comprende entre PC y PT.
- Externa: Es la distancia mínima que se localiza entre los puntos PI y la curva.
- Deflexión: Es el ángulo entre la prolongación de la tangente PC y la tangente en un punto cualquiera considerado.
- Cuerda Max: Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Si se encuentra entre los puntos PC y PT, la resultante es llamada cuerda máxima.
- Mediana: La distancia desde el punto medio de la cuerda principal hasta el punto medio de la curva

En la Figura 4, que se muestra a continuación se muestra un ejemplo de curva horizontal simple y los elementos que componen la misma.

Figura 4. Elementos de curvas horizontales



Fuente: *Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 710*

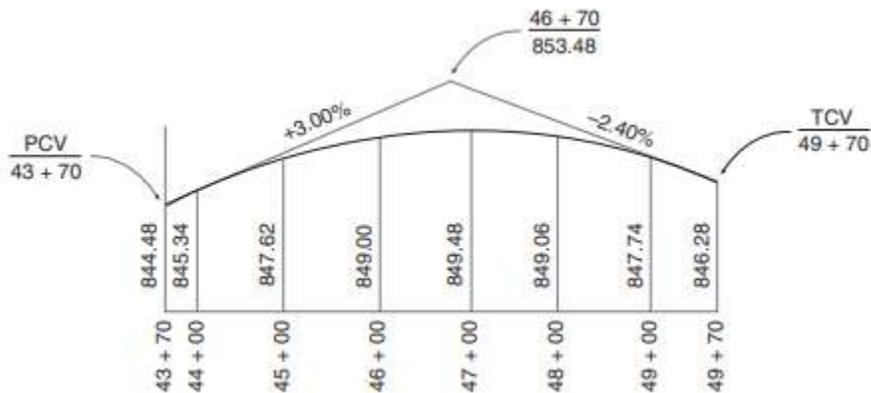
El diseño de las curvas horizontales se realizó teniendo en cuenta las ecuaciones establecidas para el diseño geométrico de curvas. Los resultados del cálculo de obtuvieron apoyándose en el software de diseño AutoCAD Civil 3D 2023. (Ver Anexos, Figura 45, Pág. XL)

2.5.10. Alineamiento vertical

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o sub-rasante. (Cárdenas, 2013).

En la rasante se ciertos elementos geométricos conocidos como curvas verticales, estas curvas tiene como objetivo suavizar los cambios bruscos entre las dos pendientes, conocidas como pendiente de entrada y pendientes de salida. debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características de drenaje adecuadas. (SIECA, 2011).

Figura 5. Curva vertical en cresta



Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 753

El alineamiento vertical de una vía está compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil.

Según la SIECA el alineamiento vertical de una carretera está ligada estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresada usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los factores visibilidad y accidentalidad, composición del tránsito, así como la relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo. (SIECA, 2011).

La rasante es la posición final de la estructura de pavimento diseñada con pendientes adecuadas, que se incluye en el perfil longitudinal con el propósito de suavizar o corregir excesos de pendiente que se encuentran en el terreno natural antes de ser conformado. (Cárdenas, 2013)

Dicha rasante está compuesta por tangentes y curvas en el plano vertical, las cuales son representadas generalmente en porcentajes, e identificadas con

pendientes ascendentes con signos positivos y descendentes con signos negativos. (Cárdenas, 2013).

2.5.10.1. Pendiente de control para el diseño

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ella. 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. (SIECA, 2011).

En vehículos pesados, la influencia de las pendientes de subida es bastante significativa por el retaso que ocasiona a otros vehículos, específicamente en carreteras con altos volúmenes de tránsito, ya que la velocidad de estos vehículos se reduce tanto en subida como en bajada. La relación peso/potencia de los vehículos definen características de operación que permiten determinar la velocidad con la que pueden recorrer una pendiente en específico.

2.5.11. Curvas verticales

La SIECA establece que las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. Para ello, las curvas verticales se clasifican en:

- Curvas verticales en cresta: Estas curvas se diseñan en consideración a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño.
- Curvas verticales en columpio: Dichas curvas se diseñan en relación a la distancia que alcanza a iluminar los faros del vehículo de diseño.

2.5.11.1. Tasa de curvatura K

Para el control de diseño de la distancia visual de parada o adelantamiento, se puede realizar mediante los parámetros de K, siendo esta la relación existente de la distancia horizontal que permite realizar un cambio de pendiente equivalente a 1%. Esto se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{L}{A} \quad Ec. 28$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

Donde:

K: parámetro de curvatura.

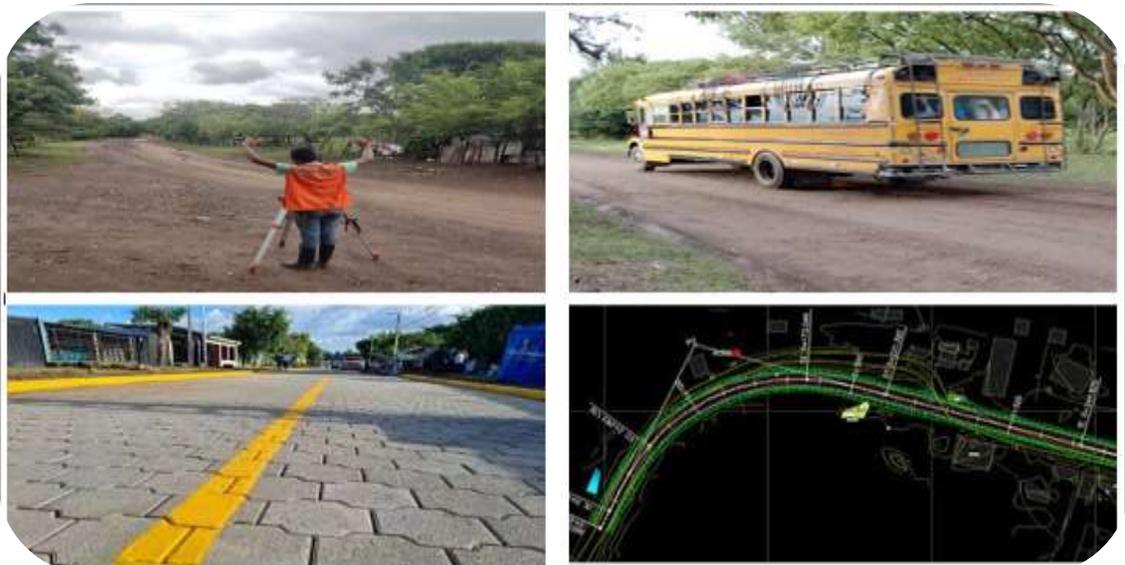
L: longitud de la curva vertical.

A: valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

Los valores de K pueden ser calculado usando la ecuación anterior o bien pueden ser seleccionados según la velocidad directriz escogida para el tramo en estudio de manera directa en las tablas asignadas por la SIECA 2011. (Ver Anexos, Tabla 83, Pág. XLI, Tabla 84, Pág. XLI y, Tabla 85, Pág. XLII).

Capítulo III

Análisis y presentación de resultados



3.1. Estudio topográfico

3.1.1. Levantamiento topográfico del tramo Empalme El papaturro- comarca Boaquito

Previo a la realización del levantamiento topográfico del tramo correspondiente, se realizó una visita previa al sitio, esto con la finalidad de conocer el estado de la vía así también como las características de su relieve y de esta forma tener realizar una estimación del tiempo que tomara realizar el levantamiento. También se realizó esta visita para determinar el equipo necesario para realizar el levantamiento.

3.1.2. Equipos utilizados para el levantamiento topográfico

- Estación total marca SOKKIA IM 100 Series, precisión modelo Focus 2 (5")
- Trípode de metal marca SOKKA
- Dos prismas SOKKIA
- Dos bastones para prisma marcan SOKKIA
- Brújula MC-2-SUUNTO
- GPS de mano, marca Garmin, modelo etrex 10, Precisión GPS < 10 metros, 95% típico; precisión DGPS (WAAS) < 5 metros 95% típico.
- Chapas y clavos de 4"
- Pintura en spray color rojo

3.1.3. Procedimiento de levantamiento topográfico del tramo

- 1- Primeramente, se planta un BM de salida y se le asignan coordenadas mediante el uso del GPS.
- 2- Luego de haber asignado las coordenadas al BM de salida se procede a plantar la estación total, nivelando y orientando la misma.
- 3- Se procede a crear un nuevo trabajo en la estación y se ingresan las coordenadas del BM de salida, para posteriormente orientar el aparato al norte magnético y registrar un ángulo de salida de 00°00'00".

- 4- El levantamiento realizado se hizo utilizando el método del perfil longitudinal y secciones transversales; el cual consiste en que a partir del inicio del tramo se toman lecturas a cada 20 m aproximadamente, tomando los puntos de interés como lo son el ancho de la vía (cercos, linderos), el terreno natural para conocer el relieve, el centro aproximado de la calle. También se tomaron algunos árboles que se lograban apreciar, así como también diferentes objetos de interés que se presentaran a lo largo del tramo.
- 5- La estación total utilizada tiene un alcance de 5000 m en modo prima, por lo cual con esta se pueden levantar grandes distancias sin cambiar de estacionamiento y ya que el tramo es un tramo de 3 km los cambios de estacionamiento se realizaron solamente cuando debido a la forma del tramo no era posible visualizar más adelante esto debido a la presencia de curvas horizontales o verticales.
- 6- Teniendo en cuenta que el levantamiento se realizó con una estación total, se estima que el levantamiento tendrá una alta precisión, debido a esto en cada cambio de estación se buscó que el error de cierre fuese no mayor a ± 0.005 m (5mm).
- 7- Una vez terminado el levantamiento del tramo en estudio se procedió a extraer los datos del levantamiento de la estación total usando una memoria USB de 8 GB y así poder procesar los datos en el Programa de SOKKIA LINK.

Ver Anexos, Figura 28, Pág. III, Figura 29, Pág. IV, Figura 30, Pág. IV, Figura 31, Pág. V, Figura 32, Pág. V y Figura 33, Pág. VI.

3.1.4. Depuración de los puntos en Excel

3.1.5. Información extraída del equipo

Por lo general las estaciones totales de la marca SOKKIA al exportar los datos de la estación a una memoria USB lo hacen en un archivo con formato. raw, el cual es una extensión de data cruda, la cual se debe abrir en un programa llamado

SOKKIA LINK, en el cual se puede revisar si los datos extraídos coinciden con lo que se levantó en campo.

Una vez verificado que las coordenadas, elevaciones y códigos del trabajo extraído están correctos se procede a exportar dichos datos a un formato .CSV que nos permita poder trabajar con ellos en el programa Excel.

Una vez en el programa Excel se procede a configurar la tabla de datos obtenidos de la estación como se puede observar en la Tabla 1, en donde se nos muestra la libreta digital que de datos que nos arroja la estación la cual consta del número de punto, coordenadas X(Este), Y(Norte) y Z(elevación), así como también el código que se le asigno al punto.

Tabla 5. Base de datos del levantamiento topográfico

Punto	X(Este)	Y(Norte)	Z(Elevación)	Código
1	637712.920	1374344.618	193.450	BM-1
2	637756.965	1374352.915	194.194	TN
3	637754.003	1374355.757	194.471	TN
4	637751.798	1374358.015	194.521	LC
5	637749.425	1374359.857	194.480	TN
6	637748.356	1374361.159	194.249	TN
7	637733.296	1374347.992	194.029	TN
8	637734.473	1374346.759	194.348	TN
9	637736.280	1374344.433	194.457	LC
10	637738.360	1374342.194	194.391	TN
11	637740.562	1374340.476	193.965	TN
12	637438.380	1374532.848	191.067	EST2
13	637723.643	1374324.777	193.616	TN
14	637721.461	1374327.167	194.298	TN
15	637719.265	1374329.288	194.385	LC
16	637717.162	1374331.601	194.281	TN
17	637715.453	1374333.272	194.132	TN
18	637698.413	1374316.979	194.109	TN
19	637699.604	1374315.939	194.253	TN
20	637701.534	1374313.820	194.300	LC

Fuente: *Elaboración Propia*

La Tabla 1 representa una parte de los puntos levantados a manera de ejemplo, ya que la base de datos del levantamiento abarca más de 1300 puntos, debido a esto en la sección de Anexos Tabla 63, Pág. VII, se muestra un parte mayor de la base de datos del levantamiento que abarca desde el punto 1 hasta el punto 150.

A la hora de realizar un levantamiento topográfico es común que el topógrafo asigne un código específico a cada punto, esto con la finalidad de saber que representa cada punto levantado y de esta forma por realizar una clasificación de los puntos más fácilmente. No existe una norma como tal que especifique los códigos a usar en un levantamiento ni su significado por lo cual cada topógrafo crea sus propios códigos y le asigna su significado a su conveniencia. Habiendo dicho lo anterior, a continuación, en la Tabla 6 se presentan los códigos usados en el levantamiento del tramo en estudio, así como también su significado.

Tabla 6. Códigos utilizados en el levantamiento topográfico

CÓDIGO	SIGNIFICADO
ACC	ACCESO A PROPIEDAD
ALC	ALCANTARILLA
ALETON	ALETON DE PUENTE
AR	ÁRBOL
AUX*	AUXILIAR
BM*	BANCO MAESTRO
CABEZAL	CABEZAL DE PUENTE
CERC	CERCO
ENPT	ENTRADA PUENTE
EST*	ESTACIONAMIENTO
INVKEN	INVERT DE ENTRADA DE ALC
INVSL	INVERT DE SALIDA DE ALC
LC	LINEA CENTRAL
PIE ALET	PIE DE ALETON
SLPT	SALIDA PUENTE
SLPT ALETON	ALETON DE SALIDA PUENTE

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 6 algunos códigos van precedidos por el símbolo *, esto significa que dichos códigos siguen una secuencia numérica, por ejemplo, AUX1, AUX2, AUX 3, etc.

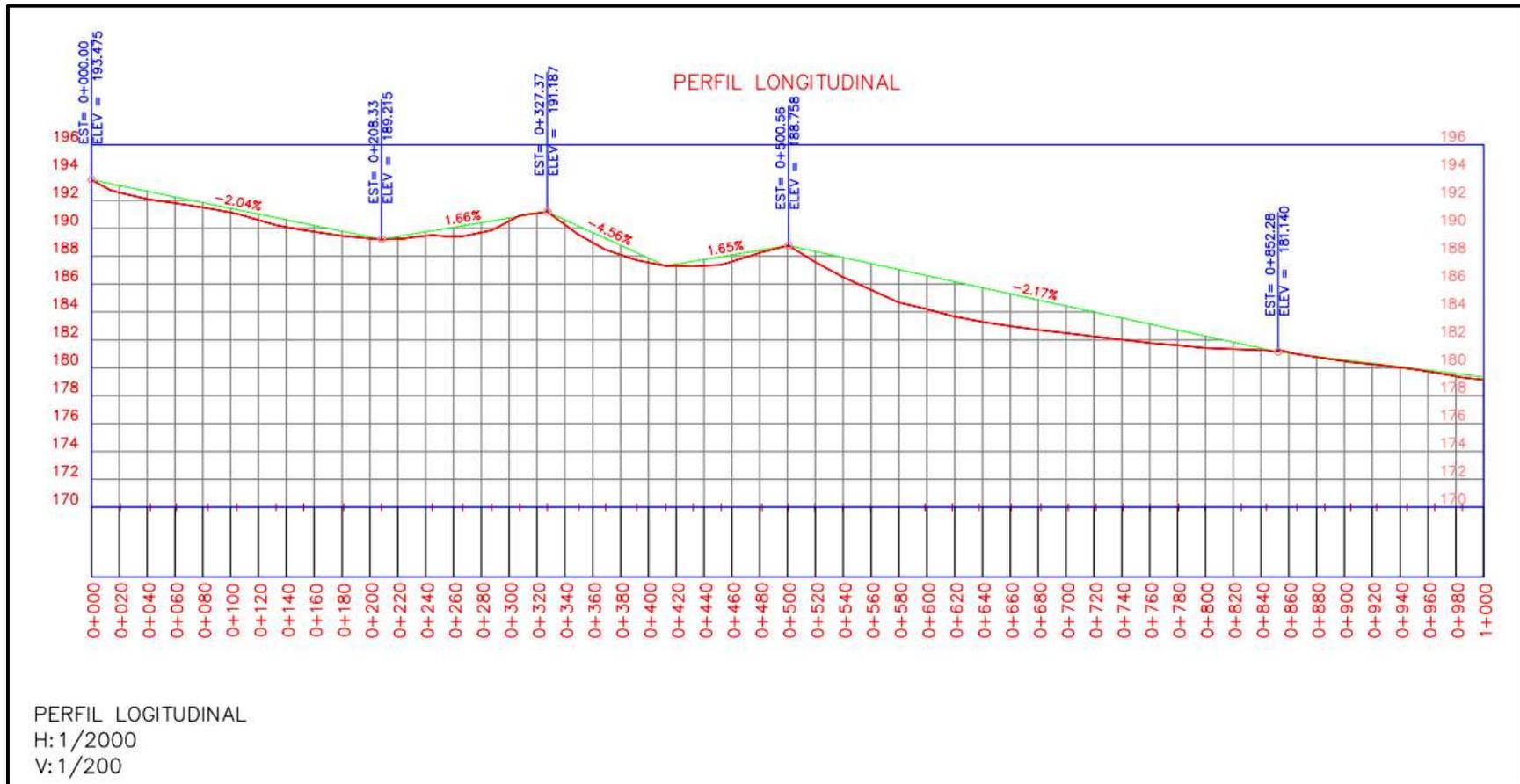
A continuación, se adjunta un link el que direcciona hacia un archivo en la nube en el cual se muestra la base de datos del levantamiento completa.

Base de datos completa: [Levantamiento Topográfico- Tramo Empalme el Papaturre-Comarca Boaquito.xlsx](#)

3.1.6. Análisis de pendientes del tramo en estudio

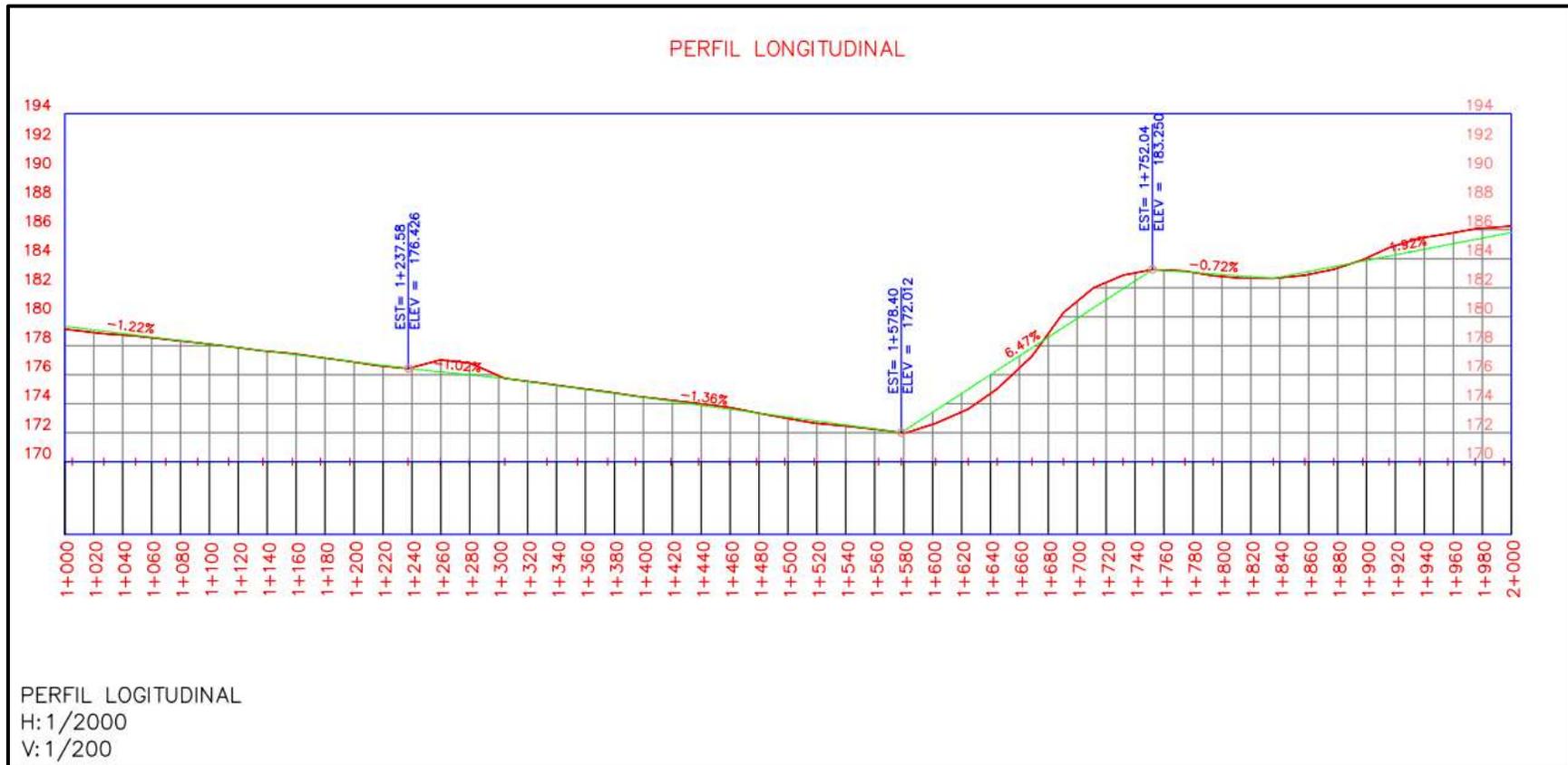
Una forma de realizar el análisis de pendientes del tramo en estudio es identificando los cambios de elevación en el tramo de manera visual, esto apoyándose en el perfil del terreno natural del tramo, generado mediante el software AutoCAD Civil 3D. El perfil longitudinal del tramo en estudio lo podemos visualizar en las Figuras 6, 7 y 8 que se muestran a continuación.

Figura 6. Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (0+000 - 1+000)



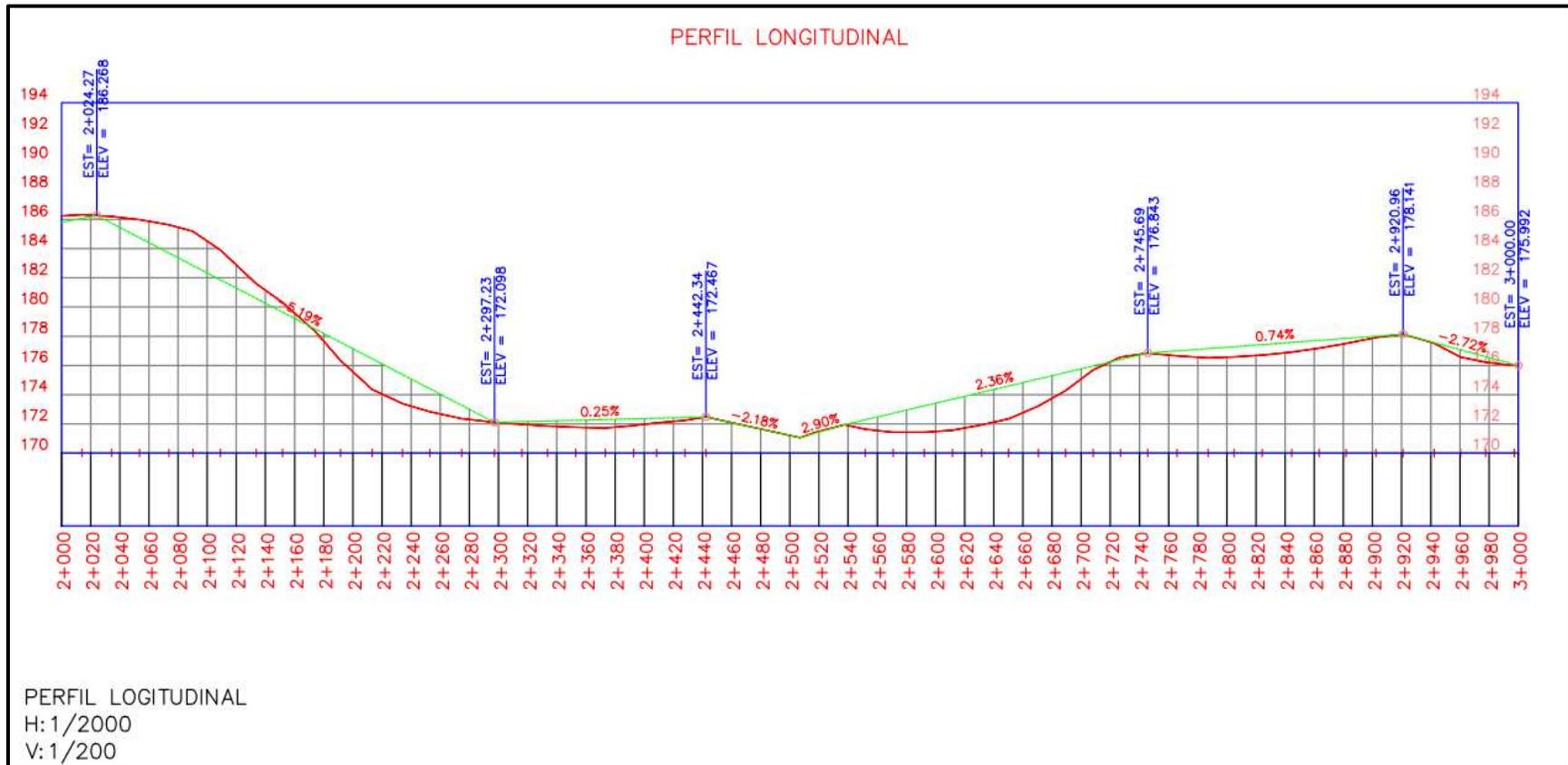
Fuente: Elaboración Propia, AutoCAD Civil 3D 2021

Figura 7. Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (1+000 – 2+000)



Fuente: Elaboración Propia, AutoCAD Civil 3D 2021

Figura 8. Perfil del terreno natural, tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito (2+000 – 3+000)



Fuente: Elaboración Propia, AutoCAD Civil 3D 2021

A continuación, en la Tabla 7 se muestran los resultados de este procedimiento para todo el tramo en estudio, esto mediante el uso de la Ecuación 1, Pág. 11.

