



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DEL
TRAMO SAN SEBASTIÁN DE YALÍ - EL TIGRE, DEPARTAMENTO DE
JINOTEGA, POR EL MÉTODO AASHTO-93”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Oliver Josué Rivera Gutiérrez
Br. Pedro Rafael Hurtado Soriano
Br. Luis Ernesto Hernández Castillo

Tutor

Dr. Sergio Navarro Hudiel

Asesor

Ing. José Luis Acuña Mendoza

Managua, Noviembre 2021

CONTENIDO

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.1.1. Localización del tramo	2
1.1.1.1. Macro Localización	2
1.2. Antecedentes	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6

CAPITULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Generalidades	8
2.2. Levantamientos topográficos.....	8
2.2.1. Planimetría.....	9
2.2.2 Altimetría	10
2.3. Características de la topografía.....	13
2.4. Evaluación del levantamiento topográfico	13

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1. Generalidades	16
3.2. Información base.....	16
3.1.1. Tipos de vehículos.....	17
3.2.2. Clasificación vehicular por sus ejes.....	18
3.3. Estación de conteo vehicular.....	18
3.4. Datos de campo	19
3.5. Resultados obtenidos	19
3.5.1. Aforo vehicular	19
3.5.2 Determinación del Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS).....	21
3.5.2.1. Composición vehicular del TPDS	22
3.5.3. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	22
3.5.3.1. Composición vehicular del TPDA	25
3.5.4. Tasas de Crecimiento	27

3.5.4.1. Determinación de la Tasa de Crecimiento	27
3.5.5. Tránsito de diseño	32
3.5.5.1. Periodo de diseño	32
3.5.5.2. Factor de Crecimiento	33
3.5.5.3. Factor Distribución por Dirección.....	34
3.5.6. Ejes equivalentes (ESAL).....	35
3.5.6.1. Número Estructural asumible	35
3.5.6.2. Factor de Equivalencia (FESAL).....	36

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELOS

4.1. Generalidades	40
4.2. Metodología.....	40
4.3. Condiciones actuales del tramo	42
4.4. Análisis granulométrico de los sondeos manuales.....	43
4.6. Estratigrafía de los suelos	45
4.7. Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales	49
4.7.1. Banco de Materiales No 1: Santos Edgardo Zeledón Castro.....	49
4.7.2. Banco de Materiales No 2: Felipe Antonio Centeno	50
4.8. Análisis de bancos de materiales	50
4.8.1. Elección de los bancos de materiales	51
4.9. CBR de diseño	52
4.9.1. Identificación de la subrasante	53

CAPITULO V: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

5.1. Generalidades	57
5.2. Método AASHTO – 93.....	57
5.3. Variables de Diseño	58
5.3.1. Periodo de Diseño	58
5.3.2. ESAL.....	58
5.3.3. Confiabilidad	59
5.3.4. Desviación Estándar	59
5.3.5. Serviciabilidad	60
5.3.6. Módulo de resiliencia de la subrasante.....	60

5.3.7. Coeficiente de drenaje	61
5.3.8. Coeficientes estructurales de capa.....	62
5.3.9. Módulo de resiliencia de la base y subbase.....	65
5.3.10. Número estructural.....	65
5.4. Cálculo de espesores	69
5.4.2. Espesor de base	70
5.4.1. Espesor de carpeta asfáltica.....	69
5.4.3. Cálculo de espesor de subbase	71
5.4.4. Consolidado de espesores.....	71

CAPITULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO

6.1. Generalidades	74
6.2. Condiciones actuales del tramo	74
6.3. Tipo de área	74
6.4. Clasificación de la carretera	75
6.5. Vehículo de diseño	75
6.6. Velocidad de diseño	76
6.7. Características de la sección transversal	76
6.8. Alineamiento horizontal	77
6.8.1. Longitud máxima de rectas	77
6.8.2. Peralte	78
6.8.3. Radio de curvatura	79
6.8.4. Grado de curvatura.....	80
6.8.5. Bombeo Normal	80
6.8.6. Sobreancho de las curvas.....	81
6.8.7. Curvas horizontales simples	82
6.9. Alineamiento vertical	86
6.9.1. Pendientes de diseño.....	86
6.9.2. Curvas Verticales.....	87
6.8.3. Tasa de curvatura K.....	90
6.9.4. Resumen de criterios	90

CAPITULO VII: COSTO Y PRESUPUESTO

7.1. Generalidades	93
7.2. Costos directos.....	93
7.2.1. Análisis de costos unitarios.....	93
7.3. Costos Indirectos.....	97
7.3.1. Gastos generales fijos	98
7.3.2. Gastos generales variables.....	98
7.4. Presupuesto	99
8.1. Conclusiones.....	103
8.2. Recomendaciones.....	105
8.3. Bibliografía	107
ANEXOS	

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Macro localización del tramo en estudio, San Sebastián de Yalí – El Tigre, Departamento de Jinotega	2
Ilustración 2 Micro localización del tramo San Sebastián de Yalí – comunidad El Tigre	3
Ilustración 3 Perfil natural del terreno Est. 0+000 – 5+000 (Sin Escala)	10
Ilustración 4 Curvas de Nivel (Tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre) Sin Escala	13
Ilustración 5. Vista satelital del tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre	19
Ilustración 6 Espesores mínimos estructura de pavimento	41
Ilustración 7 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos	64
Ilustración 8 Coeficientes estructurales de capa base granular	64
Ilustración 9 Coeficiente de capa de subbase granular	65
Ilustración 10. Determinación de SN ₃ (Sub Base)	67
Ilustración 11. Determinación de SN ₂ (Base)	68
Ilustración 12. Determinación de SN ₁ (Carpeta Asfáltica)	68
Ilustración 13. Números Estructurales por capa	69
Ilustración 14. Sección Transversal del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre. .	77
Ilustración 15 Sobreebanco de curvas	82
Ilustración 16 Elementos geométricos de curvas horizontales	83
Ilustración 17. Problemas de drenaje	I
Ilustración 18. Condiciones actuales del Tramo Yalí-El Tigre	I
Ilustración 19. Peso por eje para vehículos de carga	VII
Ilustración 20 Comprobación de SN ₃ con software	XVI
Ilustración 21 Comprobación de SN ₂ con software	XVI
Ilustración 22 Comprobación del SN ₁ con software	XVII
Ilustración 23. Sondeo manual	XXIII
Ilustración 24. Recolección de muestras en los sondeos	XXIV
Ilustración 25. Realización de aforo vehicular	XXV
Ilustración 26. Muestra en laboratorio	XXVI
Ilustración 27. Tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre	XXVII
Ilustración 28. Peso de las muestras	XXVIII
Ilustración 29. Lavado de las muestras.	XXIX

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento vehicular por día	21
Gráfico 2. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPDS	22
Gráfico 3. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPDA	25
Gráfico 4. Composición vehicular TPDA (San Sebastián de Yalí – El Tigre)	27
Gráfico 5. Línea de tendencia del PIB.....	30
Gráfico 6. Línea de Tendencia del TPDA (ECD 3503).....	30
Gráfico 7. Línea de Tendencia del Crecimiento Poblacional.....	31
Gráfico 8 CBR de Diseño Subrasante.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas cartográficas del levantamiento	8
Tabla 2	Levantamiento de detalles	9
Tabla 3	Bancos de Nivel (18).....	11
Tabla 4.	Clasificación de los terrenos en función de las Pendientes naturales.....	12
Tabla 5.	Pendientes del terreno	12
Tabla 6	Evaluación del Levantamiento Topográfico	14
Tabla 7.	Aforo vehicular del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre	20
Tabla 8.	Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)	21
Tabla 9.	Vector Geográfico	23
Tabla 10.	Factores de Expansión a TPDA Primer Cuatrimestre (Enero-Abril).....	24
Tabla 11.	Tráfico Promedio Diario Anual (San Sebastián de Yalí – El Tigre) 2021	25
Tabla 12.	Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura.....	26
Tabla 13.	Registro Histórico del TPDA (ECD 3503), PIB Y Crecimiento Poblacional	28
Tabla 14.	Transformaciones Logarítmicas (LN) de los Registros Históricos	29
Tabla 15.	Tasa de crecimiento para las variables	31
Tabla 16.	Periodo de diseño según el tipo de carretera.....	33
Tabla 17.	Factores de Crecimiento.....	34
Tabla 18.	Factor Distribución por Carril	34
Tabla 19.	Tránsito de Diseño (Tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre)	35
Tabla 20.	Factor ESAL obtenido por interpolación.	37
Tabla 21.	ESAL de Diseño (Tramo San Sebastián de Yalí - EL Tigre)	38
Tabla 22	Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO	41
Tabla 23	Referencia de sondeos manuales (Banda Izquierda).....	42
Tabla 24	Abertura de Tamices	43
Tabla 25	Especificaciones de los materiales para base y sub base granular	50
Tabla 26	Evaluación Banco de Materiales No 1	51
Tabla 27	Evaluación de Banco de Materiales No 2	51
Tabla 28	Especificaciones de terraplén y subrasante	52
Tabla 29	CBR subrasante	53
Tabla 30	Percentil de diseño para subrasante	54
Tabla 31	Selección de CBR de diseño para la subrasante	55
Tabla 32	Niveles de Confiabilidad.....	59
Tabla 33	Desviación Estándar.....	59
Tabla 34	Valores de Serviciabilidad	60
Tabla 35:	Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.....	62
Tabla 36	Coeficiente de Drenaje.....	62
Tabla 37	Criterios para mezcla del Método Marshall.....	63
Tabla 38	Datos para determinación de SN ₃	66
Tabla 39	Datos para determinación de SN ₂	66
Tabla 40	Datos para determinación de SN ₁	67
Tabla 41	Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular	70
Tabla 42	Consolidado de espesores de pavimento	72
Tabla 43	Tasas de peralte (e).....	78