Tabla 7. Pendientes en el tramo de estudio (Identificación de manera visual)

EST Inic.	EST Fin.	ELV. Inic	ELV Fin.	Dist(m)	Pendiente (%)
0+000.000	0+208.348	193.475	189.215	208.348	-2.04%
0+208.348	0+327.371	189.215	191.187	119.023	1.66%
0+327.371	0+412.401	191.187	187.306	85.030	-4.56%
0+412.401	0+500.556	187.306	188.758	88.155	1.65%
0+500.556	0+852.283	188.758	181.140	351.727	-2.17%
0+852.283	1+237.580	181.140	176.426	385.297	-1.22%
1+237.580	1+304.220	176.426	175.744	66.640	-1.02%
1+304.220	1+578.401	175.744	172.012	274.181	-1.36%
1+578.401	1+752.037	172.012	183.250	173.636	6.47%
1+752.037	1+835.693	183.250	182.637	83.656	-0.73%
1+835.693	2+024.273	182.637	186.268	188.580	1.93%
2+024.273	2+297.232	186.268	172.098	272.959	-5.19%
2+297.232	2+442.345	172.098	172.467	145.113	0.25%
2+442.345	2+507.030	172.467	171.054	64.685	-2.18%
2+507.030	2+537.666	171.054	171.942	30.636	2.90%
2+537.666	2+745.692	171.942	176.843	208.026	2.36%
2+745.692	2+920.956	176.843	178.141	175.264	0.74%
2+920.956	3+000.000	178.141	175.992	79.044	-2.72%

Fuente: Elaboración propia

Haciendo el análisis de pendiente de manera visual nos resulta que la mayoría de las pendientes son menores al 5% a excepción de ciertos tramos en los cuales las pendientes nos resultan de 6.47% y -5.19% respectivamente.

3.1.7. Clasificación del terreno de acuerdo al porcentaje de pendiente

En la sección anterior se realizó el análisis de pendientes del tramo en estudio, en el cual se puede observar que en su mayoría las pendientes del tramo no superan el 5%. Sin embargo, existen secciones en el tramo en las cuales los porcentajes de pendiente supera el 5%.

La mejor manera de describir el tipo de terreno en este tramo de 3.0 km sería como un terreno plano ya que, las pendientes predominantes son menores que el 5%, aun así no se puede obviar el hecho que existen partes del tramo en el

que este valor de pendientes es superado, si se calculara una sola pendiente del inicio del proyecto hasta el final daría como resultado una pendiente bastante elevada y sería mucho mayor que el 5%, en conclusión se define el terreno como ondulado por el hecho de que las pendientes no siempre son menores que el 5%.

Además para realizar dicha clasificación se ha tenido en cuenta el numero de curvas horizontales que se presentan en el tramo, lo cual genera un terreno muy accidentado, y sabido que la velocidad de diseño se obtiene en base a la clasificación del terreno por el tipo de pendientes no resultaría conveniente establecer una velocidad elevada. Todo esto se abordara mas a fondo en la sección de Diseño geométrico en el presente documento.

Tabla 8. Clasificación del terreno del tramo en estudio según % de pendiente (SIECA 2011)

TRAMO	% PENDIENTE	CLASIFICACIÓN
0+000 – 3+000	$5 < P \leq 15$	ONDULADO

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Estudio de tránsito

3.2.1. Información base

Se realizó un aforo Vehicular manual, cuya finalidad era la de obtener la cantidad de vehículos que circulan en el tramo de estudio. El aforo se realizó durante 3 días, comprendidos del 22 al 24 de agosto de 2023, con un periodo de tiempo de 12 horas diarias, (6:00 a 18:00). Los fueron recopilados haciendo uso de la tabla para aforos de tránsito que se encuentra en el Manual Para la Revisión de Estudios de Tránsito del MTI. (Ver Anexos, Tabla 64, Pág. XIV).

Para el aforo vehicular se tomaron en cuenta ambos sentidos de circulación en la vía, tomando como punto de aforo la estación 1+100 del tramo en estudio.

Con base en el aforo vehicular se define el tráfico promedio semanal (TPDS) y al realizar las respectivas proyecciones se obtiene el tráfico promedio diario anual (TPDA), esto mediante la implementación de los factores dados en el Anuario de aforo de tráfico vehicular, como lo son el Factor día y el factor expansión, que se obtienen del anuario aforo de tráfico 2020 del MTI.

3.2.2. Datos de campo

El conteo de tráfico vehicular del tramo de 3 km que abarca del empalme el Papaturreo hacia la comunidad Boaquito cuya coordenada inicial es 12° 25' 45" N / 85° 43' 59" E y su coordenada final es 12° 26' 58" N / 85° 45' 02" E, se realizó en la estación 1+100 cuyas coordenadas son 12° 26' 32" N/ 85° 44' 54" E, esta estación fue seleccionada como punto de aforo ya que en dicha ubicación se permite captar el 100% del tráfico que circula en ambos sentidos de la vía.

La información que nos brinda el aforo vehicular permite comprender el comportamiento del tráfico en el tramo a estudiar, esto analizando la composición vehicular que circulo durante el periodo en el cual se realizó el conteo. (Ver Tabla 9, Pág. 62).

3.2.3. Resultados obtenidos

El aforo vehicular manual realizado en el tramo en estudio arroja los datos que se muestran en la Tabla 9, Pág. 62. y haciendo uso de los datos obtenidos por medio del aforo vehicular, que inicio el día Martes 22 de agosto y finalizo el jueves 24 de agosto de 2023, se cuantifico la cantidad de vehículos que transitaron por el tramo en estudio, esto acorde a su clasificación vehicular.

Tabla 9. Aforo vehicular del tramo empalme el papaturro- comarca Boaquito

Ubicación: Est 1+100								Fecha: martes 22 agosto al jueves 24 agosto del 2023				
Tramo de estudio: Empalme El Papaturro- Comarca Boaquito, Teustepe Boaco								Sentido: Ambos Sentidos				
DÍAS	VEHÍCULOS DE PASAJEROS							VEHÍCULOS DE CARGA				Total, Veh/12hrs
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones				
	Motos	Autos	Jeep/ SUV	Pick-up	Microbús < 15 pax	Minibús 15- 30 pax	Grande	Camión Ligero	C2 > 4 Ton	C3	Otros	
MARTES	190	87	25	69	3	4	10	12	8	6	1	415
MIÉRCOLES	181	68	39	58	6	4	9	14	8	8	2	397
JUEVES	171	70	41	58	5	4	10	15	10	6	1	391
Total/Veh	542	225	105	185	14	12	29	41	26	20	4	1203
TP(D)	181	75	35	62	5	4	10	14	9	7	2	404
Total	1112							91				1203
Veh/12hrs , %tipo	45.05%	18.70%	8.73%	15.38%	1.16%	1.00%	2.41%	3.41%	2.16%	1.66%	0.33%	100.00%
	90.02%							9.98%				100.00%
	% Vehículos Livianos							% Vehículos Pesados				

Fuente: Elaboración Propia

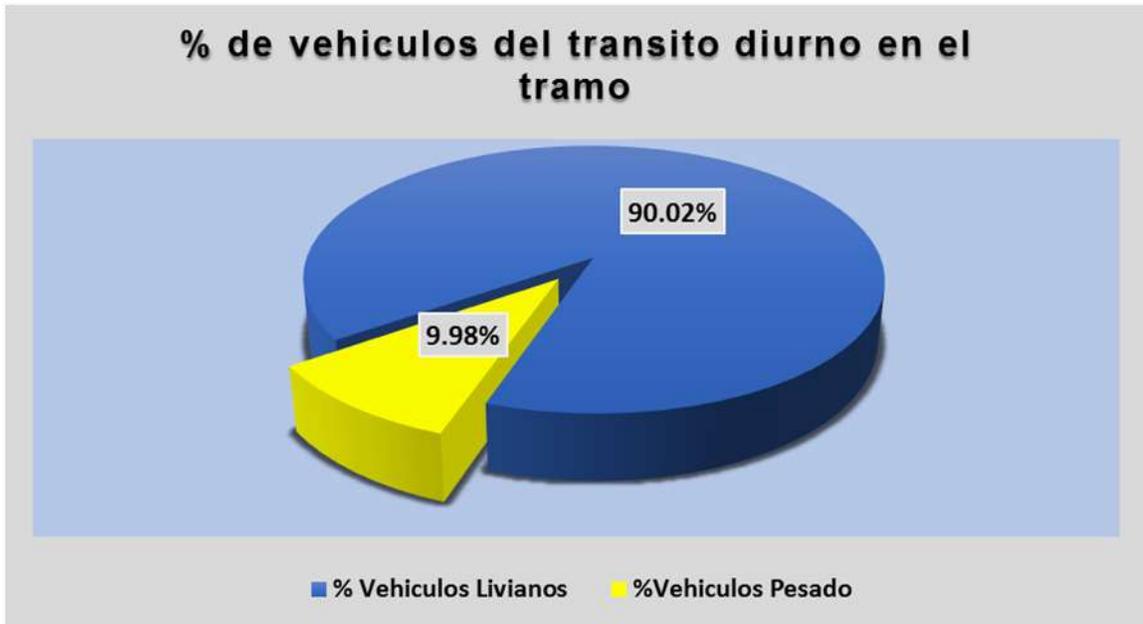
En la Figura 9 se puede observar cómo se comportó el tráfico por tipo de vehículo dado en porcentaje, durante el periodo de aforo. Así como también se puede observar en la Figura 10 el respectivo porcentaje de vehículos livianos y vehículos pesado que transitaron por el tramo.

Figura 9. Distribución del tráfico por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. Porcentajes de vehículos livianos y vehículos pesados



Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía. Para obtener el tráfico promedio diario anual TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces esta información anual, es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

Siguiendo la metodología establecida en el anuario de aforo de tráfico (2020), es necesario tomar en cuenta lo que en el anuario se describen como vector geográfico y vector de volumen.

En la Tabla 10, se muestra la clasificación que corresponde al vector geográfico que corresponde al tramo empalme el papaturro- comarca Boaquito, usando la

tabla proporcionada por el MTI Vemos que el vector correspondiente es R3 ya que el tramo se encuentra en el departamento de Boaco.

Tabla 10. Vector Geográfico

N°.	Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
1	R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
3	R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
4	R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
5	R5	AN	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de aforo de tráfico, MTI 2020, pág. 15

3.2.4.1. Estaciones de conteo

Para la selección de la estación con la cual se trabajó en la determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA), geográficamente la más cercana es la estación 901 empalme de Boaco-Boaco (Ver Anexo, Tabla 67, Pág. XVII), Sin embargo, los porcentajes de composición vehicular de esta estación corresponden al 75% de vehículos livianos y 25% de vehículos pesados, los cuales no son similares a los obtenidos en el aforo que se muestra en la Figura 10, Pág. 64, debido a esto, se seleccionó la estación 729 empalme de Teustepe-Teustepe (Ver Anexos, Tabla 68, Pág. XVIII), ya que en la segunda estación más cerca al tramo en estudio, también se tuvo en cuenta su composición vehicular la cual corresponde a un 89% de vehículos livianos y un 11% de vehículos pesados.

Como se puede observar, la composición vehicular de la estación 729 es parecida a la composición vehicular del tramo en estudio, en comparación con la estación 901. Para el tramo en estudio se implementará la estación de corta duración (ECD) 729 Empalme de Teustepe - Teustepe, que pertenece a la estación de

mayor cobertura (EMC) 1802 San Marcos-Masatepe. (Ver Anexos, Tabla 65, Pág. XV).

Según lo que establece el anuario de aforo de tráfico del MTI, cuando el vector volumen está comprendido en el rango mayor de 5,000 vehículos por día, este se clasificará como un V1; cuando se encuentre entre 300 a 5,000 vehículos por día, será un V2 y cuando sea menores de 300 vehículos por día, se tomará como V3. En este caso, el vector volumen identificado para el tramo en estudio es el V2, ya que en el conteo vehicular se muestra que la cantidad de vehículos se encuentra en el intervalo de 300 a 5,000 vehículos por día. (MTI, 2020).

3.2.4.2. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

La Tabla 11, nos presenta los factores de ajustes utilizados para realizar la expansión del TPD a TPDA, en el que se selecciona los valores que corresponden al conteo 2, ya que estos pertenecen al segundo cuatrimestre del año, esto acorde a los registros de conteo realizados por el MTI para la EMC 1802 San Marcos-Masatepe. Debido a que el aforo del tramo en estudio el cual fue realizado en la última semana del mes de agosto, este cumple así con el periodo obligatorio para dicho conteo.

En la Tabla 11, que corresponde a los factores de ajuste se puede observar que aparece otro factor el cual es el factor “Fin de Semana”, así como también se puede observar que al realizar el cálculo a manera de ejemplo del TPDA para motos no se usó dicho factor, esto es debido a que este factor es usado para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana por lo tanto su uso no es requerido para el cálculo de TPDA que corresponde al tramo en estudio ya que el aforo vehicular se realizó de martes a jueves.

Tabla 11. Factores de expansión a TPDA segundo cuatrimestre (mayo-agosto)

Descripción	Moto	Autos	Jeep/SUV	Pick-Up	Mb<15p	MB 15-30p	Bus	Camión Ligerero	C2>4 ton	C3	otros
Factor Día	1.7	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	1.00
Factor Semana	0.98	1.06	1.1	1.03	0.94	0.91	0.89	0.92	0.85	0.88	1.00
Factor Fin de Semana	1.05	0.87	0.81	0.93	1.19	1.33	1.43	1.3	1.78	1.51	1.00
Factor Expansión a TPDA	1.02	0.99	0.95	1.00	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	1.00

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 385

La Tabla 12, muestra el resultado que se obtiene al aplicar la Ecuación 2, Pág. 15, que da como resultado la proyección para cada tipo de vehículo, así como una proyección general de lo que vendría a ser el TPDA del tramo Empalme El Papaturre-Comarca Boaquito, Obteniendo así que el TPDA del tramo es de 537 Vpd (vehículos por día).

Tabla 12. Trafico promedio diario anual (empalme el papaturro-comarca Boaquito)

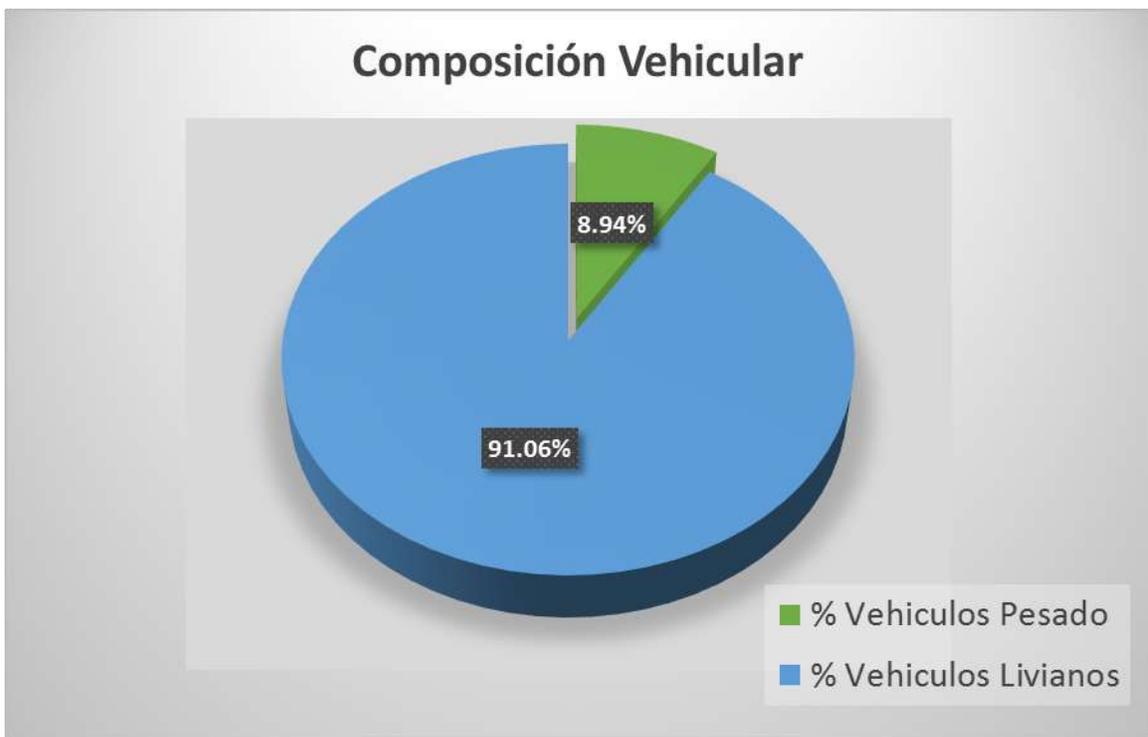
	VEHÍCULOS DE PASAJEROS							VEHÍCULOS DE CARGA				Total Veh/12hrs
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones				
	Motos	Autos	Jeep/ SUV	Pick- up	MB < 15p	Mb 15-30p	Bus	Camión Ligero	C2>4T	C3	Otros	
TP(D)	181	75	35	62	5	4	10	14	9	7	2	404
Factor Dia	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	1.09	
Factor semana	0.98	1.06	1.1	1.03	0.94	0.91	0.89	0.92	0.85	0.88	0.85	
Factor expansión	1.02	0.99	0.95	1	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	0.66	
TPDA	248	105	44	80	7	5	13	15	10	8	2	537
% TPDA	46.18%	19.55%	8.19%	14.90%	1.30%	0.93%	2.42%	2.79%	1.86%	1.49%	0.37%	100.00%
	91.06%						8.94%					100.00%
	% Vehículos Livianos						% Vehículos Pesado					

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4.3. Composición vehicular del TPDA

Partiendo de los datos que se obtuvieron de la expansión del TP(D) a TPDA se determinó la composición vehicular en forma de porcentaje, la cual se interpretara de la siguiente manera: de un TPDA de 537 vpd, el 91.06% corresponde a vehículos livianos (Motos, Autos, Jeep/Suv, Microbús<15p, Minibús 15-30p) y el 8.94% corresponde a los vehículos pesado (Bus, Camión ligero, C2>4 ton, C3, Otros), en la Figura 11 se han ilustrado los datos obtenidos sobre dicha composición vehicular.

Figura 11. Porcentaje de clasificación vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración Propia

Los porcentajes de vehículos livianos y vehículos pesados del TPDA correspondiente al tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito, serán comparados con el porcentaje de la composición vehicular de la Estación de Mayor cobertura 1802 correspondiente al tramo San Marcos-Masatepe, los cuales podremos observar en la Tabla 13. En dicha tabla podemos observar que el

porcentaje para vehículos livianos es de 91.1% y para vehículos pesados es de 8.8%, sabiendo esto y teniendo la composición vehicular del tramo en estudio se puede decir que son muy similares debió a esto para cálculos posteriores se seguirá trabajando con los datos de la estación de mayor cobertura 1802.

Tabla 13. Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura

N°	EST	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	% de Livianos	% de pesados
1	101B	Zona Franca - La Garita	24,523	78.3%	21.6%
2	1205	Emp.Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,585	75.0%	24.7%
3	200	Entrada al INCAE - El Crucero	9,403	87.3%	12.6%
4	1802	San Marcos - Masatepe	9,392	91.1%	8.8%
5	401	Masaya - Granada	8,882	87.8%	12.1%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	77.0%	22.8%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	76.5%	23.3%
8	2803	Nagarote - La Paz centro	6,058	62.8%	36.8%
9	2404	Chinandega - Corinto	5,471	67.7%	32.1%
10	2400	Chinandega (Rotonda) - Racheria	4,019	81.1%	17.1%
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2,024	68.3%	31.5%

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico, MTI 2020, pág. 13

3.2.5. Tasa de crecimiento vehicular

3.2.5.1. Determinación de la tasa de crecimiento vehicular

La tasa de crecimiento puede variar según las variables que se tengan en cuenta, por consiguiente, las variables a tomar son los registros de TPDA históricos de la estación de corta duración seleccionada la cual es la ECD 729 perteneciente al tramo Empalme de Teustepe-Teustepe (Ver Anexos, Tabla 68, Pág. XVIII).

Para determinar la tasa de crecimiento para la estación de corta duración se utilizará la Ecuación 3, Pág. 16, ya que para esta estación de conteo no se han realizado conteo de manera regular a lo largo de los años.

Para la tasa de crecimiento de la estación de corta duración N° 901 perteneciente al tramo empalme de Boaco-Boaco, se excluirán las tasas de crecimiento cuyo valor supere el 10%, así como también se excluirán las tasas de crecimiento que presenten valores negativos.

Estos criterios de evaluación estos sujetos a factores sociopolíticos que pudieran haber ocurrido en el país en determinados periodos de tiempo, pudiendo así afectar las tasas de crecimiento de los datos históricos de TPDA que nos proporciona el Anuario de Aforo de Trafico del MTI (2020).

A manera de ejemplo se realizará el cálculo de la tasa de crecimiento para la ECD 729 Empalme de Teustepe-Teustepe, para el periodo comprendido entre 2011-2020:

$$TC = \left[\left(\frac{2816}{1566} \right)^{\left(\frac{1}{2020-2011} \right)} - 1 \right] * 100$$

$$TC = 6.74 \%$$

Una vez se obtuvieron todas las tasas de crecimiento se procede a obtener el promedio de estas dando un valor de 3.41%, el cual será usado como la tasa de

crecimiento para la Estación de corta Duración 729 empalme de Teustepe-Teustepe.

En la Tabla 14 que se muestra a continuación se muestra el cálculo de la tasa de crecimiento para la estación de corta duración 729, empalme de Teustepe-Teustepe.

Tabla 14. Tasa de crecimiento de ECD N° 729, Empalme de Teustepe-Teustepe.

Año	TPDA ECD N° 901	TCA
2000	877	
2004	880	0.09%
2005	1227	39.43%
2008	1802	13.67%
2011	1566	-4.57%
2020	2816	6.74%
	TC	3.41%

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico, MTI 2020, pág. 251

Para la determinación de la tasa de crecimiento poblacional (POB) se hizo uso de las proyecciones poblacionales que realiza el Instituto Nacional de Información de desarrollo (INIDE). Dichas proyecciones son realizadas para cada municipio del país, para el presente estudio se usó el documento “Teustepe en Cifras”; ya que el tramo en estudio se encuentra en el municipio de Teustepe, departamento de Boaco. El documento Teustepe en Cifras contiene las proyecciones de población pertenecientes al departamento de Teustepe, dividiendo esta proyección por años y por sexo (hombres, mujeres), como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Proyecciones de población del periodo 2005-2020 para el municipio de Teustepe, Boaco

Municipio, año y tasa de crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
	Teustepe		
2005	27162	13798	13364
2006	27561	13994	13567
2007	27963	14191	13772
2008	28367	14388	13979
2009	28680	14540	14140
2010	29082	14735	14347
2011	29506	14943	14563
2012	29932	15150	14782
2013	30354	15358	14996
2014	30773	15564	15209
2015	31188	15768	15420
2016	31610	15991	15619
2017	32027	16213	15814
2018	32441	16438	16003
2019	32841	16652	16189
2020	33207	16800	16407

Fuente: Teustepe en cifras, INIDE, Capítulo V, Revisión 2007; Pág. 54

Usando la Ecuación 4, Pág. 16 y la Ecuación 5, Pág. 17, se obtiene la tasa de crecimiento poblacional, esto debido a que las proyecciones de población están hechas para años continuos. A continuación, se muestra el cálculo de la tasa de crecimiento para el periodo de 2005-2006.

$$TC = \left[\left(\frac{27,561}{27,162} \right)^{\left(\frac{1}{2006-2005} \right)} \right]$$

$$TC = 1.015\%$$

Tabla 16. Cálculo de la Tabla de crecimiento Poblacional (POB)

Municipio, año y tasa de crecimiento	Ambos sexos	TCA
2005	27162	
2006	27561	1.015%
2007	27963	1.015%
2008	28367	1.014%
2009	28680	1.011%
2010	29082	1.014%
2011	29506	1.015%
2012	29932	1.014%
2013	30354	1.014%
2014	30773	1.014%
2015	31188	1.013%
2016	31610	1.014%
2017	32027	1.013%
2018	32441	1.013%
2019	32841	1.012%
2020	33207	1.011%
	TC	1.35%

Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación, se muestra el cálculo de la tasa de crecimiento final debido al POB usando la Ecuación 5:

$$Tf = \left[(1.015 * 1.015 * 1.014 * 1.011 * 1.014 * 1.015 * \dots)^{\frac{1}{15}} - 1 \right] * 100$$

$$Tf = 1.35\%$$

Para el cálculo de la tasa de crecimiento final debido al POB no se omitió ningún valor de las tasas de crecimiento interanuales calculadas, estas se muestran en la Tabla 16.

A continuación, se procede a determinar la tasa de crecimiento del producto interno bruto. Basados en los datos que se obtenidos para estas variables, los cuales se encuentran en el Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2022, elaborado por el Banco Central de Nicaragua (BCN).

El anuario de estadísticas macroeconómicas 2022, Pág. 11, Tabla I-2, se muestran las tasas de crecimiento interanuales calculadas por el mismo BCN (Ver Anexos, Tabla 70, Pág. XX), para obtener la tasa de crecimiento final para el PIB se calculará el promedio de dichas tasas de crecimiento; omitiendo las tasas de crecimiento que presenten valores negativos. Todo este procedimiento se ilustra en la Tabla 17, que se muestra a continuación:

Tabla 17. Tasa de crecimiento del PIB

AÑO	PIB (MILLONES C\$)	TCA
2006	118837.70	
2007	124870.30	5.08%
2008	129160.50	3.44%
2009	124907.70	-3.29%
2010	130416.30	4.41%
2011	138654.20	6.32%
2012	147661.40	6.50%
2013	154936.80	4.93%
2014	162351.30	4.79%
2015	170131.60	4.79%
2016	177894.90	4.56%
2017	186133.60	4.63%
2018	179873.30	-3.36%
2019	174662.60	-2.90%
2020	171577.60	-1.77%
	TC	4.94%

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas, BCN 2022, Tabla I-2 pág. 11

Para el cálculo de la tasa de crecimiento debido al consumo del combustible en el país a través de los años se hará uso de los datos proporcionado por el Banco

Central de Nicaragua en su anuario de estadísticas macroeconómicas del Año 2022. En dicho documento en la tabla I-26 se nos presente el consumo de hidrocarburos por años, esto dado en miles de barriles por año. En esta sección se nos presentan los principales hidrocarburos consumidos en el país como pueden ser: gasolina, Diesel, gas licuado, asfalto, etc. Sin embargo, para el cálculo de la tasa de crecimiento se usarán los datos de consumo de combustible tipo gasolina y Diesel. Dichos datos se muestran a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18. Consumo de combustible en el país, periodo 2006-2020

AÑO	Total, consumo de combustible
2006	4702.60
2007	5221.60
2008	4858.80
2009	4918.00
2010	5143.10
2011	5388.00
2012	5615.80
2013	5788.20
2014	6127.10
2015	6813.70
2016	7287.50
2017	7596.40
2018	7060.30
2019	7267.10
2020	7210.10

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas, BCN 2022, Tabla I-26 pág. 36

La metodología para el cálculo de la tasa de crecimiento debido al consumo de combustible en el país es idéntica al procedimiento usado para determinar la tasa de crecimiento del POB.

A continuación, se muestra el cálculo de la tasa de crecimiento para el periodo de 2006-2007.

$$TC = \left[\left(\frac{5221.60}{4702.60} \right)^{\left(\frac{1}{2007-2006} \right)} \right]$$

$$TC = 1.11\%$$

Tabla 19. Tasa de crecimiento debido al consumo de combustible

AÑO	Total, consumo de combustible	TCA
2006	4702.60	
2007	5221.60	1.11%
2008	4858.80	0.93%
2009	4918.00	1.01%
2010	5143.10	1.05%
2011	5388.00	1.05%
2012	5615.80	1.04%
2013	5788.20	1.03%
2014	6127.10	1.06%
2015	6813.70	1.11%
2016	7287.50	1.07%
2017	7596.40	1.04%
2018	7060.30	0.93%
2019	7267.10	1.03%
2020	7210.10	0.99%
	TC	3.10%

Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación, se muestra el cálculo de la tasa de crecimiento final debido al consumo de combustible usando la ecuación 5:

$$Tf = \left[(1.11 * 0.93 * 1.01 * 1.05 * 1.05 * 1.04 * 1.03 * \dots)^{\frac{1}{14}} - 1 \right] * 100$$

$$Tf = 3.10\%$$

Habiendo calculado las tasas de crecimiento de cada una de las variables que se tomaron se calcula la tasa de crecimiento final, usando el método de la media aritmética, como se muestra en la Tabla 20 a continuación:

Tabla 20. Tasa de crecimiento final

Tasa de Crecimiento	
TC " POB"	1.35%
TC "PIB"	4.49%
TC "CONSUMO DE COMBUSTIBLE"	3.10%
TC "TPDA ECD N° 901"	3.41%
Promedio	3.09%

Fuente: *Elaboración Propia*

3.2.6. Tránsito de diseño

A continuación, se procederá a determinar los valores correspondientes de cada una de las variables necesarias para obtener el tránsito de diseño para el tramo en estudio, descritas en la sección 2.2.6, usando la Ecuación 6, Pág. 18.

3.2.6.1. Periodo de diseño

Se recomiendan periodos de diseño basados en lo estipulado en el manual de diseño de pavimento, AASHTO 93, los cuales podemos apreciar en la Tabla 21:

Tabla 21. Periodos de diseño según el tipo de carretera

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

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Capítulo 7, Pág. 3.*

Para el tramo empalme el papaturro – comarca Boaquito se propone un periodo de diseño 20 años, esto debido a que el tramo en estudio se ha clasificado como una colectoras rural, seleccionado por estar en una zona rural del municipio de

Teustepe y por tener un TPDA de 537 vpd. También depende el que tan frecuente se estima que se le dará mantenimiento a la vía.

3.2.6.2. Factor de crecimiento

A continuación, se presenta el cálculo del factor de crecimiento para el tramo en estudio usando la Ecuación 7, Pág. 19, la cual se muestra en la sección 2.2.6.2

$$FC = \frac{(1 + 0.0309)^{20} - 1}{0.0309} * 365 = 9897.97$$

3.2.6.3. Factor direccional

EL factor direccional es el factor del total de vehículos censados en el aforo, generalmente es de 0.5 ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad va a la otra.

Tabla 22. Factor de distribución direccional

Factor de Distribución Direccional	
Nº de Carriles en Ambas Direcciones	FD (%)
2	50 = 0.5
4	45 = 0.45
6 o Mas	40 = 0.4

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 3, Pág. 29

En la tabla 22 se puede observar que se seleccionó un factor de distribución direccional de 0.5 esto debido a que el tráfico que circula por cada carril es aproximado a un 50% por carril, lo cual se puede observar en la Tabla 23.

Tabla 23. Sentido del flujo vehicular del tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito

Ubicación: Est. 1+100								Fecha: martes 22 de agosto al jueves 24 de agosto de 2023					
Tramo: Empalme EL Papaturro a Comarca Boaquito								Sentido: Sentidos Separados					
Sentido del flujo vehicular	Vehículos de pasajeros							Vehículos de carga				Total, Veh/12hrs	% por sentido
	Motos	Autos	Jeep /Suv	Pick-Up	Mbus <15 P	Mb>15 P	Bus Grande	Camión ligero	C2 >4 ton	C3	Otros		
Empalme El Papaturro-Comarca Boaquito	279	106	61	96	7	5	19	27	18	9	3	630	52.37%
%Distribución	44.29 %	16.83 %	9.68 %	15.24 %	1.11%	0.79 %	3.02%	4.29%	2.86 %	1.43 %	0.48 %	100.00 %	
Comarca Boaquito-Empalme EL Papaturro	263	119	44	89	7	7	10	14	8	11	1	573	47.63%
%Distribución	45.90 %	20.77 %	7.68 %	15.53 %	1.22%	1.22 %	1.75%	2.44%	1.40 %	1.92 %	0.17 %	100.00 %	
Total, Veh.	542	225	105	185	14	12	29	41	26	20	4	1203	100.00 %
%Total Veh.	45.05 %	18.70 %	8.73 %	15.38 %	1.16%	1.00 %	2.41%	3.41%	2.16 %	1.66 %	0.33 %	100.00 %	

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.4. Factor de carril

En la Tabla 24, se pueden observar los valores que nos brinda la AASHTO para el factor de distribución por carril, así como también se puede observar el Factor seleccionado para el tramo en estudio.

Tabla 24. Factor de distribución por carril

Factor de Distribución por Carril	
N.º de Carriles en una Dirección	FC %
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 3, Pág. 29

Con los distintos factores calculado se procede a encontrar el tránsito de diseño correspondiente, haciendo uso de la Ecuación 6, Pág. 17. En la Tabla 25 se presentan los resultados obtenidos, en cual nos arroja un valor de 2,592,368 vehículos para un periodo de diseño de 20 años.

A modo de ejemplo se calculará el número de vehículos de diseño para los Automóviles mediante el uso de la Ecuación 6.

$$TD_{Autos} = 105 * 9897 * 0.5 * 1$$

$$TD_{Autos} = 519,593 \text{ vehiculos}$$

Tabla 25. Tránsito de diseño (empalme el papaturro-comarca Boaquito)

Tipo de vehículos	Vehículos	TPDA 2023	FC	FD	FC'	Tránsito Diseño "TD"
Vehículos de Pasajeros	Motos	248	9897	0.5	1	1,227,228
	Autos	105	9897	0.5	1	519,593
	Jeep/Suv	44	9897	0.5	1	217,734
	Camioneta	80	9897	0.5	1	395,880
	Mbus<15 P	7	9897	0.5	1	34,640
	Mb>15 P	5	9897	0.5	1	24,743
	Bus Grande	13	9897	0.5	1	64,331
Vehículos de Carga	Camión ligero	15	9897	0.5	1	74,228
	C2 >4 ton	10	9897	0.5	1	49,485
	C3	8	9897	0.5	1	39,588
	Otros	2	9897	0.5	1	9,897
Total		537				2,657,345

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7. Cálculo del ESAL's de diseño

3.2.7.1. Ejes equivalentes (ESAL)

En la sección 2.2.7 se definió el concepto de ejes equivalentes, Un Tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y numero de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un numero de ejes equivalentes de 80 KN o 18 kips, por lo que se le denominara "equivalent simple axial load" o ESAL (ejes equivalentes). (AASHTO, 1993). (Ver Anexos, Tabla 71, Pág. XXI y Tabla 72, Pág. XXII).

3.2.7.2. Numero estructural asumible

Para obtener dicho factor se considera se debe considerar un valor de número estructural (SN), el cual es un número abstracto que representa en forma numérica la resistencia estructural de un tipo de pavimento en términos de valor de soporte de suelo. (Corea y asociados S.A, 2008)

los coeficientes adecuados convierten el valor SN en espesor real de la carpeta, de la base y de la subbase, el SN asumido para este diseño será de 5.

3.2.7.3. Índice de servicialidad

EL manual para diseño de pavimento AASHTO 1993, nos da dos índices de servicialidad los cuales son: índice de servicialidad inicial, y el índice de servicialidad final los cuales aparecen en las Tablas 27 y 28 respectivamente.

Tabla 26. Índice de servicialidad inicial Po

Servicialidad Inicial (Po)	
Pavimento Rígido	4.5
Pavimento Flexible	4.2

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-10

Tabla 27. Índice de servicialidad final Pt

Servicialidad Final (Pt)	
Caminos importantes	2.5
Caminos de Transito Menor	2

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-10

Para el tramo en estudio el índice de servicialidad inicial seleccionado es de 4.2 debido a que se espera diseñar un pavimento flexible; y el Índice de servicialidad final seleccionado es igual a 2 ya que el tramo es un camino de tránsito menor.

3.2.7.4. Factor ESAL

Para hallar el factor ESAL cuya definición se encuentra en la sección 2.2.7.3, se encuentra utilizando la Ecuación 8, Pág. 20. A modo de ejemplo se realizará el cálculo del factor ESAL que corresponde a los automóviles usando dicha Ecuación, el cual es un vehículo donde ambos ejes son simples y tiene un peso en cada eje de 2.2 Kips. Estos datos se muestran a continuación en la Tabla 28.

Tabla 28. Cálculo del factor esa para un vehículo tipo Automóvil

Carga "Kips"		F. ESAL
2	=	0.0002
2.2	=	y=?
4	=	0.002
Y= 0.00038		

Fuente: Elaboración Propia

$$Y = 0.0002 + \frac{0.002 - 0.0002}{4 - 2} * (2.2 - 2) = 0.00038$$

El factor ESAL 0.00038 corresponde a uno de los ejes simples de Automóvil. En la Tabla 29, se muestran el resultado de todas las interpolaciones realizadas.

Tabla 29. Factores ESAL obtenidos mediante interpolación

Carga "Kips"	Factor ESAL	Interpolación	
		Peso vehículo (Kips)	Factor ESAL
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
6	0.009	4.4	0.0034
8	0.031		
10	0.079	8.8	0.0502
12	0.174		
14	0.338	11	0.1265
16	0.603		
18	1	17.6	0.9206
22	2.35		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración Propia

3.2.8. ESAL de diseño

EL cálculo del ESAL de diseño se realiza utilizando la Ecuación 9, Pág. 21, dicha ecuación se utiliza por cada tipo de vehículo, a modo de ejemplo se realizará el cálculo para el tipo de vehículo camioneta cuyos ejes presentan un peso de 2.2 kips y 4.4 kips respectivamente

Datos:

peso eje 1 = 2.2 kips

peso eje 2 = 4.4 kips

TD = 395,880

$F_{ESAL1} = 0.00038$

$F_{ESAL2} = 0.0034$

- ESAL'S eje 1

$$ESAL(W18)_1 = TD * F_{ESAL} = 395,880 * 0.00038 = 150.434 \text{ Psi}$$

- ESAL'S eje 2

$$ESAL(W18)_2 = TD * F_{ESAL} = 395,880 * 0.0034 = 1345.992 \text{ Psi}$$

Por lo tanto, tenemos que el ESAL de diseño para el vehículo camioneta es la 1496.426 Psi, cuyo valor no es más que la suma de ambos valores encontrados.

En la Tabla 30, se presenta el ESAL, el cual nos da como valor 443,575.327 Psi, obtenido para el tramo empalme el papaturro- comarca Boaquito; dichos valores representan el número de repeticiones equivalentes a 18 kips, siendo esto el valor acumulado para un periodo de diseño de 20 años.

Cabe resaltar que las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que estas no ejercen una carga considerable al pavimento.

Tabla 30. ESAL de diseño (tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito)

Cálculo del ESAL'S de diseño								
Periodo de diseño = 20 años								
índice de serviciabilidad "Pt" = 2				Número Estructural "SN" = 5				
Tipo de Vehículos	Vehículo	Peso X eje		Tipo de eje	No. De ejes	Tránsito de diseño "TD"	Factor ESAL'S	ESAL'S de Diseño
		Tn-m	Kips					
Vehículos de pasajeros	Autos	1	2.2	Simple	1	519,593	0.00038	197.445
		1	2.2	Simple	1	519,593	0.00038	197.445
	Jeep/Suv	1	2.2	Simple	1	217,734	0.00038	82.739
		1	2.2	Simple	1	217,734	0.00038	82.739
	Camionetas	1	2.2	Simple	1	395,880	0.00038	150.434
		2	4.4	Simple	1	395,880	0.0034	1,345.992
	Mbus<15 P	2	4.4	Simple	1	34,640	0.0034	117.774
		4	8.8	Simple	1	34,640	0.0502	1,738.903
	Mb>15 - 30 P	4	8.8	Simple	1	24,743	0.0502	1,242.074
		8	17.6	Simple	1	24,743	0.9206	22,777.946
Bus Grande	5	11	simple	1	64,331	0.1265	8,137.808	
	10	22	simple	1	64,331	2.35	151,176.675	
Vehículos de carga	Camión ligero	4	8.8	Simple	1	74,228	0.0502	3,726.221
		8	17.6	Simple	1	74,228	0.9206	68,333.837
	C2 >4 ton	5	11	Simple	1	49,485	0.1265	6,259.853
		10	22	Simple	1	49,485	2.35	116,289.750
	C3	5	11	Simple	1	39,588	0.1265	5,007.882
		16.5	36.3	Tándem	2	39,588	1.4325	56,709.810
ESAL'S Total								443,575.327

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Estudio de suelos

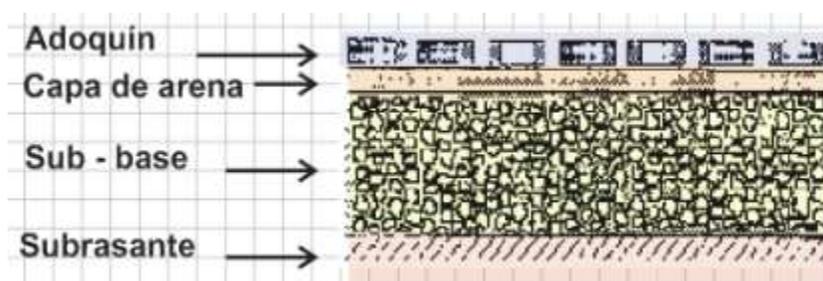
3.3.1. Metodología

El estudio de suelo, se realizó mediante sondeos manuales de 1.5 m de profundidad, ubicados a una distancia de 250 m entre sondeos, tomando muestras de cada estrato observa para su posterior análisis en el laboratorio. (Ver Figura 13, Pág. 91).

El análisis de los resultados del estudio de suelo del banco de material que fue proporcionado por la alcaldía de Teustepe debe cumplir con lo que establece la norma NIC-2019, la cual es la predecesora de la norma NIC-2000 la cual.

La NIC-2019 establece que para definir el espesor de la sub-rasante es necesario tener en cuenta lo dicho en su tomo II, pág. 830 en el artículo 1003.22.2, que indica que el valor mínimo que puede tener la sub-rasante es de 25 cm. Como se puede observar en Figura 12.

Figura 12. Espesor mínimo de sub-rasante



Fuente: Manual para la Revisión de Estudio y Diseño de Pavimento, MTI 2008, Pág. 29

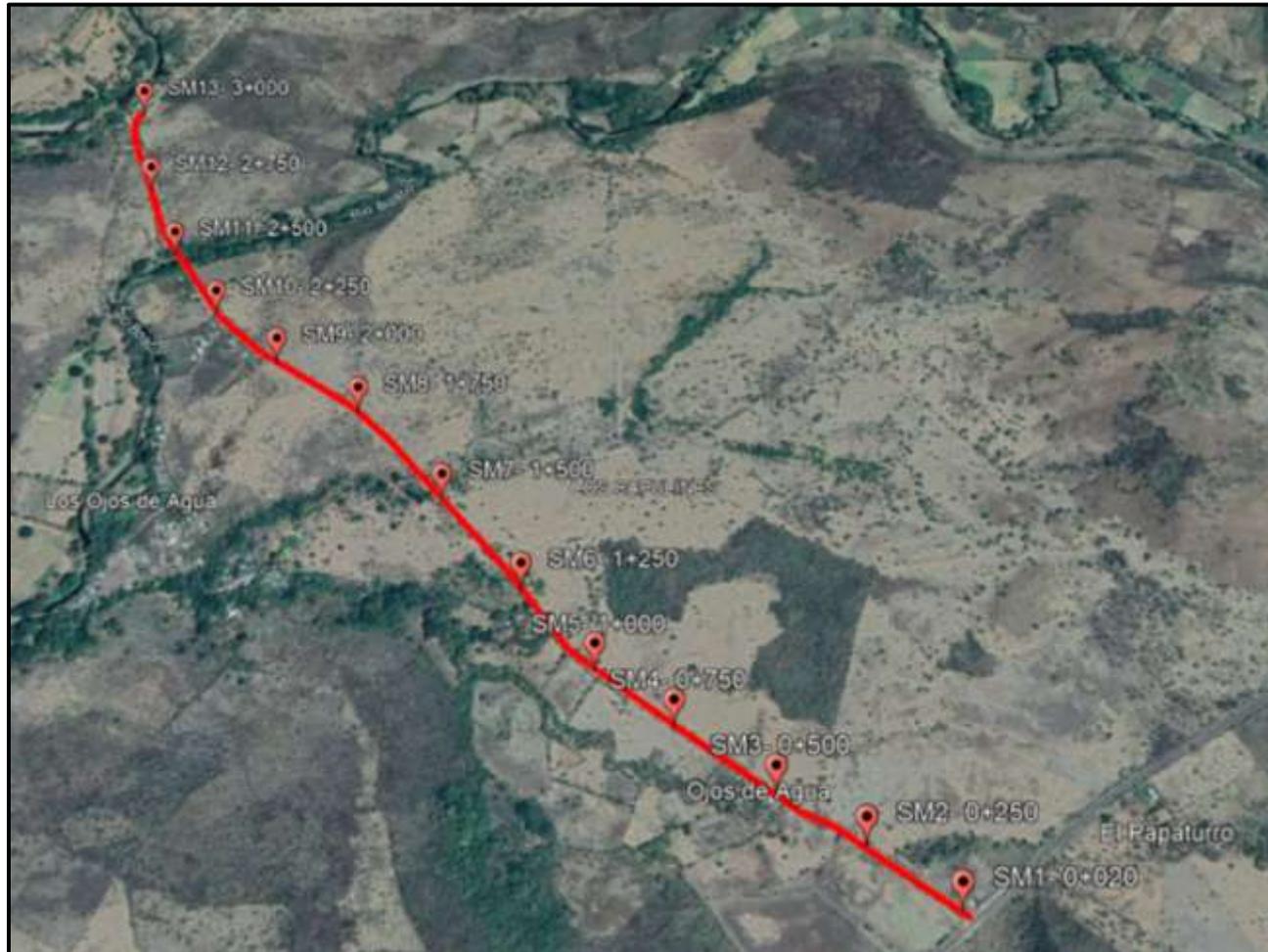
Siguiendo la metodología establecida para los sondeos manuales se procedieron a realizar estos mismos a lo largo del tramo. En la Tabla 31 se pueden Observar las estaciones en las cuales se realizaron los sondeos, también se puede observar en la Figura 13, los puntos a lo largo del tramo en donde se realizaron los sondeos manuales.

Tabla 31. Estaciones de los sondeos manuales

Sondeo N°	Estación	Banda
SM-1	0+020	Izquierda
SM-2	0+250	Derecha
SM-3	0+500	Izquierda
SM-4	0+750	Derecha
SM-5	1+000	Izquierda
SM-6	1+250	Derecha
SM-7	1+500	Izquierda
SM-8	1+750	Derecha
SM-9	2+000	Izquierda
SM-10	2+250	Derecha
SM-11	2+500	Izquierda
SM-12	2+750	Derecha
SM-13	3+000	Izquierda

Fuente: *Elaboración Propia*

Figura 13. Ubicación de los sondeos manuales realizados en el tramo empalme el papaturro – comarca Boaquito



Fuente: Google Earth

3.3.2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico realizado mediante el método mecánico de tamizado arroja los datos que se muestran en la Tabla 33 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis granulométrico por el método mecánico, en el cual se puede observar, el número del sondeo, la estación y la banda en la cual se realizó el sondeo, así como también el número de muestra correspondiente a cada sondeo. En la tabla también se observa el porcentaje que pasa cada malla. Ver Tabla 32.

Tabla 32. Abertura de tamices

Tamiz	Abertura (mm)
3"	76.2
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19.305
½"	12.7
3/8"	9.525
No 4	4.75
No 10	2
No 40	0.425
No 200	0.075

Fuente: *Mecánica de suelo y Cimentaciones, Crespo Villalaz 2004, pág. 49*

Se puede apreciar que en ciertos sondeos se llegó al manto rocoso, por lo cual se estimó conveniente el terminar el sondeo a la profundidad en la cual se encontró el mato rocoso.

Tabla 33. Resumen de ensayo granulométrico

Sondeo N°	Estación	Lado	Muestra N°	Profundidad (m)	Granulometría								
					1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
					38.1	25.4	19.1	12.7	9.5	4.75	2.00	0.43	0.075
SM-1	0+020	Izquierda	M-1	0 -0.41	100	92	85	75	70	60	49	34	23
			M-2	0.41 - 0.95	100	97	89	77	72	54	35	22	17
			M-3	0.95 - 1.50	92	90	76	64	59	46	33	21	15
SM-2	0+250	Derecha	M-1	0 - 0.31	91	79	69	55	47	31	17	9	7
			M-2	0.31 - 1.10	100	100	98	89	86	73	63	48	38
			M-3	1.10-1.50	100	100	100	99	99	99	95	90	85
SM-3	0+500	Izquierda	M-1	0 - 0.80	100	100	98	96	95	86	82	73	64
			M-2	0.80-1.50	100	98	94	88	80	60	50	39	33
SM-4	0+750	Derecha	M-1	0 -0.55	100	100	93	80	74	60	51	38	28
			M-2	0.55 - 1.20	100	91	88	82	78	71	60	50	36
			M-3	De 1.20 en adelante	Manto Rocoso								
SM-5	1+000	Izquierda	M-1	0 - 0.92	100	89	79	71	66	57	49	35	23
			M-2	De 0.92 en adelante	Manto Rocoso								
SM-6	1+250	Derecha	M-1	0 - 0.60	100	100	100	99	99	99	95	90	85
			M-2	0.60 - 1.05	100	97	97	94	89	77	67	44	25
			M-3	De 1.05 en adelante	Manto Rocoso								
SM-7	1+500	Izquierda	M-1	0 - 0.96	92	89	89	88	87	81	71	46	28
			M-2	0.96 - 1.50	100	100	96	89	84	71	58	43	32

Sondeo N°	Estación	Lado	Muestra N°	Profundidad (m)	Granulometría								
					1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
					38.1	25.4	19.1	12.7	9.5	4.75	2.00	0.43	0.075
SM-8	1+750	Derecha	M-1	0 - 0.75	100	91	84	66	58	42	34	26	19
			M-2	0.75-1.50	100	100	100	100	100	100	99	96	91
SM-9	2+000	Izquierda	M-1	0 - 0.90	100	85	70	55	47	33	25	18	14
			M-2	0.90 - 1.50	100	100	87	83	80	64	56	47	40
SM-10	2+250	Derecha	M-1	0 - 0.70	100	96	96	90	87	78	72	58	45
			M-2	0.70 - 1.50	100	100	100	100	99	95	90	77	63
SM-11	2+500	Izquierda	M-1	0 - 0.60	92	90	90	88	77	50	40	29	21
			M-2	0.60 - 1.15	100	91	91	80	77	69	61	42	26
			M-3	1.15 - 1.50	100	100	100	100	95	90	88	85	80
SM-12	2+750	Derecha	M-1	0- 0.95	100	100	100	99	93	90	87	85	81
			M-2	De 0.95 en adelante	Manto Rocoso								
SM-13	3+000	Izquierda	M-1	0- 1.05	100	100	95	90	83	74	70	66	62
			M-2	De 1.05 en adelante	Manto Rocoso								

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Clasificación de los suelos

A continuación, se muestra la clasificación de los suelos del tramo en estudio. Previo a mostrar la clasificación de los suelos es lícito recordar que para realizar dicha clasificación por el método AASHTO es necesario conocer los valores de los límites de Atterberg (límite líquido, Límite plástico) los cuales se abordan a detalle en las secciones 2.3.1.2., 2.3.1.3 y 2.3.1.4, así como también obtener el valor del índice de plasticidad para cada muestra de suelo, ya que dicho valor del índice de plasticidad es necesario para realizar una correcta clasificación de los suelos.

Otro valor necesario para realizar la clasificación de los suelos es el que se conoce como índice de grupo (IG), el cual se obtiene mediante la aplicación de las Ecuaciones 14 y 15, Pág. 27.

A modo de ejemplo se presenta el cálculo de índice de grupo para la muestra 1 del sondeo manual 1, así como también el cálculo del índice de grupo para la muestra 3 del sondeo manual 2

- IG SM-1, muestra 1

F_{200} : 23% LL:31 IP:11

$$IG = 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) = 0.01(23 - 15)(11 - 10) = 0.08$$

Al redondearlo al entero más cercano nos da que el IG=0

- IG SM-2, muestra 3

F_{200} : 85% LL:75 IP:47

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

$$IG = (85 - 35)[0.2 + 0.005(75 - 40)] + 0.01(85 - 15)(47 - 10)$$

$$IG = 44.65$$

Al redondearlo al entero más cercano nos da que el IG=45

La clasificación de suelo para el tramo en estudio, así como también los resultados obtenidos para los análisis de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se muestran a continuación en la Tabla 34.