Tabla 44 Bombeo normal	81
Tabla 45 Cuadro de replanteo de curva horizontal simple	85
Tabla 46 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.....	86
Tabla 47 Cotas curva vertical más crítica	90
Tabla 48 Resumen de criterios de diseño	91
Tabla 49 Consolidado de costo y presupuesto	99
Tabla 50. Presupuesto (Parte 1)	100
Tabla 51. Presupuesto (Parte 2)	101
Tabla 52. Puntos de Cambio (PL1-PL34).....	II
Tabla 53. Punto de Cambio (PI35-PL69).....	III
Tabla 54. Formato para Control de Aforo Vehicular	IV
Tabla 55. EMC San Marcos - Masatepe	V
Tabla 56. Peso por eje para vehículos livianos	VI
Tabla 57 Desviación Estándar (Zr)	VI
Tabla 58. Registro histórico ECD San Sebastián de Yalí-La Rica	VIII
Tabla 59. Factor de Equivalencia Eje Simple	IX
Tabla 60. Factor de Equivalencia Eje Doble	X
Tabla 61. Análisis granulométrico (SM1-SM6).....	XI
Tabla 62. Análisis granulométrico (SM7-SM11)	XII
Tabla 63. Límites de Consistencia	XIII
Tabla 64 Clasificación de suelos AASHTO	XIV
Tabla 65 Estudio de Suelos Banco de Materiales.....	XV
Tabla 66 Clasificación de las carreteras	XVII
Tabla 67 Dimensiones de los vehículos de diseño (metros).....	XVIII
Tabla 68 Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....	XVIII
Tabla 69 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.....	XIX
Tabla 70 Radio y grado de curvatura recomendados.....	XX
Tabla 71 Valores de Sobreancho (400-3000).....	XXI
Tabla 72. Valores de Sobreancho (70-300)	XXII
Tabla 73 Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio	XXIII
Tabla 74. Costos Directos (Parte 1).....	XXX
Tabla 75. Costos Directos (Parte 2).....	XXXI
Tabla 76 Costo unitario Movilización y Desmovilización.....	XXXII
Tabla 77 Costo unitario de Trabajos por administración.....	XXXII
Tabla 78 Costo unitario Abra y destronque	XXXIII
Tabla 79 Costo unitario Excavación en la vía	XXXIV
Tabla 80 Costo unitario Excavación en banco de préstamo selecto.....	XXXV
Tabla 81 Costo unitario sobre acarreo largo	XXXV
Tabla 82 Costo unitario de construcción de terraplén	XXXVI
Tabla 83 Costo unitario de capa base.....	XXXVII
Tabla 84 Costo unitario asfalto	XXXVIII
Tabla 85 Costo unitario de señales verticales	XXXVIII
Tabla 86 Costo unitario de marca reflectorizada continua (blanca)	XXXIX
Tabla 87 Costo unitario de marcas reflectorizadas continuas (amarilla).....	XXXIX
Tabla 88 Costo unitario de captaluces	XL

Tabla 89 Costo unitario de guarda vías	XL
Tabla 90 Costo unitario de postes guías	XLI
Tabla 91 Costo unitario de Cunetas revestidas tipo II	XLI
Tabla 92 Costo unitario de Plan de manejo ambiental	XLII
Tabla 93 Gastos generales	XLIII
Tabla 94 Gastos de operación.....	XLIV
Tabla 95 Gastos iniciales	XLV
Tabla 96 Gastos de oficina.....	XLV
Tabla 97 Salarios del personal administrativo	XLVI
Tabla 98 Servicios profesionales	XLVI
Tabla 99 Viáticos y transporte del personal	XLVII
Tabla 100 Otros gastos.....	XLVIII
Tabla 101 Imprevistos.....	XLVIII
Tabla 102. Curvas verticales del Tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre	XLIX
Tabla 103. Curvas horizontales (PI-1_ PI-30).....	L
Tabla 104. Curvas horizontales (PI-31_ PI-59).....	LI

AGRADECIMIENTO

A Dios, Padre Celestial, fuente de sabiduría, que nos ha concedido salud, inteligencia y nos ha permitido llegar hasta el final de nuestra carrera universitaria y poder culminar nuestra tesis satisfactoriamente.

María Santísima, nuestra madre, quien nos ha protegido en todo momento y en cada etapa de nuestra vida y de nuestro periodo de tesis, como intercesora ante su Hijo.

Nuestros Padres, quienes han brindado su apoyo incondicional desde siempre, para formarnos como persona y profesionales.

A Dr. Sergio Navarro, nuestro tutor y maestro, quien ha proporcionado su apoyo como guía en este proceso monográfico.

A Ing. José Luis Acuña, nuestro asesor y maestro, por su ayuda en cada etapa de preparación de la tesis.

A Ing. Porfirio Castillo, quien nos apoyó como guía en la realización del costo y presupuesto del proyecto.

A todos los docentes que nos instruyeron a lo largo de nuestra formación profesional.

DEDICATORIA

A **Dios**, Señor creador y todopoderoso, quien me ha proporcionado salud e inteligencia para poder aplicar en este proceso, todo lo que por su infinita voluntad he aprendido en mi formación académica.

A **Santa María de Guadalupe**, mi intercesora y consuelo en cada momento de mi vida.

A mi mamá **Tilma Gutiérrez**, persona incondicional y amorosa, mi formadora en valores y carácter, siempre apoyándome desde niño en cada proyecto de mi vida.

A mi papá **Oliver Rivera**, el ser más comprensivo y paciente, mi ayuda en todo momento. Junto a mi madre, me han permitido cumplir mis sueños.

Abuelita Tere, la persona que me enseñó mis primeras letras y números, con su ternura y amor incondicional, ha logrado convertirme en un ser humano de provecho.

Abuelo Timoteo, ejemplo a seguir en trabajo, servicio y honradez, el mejor abuelito del mundo.

A mi **abuelita Agustina**, por su cariño y siempre brindar su ayuda cuando la necesito.

A **Diego**, mi único hermano, quien siempre ha estado animándome y acompañándome en cada proyecto de mi vida.

Br. Oliver Josué Rivera Gutiérrez

DEDICATORIA

A Dios, Padre Celestial, que nos ha brindado salud, inteligencia y sabiduría para llevar a cabo cada una de las metas propuestas en el transcurso de este proceso académico, y desarrollo personal.

A nuestra Madre, la Santísima Virgen María, por ser nuestra intercesora ante su Hijo amado, de cada una de las peticiones que le realizamos a diario.

A mi madre, una mujer incondicional, siendo el pilar de mi formación y mi desarrollo personal y académico, brindando un ejemplo con sus valores, ética y transparencia, impulsándome a ser una persona de éxito en la vida.

A mi padre, una persona de valores, ética y transparencia, un ejemplo a seguir en el desarrollo profesional, formando parte de mi crecimiento intelectual y carácter, impulsando mis cualidades como persona y un futuro profesional.

A todos mis familiares, que han sido parte de mi crecimiento y desarrollo, viéndome crecer y corrigiendo mis acciones, permitiéndome continuar con mis metas personales y académicas.