Tabla 34. Límites de consistencia y clasificación de los suelos

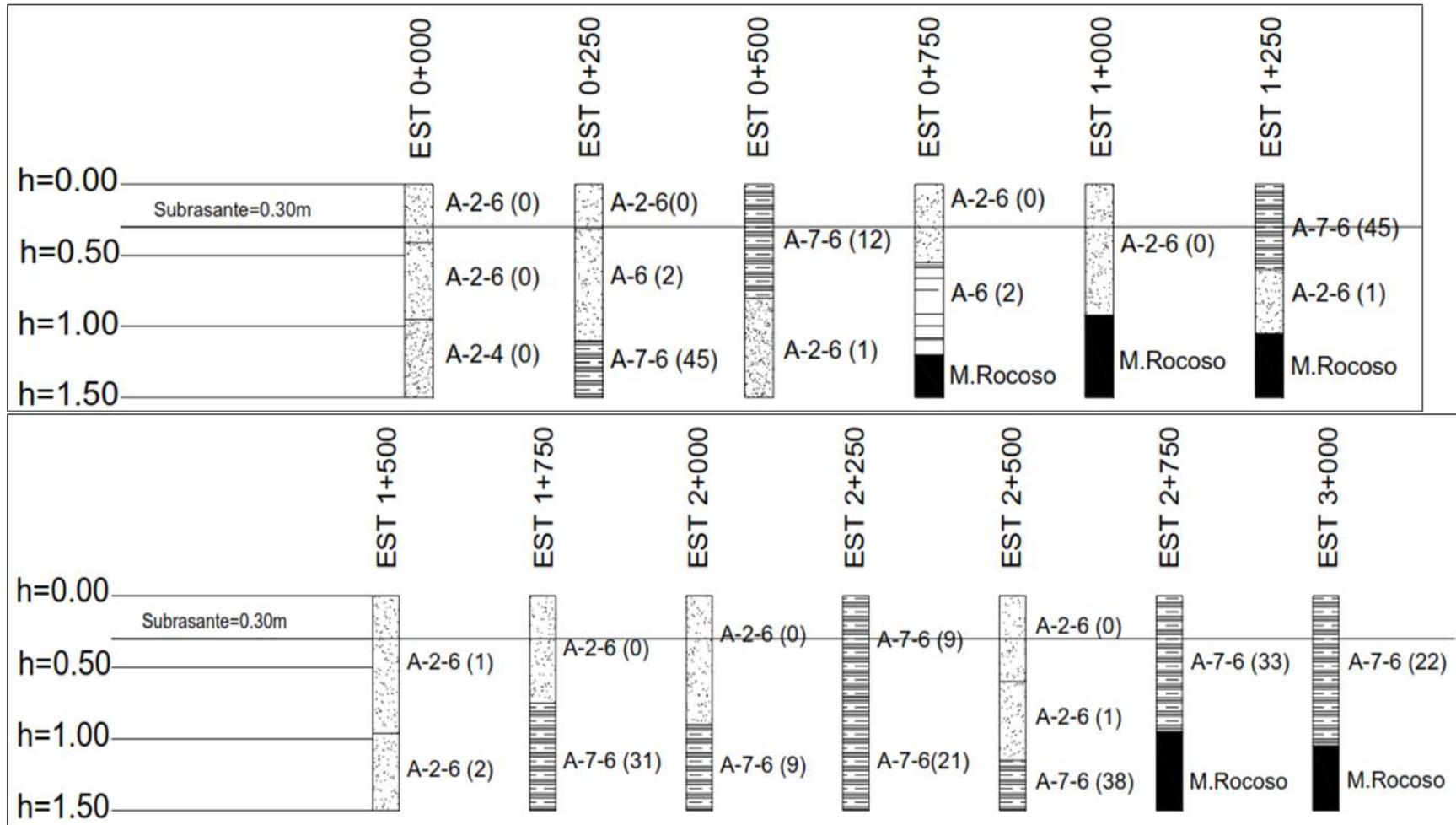
Sondeo N°	Estación	Lado	Muestra N°	Profundidad (m)	Límites de Atterberg			IG	Clasificación AASHTO
					LL	LP	IP		
					%	%	%		
SM-1	0+020	Izquierda	M-1	0 -0.41	31	20	11	0	A-2-6(0)
			M-2	0.41 - 0.95	40	20	20	0	A-2-6(0)
			M-3	0.95 - 1.50	26	20	6	0	A-2-4(0)
SM-2	0+250	Derecha	M-1	0 - 0.31	38	19	19	0	A-2-6(0)
			M-2	0.31 - 1.10	34	18	16	2	A-6(2)
			M-3	1.10-1.50	75	28	47	45	A-7-6(45)
SM-3	0+500	Izquierda	M-1	0 - 0.80	48	27	21	12	A-7-6(12)
			M-2	0.80-1.50	40	25	15	1	A-2-6(1)
SM-4	0+750	Derecha	M-1	0 -0.55	30	19	11	0	A-2-6(0)
			M-2	0.55 - 1.20	35	15	20	2	A-6(2)
			M-3	De 1.20 en adelante	Manto rocoso				
SM-5	1+000	Izquierda	M-1	0 - 0.92	33	21	12	0	A-2-6(0)
			M-2	De 0.92 en adelante	Manto rocoso				
SM-6	1+250	Derecha	M-1	0 - 0.60	75	28	47	45	A-7-6(45)
			M-2	0.60 - 1.05	32	15	17	1	A-2-6(1)
			M-3	De 1.05 en adelante	Manto rocoso				
SM-7	1+500	Izquierda	M-1	0 - 0.96	40	26	14	1	A-2-6(1)
			M-2	0.96 - 1.50	35	14	21	2	A-2-6(2)

Sondeo N°	Estación	Lado	Muestra N°	Profundidad (m)	Límites de Atterberg			IG	Clasificación AASHTO
					LL	LP	IP		
					%	%	%		
SM-8	1+750	Derecha	M-1	0 - 0.75	33	18	15	0	A-2-6(0)
			M-2	0.75-1.50	58	28	30	31	A-7-6(31)
SM-9	2+000	Izquierda	M-1	0 - 0.90	39	23	16	0	A-2-6(0)
			M-2	0.90 - 1.50	65	25	40	9	A-7-6(9)
SM-10	2+250	Derecha	M-1	0 - 0.70	54	22	32	9	A-7-6(9)
			M-2	0.70 - 1.50	57	19	38	21	A-7-6(21)
SM-11	2+500	Izquierda	M-1	0 - 0.60	30	18	12	0	A-2-6(0)
			M-2	0.60 - 1.15	32	15	17	1	A-2-6(1)
			M-3	1.15 - 1.50	72	28	44	38	A-7-6(38)
SM-12	2+750	Derecha	M-1	0- 0.95	62	23	39	33	A-7-6(33)
			M-2	De 0.95 en adelante	Manto rocoso				
SM-13	3+000	Izquierda	M-1	0- 1.05	60	21	39	22	A-7-6(22)
			M-2	De 1.05 en adelante	Manto rocoso				

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra la columna estratigráfica del tramo en estudio, así como la respectiva clasificación de cada tipo de suelo encontrado.

Figura 14. Columna estratigráfica del tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito



Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. CBR de diseño

3.3.4.1. Determinación del nivel de subrasante

El nivel de subrasante se definió a los 30 cm, (Ver Figura. 14), tomando como referencia lo establecido en la norma NIC – 2019, TOMO II, pág. 830 en el artículo 1003.22.2, la cual muestra que el mínimo necesario es de 25 cm y que se este nivel se encontraron suelos de tipo A-7-6, los cuales están clasificados como suelos malos para subrasante, también se encontraron suelos del tipo A-2-6 ya que se consideran suelos de excelentes a buenos para ser utilizados en la subrasante. Además, en la sección 205.3.5 (Norma NIC 2019, Tomo I, 2019, pág. 103), se plantea que cuando se han realizado cortes de 30 cm, los suelos deben poseer un CBR mayor o igual al 8% y para el caso en estudio, los valores de CBR del tramo cumplen en su mayoría.

3.3.4.2. Ensaye Proctor

Para el presente estudio se realizó el ensaye del Proctor modificado para el suelo cuya clasificación es A-2-6, en cambio para el suelo A-7-6 se determinó por el método Proctor estándar. Se realizaron 4 determinaciones con diferentes grados de humedad y posteriormente se determinó la humedad óptima del suelo, así como también la densidad seca máxima de cada uno, en el cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 35, a continuación.

Tabla 35. Resultados del ensayo Proctor

Tipo de suelo	Humedad Óptima (%)	Densidad máxima (Kg)
A-2-6	8.4	1,915
A-7-6	29	1,390

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. Determinación de CBR de diseño del tramo en estudio

A través de los sondeos manuales se encontraron 2 tipos al nivel de la subrasante, los cuales corresponden a suelos A-2-6 y A-2-7. Según lo establecido AASHTO

estos tipos de suelos son considerados en la escala de clasificación de regular a malos. (Ver Anexos, Tabla 74, Pág. XXVIII).

El valor de CBR de la subrasante es un parámetro importante, ya que a partir de este se determinan otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento, los cuales veremos en la respectiva sección de diseño de la estructura de pavimento.

Para la realización del ensaye CBR, se ejecutaron 3 pruebas para cada uno de los tipos de suelo con grado de compactación de 90, 95 y 100%, utilizando los datos obtenidos en la Tabla 36. Se saturó el suelo por un tiempo de 4 días (96 horas), posteriormente se colocó en la máquina de carga y de penetración, con el objetivo de evaluar la calidad relativa del suelo para la subrasante y base del pavimento.

Los valores de CBR, al 95% de compactación, reflejan los siguientes resultados, en el caso del suelo A-2-6(0), el CBR es de 24%, A-2-6 (1), el CBR es de 22%, en cambio con el suelo A-7-6 el CBR es de 1.38%.

Crespo villaz, en su libro de Mecánica de suelos y cimentaciones (2004) Clasifica los valores de CBR de la siguiente forma:

Tabla 36. Clasificación del CBR

CBR	Clasificación
0 - 5	Subrasante mala
5 - 10	Subrasante regular
10 - 20	subrasante Buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 -50	Subbase buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Fuente: Mecánica de Suelo y Cimentaciones, Crespo Villalaz 2004, pág. 113

Teniendo en cuenta lo que se muestra en la Tabla 36 se puede decir que el CBR de la subrasante del tramo en estudio es de regular a muy buena.

Para la determinación del valor de resistencia de diseño, el criterio más se ha propagado es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor mediante lo estipulado en la Tabla 37.

Tabla 37. Valores de diseño de subrasante por nivel de tránsito

Nivel de Tránsito	Valor percentil para el diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60
Entre 10000 y 1000000 ESAL	75
> de 1000000 ESAL	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1), 991

Para el tramo en estudio en particular el valor para el ESAL de diseño es de 443,575.327 Psi, por lo tanto, el valor percentil a utilizar es de 75%

Para encontrar el valor del CBR de diseño de los diferentes tipos de suelos encontrados en la línea que servirá como subrasante se realizó el siguiente procedimiento:

Tabla 38. CBR Subrasante

Sondeo	Profundidad (m)	Clasificación AASHTO	CBR
1	0 - 0.41	A-2-6 (0)	24
2	0 - 0.31	A-2-6 (0)	24
3	0 - 0.80	A-7-6 (12)	1.38
4	0 - 0.55	A-2-6 (0)	24
5	0 - 0.92	A-2-6 (0)	24
6	0 - 0.60	A-7-6 (45)	1.38
7	0 - 0.96	A-2-6 (1)	22
8	0 - 0.75	A-2-6 (0)	24
9	0 - 0.90	A-2-6 (0)	24
10	0 - 0.70	A-7-6 (9)	1
11	0 - 0.60	A-2-6 (0)	24
12	0 - 0.95	A-7-6 (33)	1.38
13	0 - 1.05	A-7-6 (22)	1.38

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de CBR de la Tabla 39 se ordenan de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores a cada uno.

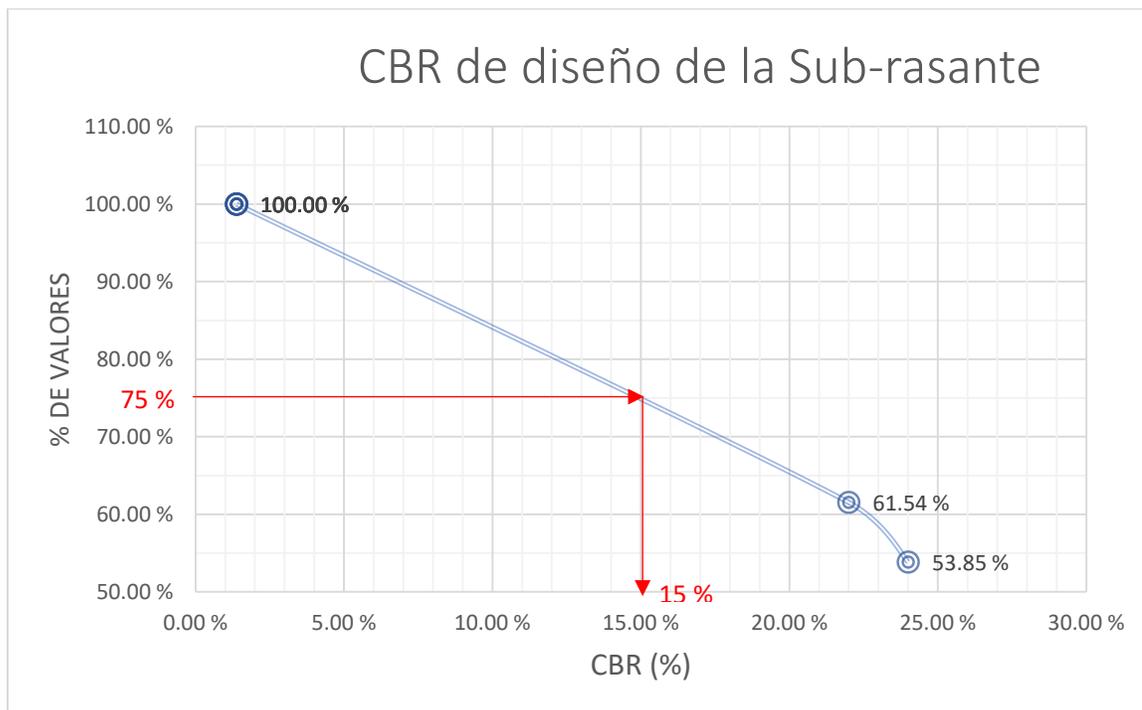
Tabla 39. Determinación del CBR de diseño para la subrasante

Clasificación AASHTO	CBR %	Frecuencia	Cantidades mayores o iguales	%
A-7-6 (45)	1.38 %	1	13	100.00 %
A-7-6 (33)	1.38 %	1	13	100.00 %
A-7-6(22)	1.38 %	1	13	100.00 %
A-7-6(12)	1.38 %	1	13	100.00 %
A-7-6(9)	1.38 %	1	13	100.00 %
A-2-6 (1)	22.00 %	1	8	61.54 %
A-2-6 (0)	24.00 %	7	7	53.85 %
SUMATORIA		13		

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores de CBR y porcentajes de valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño para subrasante. Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la subrasante igual a 15 %, se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en la línea. Ver Figura 15.

Figura 15. CBR de diseño de la Subrasante al 75 %



Fuente: Elaboración Propia

3.3.6. Banco de material

3.3.6.1. Detalles del banco de material

EL banco de material seleccionado para el tramo en estudio es el banco de Material conocido como El Ventarrón, cuyo propietario es el Sr. Neftalí Rocha. El banco de material se encuentra aproximadamente a 1 km de Santa Lucia sobre el camino que va hacia el Empalme el Papaturre.

EL banco de material se encuentra en las coordenadas 12°31'16.88"N, 85°43'6.42"O (N 1384543, E 0639245), a una distancia aproximada de 10.5 km del final del tramo en estudio. (Ver Anexos, Figura 43, Pág. XXX)

El banco de material en cuestión ha sido usado por la alcaldía municipal de Santa Lucia en otros proyectos viales, debido a esto se solicitó la información del banco de material a dicha alcaldía municipal.

3.3.6.2. Resultados obtenidos para el banco de material

El Ministerio de Transporte e Infraestructura en su manual para la revisión de estudios geotécnicos (2008), recomienda la realización de los siguientes ensayos de laboratorio, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 40.

Tabla 40. Ensayos de laboratorio para muestras provenientes del banco de material

Tipo de Ensaye	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88	D-422
Límite líquido de los Suelos	T-89	D-423
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos	T-90	D-424
Clasificación Highway Research Board, o clasificación AASHTO	M-145	D-3282
Humedad Natural		D-2216
CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos, MTI 2008, pág. 8

Para el tramo en estudio los sustentantes no realizaron los análisis de laboratorio para la obtención de los datos del suelo del banco de materia, en su lugar, estos datos fueron proporcionados por la alcaldía municipal de Santa Lucia, departamento de Boaco.

Analizando los datos proporcionados sobre el banco de material, tenemos que, según su análisis granulométrico y las pruebas de los límites de Atterberg, y de acuerdo al sistema de clasificación de suelos AASHTO, el banco de material corresponde a un suelo (A-2-4), con un índice de grupo igual a 0.

Según los datos proporcionados se sabe que para el banco de préstamo se realizó el ensaye Proctor modificado, obtenido un valor de humedad optima equivalente al 8.33%, así como también un valor densidad máxima igual a 2,076 kg/m³.

El ensayo de CBR para el banco de material con suelo A-2-4 al 95% es de 81.30%. (Ver Anexos, Tabla 75, Pág. XXXI), en esta sección de los anexos se muestra un resumen de los datos obtenidos sobre el banco de material.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), nos especifica en la norma NIC-2019 a manera de criterios a cumplir, para el material de préstamo para base y sub-base lo siguiente:

Tabla 41. Especificaciones de los materiales para base y sub-base granular

Límite Líquido	AASHTO T 89	25 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	
	Subbase	6 máx.
	Base	0 máx.
CBR	AASHTO T 190	
95% Proctor Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	Subbase	30% mín.
	Base	80 % mín.

Fuente: NIC-2019, Tomo II, pág. 809

Con los resultados obtenidos de los ensayos para material del banco de préstamo, se procede a hacer la evaluación del banco de material apoyándose de la Tabla 42.

Tabla 42. Evaluación del banco de material

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	23%	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	6%	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	81.30%	Cumple
	Subbase		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración Propia

En base a las propiedades del material de suelo encontrado en el banco de material a usar en el tramo en estudio se puede observar que dicho banco de

material el Ventarrón, cumple con los requisitos establecidos de CBR al 95% Proctor modificado que están por encima de lo permitido tanto en la base como en la subbase, de acuerdo a la norma NIC 2019.

Habiendo dicho lo anterior se puede afirmar que este banco de materiales puede ser utilizado tanto en la base como en la subbase de la estructura de pavimento.

3.4. Diseño de estructura de pavimento

3.4.1. Metodología

El cálculo de la estructura de pavimento articulado (adoquinado) para el tramo en estudio, se realizó usando la metodología que se especifica en el manual para el diseño de pavimentos AASHTO-93, para implementar correctamente dicha metodología también se ha tomado en cuenta las consideraciones para el diseño estipuladas en el manual centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA 2002,

La metodología AASHTO establece que de acuerdo al periodo de diseño y el ESAL calculado en el estudio de tránsito, se deben seleccionar los parámetros de diseño establecidos en el método antes mencionado: confiabilidad, desviación estándar, serviciabilidad y módulos de resiliencia.

Una vez obtenidas los valores para las variables de diseño se procede a encontrar el valor de los coeficientes estructurales de capas usando la AASHTO 93.

Posterior a ello se procede a calcular los números estructurales, SN, tomando como referencia los nomogramas de la AASHTO – 93 y luego, aplicar las fórmulas correspondientes para el cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

3.4.2. Variables de diseño

3.4.2.1. Periodo de diseño

En la sección 3.2.6.1 se abarca todo lo correspondiente al periodo de diseño seleccionado para el tramo en estudio, esto en base a lo que se muestra en la Tabla 21, Pág. 78. En esta sección pueden observar los periodos de diseño recomendados dependiendo del tipo de carretera. Para el tramo en estudio, en dicha sección se ha seleccionado un periodo de diseño para el tramo en estudio igual a 20 años.

3.4.2.2. ESAL

En la sección 3.2.8, la cual está destinada al cálculo del ESAL de diseño para el tramo en estudio, se ha estimado un valor del ESAL de diseño de 443,575.327 Psi.

3.4.2.3. Confiabilidad (R)

En Tabla 43 se muestran los diferentes valores de confiabilidad establecidos en la AASHTO 93.

Debido a que el tramo en estudio se encuentra se encuentra en una zona rural se usaran los valores de la segunda columna y que la según su clasificación es una colectora, tenemos que el valor de R se encuentra y se tomara el promedio de los dos valores que aparecen en la Tabla 43, el cual nos resulta en un 85%.

Tabla 43. Niveles de confiabilidad

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
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: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-9

Habiendo seleccionado un valor de $R=85\%$ podemos obtener el valor correspondiente a la desviación normal estándar (Z_r), la cual depende del valor seleccionado para la confiabilidad (R). Usando la Tabla 44 que se muestra a continuación se obtiene un valor de $Z_r=-1.037$.

Tabla 44. Desviación normal estándar Zr

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
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	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2002). Capítulo 7. Pág. 55

3.4.2.4. Desviación estándar So

En el manual centroamericano para diseño de pavimentos SIECA 2002 se presentan los valores recomendados que puede tomar So para pavimentos flexibles, como se puede observar en la Tabla 45 a continuación.

Tabla 45. Desviación estándar So

Condición	So
Pavimentos flexibles	0.4 – 0.5
Construcción nueva	0.35 – 0.4
Sobre – capas	0.5

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 5

El tramo en estudio es una construcción nueva por lo tanto se precisa seleccionar el valor de S_o de la segunda fila de la Tabla 46, la cual es referida para construcciones nuevas dando como resultado un $S_o=0.35$.

3.4.2.5. Pérdida de servicialidad

Para calcular la pérdida por servicialidad se hará uso de la Ecuación 17, Pág. 33, usando los valores que se muestran en la Tabla 46, a continuación:

Tabla 46. Índices de servicialidad

Índices de Servicialidad		
Servicialidad Inicial (P_o)	Pavimentos Rígidos	Pavimentos Flexibles
		4.5
Servicialidad Final (P_t)	Caminos Principales	Caminos de tránsito menor
	2.5	2.0

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 4

Habiendo seleccionado los valores para P_o y P_t se procede a realizar el cálculo de la pérdida de servicialidad donde se tiene que:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

3.4.2.6. Módulo de resiliencia

El CBR de diseño para la sub-rasante que se obtuvo mediante el estudio de suelos en el capítulo IV nos da como resultado un $CBR=15\%$, por lo cual para el cálculo de M_R del tramo en estudio se usara la Ec. 19, Pág. 33 dando como resultado lo siguiente:

$$M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241 = 4326 * \ln(15) + 241$$

$$M_R = 11,956.025 \text{ Psi}$$

3.4.2.7. Coeficiente de drenaje

Para el cálculo de las estimaciones de los espesores de diseño, el manual para diseño de pavimentos AASHTO 93, recomienda el uso de los coeficientes de drenaje que se muestran en la Tabla 47, a continuación.

Tabla 47. Coeficientes de drenajes de capas

Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-22

Dicha recomendación se basa en el tiempo que es necesario para que una capa de base elimine la humedad cuando esta tiene un grado de saturación del 50%; pero es de hacer notar que un grado de saturación del 85% reduce en buena medida el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un buen drenaje.

Se asumirá que el tramo en estudio presenta un drenaje excelente, esto debido a que para el tramo de estudio no se cuenta con un estudio de permeabilidad que permita conocer la permeabilidad del terreno ya dado que tampoco es posible determinar este parámetro a partir de la curva granulométrica ya que este método solo aplica para suelos identificados como gravas y arenas limpias y sin cohesión, esto según lo que se muestra en (Anexos, Tabla 76, Pág. XXXII).

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural por medio del coeficiente de drenaje " m_i ", que toma en cuenta las capas no ligadas. Dado que la capacidad de drenaje se asume a criterio del diseñador se establece que para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar en este diseño es se asume en $m_i=1.2$, esto mediante el uso de la Tabla 48.

Tabla 48. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-25

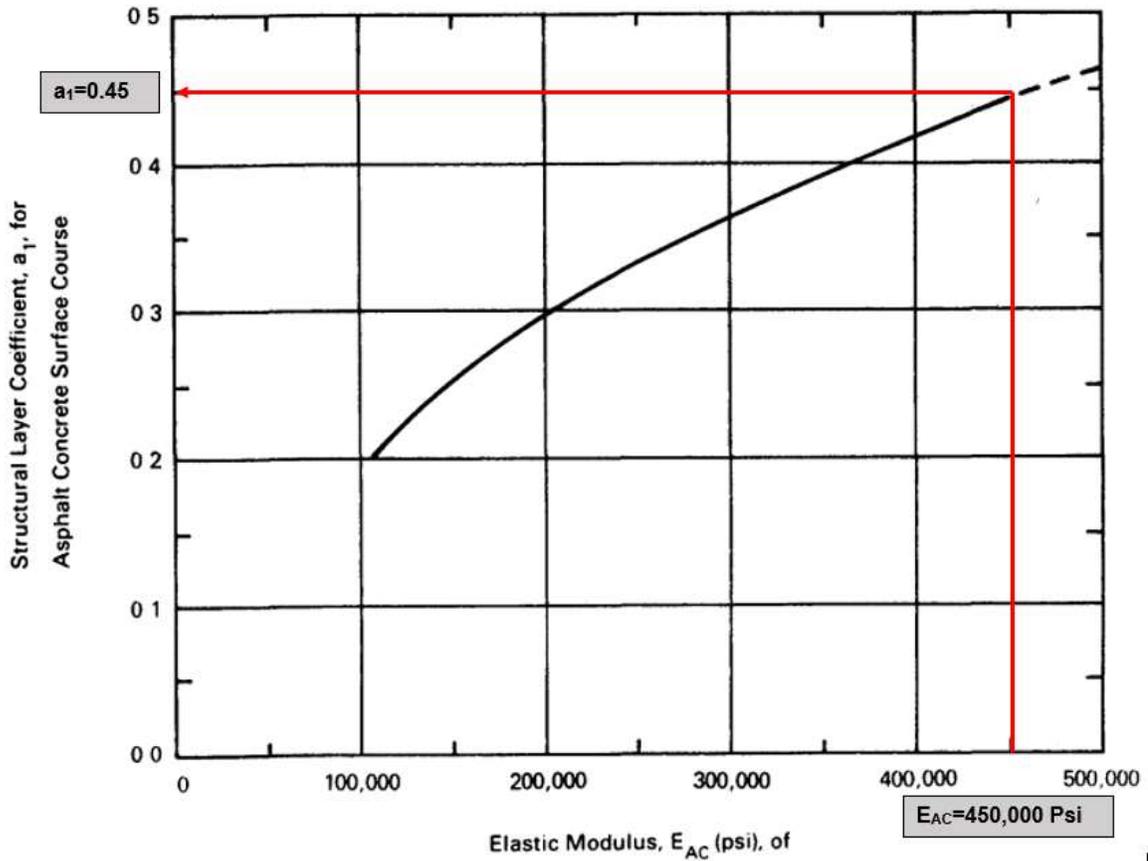
3.4.3. Determinación de los coeficientes estructurales de capas

El valor para el coeficiente a_1 se considera toma como $a_1 = 0.45$ cuando se utiliza adoquín como carpeta de rodamiento, esto según lo especificado en el Manual para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Pág. 107, el cual nos explica sobre lo de espesores de estructura de pavimento Mediante el método AASHTO, cuando se usa adoquín con un espesor de 10cm.