A los diferentes profesores, que han estado involucrados desde mi infancia en mi desarrollo, proporcionándome sus conocimientos, los que me han permitido estar en esta instancia, y lograr ser un futuro profesional.

Br. Pedro Rafael Hurtado Soriano

DEDICATORIA

*Este trabajo monográfico es dedicado primeramente a **Dios Padre Celestial** por ser el dador de vida. A nuestro **Señor Jesucristo** su hijo y a la **Virgen Santísima**, por guiar mis pasos y brindarme el don de la sabiduría para emprender este camino.*

*A mis padres: **Edgar Manuel Hernández Rivera** y **Glenda Carolina Castillo Picado**; por darme su amor y comprensión; de igual manera por educarme y formarme en valores, ser mis pilares fundamentales que siempre estuvieron incondicionalmente en cada paso y etapa de mi vida dándome su apoyo, consejos y motivación a ser mejor cada día. A mi abuelita: **Irma del Rosario Picado Martínez**, mi ángel por siempre tenerme en sus oraciones y encomendarme a toda la corte celestial.*

*A mi tía: **Irma Jacqueline Castillo Picado**; por brindarme su amor y darme su apoyo incondicional en un momento que pase mucha dificultad, estando siempre al pendiente siendo ella ese motor que me enseñó, me motivó a luchar y no rendirme jamás ante la adversidad.*

*A mi primo: **Porfirio Noel Castillo Zeledón** parte fundamental de mi formación con sus consejos y enseñanzas en el campo de trabajo, por darme la oportunidad de realizar mis practicas pre-profesionales y profesionales de igual manera por apoyarme en momentos de dificultad y nunca decirme que no; al contrario, siempre recibí una respuesta positiva de su parte. Así mismo por aportar parte de su conocimiento en este trabajo respondiendo siempre con buena disposición a cada consulta que le hacíamos.*

*A mis docentes universitarios, que me ayudaron en formarme como profesional. En especial al **Ing. Luis Acuña**; por ser un amigo y apoyo durante este proceso. A nuestro tutor: **Dr. Sergio Navarro Hudiel**; por formar parte fundamental de este trabajo, exigirnos, apoyarnos y guiarnos a ser mejores profesionales.*

Br. Luis Ernesto Hernández Castillo

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño geométrico haciendo uso de civil 3D y de estructura de pavimento flexible de 5.0 kilómetros, ubicado en el departamento de Jinotega – Municipio de San Sebastián de Yalí, aplicando el método AASHTO-93.

CAPITULO I: GENERALIDADES

Se aborda las generalidades del proyecto como la ubicación, una breve introducción, antecedentes del lugar, la justificación de la importancia del diseño de los 5.0 kilómetros de pavimento flexible y objetivos planteados para conseguir con éxito su diseño final.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Se revisaron los resultados obtenidos en el estudio topográfico, proporcionado por la Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí, el cual de acuerdo al manual de Revisión de Levantamientos Topográficos del MTI se encuentra cumpliendo cada uno de los parámetros establecidos en el mismo. El estudio posee la caracterización planimétrica y altimétrica del tramo en estudio.

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

Se realizó un conteo vehicular en la estación 0+000 (inicio del proyecto) donde se obtuvo la caracterización del tráfico vehicular, con los datos captados se taso el TPDS (Tráfico Promedio Diario Semanal) calculándose a través de los datos recolectados en el conteo vehicular, que se hizo durante 7 días consecutivos 12 horas diarias, para estimar el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), donde se utilizó factores del Anuario de Tráfico del MTI 2019. Luego, se efectuó las correlaciones entre Producto Interno Bruto y el Censo poblacional con el TPDA, para obtener tasas de crecimiento y proyectar el tráfico actual, estimando un periodo de diseño para el cual se ha determinado el ESAL de diseño.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELOS

Se realizó sondeos manuales para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo en estudio, 11 sondeos que fueron ubicados cada 500 m con una profundidad de 1.5 m y luego las muestras de cada estrato se analizaron en el laboratorio.

Se interpretaron los resultados del estudio de suelos proporcionados por la alcaldía municipal, buscando conocer las propiedades físicas y mecánicas de los bancos de préstamo cercanos al proyecto, los cuales se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019, los ensayos realizados en base a las normas AASTHO permitieron determinar si se podía en la estructura de pavimento el suelo analizado en el laboratorio.

CAPITULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO

Se calculó los espesores de cada capa que forman el pavimento, para lo cual se utilizaron los parámetros de diseño como son: Ejes equivalentes de diseño (ESAL's), confiabilidad (R), serviciabilidad (P_o , P_t), desviación estándar (S_o), de igual manera el CBR de diseño el cual sirvió de base para obtener el módulo de resiliencia así mismo el valor de los coeficientes estructurales y el valor de los números estructurales.

CAPITULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO

Se utilizó el programa de Civil 3D con el apoyo de una plantilla en la cual se realizó el diseño horizontal y vertical, adoptando en el proyecto las Normas de Diseño mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2011).

Se definieron parámetros tal como; Radio Mínimo, distancia entre ejes, coeficiente de fricción longitudinal, Grado de curvatura máximo, pendiente transversal (%), distancia de visibilidad de parada (DVA); en función de la velocidad de diseño.

CAPITULO VII: COSTO Y PRESUPUESTO

Se presenta el detalle del costo directo e indirecto de la obra, de igual forma el análisis de los costos unitarios de cada sub etapa del proyecto, tomando en consideración el catálogo del FISE.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones sintetizan los resultados obtenidos de los estudios realizados para el diseño del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre. Las recomendaciones proporcionadas están en función a las normas NIC-2019, para llevar un control en una posible ejecución del tramo en el futuro.



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La construcción de vías óptimas tiene gran importancia en cualquier parte del mundo, ya que facilitan el traslado de las personas, así como la producción que se genera, y de esta manera, se garantiza el desarrollo socioeconómico, esto debido a que se ofrece un mejor acceso a las necesidades básicas.

Se ha realizado el diseño geométrico y estructura de pavimento flexible del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, tomando en consideración todos los parámetros que establece la Norma Centroamericana para diseño de pavimentos y la Norma Centroamericana para diseño geométrico de carreteras.

En el capítulo II se presenta la revisión del levantamiento topográfico, tomando en consideración el manual de Revisión de levantamientos topográficos del MTI.

En el capítulo III se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito, el cual se realizó tomando en consideración el aforo vehicular realizado en el tramo, para posteriormente proyectarlo al periodo de diseño y obtener la caracterización del flujo vehicular.

En el capítulo IV correspondiente al Estudio de suelos, el cual se obtuvo a partir de la realización de sondeos manuales para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que conforman el tramo. Además, se muestra el análisis y evaluación de los bancos de materiales.

El diseño de estructura pavimento, se realizó tomando en consideración el método AASHTO 93, establecido en el manual de diseño de pavimentos SIECA 2002. En el desarrollo del capítulo V se muestra detalladamente el procedimiento para la obtención de los espesores de conforman la estructura de pavimento flexible.

El diseño geométrico del tramo, se muestra en el capítulo V, el cual contiene cada uno de los parámetros de diseño de la norma para Diseño Geométrico SIECA 2011, modelando en el Software Civil 3D 2021.