Para realizar la comprobación de del valor de a_1 la AASHTO 93 nos brinda la Figura 16, el cual permite calcular el valor de a_1 para la carpeta de rodamiento asfáltica. Para esto se asume que el adoquín posee un módulo de elasticidad de 450,000 Psi, esto se hace bajo la suposición de que el adoquín se fabricó bajo usando los materiales correctos y bajo condiciones óptimas.

El nomograma para encontrar en coeficiente estructural a_1 se muestra a continuación.

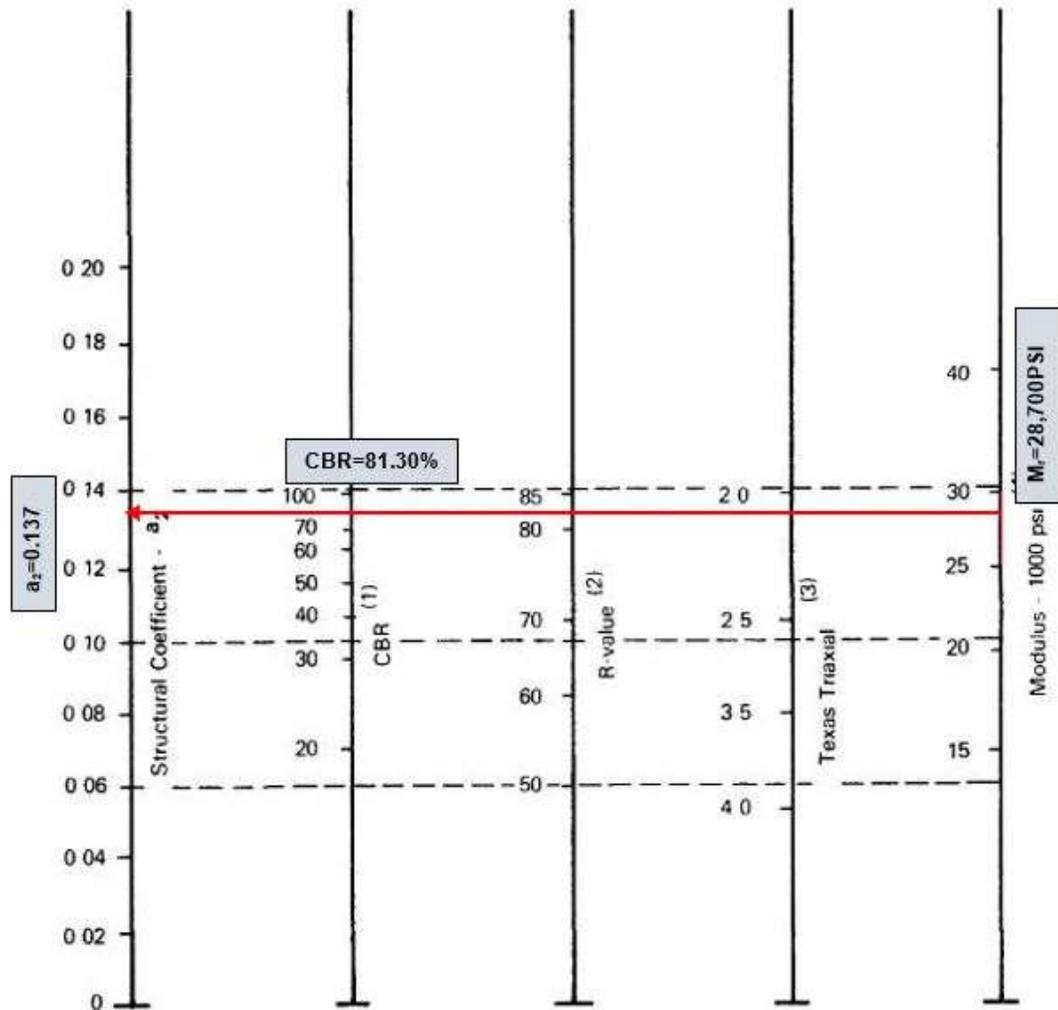
Figura 16. Coeficiente estructural a_1



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. 11-18

El valor del coeficiente estructural de capa de base granular a_2 se determina usando el nomograma se determina con el uso del nomograma proporcionado por la guía AASHTO 93, el valor de CBR usado para el cálculo de la base es de 81.30% perteneciente al banco de material. De acuerdo a la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural $a_2 = 0.137$ y en la escala derecha un módulo de resiliencia para la base granular de $M_r = 28,700$ PSI. El nomograma para encontrar el coeficiente estructural a_2 se muestra a continuación en la Figura 17.

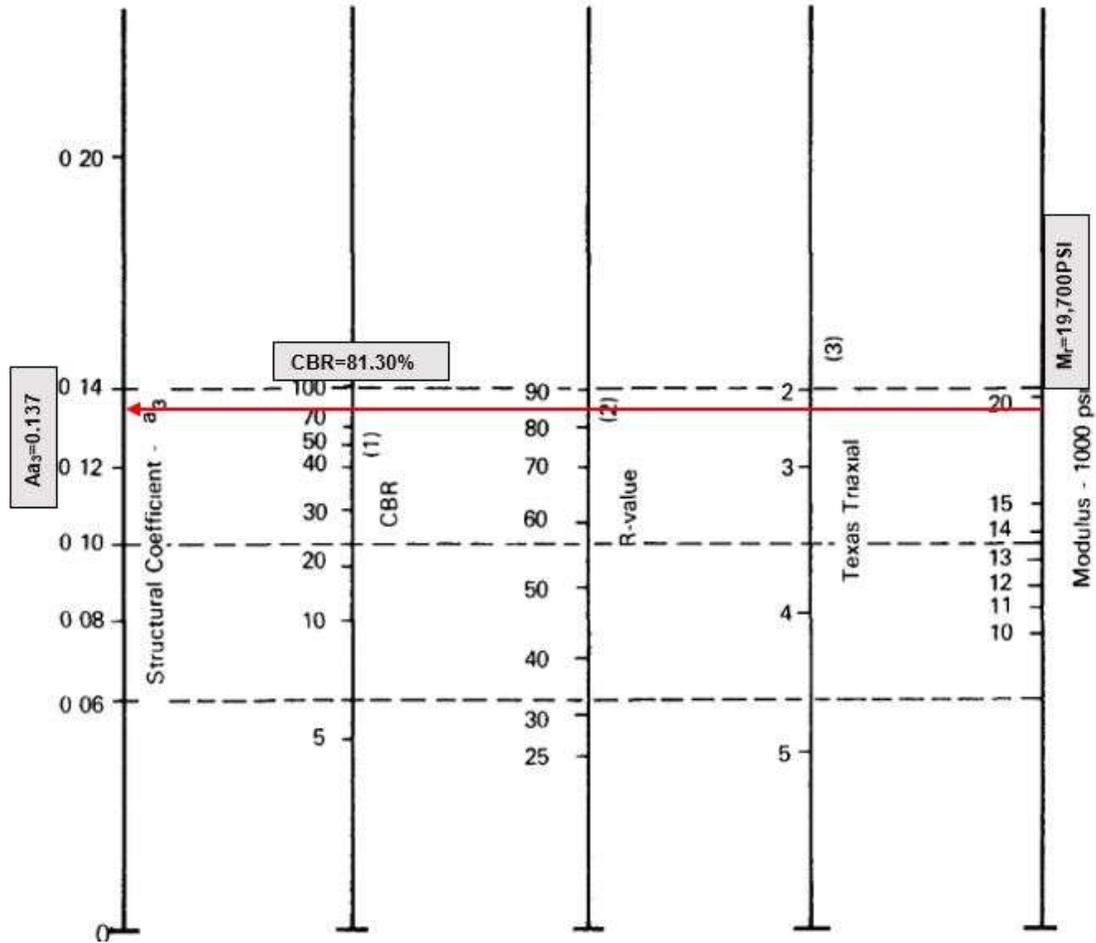
Figura 17. Coeficiente estructural a_2 y módulo de resiliencia para base granular



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-19

Para determinar el valor de a_3 se hace uso del nomograma para la capa de sub-base dado por la guía AASHTO 93; el valor de CBR a usar es 81.30% ya que se usará el mismo banco de préstamo para obtener material para base y sub-base, por lo tanto, al trazar la línea sobre el valor de CBR de 81.30% da como resultado un valor para $a_3=0.137$ y un módulo de resiliencia para la sub-base de $M_r=19,700$ psi. El nomograma para encontrar el coeficiente estructural a_2 se muestra a continuación en la Figura 18.

Figura 18. Coeficiente estructural a_3 y módulo de resiliencia para sub-base granular

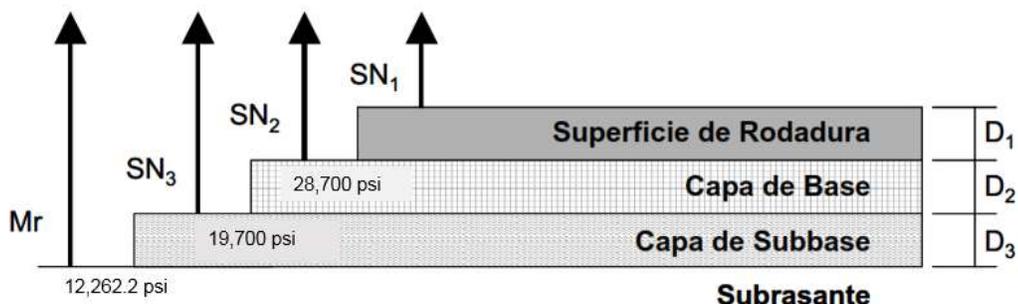


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-21

3.4.4. Número estructural SN

A continuación, se procede a calcular el número estructural correspondiente a la carpeta de rodamiento, base y sub-base. Para una fácil comprensión de esto la SIECA en su manual para diseño de pavimentos, 2002 recomienda hacer uso de la Figura 19 que se muestra a continuación.

Figura 19. Espesores mínimos n función del número estructural



Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 8

Teniendo en cuenta la Figura 19 se procederá a calcular los números estructurales para cada una de las capas que componen de la estructura de pavimento, esto usando el nomograma proporcionado por la AASHTO 93 para la estimación de SN y apoyándose en la Tabla 49 la cual nos proporciona los dato para el cálculo del valor de SN_3 , el cual nos da un valor de $SN_3=2.30$.

Tabla 49. Datos para la determinación del SN_3

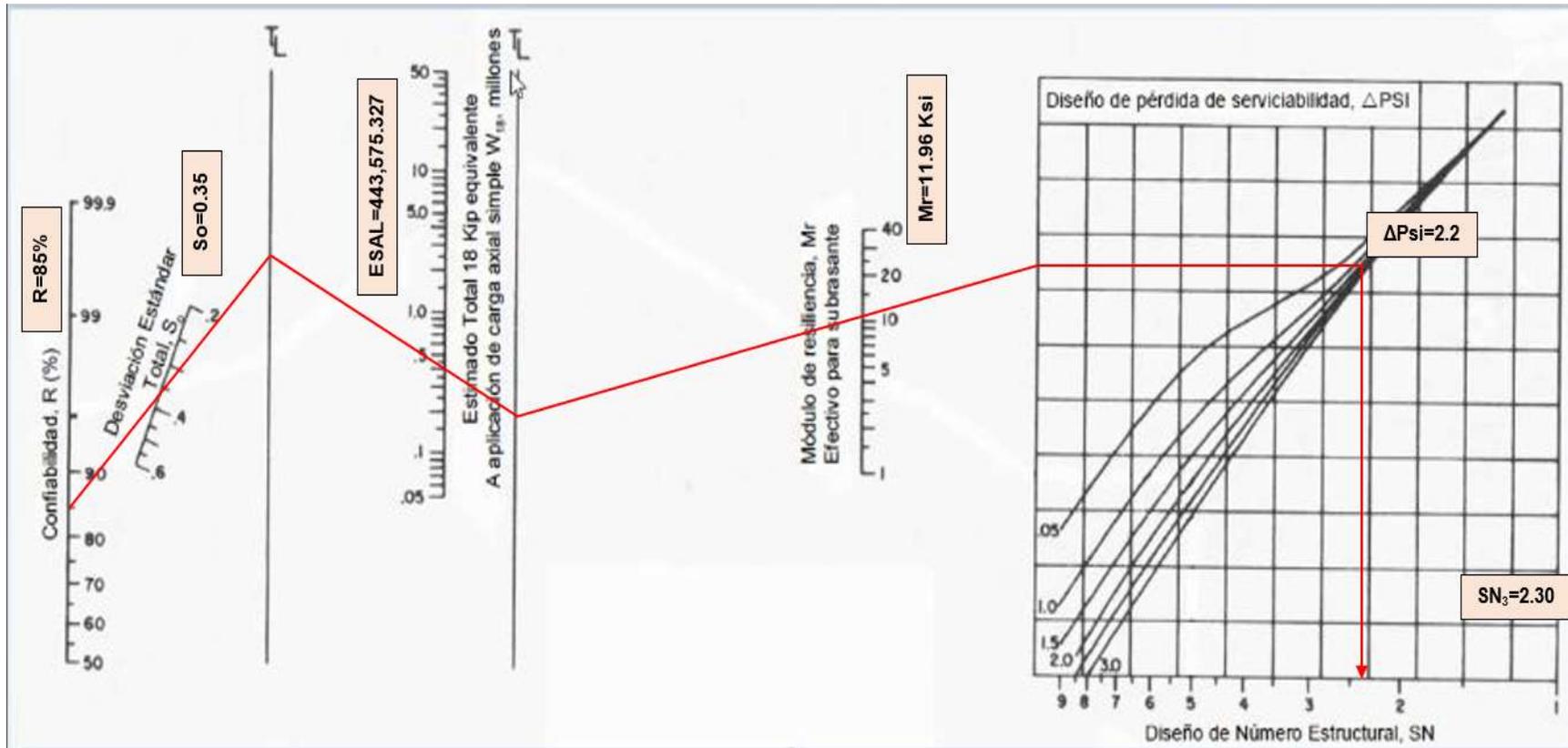
Periodo de Diseño	20 años
ESAL (W18)	443,575.327 Psi
Confiabilidad (R)	85%
Serviciabilidad	
Servicialidad Inicial (Po)	4.2
Servicialidad Final (Pt)	2.0
ΔPSI	2.2
Desviaciones Estándar (So)	0.35
CBR Promedio	15%
Módulo de Resiliencia (Mr)	11,956.025

Fuente: Elaboración Propia

El valor de SN_3 es igual al valor del SN_{req} (número estructural requerido), por lo tanto, a la hora de realizar la comprobación final se usará $SN_{req}=2.30$.

La Figura 20 que se muestra a continuación presenta el nomograma usado para el cálculo del valor de SN_3 .

Figura 20. Determinación de SN3 (Sub-base)



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-32

Para el cálculo del valor de SN_2 , se realiza el mismo procedimiento, esta vez apoyándose en la Tabla 50 para visualizar los datos necesarios para el cálculo de SN_2 . Resultando un valor para $SN_2=1.90$.

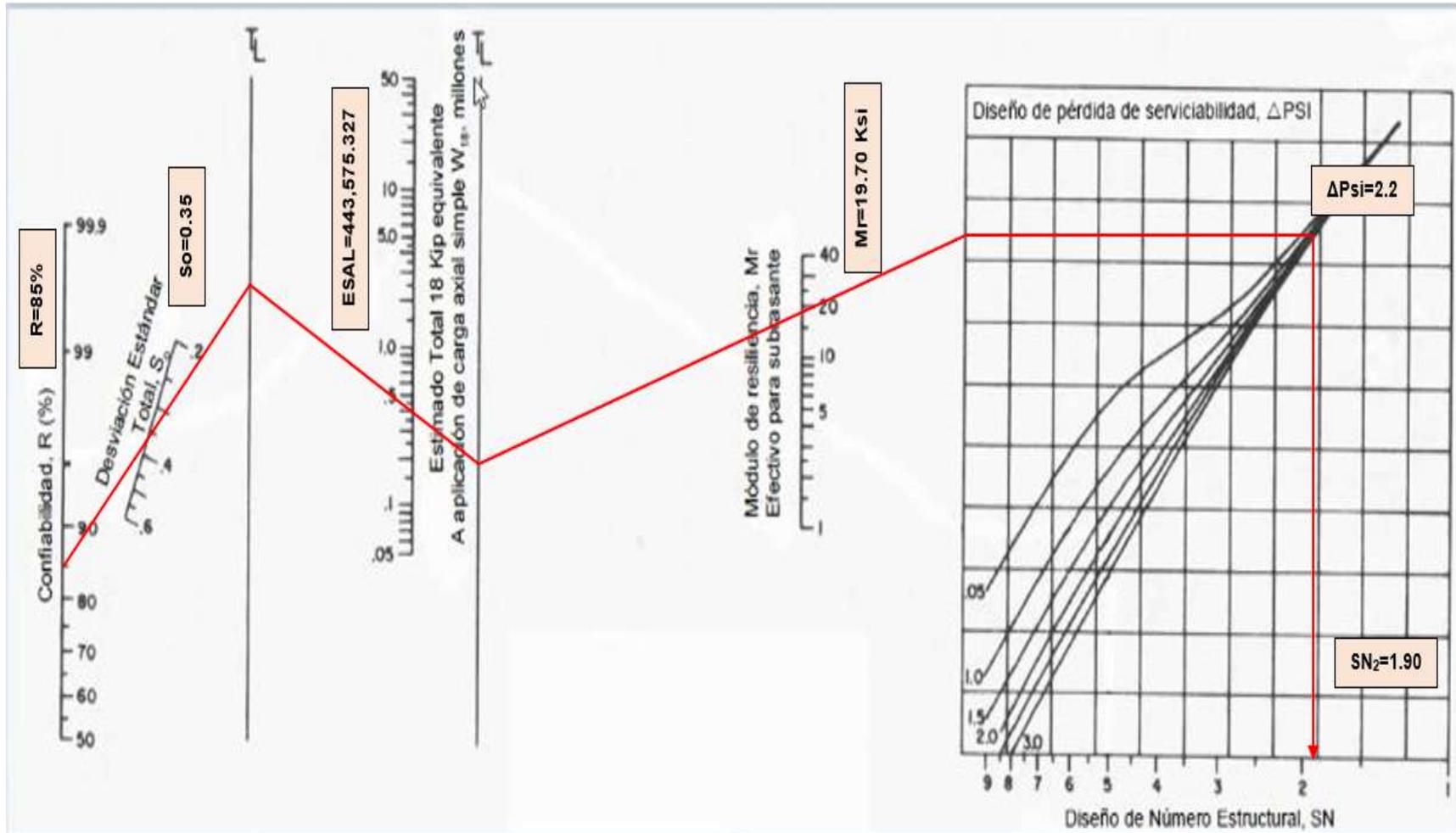
Tabla 50. Datos para la determinación de SN_2

Periodo de Diseño	20 años
ESAL (W18)	443,575.327 Psi
Confiabilidad (R)	85%
Serviciabilidad	
Servicialidad Inicial (Po)	4.2
Servicialidad Final (Pt)	2.0
ΔPSI	2.2
Desviaciones Estándar (So)	0.35
CBR Promedio	81.30%
Módulo de Resiliencia (Mr)	19,700

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 21 que se muestra a continuación presenta el nomograma usado para el cálculo del valor de SN_2 .

Figura 21. Determinación de SN₂ (Base)



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, pág. II-32

El valor de SN_1 se calculará posteriormente en la sección de diseño de espesores. Todos los valores encontrados son necesarios para el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento

3.4.5. Cálculo de espesores

3.4.5.1. Espesor de la carpeta de rodamiento

EL manual para diseño de pavimentos, SIECA 2002, en su Cap. 7, Pág. 107, establece que para una carpeta de rodamiento compuesta de adoquines el valor de $a_1=0.45$, esto para un adoquín de 10 cm de espesor o también 4 pulg, el cual es el adoquín comúnmente usado en proyectos viales en Nicaragua; por lo tanto, tenemos que $D_1=4$ pulg.

Utilizando la Ecuación 21, Pág. 35, se procede a calcular el valor de SN_1

$$SN_1^* = a_1 * D_1 = 0.45 * 4''$$

$$SN_1^* = 1.80$$

3.4.5.2. Espesor de la base

Teniendo los valores del número estructural $SN_2=1.90$, calculado mediante el uso del nomograma proporcionado por la AASHTO 93, el valor de $a_2=0.137$ y el valor del coeficiente de drenaje $m_2=1.2$, se procede a calcular el valor de D_2 , y posteriormente recalculamos el valor de SN_2 usando la Ecuación 22, Pág. 35.

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} = \frac{1.90 - 1.80}{0.137 * 1.20}$$

$$D_2 = 0.61 \text{ pulg}$$

El manual para diseño de pavimento, SIECA 2002 establece valores mínimos para la capa de base granular en pavimentos flexibles, en dependencia del ESAL de diseño del tramo en estudio. Debido a que el ESAL de diseño del tramo en estudio es de 443,575.327 Psi. A continuación, se muestran los valores mínimos para el espesor de base granular.

Tabla 51. Espesores mínimos sugeridos

Numero de ESAL's	Espesor mínimo	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 cm	10 cm
50,000 - 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 - 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 - 7,000,000	9 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10 cm	15 cm

Fuente: Manual para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Cap. 7, pág. 8

En base a la Tabla 51, se determinó que el valor mínimo para la base granular es de 10 cm (4 pulgadas), ya que el ESAL de diseño se encuentra entre el rango de 150,000-500,000. Debido a que el valor calculado para D_2 no cumple con el espesor mínimo de base, se usara el valor mínimo.

Habiendo definido que $D_2=4$ pulg, se procede a recalcular el valor de SN_2 de la siguiente forma:

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \quad Ec. 29$$

$$SN_2^* = 0.137 * 4" * 1.20 = 0.66$$

$$SN_2^* = 0.66$$

3.4.5.3. Espesor de la Sub-base

El valor de D_3 se determina mediante la aplicación de la Ecuación 23, Pág. 35:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} = \frac{2.25 - (0.66 + 1.80)}{0.137 * 1.20}$$

$$D_3 = -1.28 \text{ pulg}$$

Debido a que $D_3=-1.28$ pulg e determina que no se necesita sub-base, esto debido a que la AASHTO 93 establece que si al realizar el calcula para el espesor de una capa cualquiera dicho valor nos da cero o negativo entonces dicha capa no es necesaria.

Para verificar que el proceso se haya realizado correctamente, se tiene que sumar los SN corregidos y compararlos con el SN_{req} de la siguiente manera:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_{req} \quad Ec. 30$$

$$1.80 + 0.66 \geq 2.30$$

$$2.46 \geq 2.30 \text{ cumple}$$

3.4.6. Estructura de pavimento final

Posterior a la realización de los cálculos que corresponden al diseño de la estructura de pavimento del tramo empalme el papaturro- comarca Boaquito se procede a definir la estructura final de pavimento.

Teniendo en cuenta lo que establece la Norma NIC-2019 Tomo I, en la sección 504, la cual trata acerca de los Pavimentos de adoquín de concreto, en el apartado 504.2.3 especifica que para una carpeta de rodamiento de adoquines se debe considerar una cama de arena fina lavada sobre la se realizara el asentamiento de los adoquines, no debe tener un espesor menor a 3 cm ni mayor de 4 cm.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado se establece que la superficie de rodamiento de adoquines para el tramo en estudio se asentara sobre una cama de arena con un espesor de 3 cm, esto teniendo en cuenta que el Valor de ESAL proyectado no alcanza a superar los 500,000 Psi.

Una vez establecido el espesor de la cama de arena se procede a mostrar los resultados obtenidos acerca de la estructura de pavimento en la Tabla 52.

Tabla 52. Espesores de la estructura de pavimento

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Carpeta de Rodamiento	4	10.16
Cama de Arena	1.18	3.00
Base Granular	4	10.16
Espesor Total	9.18	23.32

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Verificación de resultados con el software WinPAS 12

En la sección 2.4.4 se abordó a detalle las variables necesarias para realizar la comprobación de los resultados obtenidos en el software WinPas 12. Para una mayor organización de los datos requeridos por el software se presenta un resumen de estos en la Tabla 53.

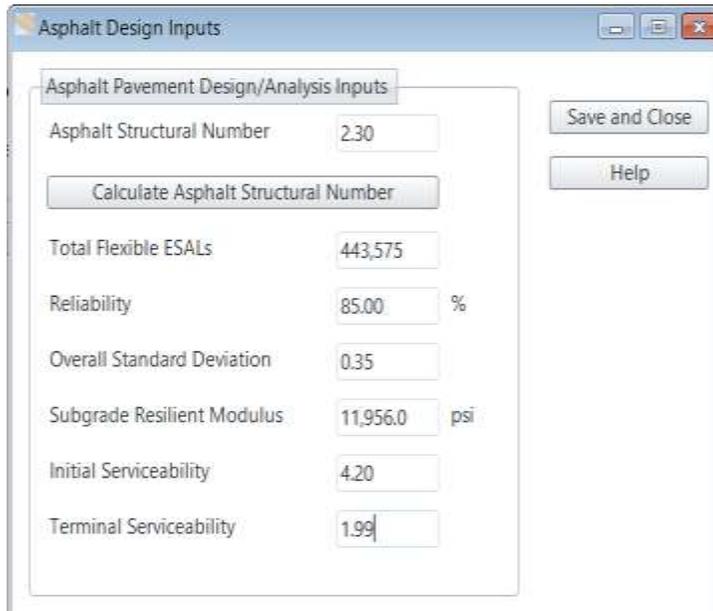
Tabla 53. Datos requeridos por el software WinPAS

Número estructural (SN)	2.30
ESAL (W18)	443,575.327 Psi
Confiabilidad (R)	85%
Desviaciones Estándar (So)	0.35
Servicialidad Inicial (Po)	4.2
Servicialidad Final (Pt)	2
ΔPSI	2.2
Módulo de Resiliencia (Mr)	11,956.025

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo organizados lo datos se procede a introducirlos en el software de la siguiente manera:

Figura 22. Introducción de datos en el software WinPAS 12



The screenshot shows a software window titled "Asphalt Design Inputs". Inside the window, there is a section titled "Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs". Below this title, there are several input fields and a button:

- Asphalt Structural Number: 2.30
- Calculate Asphalt Structural Number: Button
- Total Flexible ESALs: 443,575
- Reliability: 85.00 %
- Overall Standard Deviation: 0.35
- Subgrade Resilient Modulus: 11,956.0 psi
- Initial Serviceability: 4.20
- Terminal Serviceability: 1.99

On the right side of the window, there are two buttons: "Save and Close" and "Help".