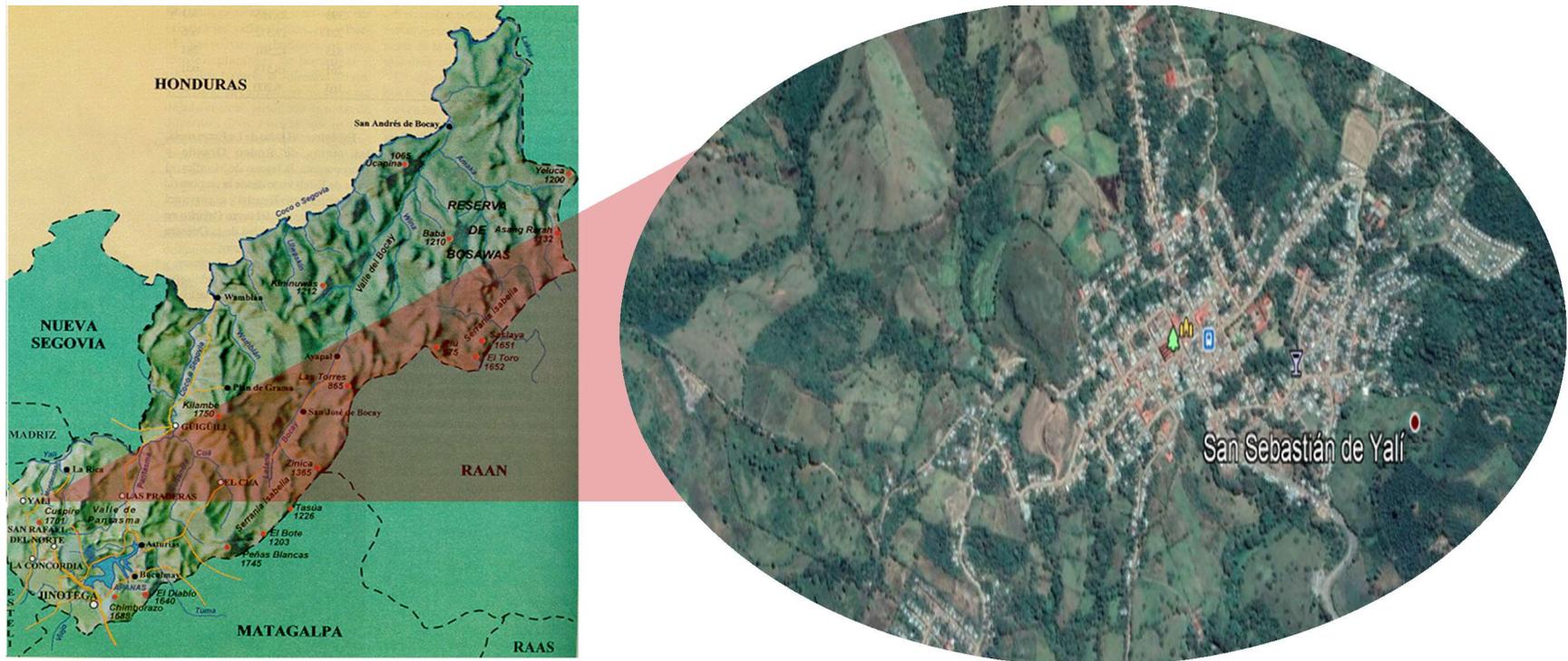
Se ha determinado el costo y presupuesto de la obra, el detalle se muestra en el capítulo VI, tomando en consideración el catálogo de etapas y subetapas del FISE.

1.1.1. Localización del tramo

1.1.1.1. Macro Localización

El municipio de San Sebastián de Yalí, se encuentra ubicado en las coordenadas 13°18'18.36" Norte 86°11'11.08" O perteneciendo al departamento de Jinotega (Ver Ilustración 1).

Ilustración 1 Macro localización del tramo en estudio, San Sebastián de Yalí – El Tigre, Departamento de Jinotega



Fuente: <https://www.google.com/maps/@13.3121385,-86.1841143,454m/data=!3m1!1e3>

1.1.1.2. Micro Localización

El proyecto se encuentra situado a 3.5 kilómetros del municipio de San Sebastián de Yalí y de la capital Managua a 190 kilómetros, la longitud del tramo es de 5 kilómetros desde el empalme de la salida norte de San Sebastián de Yalí EST. 0+000 hasta la comunidad El Tigre EST. 5+000 (Ver Ilustración 2).

Ilustración 2 Micro localización del tramo San Sebastián de Yalí – comunidad El Tigre



Fuente: <https://www.google.com/maps/@13.3121385,-86.1841143,454m/data=!3m1!1e3>

1.2. Antecedentes

Para el año 1995, con el financiamiento del BID y fondos Nacionales la empresa constructora LLANSA INGENIEROS S.A realizó una rehabilitación y mejoramiento del camino con una capa de revestimiento granular, así como también la construcción de cunetas revestidas de suelo – cemento, al año siguiente estas obras de drenaje realizaron su función, pero debido a la intensidad de las aguas provenientes de las lluvias comenzó el deterioro de las mismas y la pérdida de la capa de revestimiento formándose nuevamente pegaderos en épocas de invierno y la producción de polvo en el verano. (Méndez, 2014).

La Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí ha realizado mejoras del camino, las que consisten en la rehabilitación del tramo mediante el uso de material selecto en las partes que se complican en el tramo en cuestión. En el periodo de invierno que se efectúa cada año, las carreteras y caminos quedan destruidos; el tramo de camino que está comprendido entre San Sebastián de Yalí - El Tigre no es la excepción, el acceso al sector en periodo invernal es difícil, esto debido a que se registran crecidas de ríos y deslaves. (Herrera , 2015)

En el año 2015, se realizaron estudios hidrológicos para el mejoramiento del camino, CARE construyó vados en los sectores críticos del tramo. Sin embargo, se han deteriorado por el paso de las corrientes, generando ya problemas para poder moverse durante época lluviosa. (Ver anexos, Ilustración 17 pág. I)

Se realizó visita técnica al tramo y se observaron condiciones de difícil acceso en varias estaciones debido al paso de los huracanes ETA e IOTA que ocurrieron en el año 2020, no existen cunetas, presencia de charcos y de pequeñas vertientes de agua. (Ver anexos, Ilustración 18 pág. I)

En la estación 1+060 se encuentran curvas que carecen de un diseño apropiado y que dificulta la circulación de los vehiculos por la poca visibilidad entre curvas y que presenta riesgo para la ocurrencia de accidentes automovilísticos.

1.3. Justificación

La topografía de la zona, así como las condiciones que presentan el suelo y el clima actualmente no son aptas para el transporte y desarrollo, debido a que en el invierno se convierte en un riesgo movilizarse. Un diseño geométrico vial con todos los parámetros según normativa SIECA, permitirá reducir los riesgos, y proporcionará condiciones óptimas para que los usuarios la utilicen para trasladarse y así poder satisfacer sus necesidades.

El tramo en cuestión, trae como propósito efectos de desarrollo no lo solo para los habitantes de la comunidad El Tigre, sino beneficiar a pobladores de sectores aledaños, el bien que se procura, es un avance económico en los diferentes ámbitos productivos de la zona, brindando un acceso con facilidad en cualquier periodo del año.

El municipio de San Sebastián de Yalí se caracteriza por ser uno de los pioneros en comercio en el departamento de Jinotega, destacándose el café, granos básicos y bananos. Además, la ganadería es otro rubro que se da en esta zona, lo cual el diseño del tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre permitirá que los agricultores, ganaderos y comerciantes puedan trasladar sus mercancías hacia la cabecera municipal y departamental, y de esa manera aportar a mejorar y crecer la economía del país.

Una vez ejecutada la obra, se replantearán nuevas ideas de desarrollo, creación de pequeños negocios, mejor acceso a unidades de salud, escuelas y otros sitios de atracción de parte de los habitantes. Además, aumentará la plusvalía de todo el terreno aledaño al tramo de carretera.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento flexible del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, en el departamento de Jinotega, aplicando el método AASHTO – 93.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Revisar los resultados obtenidos en el estudio topográfico proporcionado por la Alcaldía Municipal San Sebastián de Yalí, con la finalidad de conocer las características del terreno donde se realizará el diseño geométrico del tramo, tomando en consideración el Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos del MTI.
- ❖ Realizar estudio de tránsito, para determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y los ejes equivalentes (ESAL's) para el periodo de diseño, aplicando los principios que se establece en el Manual de Revisión de Estudios de Tránsito del MTI, determinando la cantidad de ejes equivalentes de carga simple que circularán en la zona.
- ❖ Efectuar estudio geotécnico del tramo y de los bancos de materiales, determinando las propiedades físicas y mecánicas esenciales para el diseño de la estructura de pavimento, mediante la aplicación de las normas AASHTO y NIC 2019.
- ❖ Determinar los espesores de la estructura de pavimento flexible, que soportarán las cargas de diseño durante su vida útil, mediante el Método AASHTO – 93.
- ❖ Diseñar geoméricamente el tramo, para brindar seguridad vial y comodidad, aplicando las normativas del Manual para Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011), mediante el software Civil 3D 2021.
- ❖ Estimar el costo de la obra, para la evaluación de la viabilidad del proyecto, mediante la elaboración de Take Off y presupuesto, haciendo uso de guía de costos FISE.



CAPITULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Generalidades

Se define la TOPOGRAFÍA (del griego: *topos*, lugar y *graphein*, describir) como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación. (García Márquez, 1994)

En este capítulo se muestra el resultado del levantamiento topográfico realizado en el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, el cual fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí, departamento de Jinotega. Este estudio, permitió desarrollar el diseño geométrico del tramo, por lo que es de suma importancia conocer las condiciones actuales de la topografía del sitio.

2.2. Levantamientos topográficos

Los levantamientos topográficos se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. Proporcionan información detallada sobre las elevaciones y la ubicación de elementos naturales (edificios, caminos, corrientes, etc), de tal forma que es posible dibujar la información completa en planos topográficos. (McCormac, 1998)

El levantamiento topográfico en el tramo se efectuó con Estación Total modelo Sokkia Im-105, el cual se inició en la estación 0 + 000 (Empalme El Tigre) y finalizó en la estación 5 + 000 (Comunidad El Tigre), con coordenadas UTM WGS84 las cuales se detallan a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1 Coordenadas cartográficas del levantamiento

Comunidad	Est.	Coordenadas Cartográficas (UTM84-Zona 16N)		
		Este (X) (m)	Norte (Y) (m)	Elev. (Z) (m)
Empalme El Tigre	0+000	588538.8926	1471773.2648	907.134
Comunidad El Tigre	5+000	587108.5127	1474997.7076	1005.349

Fuente: Elaboración propia

El levantamiento topográfico se realizó a lo largo del tramo, tomando lectura de puntos en la banda central, banda derecha e izquierda, terreno natural, levantamiento de detalles y colocación de BM.

2.2.1. Planimetría

“Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo”. (García Márquez, 1994)

- **Alineamiento horizontal**

En el alineamiento horizontal, se levantaron las secciones transversales a cada 20 m, generando una nube de puntos a lo largo del tramo, conformado por lecturas en la banda derecha, banda izquierda y centro.

Se tomaron datos del terreno natural, tomando también en consideración puntos como casas, aceras, árboles, postes, etc. Los cuales han permitido tener mayor referencia del terreno.

Se muestran algunos puntos como ejemplo de los detalles levantados a lo largo del tramo, (observe Tabla 2):

Tabla 2 Levantamiento de detalles

Norte (m)	Este (m)	Elev. (m)	Descripción
1474243.39	586975.331	970	Anden
1473666.38	586607.796	1002.453	Casa
1473248.49	586892.635	1017.62	Árbol
1475088.27	587099.237	1020	Anden
1471777.86	588538.862	907.343	CT
1471773.27	588538.893	907.134	BI
1471765.7	588539.641	904.565	TN
1471783.19	588541.065	907.27	BD
1471758.74	588542.149	902.326	TN
1471778.03	588502.23	910.122	BM
1471789.32	588540.555	906.614	TN
1471748.52	588530.399	907.83	TN

Fuente: Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí

2.2.2 Altimetría

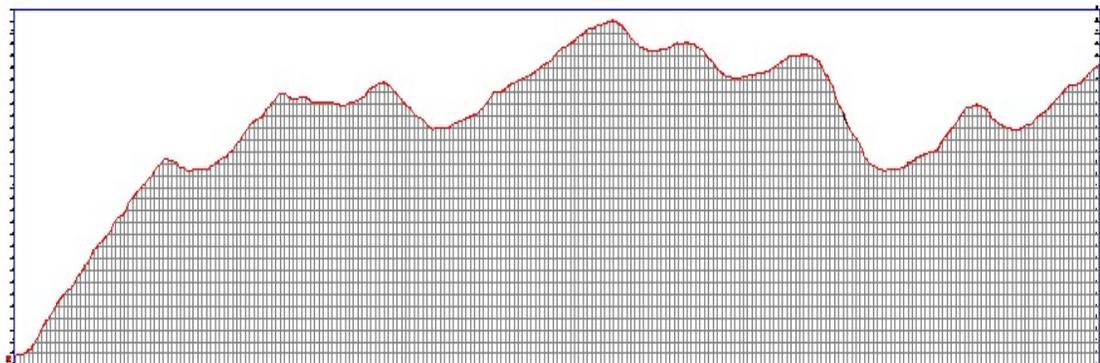
“Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente correspondiente al nivel medio del mar”. (García Márquez, 1994)

- **Perfil longitudinal**

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma, debido a este paralelismo, dicha proyección mostrara la longitud real del eje de la vía, denominado también rasante, aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importante y cotas de respectivas. (García Márquez, 1994)

Con los datos del levantamiento topográfico, se pudo generar el perfil longitudinal del tramo en estudio auxiliándose en el software Civil 3D 2021, el cual se muestra de forma gráfica en la Ilustración 3.

Ilustración 3 Perfil natural del terreno Est. 0+000 – 5+000 (Sin Escala)



Fuente: Elaboración propia

- **Establecimiento de BM**

“Objeto natural o artificial relativamente permanente, que tiene un punto fijo marcado, cuya elevación arriba o abajo de un plano de referencia adoptado se conoce o se supone”. (Wolf & Ghilani, 2016)

En el levantamiento topográfico del tramo en estudio, se establecieron 18 bancos de nivel, los cuales se muestran las coordenadas cartográficas en la Tabla 3, pág. 11.

Tabla 3 Bancos de Nivel (18)

Punto	Elevación	Norte	Este	Descripción
4161	909,12	1471778,03	588502,23	BM1
4189	927,95	1471880,87	588405,27	BM2
4601	939,49	1471997,69	588418,38	BM3
4602	952,50	1472115,70	588426,37	BM4
4603	967,70	1472274,47	588354,66	BM5
4604	974,26	1472424,49	588044,44	BM6
4605	993,58	1472699,69	587955,65	BM7
4606	992,41	1472886,23	587941,81	BM8
4609	993,65	1472946,56	587631,36	BM9
4610	995,54	1473111,87	587279,16	BM10
4611	1002,58	1473276,10	587172,79	BM11
4612	1019,97	1473262,88	586833,96	BM12
4613	1012,58	1473508,12	586663,42	BM13
4614	1002,44	1473754,33	586768,72	BM14
4615	992,24	1474020,45	587028,92	BM15
4616	976,02	1474423,23	586990,25	BM16
4617	990,03	1474852,90	586927,91	BM17
4618	1021,59	1475178,72	587192,62	BM18

Fuente: Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí

- **Puntos de Cambio**

“Los puntos de liga deben ser objetos sólidos con un punto elevado definido. Se toman dos lecturas de estadal en cada uno, una visual negativa seguida por una visual positiva. La selección cuidadosa de puntos de liga estables es esencial para alcanzar resultados exactos”. (Wolf & Ghilani, 2016)

Para poder llevar a cabo el levantamiento topográfico, se tuvieron que efectuar 69 puntos de cambio, los cuales se geo referencian en las Tablas 52-53. (Ver anexos, págs. II-III)

- **Pendientes**

La pendiente (llamada también porcentaje de inclinación), es el ascenso o descenso vertical en pies por cada 100 pies, o en metros por cada 100 m. (Wolf & Ghilani, 2016)

La topografía del tramo de San Sebastián de Yalí – El tigre, considerando a la SIECA (2011), que muestra clasificación del tipo de terreno de acuerdo a las pendientes, se clasifica como un terreno tipo montañoso, ya que las pendientes máximas se encuentran en el rango entre 15-30 % (Ver Tabla 5), en base a la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los terrenos en función de las 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.

Tabla 5. Pendientes del terreno

Tabla de Pendientes				
Número	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color	Área
1	0.00%	5.00%		38890.87
2	5.10%	15.00%		91407.92
3	15.10%	30.00%		113885.01

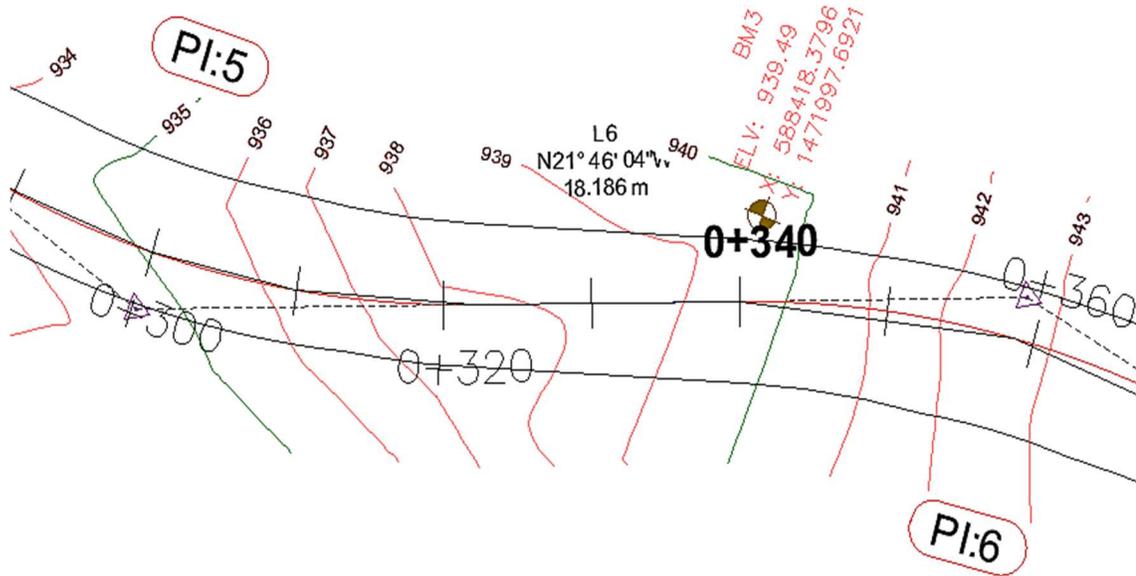
Fuente: Elaboración propia

- **Curvas de nivel**

Una curva de nivel, es 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)

En la Ilustración 4, pág. 13, se muestran las curvas de nivel generadas en el software Civil 3D 2021, representando el terreno accidentado del tramo.

Ilustración 4 Curvas de Nivel (Tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre) Sin Escala



Fuente: Elaboración propia

2.3. Características de la topografía

La topografía del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, es considerado como montañoso debido a las pendientes predominantes a lo largo del tramo que se encuentran entre 15 -30 %.

El tramo es bastante sinuoso, tiene curvas horizontales que no presentan un diseño adecuado. Existe presencia de muchos abismos a lo largo del tramo.

En algunas partes el ancho de la calzada actual oscila entre 5 y 6 m, por lo cual en ciertos tramos no hay suficiente espacio de circulación. No presentan peralte la mayoría de las curvas ni bombeo en las secciones transversales para el escurrimiento de las aguas superficiales.

2.4. Evaluación del levantamiento topográfico

Se muestra la evaluación del estudio topográfico proporcionado, tomando como referencia los criterios establecidos por el Manual de Revisión de Estudios Topográficos del Ministerio de Transporte e Infraestructura. (Ver Tabla 6, pág. 14)

Tabla 6 Evaluación del Levantamiento Topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Trabajos Topográficos control de gabinete		
Determinación de Coordenadas del Proceso de Georreferenciación.	Sí	
Transferimiento de datos crudos de campo en archivo.	Sí	
Determinación de Coordenadas Geodésicas.	Sí	
Se determinó Factor de Escala.	Sí	
Control-Cálculo del Proceso de Levantamiento - Medición de Circuitos de Poligonal Línea Base.	Sí	
Se transfirieron datos de campo de Poligonales de la Estación Total a PC para archivos ".txt"	Sí	
Verificación de datos de archivos ".txt" con datos de Libretas de campo de cada circuito de Poligonal.	Sí	
Se obtuvieron los datos verdaderos correspondientes a las distancias y acimut de cada lado de la poligonal de cada circuito de Línea Base.	No	Se generaron datos en Civil 3D
Levantamiento-Medición de la Planialtimetría transversal del camino.		
El Seccionamiento transversal del camino se realiza distanciado conforme lo establecido en los Términos de Referencia.	Sí	
El Seccionamiento transversal del camino se realiza detallando toda la infraestructura existente dentro de la franja del camino establecida en los términos de referencia	Sí	
Se está utilizando puntos auxiliares para la toma de puntos incomodos y se realizan controles de llegada en cada punto de la Línea Base en coordenadas y elevación.	Sí	
El montaje de los datos del seccionamiento transversal se detalla en libreta topográfica de campo con los respectivos esquemas y números de códigos de cada detalle.	Sí	
Durante el levantamiento del seccionamiento se detallan el eje del camino, orillas de borde, cunetas, cercas del derecho de vía y divisiones de propiedades, Nombres de Propietarios, arboles de grosor mayor a los 15 cm, taludes, sondeos de línea, postes del tendido eléctrico y telefónico y demás detalles existentes en la vía,	Sí	
Revisión de Planos Topográficos y Resultados del diseño de la Geometría de la Vía.		
Se generan los planos topográficos de la Planimetría.	No	Se entregó nube de puntos
Revisión de la configuración topográfica de las curvas de nivel a intervalos de 0.50 mt.	Si	
Revisión de la trayectoria geométrica de la vía.	Si	
Revisión del contenido de la información de sondeos de línea ubicados en la superficie de rodamiento.	Si	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos



CAPITULO III
ESTUDIO DE
TRÁNSITO

3.1. Generalidades

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito realizado en el tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre. En base a dicho estudio, se realizó la proyección del tráfico para un período de diseño de 15 años, determinando una tasa de crecimiento vehicular. en base al PIB y el crecimiento poblacional.

El ESAL de diseño, se realizó con referencia a la proyección del tráfico, cuyos datos obtenidos influyen directamente en el diseño de espesores de pavimento de acuerdo a las solicitudes de carga.

3.2. Información base

Para obtener la cantidad de vehículos que circulan en el tramo, se realizó un aforo vehicular durante una semana, con fecha comprendida del 22 al 28 de febrero de 2021, con un periodo de tiempo de doce horas diarias, (6:00 am a 6:00 pm). Para la recopilación de datos del flujo vehicular, se implementó el formato de aforo presentado en el anuario estadístico del MTI 2019. (Ver anexos Tabla 54, pág. IV)

En el aforo vehicular, se tomaron en cuenta los dos sentidos de la vía, teniendo como punto de inicio la Estación 0+000 del tramo en estudio, la estación más cercana, es la Estación de Corta Duración 3503, San Sebastián de Yalí – La Rica, la cual tiene código NIC 35D y que a su vez pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe. (Ver anexos, Tabla 55, pág. V)

Con el aforo vehicular, se define el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), se proyecta y se obtiene el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), esto mediante la implementación del factor día y factor expansión, que son obtenidos del anuario estadístico del MTI 2019, como se puede observar en la Tabla 10, pág. 24.

Se definen el número de ejes con su peso respectivo para cada tipo de vehículo presentado. (Ver anexos, Tabla 56 e Ilustración 19, págs. VI-VII)

3.1.1. Tipos de vehículos

Los tipos de vehículos que se describen a continuación, son los que transitaron en el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre durante el periodo que se realizó el aforo vehicular. La División de Administración Vial, en el Anuario de Aforo de Tráfico (MTI 2019), los describe de la siguiente manera:

Motocicleta: Incluye todo tipo de motocicletas, tales como: minimitos, cuadraciclos, mototaxis, etc.

Automóvil: Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que se puede mencionar: vehículos cope y station wagon.

Jeep: Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4, en diferentes tipos de marcas, tales como: TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, etc.

Camionetas: Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros, y aquellas que por su diseño están destinadas a trabajos de carga.

Microbus: Se considera como microbus a aquellos que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.

Bus: Se consideran como todos tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor a 30 pasajeros sentados.

Liviano de Carga (C2<4TON): Son los vehículos que su peso máximo es de 4 toneladas o menores a ella.

C2>5TON: Se consideran aquellos camiones tipo C2 (2 ejes), cuyo peso es mayor a las 5 toneladas

C3: Son aquellos camiones con 3 ejes, denominados C3, con un peso superior a las 5 toneladas.

3.2.2. Clasificación vehicular por sus ejes

La constante circulación de vehículos sobre el pavimento en el periodo al cual ha sido diseñado, conlleva a producir un amplio espectro de ejes de carga, con una distancia entre ejes diferentes debido al tipo de vehículo, originado así, una gran variedad de esfuerzos y deformaciones en un determinado punto de la estructura.