Fuente: WinPas 12

Una vez ingresados los datos en el programa se procede a realizar la comprobación teniendo en cuenta los diferentes valores de a_n , m_n y los espesores calculados. Lo que nos da como resultado la comprobación que se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Verificación de resultados en el software WinPAS 12

Calculate Asphalt Structural Number					
inches					
Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness	Layer Struct No, SNI	
	0.45	1	4	1.8	
	0.137	1.2	4	0.66	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	

Sum of SN	2.46	OK
SN	2.30	

Save and Close Help

Fuente: WinPas 12

Al realizar la comprobación se puede observar que los datos que arroja el programa coinciden con los datos calculados. debido a esto se puede decir que la estructura de pavimento articulado que ha sido diseñada cumple con lo establecido en el manual de diseño de pavimentos AASHTO 93.

A continuación, se muestra una representación de la estructura de pavimento para el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito.

Para ver la estructura de pavimento terminada Ver Figura 24, Pág. 131.

3.5. Diseño geométrico

3.5.1. Clasificación de la carretera

3.5.1.1. Clasificación del área del tramo en estudio

Para el tramo en estudio no se cuenta con datos de censo actuales no es posible determinar la densidad población de la zona en la cual se encuentra este, pero se sabe que dicho tramo se encuentra aproximadamente a 8.6 km de la zona urbana del municipio de Teustepe por lo tanto se puede decir que el tramo se encuentra a las afueras del casco urbano del municipio lo cual lo clasificaría como una zona rural.

3.5.1.2. Clasificación funcional de la carretera

El tramo que comprende del empalme el papaturro-comarca Boaquito tiene un TPDA Actual de 537 vpd y se encuentra en una zona rural por lo cual el tramo se clasificaría como una colecciona menor rural (CR).

Tabla 54. Sistema de clasificación funcional

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente:

Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 33.

3.5.2. Vehículo de diseño

Para determinar el vehículo de diseño se hace uso de los datos obtenidos mediante el aforo vehicular, estos datos se muestran en el apartado 3.2 que abarca todo lo referido al estudio de tránsito, en el cual se observa que el vehículo de mayor dimensión que circula por el tramo en estudio es el camión tipo C3.

La Tabla 55, nos muestra las dimensiones de 6 vehículos de diseño los cuales representan los vehículos de mayor uso en la red vial de Centroamérica, esto dado en la SIECA 2011.

Tabla 55. Dimensiones de vehículos de diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabecal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabecal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabecal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 38.

Como se mencionó anteriormente el vehículo de mayor dimensión que circula por el tramo es el camión tipo C3, el vehículo más parecido a este que se encuentra mencionado en la SIECA 2011 es el camión clasificado como semirremolque Intermedio WB-12 cuyas dimensiones se muestran en el apéndice A1 del manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011. (Ver Anexos, Tabla 77, Pág. XXXIII)

Por lo tanto, el vehículo de diseño seleccionado para el tramo en estudio es el WB-12. (Ver Anexos, Figura 44, Pág. XXXIV).

3.5.3. Velocidad de diseño

Para el caso específico del tramo en estudio la velocidad de diseño se determinó en base al análisis de pendientes realizado en la sección 3.1 que trata todo lo correspondiente al Estudio Topográfico, para ser más específicos es licito referirse a los apartados 3.1.6 y 3.1.7 los cuales se aborda el análisis de pendientes y la clasificación del terreno en base al porcentaje de pendientes en el tramo, teniendo en cuenta lo que se muestra en la Pág. 60.

A Continuación, en la Tabla 56, se muestran la velocidad de diseño seleccionada para el tramo en dependencia de la pendiente del terreno.

Tabla 56. Velocidades de diseño del tramo en estudio

TRAMO	CLASIFICACIÓN DEL TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO
0+000 – 3+000	ONDULADO	60 KPH

Fuente: *Elaboración Propia*

Anteriormente se estableció que la mayor parte del terreno era plano pero debido a que en algunas secciones se presentan pendientes mayores al 5% y también que existen varias curvas horizontales en el tramo se optó por clasificar el tramo como ondulado. También cabe resaltar que en varias partes del tramo se encuentran casas aledañas a este mismo por lo cual no es recomendable establecer una velocidad alta en el tramo.

Se ha establecido anteriormente que para el tramo en estudio se tendrá una sola velocidad de diseño esto en base a la topografía del terreno, así como también teniendo en cuenta lo que estipula el Ingeniero y Master en diseño de obras viales James Cárdenas Grisales, en su libro diseño geométrico de carreteras (2013), 2^{da} Edición, en donde recomienda lo siguiente:

Al proyectar un tramo de carretera, hay que mantener un valor constante para la velocidad de diseño. Sin embargo, los cambios drásticos y sus limitaciones mismas, pueden obligar a usar diferentes velocidades de diseño para distintos tramos. (Cárdenas, 2013).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se establece a manera de criterio para mantener la homogeneidad de la velocidad en los tramos de carretera que para velocidades comprendidas entre 20 KPH a 50 KPH la longitud mínima del tramo debe ser de 3 km y de 4 km para velocidades 60 KPH a 110 KPH. (Cárdenas, 2013).

Teniendo en cuenta esto y sabiendo que la longitud del tramo es de 3 km, se tomara como Velocidad de diseño una sola velocidad en específico, por lo tanto, se puede decir que la velocidad de diseño del proyecto es de 60 KPH.

$$V_d = 60 \text{ KPH}$$

3.5.4. Definición de la sección transversal

3.5.4.1. Plataforma o corona

Se llama plataforma o corona a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las inferiores de la cuneta. El ancho de corona comprende las pendientes transversales, el ancho de calzada, los hombros, las aceras o cunetas de ser necesarias y las medianas, en caso de que la última forme parte de la sección transversal. (SIECA, 2011).

3.5.4.2. Pendiente transversal

Es la pendiente que se le da a la calzada en dirección perpendicular al eje de carretera. Y se identifican tres casos:

- **Bombeo normal:** Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento con el fin de facilitar el escurrimiento superficial de las aguas. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, en la Tabla 57 se presentan los rangos recomendados por la SIECA 2011.

Tabla 57. Bombeo normal de calzada

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	2.0-6.0

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 139.

Los pavimentos tipo alto son aquellos que mantiene superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima y los pavimentos tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos. (SIECA, 2011).

Para el tramo en estudio al tener una superficie de rodamiento de adoquín se considera que es un pavimento tipo bajo por lo cual se ha seleccionado un porcentaje de bombeo normal del 2.0%.

- **Peralte o sobreelevación:** Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento.
- **Transición de bombeo o peralte:** Al pasar de un tramo de tangente a otro en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo el bombeo en la tangente hasta el peralte que corresponda en la curva horizontal.

3.5.4.3. Ancho de calzada

Es el ancho de la superficie sobre la cual circula un cierto tránsito vehicular, esta puede estar dividida en carriles que circulen en uno o ambos sentidos. El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de calzada la sumatoria del ancho de los carriles

La SIECA 2011 establece el ancho de carril en intervalo entre 2.75 m a 3.60 m, considerando 3.60 el ancho de carril ideal en la mayoría de las carreteras principales.

Para carreteras clasificadas como colectoras el manual de la SIECA 2011 sugiere un ancho de carril de 3.30m. por lo tanto para el tramo en estudio debido a que el tránsito circula en dos direcciones se establece que se diseñaran dos carriles, uno para cada dirección dando como resultado un ancho de calzada de 6.60m. (Ver Figura 24, Pág.133).

3.5.4.4. Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación los cuales tienen la finalidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido, ya que, sin los hombros, los vehículos en problemas se verían obligados a invadir los carriles de circulación, representando así un riesgo para la seguridad en el tránsito. (SIECA, 2011).

La SIECA 2011 establece los anchos mínimos de hombros por tipo de carretera, esto lo podemos observar en la Tabla 58, donde establece los anchos mínimos de hombro y el ancho de acera si es necesario.

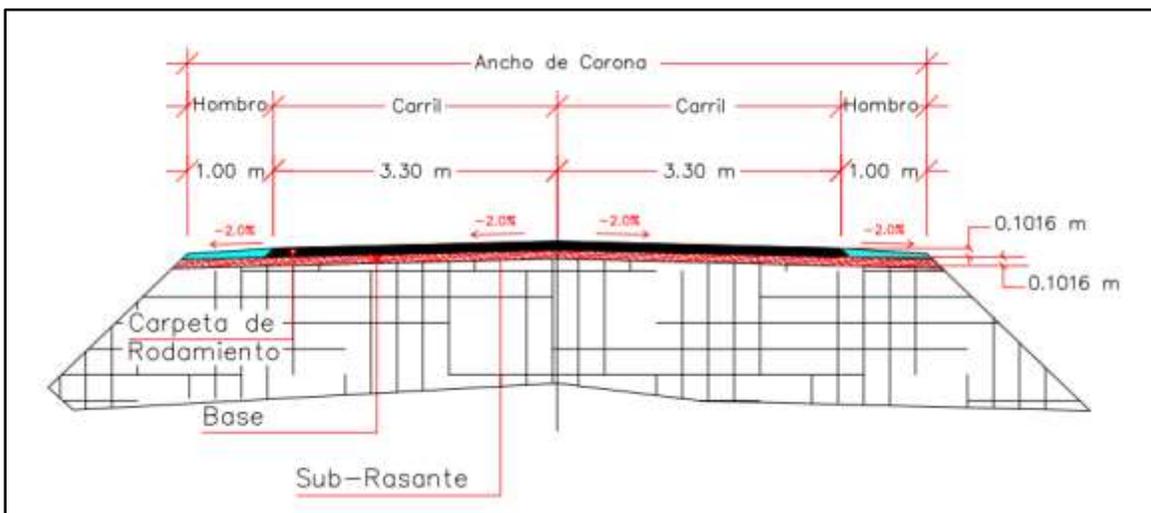
Haciendo uso de la Tabla 58 tenemos que para el tramo en estudio el cual se encuentra clasificado como una Colectora Menor Rural el ancho de hombro se encuentra dado entre 1.00 m a 1.20 m. Para el caso en estudio se ha seleccionado un ancho de hombro mínimo igual a 1.00 m. (Ver Figura 24, Pág. 134).

Tabla 58. Ancho mínimo de hombros y aceras

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 142.

Figura 24. Sección transversal para el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito



Fuente: Elaboración Propia

3.5.5. Alineamiento horizontal

3.5.5.1. Longitud máxima en rectas

Para el caso del tramo en estudio se calcula la longitud máxima en recta usando la Ecuación 24, Pág. 40, para una velocidad de diseño igual a 60 KPH, por lo tanto, la longitud máxima en recta sería:

$$L = 20 * V = 20 * 60KPH$$

$$L = 1,200 m$$

3.5.5.2. Tasa de peralte máximo

En la SIECA 2011 se recomienda una tasa de peralte del 10% en zonas montañosas, pero generalmente el valor máximo razonable reconocido es del 8%, un 6% puede usarse en zonas suburbanas y para zonas urbanas se establece un 4%. El peralte puede omitirse en zonas urbanas de baja velocidad. (SIECA, 2011).

Para el tramo en estudio al no ser un tramo montañoso ni encontrarse en zonas urbanas o suburbanas se opta por usar un valor de peralte del 8%

3.5.5.3. Factor de fricción lateral

La SIECA 2011 recomienda usar tomar el valor del factor de fricción lateral en base a la velocidad de diseño y la tasa de peralte máximo. (Ver Anexos, Tabla 78, Pág. XXXV).

Para el tramo en estudio donde se tiene una tasa de peralte máximo de 8% y una velocidad de diseño de 60 KPH, el factor de fricción seleccionado sería de 0.17

3.5.5.4. Radio mínimo

En la sección de Anexos, Tabla 78, Pág. XXXV, se muestra el valor del radio de curvatura que se recomienda de acuerdo con la velocidad de diseño y peralte

seleccionado, para una velocidad de 60 KPH, el cual resulta de 113 m, esto se demuestra usando la Ecuación 25, Pág.41.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e_{max} + f_{max})}$$

$$R_{min} = \frac{60^2}{127 * (0.08 + 0.17)}$$

$$R_{min} = 113.38 \text{ m} \approx 113 \text{ m}$$

3.5.5.5. Grado de curvatura

A continuación, se procede a calcular el radio de curvatura para el Radio mínimo anteriormente calculado usando la Ecuación 26, Pág. 42:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} = \frac{1145.9156}{113}$$

$$D_{20} = 10^{\circ} 8' 27''$$

Realizando la comparación con lo mostrados en la sección de Anexos, Tabla 78, Pág. XXXV, se puede observar que para la velocidad de 60 KPH nos da un Grado de curvatura de 10° 08' lo cual coincide con los datos calculados anteriormente.

3.5.5.6. Sobreechancho

El manual de la SIECA 2011 recomienda el sobreechancho para radio de curvatura específico teniendo como vehículo de diseño el WB-15. (Ver Anexos, Tabla 79 Tabla 79, Pág. XXXVI), así mismo nos brinda los factores de conversión para distintos tipos de vehículos, estos factores se suman o se restan a los valores mostrados en la Tabla para vehículos tipo WB-12. (Ver Anexos, Tabla 80, Pág. XXXVII).

Para el tramo en estudio se tiene como vehículo de diseño un vehículo tipo WB-12, por lo cual se realizará la conversión de sobreechanchos para este tipo de vehículos. (Ver Anexos, Tabla 81, Pág. XXXVIII).

A manera de criterio la SIECA 2011 establece que se pueden despreciar los sobre anchos cuyo valor sea menor a 0.60 m.

Para el caso del tramo en estudio se tiene que la longitud entre ejes de del vehículo de diseño WB-12 según lo estipula la SIECA 2011 es de 12.20 m (Ver Anexos, Figura 44 , Pág. XXXIV) y teniendo en cuenta que el número de carriles es de 2, considerando un radio mínimo de 113 para una velocidad de diseño de 60 KPH, se obtiene lo siguiente al aplicar la ecuación 27, Pág. 43:

$$S = 2 \left[113 - \left(\sqrt{113^2 - 12.20^2} \right) \right] + \frac{60}{10\sqrt{113}}$$

$$S = 1.885 \text{ m}$$

3.5.6. Curva horizontal simple

3.5.6.1. Ejemplo de curva horizontal simple

A modo de ejemplo a continuación se muestra el cálculo de los elementos de la curva horizontal 9 correspondiente al tramo en estudio. Para dicha curva se tiene los siguientes datos obtenidos del software AutoCAD Civil 3D 2023. (Ver Anexos, Figura 45, Pág. XL).

$$PC = 2 + 915.761$$

$$R = 120 \text{ m}$$

$$\Delta = 55^\circ 30' 12''$$

- Tangente (T)

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ec. 31}$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$T = 120 \text{ m} * \tan \frac{55^\circ 30' 12''}{2} \rightarrow T = 63.140 \text{ m}$$

- Cuerda máxima (CM)

$$CM = 2R * \text{Sen} \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ec. 32}$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$CM = 2 * 120 \text{ m} * \text{Sen} \frac{55^\circ 30' 12''}{2} \rightarrow CM = 111.754 \text{ m}$$

- **Externa (E)**

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) \quad \text{Ec. 33}$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$E = 120 \text{ m} * \left(\frac{1}{\cos \frac{55^\circ 30' 12''}{2}} - 1 \right) \rightarrow E = 15.597 \text{ m}$$

- **Mediana (M)**

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{Ec. 34}$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$M = 120 * \left(1 - \cos \frac{55^\circ 30' 12''}{2} \right) \rightarrow M = 13.803 \text{ m}$$

- **Grado de curvatura (Gc°)**

Este se calculará usando la ecuación 26, Pág. 43.

$$Gc^\circ = \frac{1145.9156}{120 \text{ m}} \rightarrow Gc^\circ = 9^\circ 32' 57''$$

Revisando el criterio de seguridad para el grado de curvatura tenemos que:

$$Gc^\circ < Gc^\circ_{max}$$

Para una velocidad de 70 KPH se tiene que el grado de curvatura máximo es de:

$$Gc^\circ_{max} = 10^\circ 8' 27''$$

Por lo tanto, tenemos que

$$9^{\circ} 32' 57'' < 10^{\circ} 8' 27''$$

Por lo cual se puede decir que esta curva cumple con el criterio de seguridad establecido para el grado de curvatura

- **Longitud de curva (Lc)**

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad Ec. 35$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$Lc = \frac{\pi * 120 * 55^{\circ} 30' 12''}{180} \rightarrow Lc = 116.246 \text{ m}$$

A continuación, se procede a calcular los estacionamientos de la curva

- **Estación PI (EST PI)**

$$PI = PC + T \quad Ec. 36$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$PI = 2 + 915.761 + 63.140 \text{ m} \rightarrow PI = 2 + 978.901$$

- **Estación PT (EST PT)**

$$PI = PC + Lc \quad Ec. 37$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$PT = 2 + 915.761 + 116.246 \text{ m} \rightarrow PT = 3 + 032.007$$

- **Estación PM (EST PM)**

$$PM = PC + \frac{Lc}{2} \quad Ec. 38$$

Fuente: Topografía, Wolf & Ghilani, 2016, Pág. 711

$$PM = 2 + 915.761 + \frac{116.246 \text{ m}}{2} \rightarrow PT = 2 + 973.884$$

para realizar el replanteo de la curva se establece una longitud de cuerda igual a 10 m ya que el grado de curvatura se encuentra comprendido de la siguiente manera, $5^\circ \leq Gc^\circ \leq 15^\circ$.

La deflexión por metro se calcula usando la siguiente formula:

$$\delta/m = \frac{1.5 * Gc^\circ * Lc}{60} \quad Ec. 39$$

Cabe aclarar que en la ecuación 39 el valor de Lc se refiere a la longitud de cuerda y no a la Longitud de la curva.

A manera de comprobación se tiene el criterio que la deflexión acumulada de PC a PT debe ser igual a $\Delta/2$

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{10^\circ 58' 37''}{2} = 5^\circ 29' 18.5''$$

Como se puede observar en la Tabla 60, el replanteo de la curva cumple con el criterio requerido.

A continuación, se muestra en la tabla de replanteo para la curva 9.

Tabla 59. Replanteo de curva horizontal #9

Punto	EST	L cuerda	δ/m	δ/m acum.
PC	2+915.761	-	-	0°00'00"
	2+920.000	4.239	1°00'43"	1°00'43"
	2+930.000	10.000	2°23'14"	3°23'57"
	2+940.000	10.000	2°23'14"	5°47'12"
	2+950.000	10.000	2°23'14"	8°10'26"
	2+960.000	10.000	2°23'14"	10°33'40"
	2+970.000	10.000	2°23'14"	12°56'54"
PM	2+973.884	3.884	0°55'38"	13°52'32"
	2+980.000	6.116	1°27'36"	15°20'09"
	2+990.000	10.000	2°23'14"	17°43'23"

	3+000.000	10.000	2°23'14"	20°06'37"
	3+010.000	10.000	2°23'14"	22°29'51"
	3+020.000	10.000	2°23'14"	24°53'06"
	3+030.000	10.000	2°23'14"	27°16'20"
PT	3+032.007	2.007	0°28'45"	27°45'05"

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se procederá a verificar si la curva requiere un sobre ancho usando la Ecuación 27, Pág. 43.

Para el caso de la curva en estudio se tiene que la longitud entre ejes de del vehículo de diseño WB-12 según lo estipula la SIECA 2011 es de 12.20 m y teniendo en cuenta que el número de carriles es de 2, considerando una velocidad de diseño de 70 KPH, se obtiene lo siguiente al aplicar la Ecuación 27, Pág. 43:

$$S = 2 \left[120 - \left(\sqrt{120^2 - 12.20^2} \right) \right] + \frac{60}{10\sqrt{120}}$$

$$S = 1.791 \text{ m}$$

Para el tramo en estudio se diseñaron 9 curvas horizontales haciendo uso del programa AutoCAD Civil 3D 2023. (Ver Anexos, Tabla 82, Pág. XXXIX), en esta sección se muestran los detalles de todas las curvas horizontales del tramo.

3.5.7. Alineamiento vertical

3.5.7.1. Pendiente de control para el diseño

Las pendientes máximas recomendadas para carreteras de Tipo colectora Rural se muestran en la Tabla 60, a continuación.

Tabla 60. Pendientes máximas para carreteras colectoras rurales

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Ondulado	1	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 119.

Para el tramo en estudio, teniendo en cuenta que la velocidad de diseño es de 60 KPH y que el tramo se ha clasificado como ondulado, se establece que la pendiente máxima permitida en el tramo en estudio es del 8%.

3.5.8. Curvas verticales

3.5.8.1. Tasa de curvatura K

Para el presente tramo en estudio se tiene una velocidad de diseño la cual es 60 KPH, por lo tanto, se tendrán los siguientes valores de tasa de curvatura K:

- Para curvas en cresta se tiene que los valores de tasa de curvatura serian 11 y 17 y para curvas en columpio lo valores de Tasa de curvatura seria 18 y 23 respectivamente. (Ver Anexos, Tabla 83, Pág. XLI, Tabla 84, Pág. XLI y Tabla 85, Pág. XLII).

3.5.9. Ejemplo de curva vertical en cresta

A manera de ejemplo a continuación se realizará el cálculo correspondiente a una curva vertical en cresta para el tramo en estudio.

Datos:

Pendiente de entrada= 4.08%

Pendiente de salida=-4.68%

EST PIV= 1+960.590

Elevación EST PIV= 188.109 m

Longitud de curva= 150 m

Velocidad de diseño= 60 KPH

$K_{min} = 11$

- Diferencia algebraica de las pendientes (A):

$$A = P_1 - P_2 \quad Ec. 40$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

$$A = 4.08\% - (-4.68\%) \rightarrow A = 8.76\%$$

- Longitud mínima de curva Vertical (LCV)

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces:

$$LCV_{min} = K * A \quad Ec. 41$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

$$LCV_{min} = 11 * 8.76\% \rightarrow LCV_{min} = 96.360 \text{ m}$$

- **Longitud de parada**

El manual de la SIECA 2011 establece distancias mínimas de parada para curvas verticales en cresta en dependencia de la velocidad de diseño. (Ver Anexos, Tabla 83, Pág. XLI). Para una velocidad de 60 KPH la distancia de parada (s) es de 85 m.

El manual especificados situaciones para el cálculo de la longitud de curva mínima de acuerdo a la distancia de parada seleccionada las cuales son las siguientes:

- Cuando S es menor que LCV

$$L_p = \frac{A * S^2}{658} \quad Ec. 42$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

- Cuando S es mayor que LCV

$$L_p = 2 * S - \frac{658}{A} \quad Ec. 43$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

Teniendo en cuenta que en el caso de la presente curva $S < LCV$, se establece que se usara la Ecuación 42 para el cálculo de la longitud mínima de curva vertical.

$$L_p = \frac{8.76\% * 85^2}{658} \rightarrow L_p = 96.187 \text{ m}$$

A como se puede observar $LCV > L_{min}$, por lo tanto, se puede decir que la curva vertical cumple el criterio de distancia de parada.

- **Cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento**

Para encontrar la distancia de visibilidad de adelantamiento al igual que para la distancia de parada se tienen dos casos los cuales son los siguientes:

- Cuando S es menor que LCV

$$L = \frac{A * S^2}{864} \quad Ec. 44$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 124.

- Cuando S es mayor que LCV

$$L = 2 * S - \frac{864}{A} \quad Ec. 45$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 125.

Para el caso de la curva en estudio se tiene que el valor de S para la distancia de adelantamiento es de 410 teniendo una velocidad de 60 KPH. (Ver Anexos, Tabla 84, Pág. XLI). Por lo tanto, se tiene que $S > LCV$, por lo cual se usará la ecuación 45.

$$L_{adel} = 2 * 410 - \frac{864}{8.76} \rightarrow L_{adel} = 721.370 \text{ m}$$

Debido a lo anterior se puede decir que la curva no cumple el criterio para distancia de adelantamiento, por lo tanto, se establece que en esta curva no se pueden realizar adelantamiento de vehículos.

- **Criterio de drenaje**

La SIECA 2011 establece que una curva vertical en cresta debe cumplir el siguiente criterio, para saber si dicha curva tendrá drenaje óptimo.

$$LCV \leq 43 * A \quad Ec. 46$$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 127.

$$150 \text{ m} \leq 43 * 8.76 \rightarrow 150 \text{ m} < 376.680$$

Por lo tanto, se puede decir que la curva en estudio cumple con el criterio de drenaje para curvas en cresta.

- **Cálculo de los estacionamientos**

$$EST\ PCV = EST\ PIV - \frac{LCV}{2}$$

$$EST\ PCV = 1 + 960.590 - \frac{150\ m}{2} \rightarrow EST\ PCV = 1 + 885.590$$

$$EST\ PTV = EST\ PIV + \frac{LCV}{2}$$

$$EST\ PTV = 1 + 960.590 + \frac{150\ m}{2} \rightarrow EST\ PTV = 2 + 035.590$$

- **Cálculo de elevaciones en los estacionamientos**

$$ELV\ PCV = ELV\ PIV \pm P_1 * \frac{LCV}{2}$$

$$ELV\ PCV = 188.109\ m - 4.08\% * \frac{150\ m}{2}$$

$$ELV\ PCV = 185.049\ m$$

$$ELV\ PTV = ELV\ PIV \pm P_2 * \frac{LCV}{2}$$

$$ELV\ PTV = 188.109\ m - 4.68\% * \frac{150\ m}{2}$$

$$ELV\ PTV = 184.599\ m$$

- **Replanteo de curva vertical**

Para el replanteo de la curva vertical se realizó usando la Tabla 61, la cual contiene las diferentes elevaciones que componen dicha curva.