Para clasificar el vehículo de acuerdo al número y disposición de sus ejes, se presenta el Diagrama de Cargas Permisible. (Ver anexos, Ilustración 19 Pág. VII)

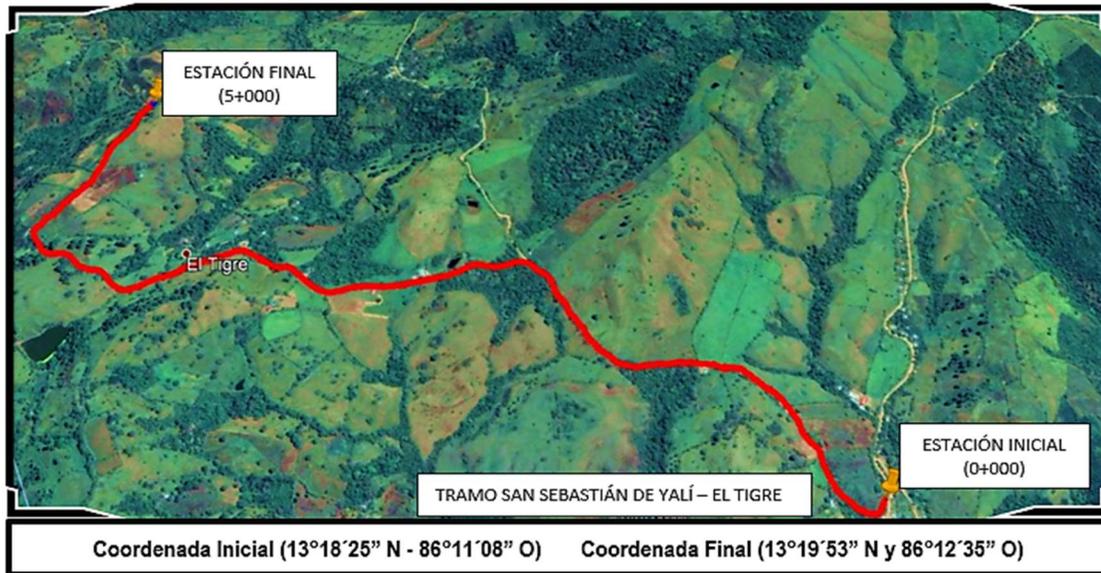
3.3. Estación de conteo vehicular

Las estaciones de conteo, acorde a lo que se especifica en el Anuario de Aforos de Tráfico (2019), se dividen en los siguientes:

- ❖ Estaciones de Mayor Cobertura (EMC): Son las estaciones de conteo continuos los 365 días al año con conteos clasificados 24 horas por día, pero por el costo de la ejecución, el Ministerio divide el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), que no es más que el promedio de los periodos.
- ❖ Estaciones de Corta Duración (ECD): Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores a de 300 TPDA.
- ❖ Estación de Conteo Sumaria (ECS): Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA. (Pág. 9).

El conteo vehicular, se llevó a cabo en la Estación 0+000, inicio del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre; mismo que inicia en las coordenadas: 13°18'25" N y 86°11'08" O. dicha sección del tramo se seleccionó para realizar el aforo vehicular, ya que permite captar el 100% del tráfico que circula en los dos sentidos de la vía. El tramo en cuestión, finaliza en la Estación 5+000, cuyas coordenadas son las siguientes: 13°19'53" N y 86°12'35" O, observe la Ilustración 5, pág. 19.

Ilustración 5. Vista satelital del tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre



Fuente: <https://www.google.com/maps/@13.3121385,-86.1841143,454m/data=!3m1!1e3>

3.4. Datos de campo

La información recopilada en el aforo vehicular, permite comprender el tráfico en el sector en estudio, esto mediante, la composición vehicular que circuló en la semana de conteo. (Ver Tabla 7, pág. 20)

3.5. Resultados obtenidos

3.5.1. Aforo vehicular

Coronado Iturbide (2002), especifica que un aforo vehicular, es un censo que se efectúa para llevar el control de volúmenes de tránsito para una carretera determinada, con el propósito de evaluar la información recopilada para tener registros de un posible incremento o disminución del flujo vehicular en años futuros.

Con los datos recolectados en el aforo manual de observación directa, que inició el Lunes 22 de febrero de 2021 y finalizó, el Domingo 28 de febrero del mismo año, se contabilizaron las cantidades de vehículos que transitaron en el tramo en estudio acorde a su clasificación vehicular, como se puede apreciar en la Tabla 7 pág. 20.

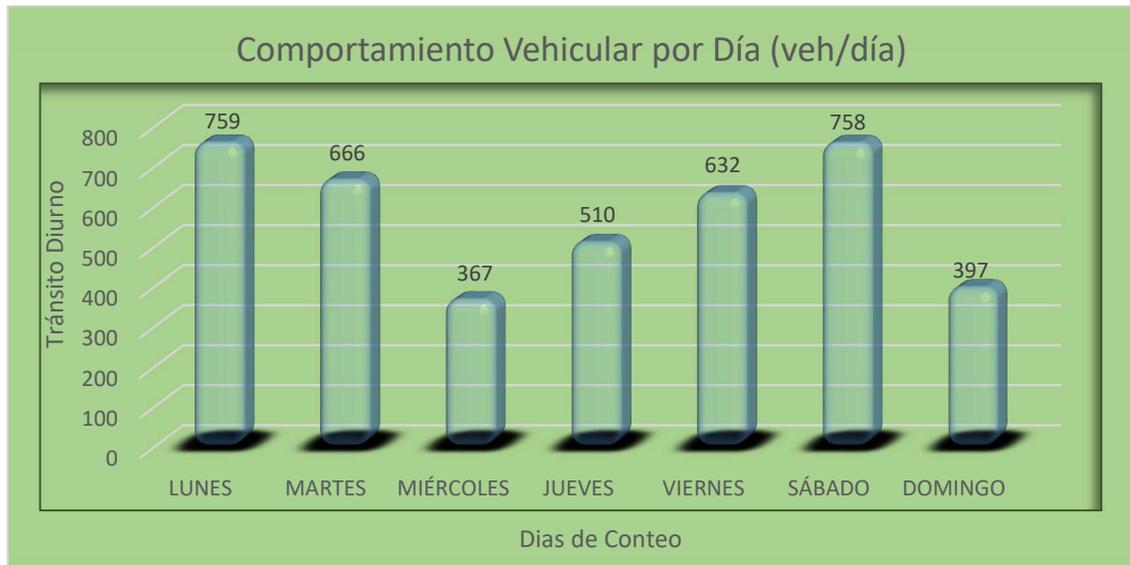
Tabla 7. Aforo vehicular del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre

Tramo: San Sebastián de Yalí - El Tigre		Sentido: San Sebastián de Yalí - El Tigre									
Ubicación: 0+000		El Tigre - San Sebastián de Yalí									
Fecha	Día	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga			Total Veh. 12 Hrs.
		Motos	Autos	Jeep	Camionetas.	Mini Bus	Bus	Liviano de Carga	C2	C3	
22-feb-21	Lunes	457	6	0	189	0	8	44	48	7	759
23-feb-21	Martes	384	2	0	191	3	8	29	35	14	666
24-feb-21	Miércoles	157	6	3	132	2	8	22	29	7	367
25-feb-21	Jueves	167	18	6	231	0	8	31	28	21	510
26-feb-21	Viernes	294	4	0	224	0	8	51	44	7	632
27-feb-21	Sábado	205	6	0	440	0	8	66	19	14	758
28-feb-21	Domingo	177	0	1	172	0	0	15	29	3	397
Total/Veh.		1,841	42	10	1,579	5	48	258	232	73	4,089
Total		3,477					612				4,089
Veh. /12hrs. % por tipo		45.02	1.03	0.24	38.62	0.13	1.18	6.31	5.67	1.79	100%
		85.04%					14.96%				100%
		% Vehículos Livianos					% Vehículos Pesados				

Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 1, presenta el comportamiento del flujo vehicular en la semana de conteo, reflejando los días de mayor circulación en el tramo; el día Lunes con 759 vehículos, siendo el día de mayor volumen vehicular presentado, seguido por, Martes y Sábado, con un flujo vehicular de 666 y 758 respectivamente.

Gráfico 1. Comportamiento vehicular por día



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Determinación del Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

El Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), se determinó realizando un promedio de los resultados obtenidos en el aforo vehicular, teniendo en cuenta los dos sentidos de la vía, los resultados se detallan en la Tabla 8, reflejando un valor de 587 vehículos por día.