Los cadenamientos para esta curva se realizaron a cada 10 metros. Para encontrar las elevaciones sobre la tangente se utilizó la siguiente ecuación:

$$ELV_{\frac{s}{t}} = ELV_{PCV} + P_1 * X \quad Ec. 6 - 21$$

$$ELV_{\frac{s}{t}} = ELV_{PTV} + P_2 * X \quad Ec. 6 - 22$$

Para encontrar las elevaciones sobre la curva se utilizó la siguiente ecuación:

$$ELV_{s/c} = \frac{A}{2 * LCV} * X^2 \quad Ec. 6 - 23$$

Al hacer uso de la ecuación antes descrita se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 61. Replanteo de curva vertical en cresta

PTO	EST	X(mts)	ELV s/t	Y	ELV s/c
EST PCV	1+885.590	0.000	185.049	0.000	185.049
	1+890.000	4.410	185.229	0.006	185.223
	1+900.000	14.410	185.637	0.065	185.572
	1+910.000	24.410	186.045	0.185	185.860
	1+920.000	34.410	186.453	0.368	186.085
	1+930.000	44.410	186.861	0.613	186.248
	1+940.000	54.410	187.269	0.921	186.348
	1+950.000	64.410	187.677	1.290	186.387
	1+960.000	74.410	188.085	1.722	186.363
EST PIV	1+960.590	75.000	188.109	1.749	186.360
	1+970.000	65.590	187.669	1.338	186.331
	1+980.000	55.590	187.201	0.961	186.240
	1+990.000	45.590	186.733	0.646	186.086
	2+000.000	35.590	186.265	0.394	185.871
	2+010.000	25.590	185.797	0.204	185.593
	2+020.000	15.590	185.329	0.076	185.253
	2+030.000	5.590	184.861	0.010	184.851
EST PTV	2+035.590	0.000	184.599	0.000	184.599

Fuente: Elaboración Propia

En la sección de (Anexos, Tabla 86, Pág. XLIII) se muestran los datos de las demás curvas verticales.

Los datos usados para el desarrollo del ejemplo de curvas verticales han sido extraídos del software de diseño AutoCAD Civil 3D. (Ver Anexos, Figura 46, Pág. XLIV).

3.5.10. Resumen de los criterios de diseño geométrico

A continuación, en la Tabla 62 se muestra un resumen de los criterios utilizados en el diseño geométrico del tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito:

Tabla 62. Resumen de criterios de diseño geométrico

Descripción /Parámetros	Forma	Unidad	Valores
Clasificación Funcional	Colectora menor rural (CR)		
Velocidad de Diseño	Vd	KPH	60
Vehículo de Diseño	Veh	Tipo	WB-12
Radio de curvatura Mínimo	R	m	113.38
Grado de Curvatura	Gc	G.min.sec	10°08'27"
Número de carriles de Rodamiento	Nc	unid	2
Ancho de Carril	Ac	m	3.3
Ancho total de Rodamiento	AR	m	6.6
Ancho de Hombros	Hm	m	1
Ancho de Corona	Ac	m	8.6
Bombeo Normal	B	%	2
Bombeo de Hombros	Hm%	%	2
Peralte o sobreelevación	emáx	%	8
Pendiente Máx.	Pend%	%	8
Sobreancho	Sa	m	1.885
Superficie carpeta de Rodamiento	Srod	Tipo	Adoquín

Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones



Conclusiones

En base a los aspectos técnicos establecidos para el presente estudio y teniendo en cuenta los objetivos planteados para este mismo se concluye lo siguiente:

- 1) El levantamiento topográfico del tramo en estudio fue realizado según lo que se establece en el manual para la revisión de estudios topográficos, MTI 2008, pudiendo así conocer con una mayor precisión las características que se presentan en el relieve del tramo y por ende poder realizar la clasificación este mismo en base a la topografía, la cual nos da como resultado que el terreno se clasifica como ondulado.
- 2) El estudio de tránsito, siguiendo la metodología para la para el cálculo del TPDA del tramo usando los factores de ajuste se obtuvo que el tramo en estudio posee un TPDA de 537 vpd. Se determino la tasa de crecimiento vehicular la cual arrojó un valor del 3.09% esto mediante el uso de las diferentes variables planteadas. El ESAL de diseño para el tramo en estudio estimado a un periodo de diseño de 20 años nos arrojó un valor de 443,575.327. Psi.
- 3) Para el estudio de suelos de tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito se realizaron 13 sondeo manuales. Se encontraron suelos de tipo A-2-6, A-6 y A-7-6. Al realizar el ensaye de CBR para los suelos encontrados en el tramo se obtuvo un valor de CBR de 15% para la subrasante, asumiendo que la subrasante se encuentra a una profundidad de 0.30m. Para el banco de material los datos fueron proporcionados por la Alcaldía del municipio de Teustepe, en el suelo se clasifica como un A-2-4, con un valor de CBR de 81.30%, el cual cumple con los requerimientos establecidos en la norma NIC-2019 la cual se establece que el valor mínimo CBR para material de banco de préstamo a usarse como material de subrasante es de 80%.
- 4) La estructura de pavimento articulado se diseñó tomando en cuenta lo que establece la norma para el diseño de espesores de pavimento, AASHTO 1993, así como también lo establecido en el Manual Centroamericano para

Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Al realizar el cálculo de los espesores de capa resulta que, al ser una carpeta de rodamiento de adoquín, la capa de rodamiento tendrá un espesor de 4 pulgadas dicho espesor corresponde al espesor de un adoquín tipo tráfico, el valor mínimo del espesor de la base es de 4 pulgadas, en el presente trabajo monográfico se trabajó con el valor mínimo de espesor permitido por el manual. Al realizar el cálculo para encontrar el espesor de la capa de sub-base nos dio como resultado -1.28 pulgadas, y la Norma AASHTO 1993 establece que si el valor de una capa es negativo entonces esa capa no es necesaria para la estructura de pavimento por lo cual dicha capa se puede despreciar.

- 5) El diseño geométrico del tramo, se realizó tomando en cuenta los criterios establecidos en el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011. Siguiendo lo estipulado en el manual se determinó que la sección transversal tendría un ancho total de 8.60 m, esto quiere decir que el ancho de cada carril es de 3.30m y el ancho de hombro se estableció de 1.00 m a cada lado, también se estableció un bombeo del 2%. Se estableció que la velocidad de diseño para el tramo en estudio es de 60 KPH.

Recomendaciones



Recomendaciones

1. Verificar que la calidad del material para base granular cumpla con los requerimientos establecidos en la norma NIC-2019, TOMO II, sección 1003.8, en la cual se especifican los requisitos mínimos que debe cumplir el material que será usado para la capa de base.
2. Considerando que la estructura de pavimento está compuesta de la carpeta de rodamiento de adoquín y la base granular, se debe procurar que la base alcance un grado de compactación del 95% del Proctor estándar según lo especificado en las normas AASHTO T180 y T-90, esto con la finalidad de que la capa de base granular alcance la resistencia necesaria para la cual es diseñada.
3. La cama de arena sobre la cual se asentará la carpeta de rodamiento debe ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá de contener más del 3% (su peso) de limos, arcillas o de ambos. Dicha cama de arena tendrá un espesor de 3 cm, esto según lo especificado en el capítulo de diseño de estructura de pavimento y de presentar variaciones estas deben estar entre un rango de 3 cm a 5 cm esto según lo especificado en la Norma NIC-2019, TOMO I, sección 504.2.3.
4. El adoquín a usarse para la carpeta de rodamiento será el adoquín de tipo tráfico pesado con una resistencia característica a los 28 días de 49 Mpa. El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cascaduras ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados.
5. El adoquín deberá estar confinado en sus bordes por bordillos de concreto simple, los materiales y métodos de construcción de los bordillos o cunetas de concreto se ajustarán a lo estipulado en la Norma NIC-2019, Sección-905.

6. Las áreas adoquinadas deberán quedar confinadas en todos sus bordes. Al comienzo y al final del adoquinamiento deberán construirse remates de concreto simple.
7. Se debe aplicar arena de sello en las juntas de los adoquines. La arena a usarse para este fin deberá estar libre de impurezas y materia orgánica. Esta arena se aplicará para eliminar vacíos existentes entre las juntas, dando mejor soporte a los adoquines, evitando que estos se desprendan de su sitio o que se fracturen, producto del tráfico vehicular.

Bibliografía



Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Diseño de pavimentos AASHTO 93* (3era edición ed.). San Juan.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*. ALFAOMEGA, GRUPO EDITOR, S.A. de C.V., MEXICO.
- Cal, R., & M.R. (1994). *Ingeniería de tránsito* (7a. edición ed.). Alfaomega.
- Cárdenas, G. J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Corea y asociados S.A. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios y Diseño de Pavimentos*. Managua, Nicaragua.
- Corea y asociados S.A. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios y Diseño de Pavimentos*. Managua, Nicaragua.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta Edición ed.). México D.F: Cengage Learning Editores.
- Márquez, F. G. (1994). *EL topografo descalzo, Manual de Topografía*. Árbol.
- MTI. (2020). *Anuario de Aforos de Trafico*. Managua, Nicaragua.
- MTI;Corea & Asociados S.A . (s.f.). *Manual para revision de estudios geotecnica*. CORRASCO.
- MTI;Corea & Asociados S.A. (2008). *Manual para revision de estudios geotecnica*. CORASCO.
- MTI;Corea y Asociados S.A. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Topograficos*.
- MTI;DGP. (2011). *Red vial Nicaragua 2010*.
- MTI;ODEPP. (2020). *Anuario de aforos de trafico 2019*.

- Rodriguez, A. R., & Badillo, E. J. (1973). *Mecánica de suelos* (Vol. Tomo I). Limusa.
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*.
- SIECA. (2004). *Normas de diseño geometrico de carreteras*.
- SIECA. (2011). *Manual centroamericano de normas para el diseño geometrico de carreteras, con enfoque en gestion de riesgo y seguridad vial*.
- Spiegel, M. R., & Stephen, L. J. (2009). *Estadística*. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (5ta Edición ed.). México: Limusa.
- Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía*. Alfaomega.
- Zeiske, K. (2000). *Principios basicos de topografía*. Leica geosystems . Heerbrugg.

Anexos



Anexos

Figura 25. Tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito Est 0+000



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 26. Tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito, Est 3+000



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 27. Condiciones actuales del tramo en estudio, presencia de encharcamiento en la vía



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 28. Levantamiento topográfico del tramo en estudio



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 29. Levantamiento del derecho de vía del tramo den estudio



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 30. Establecimiento de BM en el tramo



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 31. Asignación de coordenadas a BM



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 32. Levantamiento de detalles de puente



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 33. Cambio de estacionamiento en curva horizontal en el tramo



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Tabla 63. Base de datos del levantamiento (Desde el Pto 1 al Pto 140)

Punto	X(Este)	Y(Norte)	Z(Elevación)	Código
1	637712.920	1374344.618	193.450	BM-1
2	637756.965	1374352.915	194.194	TN
3	637754.003	1374355.757	194.471	TN
4	637751.798	1374358.015	194.521	LC
5	637749.425	1374359.857	194.480	TN
6	637748.356	1374361.159	194.249	TN
7	637733.296	1374347.992	194.029	TN
8	637734.473	1374346.759	194.348	TN
9	637736.280	1374344.433	194.457	LC
10	637738.360	1374342.194	194.391	TN
11	637740.562	1374340.476	193.965	TN
12	637438.380	1374532.848	191.067	EST2
13	637723.643	1374324.777	193.616	TN
14	637721.461	1374327.167	194.298	TN
15	637719.265	1374329.288	194.385	LC
16	637717.162	1374331.601	194.281	TN
17	637715.453	1374333.272	194.132	TN
18	637698.413	1374316.979	194.109	TN
19	637699.604	1374315.939	194.253	TN
20	637701.534	1374313.820	194.300	LC
21	637703.608	1374311.399	194.292	TN
22	637705.305	1374308.665	193.350	TN
23	637689.452	1374294.800	193.163	TN
24	637687.569	1374297.204	194.338	TN
25	637685.765	1374299.856	194.389	LC
26	637683.669	1374302.210	194.259	TN
27	637682.640	1374303.694	193.790	TN
28	637703.655	1374333.745	193.091	TN
29	637705.373	1374336.333	193.210	TN
30	637708.318	1374339.623	193.475	LC
31	637712.385	1374344.019	193.446	TN
32	637712.310	1374355.629	193.550	AR
33	637714.095	1374346.233	193.418	TN
34	637716.997	1374349.704	193.600	CERC
35	637693.002	1374353.476	192.547	LC

Punto	X(Este)	Y(Norte)	Z(Elevación)	Código
36	637695.241	1374356.714	192.473	TN
37	637695.555	1374357.237	192.359	TN
38	637697.343	1374359.541	192.620	TN
39	637699.333	1374362.394	192.598	CERC
40	637681.564	1374375.120	191.942	CERC
41	637692.209	1374350.891	192.430	TN
42	637691.000	1374349.122	192.182	TN
43	637689.557	1374347.101	192.197	TN
44	637687.877	1374345.328	192.233	CERC
45	637679.625	1374371.942	192.097	TN
46	637659.626	1374358.241	192.156	AR
47	637678.134	1374369.883	191.929	TN
48	637675.940	1374366.945	192.044	LC
49	637672.933	1374362.500	191.826	TN
50	637654.821	1374369.626	191.811	CERC
51	637671.329	1374357.459	191.634	CERC
52	637655.746	1374370.842	191.786	TN
53	637657.305	1374373.095	191.515	TN
54	637657.844	1374373.923	191.538	TN
55	637660.122	1374376.910	191.800	LC
56	637637.019	1374382.770	191.396	CERC
57	637662.703	1374380.487	191.724	TN
58	637663.230	1374381.081	191.635	TN
59	637665.150	1374383.584	192.038	TN
60	637638.455	1374385.242	191.319	TN
61	637655.348	1374400.358	191.923	AR
62	637665.755	1374384.649	192.182	TN
63	637666.223	1374385.334	191.823	TN
64	637641.731	1374389.719	191.435	LC
65	637666.616	1374386.158	191.731	CERC
66	637644.691	1374394.086	191.314	TN
67	637647.108	1374397.579	192.165	TN
68	637631.682	1374412.353	192.628	CERC
69	637630.777	1374410.934	192.475	TN
70	637629.753	1374409.332	191.662	TN
71	637627.904	1374406.447	190.811	TN
72	637627.377	1374405.866	190.925	TN
73	637625.457	1374402.891	191.055	LC
74	637623.144	1374399.726	190.724	TN

Punto	X(Este)	Y(Norte)	Z(Elevación)	Código
76	637622.047	1374398.192	190.834	TN
77	637609.504	1374428.957	190.104	CERC
78	637621.100	1374396.792	191.026	TN
79	637619.802	1374395.344	191.127	CERC
80	637607.189	1374425.619	190.512	TN
81	637605.389	1374423.221	190.210	TN
82	637604.393	1374422.111	190.177	TN
83	637602.418	1374419.296	190.217	LC
84	637599.563	1374415.568	190.053	TN
85	637598.280	1374414.194	190.232	TN
86	637581.003	1374423.972	189.949	CERC
87	637597.819	1374413.417	190.318	TN
88	637582.118	1374425.360	190.031	TN
89	637596.838	1374412.114	190.392	CERC
90	637583.112	1374426.873	189.795	TN
91	637583.579	1374427.506	189.734	TN
92	637550.167	1374436.032	189.856	AR
93	637586.074	1374430.508	189.867	LC
94	637588.030	1374433.486	189.765	TN
95	637588.445	1374434.073	189.691	TN
96	637589.974	1374436.097	189.900	TN
97	637591.099	1374437.958	190.333	TN
98	637558.270	1374440.649	189.696	CERC
99	637591.353	1374439.111	189.937	TN
100	637560.113	1374442.786	189.444	TN
101	637562.660	1374446.766	189.441	LC
102	637564.939	1374450.606	189.346	TN
103	637564.946	1374450.584	189.376	TN
104	637592.131	1374440.565	189.790	CERC
105	637567.488	1374454.200	189.618	TN
106	637568.348	1374455.423	189.407	TN
107	637568.900	1374456.171	188.997	CERC
108	637546.532	1374471.106	189.409	CERC
109	637544.899	1374469.279	189.640	TN
110	637543.704	1374467.291	189.265	TN
111	637543.209	1374466.444	189.197	TN
112	637541.263	1374463.731	189.196	LC
113	637537.999	1374460.667	189.207	TN
114	637537.079	1374459.133	189.400	TN

Punto	X(Este)	Y(Norte)	Z(Elevación)	Código
116	637510.622	1374478.050	189.490	AUX
117	637510.653	1374477.704	189.472	CABESAL
118	637508.041	1374479.627	189.468	CABESAL
119	637516.720	1374487.545	189.589	CABESAL
120	637519.751	1374485.164	189.590	CABESAL
121	637510.243	1374477.770	187.405	PIE ALET
122	637507.832	1374479.527	187.346	PIE ALET
123	637517.152	1374487.380	187.627	PIE ALET
124	637519.555	1374485.515	187.609	PIE ALET
125	637502.991	1374477.463	187.810	TN
126	637506.706	1374473.374	187.804	TN
127	637497.191	1374466.050	187.780	TN
128	637498.897	1374473.174	187.763	TN
129	637518.296	1374491.281	187.945	CERC
130	637517.142	1374490.086	188.029	TN
131	637516.019	1374488.873	188.767	TN
132	637514.976	1374487.916	189.335	TN
133	637514.162	1374487.129	189.426	TN
134	637511.466	1374484.551	189.506	LC
135	637508.028	1374481.230	189.443	TN
136	637507.177	1374480.512	188.794	TN
137	637489.127	1374488.857	189.472	CERC
138	637505.792	1374479.228	188.030	TN
139	637490.154	1374490.517	189.516	TN
140	637504.673	1374478.415	187.758	CERC

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Realización del conteo vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 35. Tránsito vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito
(Sentido NW-SE)



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Figura 36. Tránsito vehicular en el tramo empalme el papaturro-comarca Boaquito
(Sentido SE-NW)



Fuente: Levantamiento por sustentantes

Tabla 64. Formato para control de aforo vehicular

Fecha:		Dirección de flujo:								Encuestador:						Hoja #:			
Hora		Motos	Autos	jeep	Cmta	McBus <15 pas	MnBus 15-30 s.	Bus	C. Liv 2-5 Ton	C2 5+ Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Tx-Sx >=5e	Cx/Rx <=4e	Cx-Rx >=5e	V.A	V.C	Otros	Total
		06:00	07:00																
07:00	08:00																		
08:00	09:00																		
09:00	10:00																		
10:00	11:00																		
11:00	12:00																		
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: MTI, Manual de Estudios de Tránsito, pág. 47

Tabla 65. EMC N° 1082 San Marcos – Masatepe, ECD N° 729 Emp. Teustepe – Teustepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
<p style="text-align: center;">1802 San Marcos - Masatepe</p>	NN-79	130	ECS	Puente El Venado - Las Delicias
	NN-80	729	ECD	Emp. Teustepe -Teustepe
	NN-80	1903	ECS	Teustepe - San José de los Remates
	NN-80	1907	ECS	San José de los Remates - Las Cañadas
	NN-82	908	ECS	Boaco - Santa Inés
	NN-83	6102	ECS	Emp. La Florida - Las Mercedes
	NN-83	6103	ECS	Las Mercedes - San José de los Remates
	NN-86	6104	ECS	Buena Ventura - Filas Verdes
	NN-89	1909	ECS	Camoapa - Puente La Codorniz
	NN-90	1705	ECS	Camoapa - La Tesorera
	NN-91	1912	ECS	Sacal - Lomas de Cafén
	NN-91	1910	ECS	Lomas de Cafen - Boaco Viejo

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, Pág. 53

Tabla 66. Clasificación vehicular

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Miniciclos, Cuadracillos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con liras en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMION DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMION DE CARGA PESADA T ₂ S ₂ =4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T ₂ S ₂ =4.
	T ₂ S ₂ =5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C ₂ R ₂ =4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C ₂ R ₂ =4
	C ₂ R ₂ =5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCION		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2019, Tabla N°9, pág. 26.

Tabla 67. Registro del TPDA histórico de ECD N° 901 Emp. de Boaco-Boaco

N°	CODIGO NIC	EST	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	McBus <15pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5+Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Tx-Sx >=5e	Cx-Rx <=4e	Cx-Rx >5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
84	NIC-9	901	ECD	Emp. Boaco-Boaco	2020	460	692	123	715	97	41	130	223	160	96		88						2825					
					2019	641	641	114	569	56	6	122	143	111	41		35								2479			
					2018	553	578	130	632	52		119	198	153	44	1	78	1							3	2542		
					2013	325	567	124	558	37		129	202	228	22		52									6	2250	
					2010	226	477	138	512	30	1	125	177	169	18		53									2	1928	
					2009	218	401	106	551	29	2	125	187	183	27	1	45									13	1888	
					2006	93	389	165	475	20	1	116	182	213	22	1	74						1			3	1755	
					2004	50	268	154	405	32	4	119	115	159	18	2	54					1				1	1382	
					2001	58	210	140	395	9	1	108	95	120	37		23								2	2	1200	
					1999	80	128	130	403	13		92	66	141	23		27										1	1104
					1998	54	108	127	316	7	5	78	58	101	14		16											884
					1997	55	106	106	303	4	14	56	31	76	16		13										1	781
					1996	59	101	134	316	5		65	30	138	34		21											903
					EMC: 1802																							
Tasa de crecimiento: 6.74%					2020	460	692	123	715	97	41	130	223	160	96	0	88	0	0	0	0	0	0	2825				
												Liv. 2128						Pesado 697										
												75%						25%										

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 135

Tabla 68. Registro del TPDA histórico de ECD N° 729 Emp. de Teustepe-Teustepe

N°	CODIGO NIC	EST	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	McBus <15pas.	MnBuses 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5+Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Tx-Sx >=5e	Cx-Rx <=4e	Cx-Rx >5e	V.A	V.C	Otros	TPDA			
398	NN-80	729	ECD	Emp. Teustepe-Teustepe	2011	285	745	67	284	5	1	38	83	41	2		4					11	1566			
					2008	104	1042	117	331	4	5	47	96	40	4		5			4		4	1802			
					2005	59	695	48	238	15	1	38	81	38	9		2					2	1227			
					2004	60	501	49	147	6		36	45	29	2		5			1			880			
					2000	48	451	61	184	1		30	54	34	5		5					3	877			
					EMC: 1802																					
					Tasa de crecimiento: 6.74%	2020	513	1340	120	511	9	2	68	149	74	4		7					20	2816		
						Liv. 2495						Pesado 322														
						89%						11%														

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 251

Tabla 69. Registro de TPDA de EMC N° 1802 San Marcos – Masatepe

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmla.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
127	NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe	2020	5661	1294	278	884	344	93	143	410	165	43		69					8	9.392
					2019	5213	1344	310	957	397	96	158	387	172	50		85					9	9.178
					2018	5167	1548	319	1032	386	98	159	431	205	54		93					7	9.499
					2017	4638	1379	346	1068	395	88	158	391	221	60		152			1		11	8.908
					2016	3942	1453	430	1165	423	94	163	421	272	45		81					11	8.500
					2015	3372	1291	370	993	388	85	161	382	235	36		80					9	7.402
					2014	3176	1151	348	936	320	75	145	369	240	41		69					13	6.883
					2013	2691	1161	319	875	318	86	145	351	187	25		52					11	6.221
					2012	2789	1084	357	895	341	72	130	347	230	24	2	44				1	8	6.324
					2011	1971	978	309	803	322	60	139	286	195	27		35					7	5.132
					2010	1501	1076	336	843	356	82	154	290	214	36		40					8	4.936
					2009	1326	1068	363	885	340	76	164	323	258	34		42					8	4.887
					2008	1056	944	327	917	349	78	175	335	270	42		46			1	1	13	4.554
					2004	288	814	305	1012	281	72	213	321	241	14		37			0		8	3.608
					2002	234	827	388	1113	260	61	190	223	237	25		31			1		13	3.602
					1999	224	585	287	938	142	66	196	208	150	34		21			2		17	2.871
					1997	184	500	234	746	18	69	169	91	206	18		13					12	2.260
						Liv. 8117			Pasaj. 580			Pesado 695											
						86%			6%			7%											

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 155

Tabla 70. Tasa de crecimiento interanual del producto interno bruto (PIB)

Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach

(tasas de crecimiento - Growth rate)

Conceptos - Concepts	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 ^{p/}
Producto interno bruto - Gross domestic product	5.1	3.4	(3.3)	4.4	6.3	6.5	4.9	4.8	4.8	4.6	4.6	(3.4)	(2.9)	(1.8)
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	7.3	2.3	(2.5)	1.1	9.8	8.8	2.8	4.5	8.6	5.3	3.2	(8.5)	(2.9)	(1.4)
Total industrias - All industries														
Agricultura - Agriculture	12.6	(5.8)	4.1	2.6	7.7	2.4	(2.7)	(0.3)	0.2	8.4	7.0	3.8	5.0	(0.0)
Pecuario - Livestock	12.2	10.8	(4.4)	2.5	3.3	(7.8)	(2.3)	3.7	(1.0)	2.1	13.8	(3.5)	4.6	0.7
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	3.1	2.2	(0.9)	0.7	5.9	1.9	0.7	0.9	0.0	(2.4)	0.3	(3.6)	(1.0)	1.5
Pesca y acuicultura - Fishing	13.2	16.8	14.1	5.3	(4.0)	12.1	5.1	17.6	(7.0)	(2.3)	9.5	10.3	(4.3)	(6.8)
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	(3.7)	(3.4)	(3.4)	51.6	25.7	10.9	22.4	0.4	(0.3)	8.2	(7.5)	7.7	15.8	3.7
Industrias manufactureras - Manufacturing	3.7	1.4	(5.5)	8.9	9.8	10.2	6.5	7.6	2.5	3.7	2.9	1.5	(2.2)	(2.3)
Construcción - Construction	(8.4)	(15.4)	(29.1)	(17.2)	10.8	27.1	11.0	1.8	25.4	(1.4)	8.6	(13.7)	(32.4)	12.2
Electricidad - Electricity	(3.3)	40.5	2.2	3.9	(2.8)	21.0	23.6	12.6	1.9	0.9	(4.5)	3.4	(2.6)	(17.1)
Agua - Water supply	(1.5)	8.3	13.7	2.3	37.1	5.1	(1.1)	1.0	2.8	5.5	2.7	4.8	0.3	1.7
Comercio - Trade	4.0	6.2	(4.2)	7.8	10.1	7.1	2.9	3.8	6.2	4.8	4.7	(7.4)	(0.8)	5.3
Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants	8.1	(3.2)	(0.2)	5.6	4.9	7.4	5.9	2.6	3.9	6.3	14.8	(22.1)	2.4	(31.8)
Transporte y comunicaciones - Transport and communication	16.8	6.1	(0.8)	17.5	12.6	6.0	5.4	4.3	7.7	7.1	5.8	(6.6)	(5.1)	(7.0)
Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation	(5.7)	6.2	(14.2)	(7.5)	(4.1)	4.2	8.6	11.6	6.9	8.5	4.3	(6.8)	(19.1)	(11.4)
Propiedad de vivienda - Housing	1.6	1.1	1.7	(0.9)	1.4	1.4	3.1	2.5	3.1	3.2	3.5	(0.0)	(0.2)	(0.2)
Administración pública y defensa - Public administration and defense	4.1	10.1	5.1	4.7	5.0	4.2	5.7	4.3	3.3	6.6	5.6	(0.0)	0.5	1.9
Enseñanza - Education	2.4	4.5	0.4	0.3	3.0	3.2	1.5	2.1	3.6	3.6	2.8	1.1	1.1	0.9
Salud - Health	5.8	3.3	(3.4)	0.3	0.6	5.2	13.2	2.0	6.0	4.8	6.7	1.9	1.5	1.3
Otros servicios - Other services	5.6	12.3	0.4	9.2	(2.1)	6.3	5.2	10.0	4.4	5.0	1.6	(2.1)	(4.1)	(2.8)

p/ : Preliminar - Preliminary.

e/ : Estimado - Estimated.

Nota - Note : Tasas de variación año de referencia 2006 - Figures based reference years 2006.

Fuente - Source : BCN - Central Bank of Nicaragua.

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas, BCN 2022, Tabla I-2 pág. 11

Tabla 71. Factor de equivalencia eje simple, $P_t=2$

Factor de Equivalencia Eje Simple $P_t=2$						
Carga Axial (Kips)	Número Estructural del Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.30	0.035	0.036	0.33	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	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	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30.0	31.2
42	48.7	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	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: *Diseño de Pavimentos*, AASHTO 1993, pág. D-3

Tabla 72. Factor de equivalencia eje doble imagen, $P_t=2$

Factor de Equivalencia Eje Doble $P_t=2$						
Carga Axial (Kips)	Número Estructural del Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6

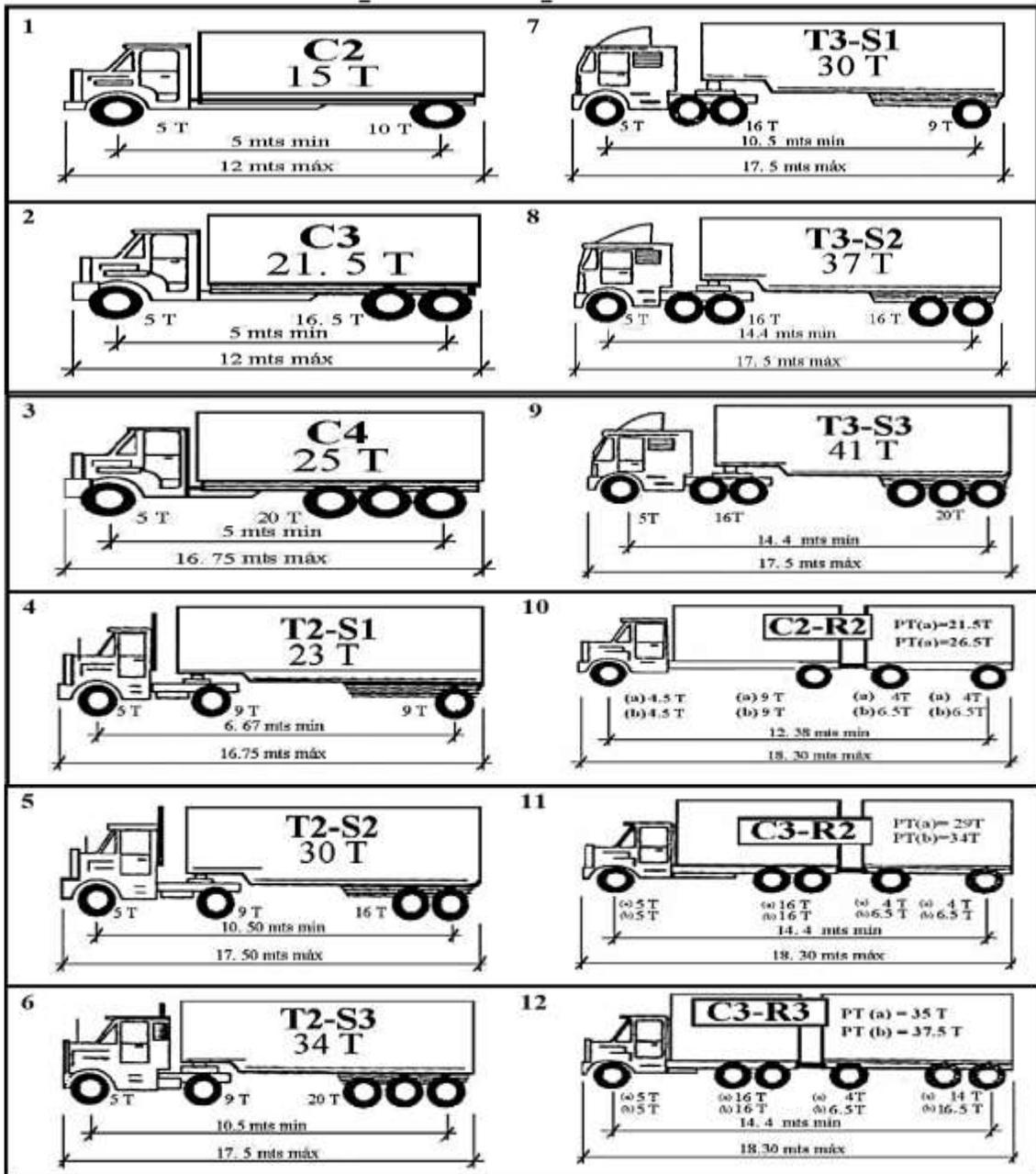
Fuente: Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993, pág. D-4

Tabla 73. Peso por eje para vehículos livianos

Tipos de Vehículos	Pesos por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
Autos	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
Mbus <15 P	2/4	4400/8800
Mb 15-30 P	4/8	8800/17600
C2 Liv	4/8	8800/17600
Bus - C2	5/10	11000/22000

Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Figura 37. Peso por eje para vehículos de carga



Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Figura 38. Tamices para determinación de granulometría de los suelos



Fuente: Tomada por los sustentantes

Figura 39. Aparato de Arturo Casagrande y ranurador para la determinación del límite líquido



Fuente: Tomada por los sustentantes

Figura 40. Determinación de limite plástico del suelo



Fuente: Tomada por los sustentantes

Tabla 74. Clasificación de suelos AASHTO

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Lino-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)	
Índice de Plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20			
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra,grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA							

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, pág. 79

Figura 41. Preparación de la muestra para ensaye Proctor estándar



Fuente: Tomada por los sustentantes

Figura 42. Realización del ensaye Proctor modificado



Fuente: Tomada por los sustentantes

Figura 43. Ubicación del Banco de material El Ventarrón.



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.52091487,85.71810841,580.77224897a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=MikKJwoICiExUGNvVDBheXhfZEx2RTFhTW5sRFBQVHFHSXNkwidQeUogAToDCgEw>

Tabla 75. Resultados del banco de material

Porcentaje que pasa por el Tamiz									LL	LP	IP	Clasificación AASHTO	Densidad Máxima (Kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	CBR (%)
1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200							
38.1	25	19	13	9.5	4.8	2.00	0.43	0.08	%	%	%				
68	56	48	38	33	23	15	9	6	23	17	6	A-2-4	2,076	8.33	81.30

Fuente: Alcaldía Municipal de Santa Lucía, Departamento de Boaco.

Tabla 76. Coeficiente de permeabilidad K

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
					Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición.							
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.					
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			

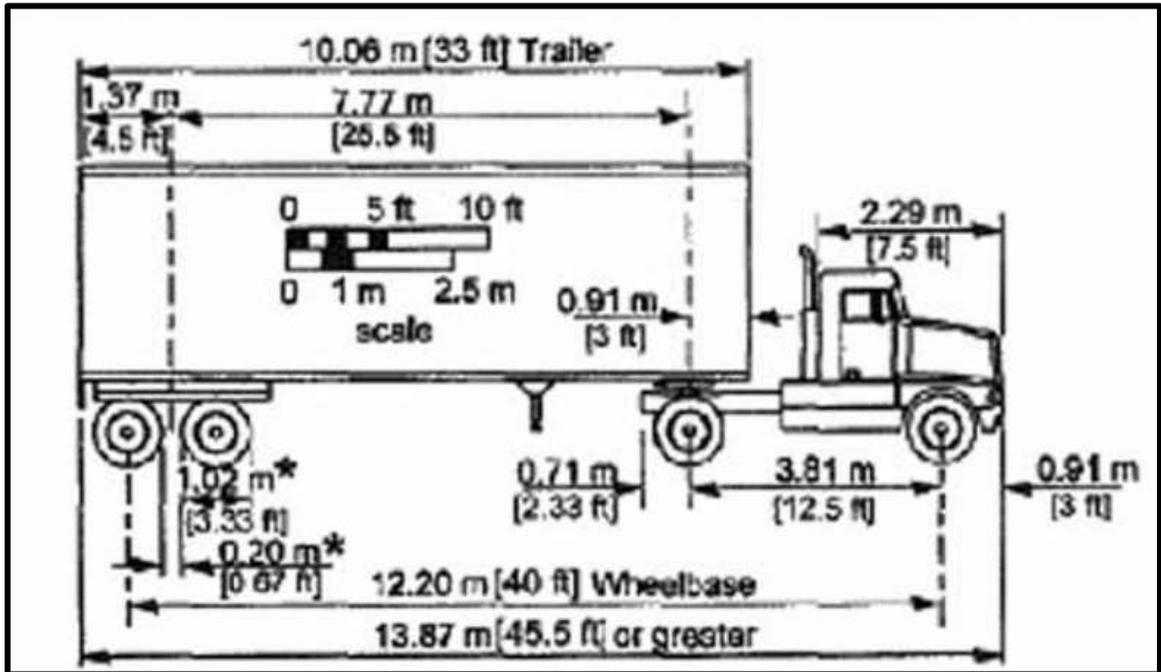
Fuente: Mecánica de Suelos, Tomo I, Juárez Badillo & Rico Rodríguez 2005, Pág.

Tabla 77. Dimensiones de vehículos de diseño (apéndice A1)

Vehículo de Diseño Tipo	Dimensiones (m)								
	Dimensiones Exteriores				Salientes		Varias		distancia entre centro de ejes
	Símbolo	Alto	Ancho	Longitud	delantero	Trasero	WB1	WB2	
Vehículo de Pasajero	P	1.30	2.10	5.8	0.90	1.50	3.40	-	-
Camión de Unidad	SU	3.40-4.10	2.40	9.2	1.20	1.80	6.10	-	-
BUSES									
Buses Interurbanos	BUS-12	3.70	2.60	12.2	1.80	1.90	7.3	1.10	-
	BUS-14	3.70	2.60	13.7	1.80	2.60	8.10	1.20	-
Buses Urbanos	CITY-BUS	3.20	2.60	12.2	2.10	2.40	7.60	-	-
Bus Escolar Convencional	S-BUS 11	3.20	2.40	10.9	0.80	3.70	6.50	-	-
Bus Escolar Largo	S-BUS 12	3.20	2.40	12.2	2.10	4.00	6.10	-	-
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.3	2.60	3.10	6.70	5.90	-
COMBINACIONES DE CAMIONES									
Semirremolque Intermedio	WB-12	4.10	2.40	13.9	0.90	0.80	3.80	8.4	8.40
Semirremolque Grande	WB-15	4.10	2.60	16.8	0.90	0.60	4.50	10.80	11.40
Semirremolque Interestatal	WB-19	4.10	2.60	20.9	1.20	0.80	6.60	12.30	13.00
Semirremolque Interestatal	WB-20	4.10	2.60	22.4	1.20	1.40-0.80	6.60	13.20-13.80	13.90-14.50

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Apéndice 1, Pág. 394.

Figura 44. Dimensiones del vehículo de diseño



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Apéndice 1, Pág. 407.

Tabla 78. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	09°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	06°14'
80	0.14	280.0	280	04°06'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'
VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 89.

Tabla 79. Sobrecanchos sugeridos para vehículo de diseño WB-15

Radio de Curva	Ancho de Calzada=7.20 m						Ancho de Calzada=6.60 m						Ancho de Calzada=6.00 m					
	Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)					
	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	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	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	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	0.0	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	1.0
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	1.0	1.0
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	1.0	1.0	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	1.0	1.0	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	1.0	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	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			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	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 111.

Tabla 80. Factores de ajuste para diseño de sobre ancho de curvas

Radio de Curva	VEHÍCULO DE DISEÑO						
	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-30T
3000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2500	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1500	-0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
1000	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
900	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
800	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
700	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
600	-0.5	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
500	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4
400	-0.5	-0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5
300	-0.6	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.6
250	-0.7	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.8
200	-0.8	-0.6	0.3	0.4	-0.1	0.2	1.0
150	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.3
140	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.4
130	-1.0	-0.7	0.5	0.6	-0.2	0.2	1.5
120	-1.1	-0.8	0.5	0.7	-0.2	0.3	1.6
110	-1.1	-0.8	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.7
100	-1.2	-0.9	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.9
90	-1.3	-0.9	0.7	0.9	-0.2	0.3	2.1
80	-1.4	-1.0	0.8	1.1	-0.2	0.4	2.4
70	-1.6	-1.1	0.9	1.2	-0.3	0.5	2.8

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 112.

Tabla 81. Sobreeanchos para vehículo de diseño WB-12

Radio de Curva	Ancho de Calzada=7.20 m						Ancho de Calzada=6.60 m						Ancho de Calzada=6.00 m					
	Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)					
	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
1500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
400	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
300	0.0	0.1	0.1	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
250	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4		0.4	0.5	0.6	0.6	0.7		0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	
200	0.2	0.3	0.4	0.4			0.5	0.6	0.7	1.0			0.8	0.9	1.0	1.0		
150	0.4	0.5	0.6	0.6			0.7	0.8	0.9	0.9			1.0	1.1	1.2	1.2		
140	0.5	0.6					0.8	0.9					1.1	1.2				
130	0.6	0.7					0.9	1.0					1.2	1.3				
120	0.6	0.7					0.9	1.0					1.2	1.3				
110	0.7	0.8					1.0	1.1					1.3	1.4				
100	0.7	0.8					1.0	1.1					1.3	1.4				
90	0.9						1.2						1.5					
80	1.0						1.3						1.6					
70	1.2						1.5						1.8					

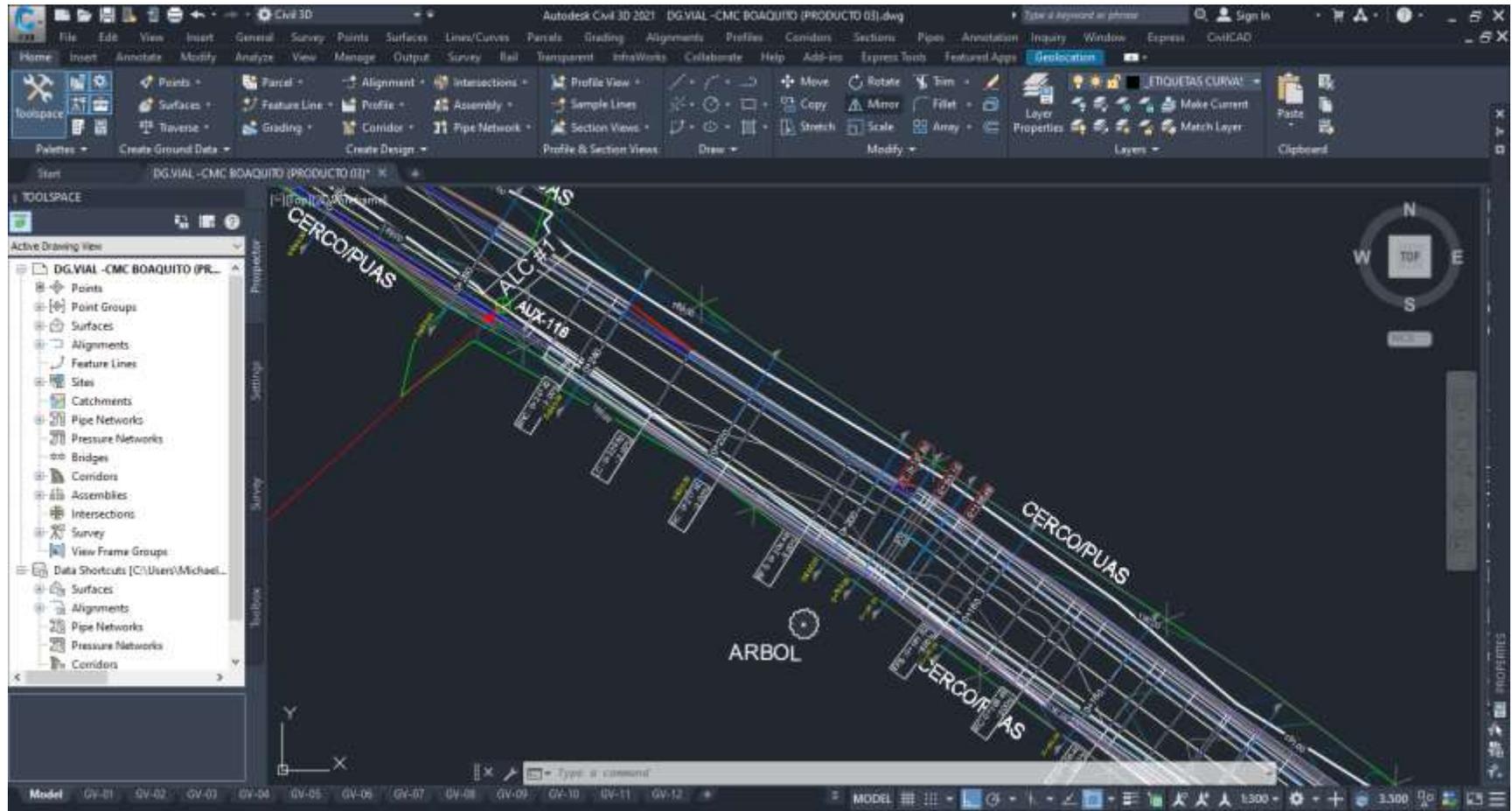
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 82. Resumen de curvas horizontales del tramo en estudio

Curva N°	ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL								PUNTOS NOTABLES		
	R (m)	Δ	T (m)	Lc (m)	CM (m)	E (m)	M (m)	Gc°	EST PC	EST PM	EST PT
Curva N° 1	130.000	4°06'56"	4.671	9.340	9.336	0.084	0.084	8°48'53"	0+188.479	0+193.149	0+197.819
Curva N° 2	140.000	5°40'05"	6.930	13.850	13.844	0.171	0.171	8°11'06"	0+667.562	0+674.487	0+681.412
Curva N° 3	140.000	14°26'16"	17.733	35.280	35.185	1.119	1.110	8°11'06"	1+031.973	1+049.613	1+067.253
Curva N° 4	125.000	5°38'53"	6.166	12.320	12.317	0.152	0.152	9°10'02"	1+336.306	1+342.466	1+348.626
Curva N° 5	130.000	14°52'38"	16.973	33.760	33.660	1.103	1.094	8°48'53"	1+808.581	1+825.461	1+842.341
Curva N° 6	140.000	9°31'30"	11.664	23.270	23.247	0.485	0.483	8°11'06"	2+087.829	2+099.464	2+111.099
Curva N° 7	150.000	14°21'43"	18.899	37.600	37.501	1.186	1.177	7°38'22"	2+267.768	2+286.568	2+305.368
Curva N° 8	125.000	5°31'27"	6.031	12.050	12.047	0.145	0.145	9°10'02"	2+625.701	2+631.726	2+637.751
Curva N° 9	120.000	55°30'12"	63.140	116.250	111.754	15.597	13.803	9°32'57"	2+915.761	2+973.886	3+032.011

Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Diseño de curvas horizontales en AutoCAD Civil 3D 2023



Fuente: AutoCAD Civil 3D 2023

Tabla 83. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 125.

Tabla 84. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)	Tasa de Curvatura Vertical K
		Para Diseño
30	200	45
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 125.

Tabla 85. Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

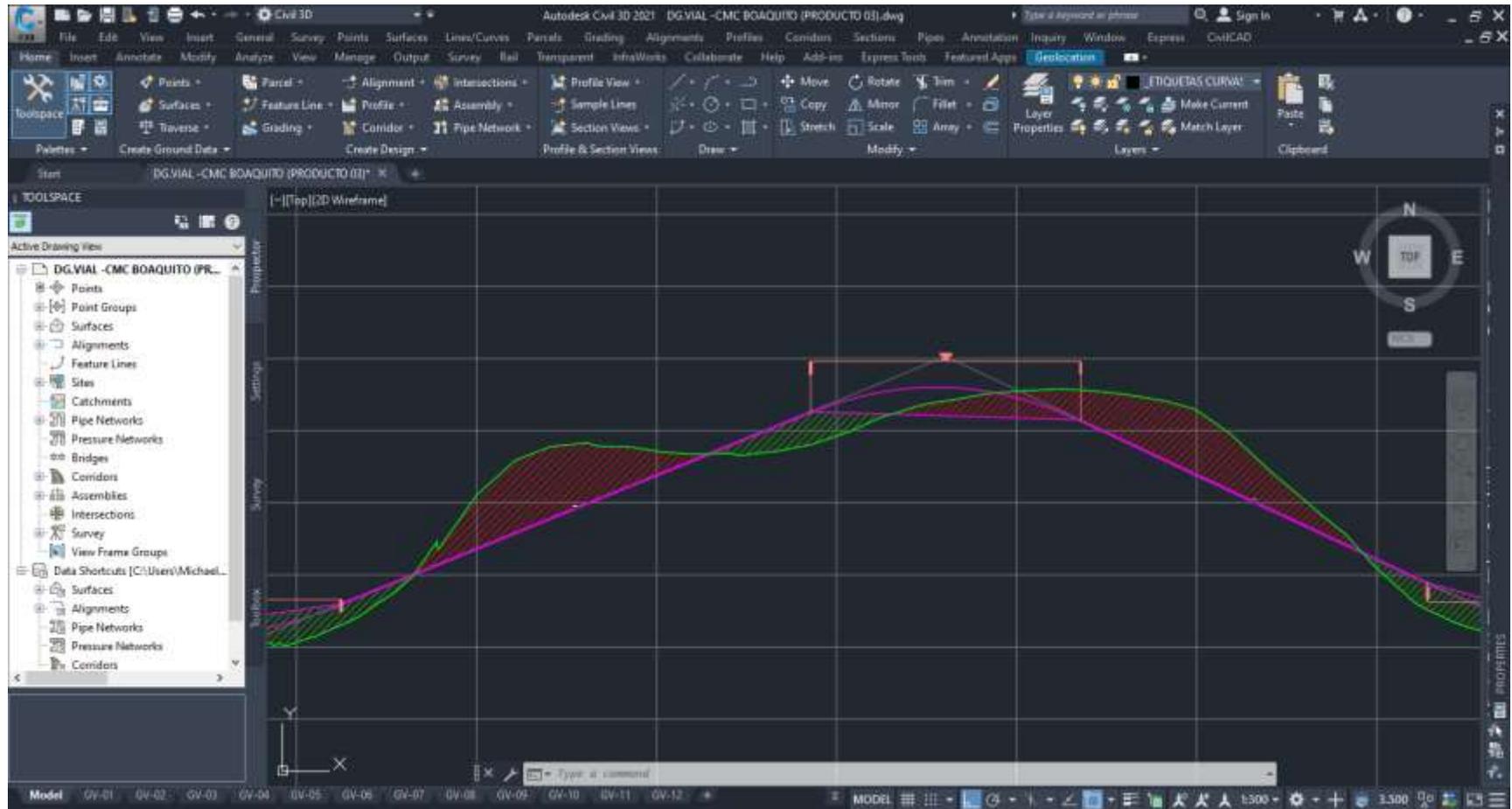
Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, Pág. 127.

Tabla 86. Resumen de curvas verticales del tramo en estudio

N° de curva	EST. PIV	ELEV. PIV	Pent	Psal	A	TIPO DE CURVA	K (min)	K (Diseño)	LCV	EST. PCV	ELEV. PCV	EST. PTV	ELV. PTV
1	0+162.62	188.93	-2.77%	0.59%	3.36%	Columpio	18	23.824	80	0+122.62	190.03	0+202.62	189.16
2	0+424.21	190.47	0.59%	-2.98%	3.57%	Cresta	11	19.588	70	0+389.21	190.27	0+459.21	189.43
3	0+706.58	182.05	-2.98%	-1.15%	1.83%	Columpio	18	32.673	60	0+676.58	182.95	0+736.58	181.71
4	1+569.81	172.17	-1.15%	4.08%	5.23%	Columpio	18	21.052	110	1+514.81	172.80	1+624.81	174.41
5	1+960.59	188.11	4.08%	-4.68%	8.76%	Cresta	11	17.115	150	1+885.59	185.05	2+035.59	184.60
6	2+268.28	173.70	-4.68%	-0.82%	3.86%	Columpio	18	20.714	80	2+228.28	175.57	2+308.28	173.37
7	2+599.93	171.38	-0.54%	3.95%	4.49%	Columpio	18	18.93	85	2+557.43	171.61	2+642.43	173.06
8	2+747.52	177.21	3.95%	-0.52%	4.47%	Cresta	11	22.358	100	2+697.52	175.23	2+797.52	176.95

Fuente: Elaboración Propia

Figura 46. Diseño de curvas verticales en AutoCAD Civil 3D 2023



Fuente: AutoCAD Civil 3D 2023