Tabla 8. Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

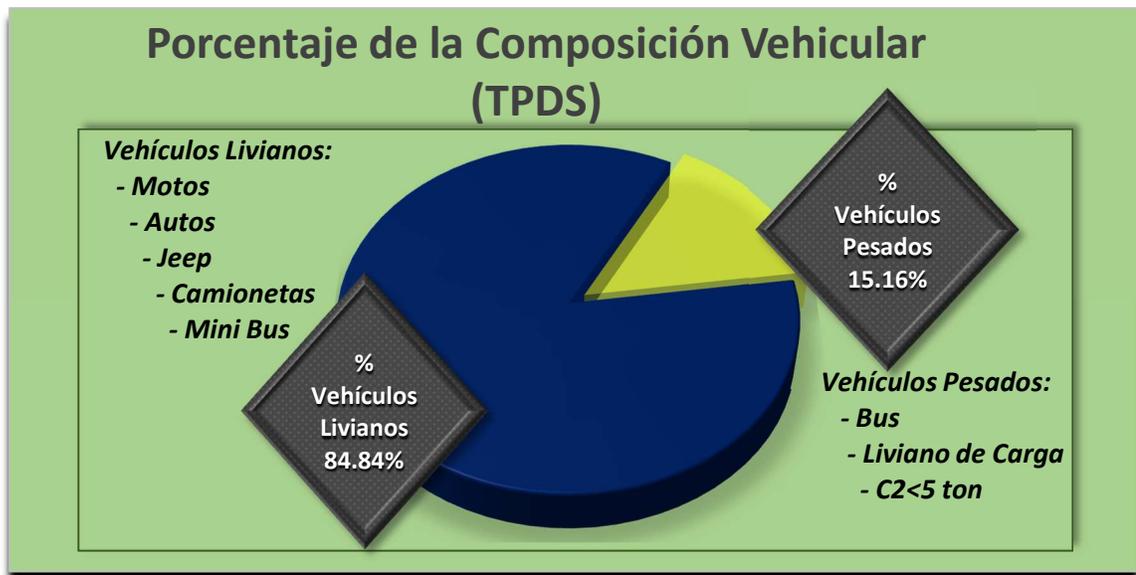
	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga			Total
	Motos	Autos	Jeep	Ctas.	Mini Bus	Bus	Liv Carga	C2	C3	
TPDS	263	6	2	226	1	7	37	34	11	587
Total	498						89			587
%	44.80	1.02	0.34	38.50	0.17	1.19	6.30	5.79	1.87	100%
	84.84%						15.16%			100%
	% Vehículos Livianos						% Vehículos Pesados			

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1. Composición vehicular del TPDS

Al analizar los datos recolectados en el aforo vehicular, se define el valor de Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) de 587 vehículos por día, que acorde a la clasificación vehicular, se divide de la siguiente manera: el 84.84% corresponde a vehículos livianos (motocicleta, automóvil, jeep, camioneta, mini bus), y el 15.16% a los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3), dicho resultado se muestra ilustrado en el Grafico 2.

Gráfico 2. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPDS



Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

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, Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales, 2007)

Basado en lo establecido en el Anuario de Aforos de Tráfico (2019), es necesario tener en consideración diferentes vectores, tales como: vector geográfico y vector volumen.

En la Tabla 9, se presenta la clasificación que corresponde al vector geográfico, para el tramo en estudio San Sebastián de Yalí – El Tigre, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Jinotega.

Tabla 9. Vector Geográfico

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

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Para dicho tramo, se implementa la Estación de Corta Duración 3503 San Sebastián de Yalí – La Rica, perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos – Masatepe, (Ver anexos Tabla 55, pág. V). Acorde con lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2019), la ECD se aplicará cuando el vector volumen está comprendido en el rango de 300 a 5,000 vehículos por día.

Para la obtención del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es necesario tener en cuenta el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, dichos factores, deben ser identificados en el anuario estadístico del MTI (2019), teniendo en cuenta la estación de conteo más cercana al tramo en estudio, identificada como la ECD 3503 San Sebastián de Yalí – La Rica, siendo esta seleccionada, por ser la estación geográficamente más cercana.

En la Tabla 10, se aprecian los factores implementados para realizar la expansión de TPDS a TPDA, en el que se selecciona los valores que corresponden al Conteo 1, ya que estos pertenecen al primer cuatrimestre del año, acorde a los registros del conteo realizado por el MTI, y el aforo vehicular en estudio, se realizó en la última semana del mes de febrero, cumpliendo con el periodo que lo rige.

Tabla 10. Factores de Expansión a TPDA Primer Cuatrimestre (Enero-Abril)

Descripción	Moto	Auto	Jeep	Cta.	Mc. Bus	Mn. Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3
Factor Día	1.48	1.39	1.34	1.29	1.39	1.21	1.38	1.25	1.25	1.18
Factor Semana	0.96	1.07	1.08	1.04	0.98	0.97	0.97	0.93	0.89	0.90
Factor Fin de Semana	1.11	0.86	0.84	0.91	1.06	1.09	1.10	1.25	1.47	1.36
Factor Expansión a TPDA	0.98	0.94	1.02	0.97	0.96	0.99	0.96	0.98	0.84	0.69

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Basado en lo que plantea el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2019), el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es calculado por la Ecuación 1, que se define a continuación:

$$TPDA = TP(D) * fd * fe \quad \text{Ec-1. Tomada de MTI (2019)}$$

Donde:

TP(D): Es el tránsito promedio diurno, equivalente al Tráfico Promedio Diario Semanal, cuando se afora la semana completa durante las 12 horas.

fd: Factor día.

fe: Factor expansión.

La Tabla 11, pág. 25, refleja el resultado obtenido de expansión del TPDS A TPDA, esto al implementar la Ecuación 1, expresando un resultado de proyección para cada tipo de vehículo, y a su vez, un valor general de TPDA de 779 vpd (vehículos por día).

Tabla 11. Tráfico Promedio Diario Anual (San Sebastián de Yalí – El Tigre) 2021

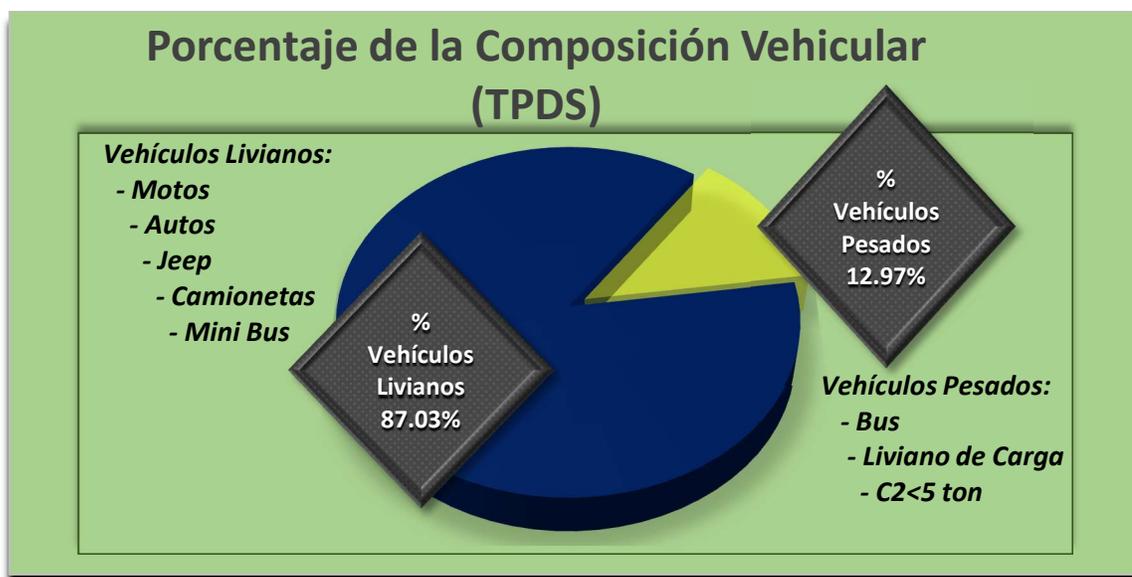
	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga			Total
	Motos	Autos	Jeep	Ctas.	Mini Bus	Bus	Liv de Carga	C2	C3	
TPDS	263	6	2	226	1	7	37	34	11	587
Factor ajuste	1.48	1.39	1.34	1.29	1.21	1.38	1.25	1.25	1.18	
Factor expansión	0.98	0.94	1.02	0.97	0.99	0.96	0.98	0.84	0.69	
TPDA	382	8	3	283	2	10	46	36	9	779
Total	678						101			779
%	49.04	1.03	0.39	36.33	0.26	1.28	5.91	4.62	1.16	100%
	87.03%						12.97%			100%
	% Vehículos Livianos						% Vehículos Pesados			

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.1. Composición vehicular del TPDA

A partir de los resultados obtenidos de la expansión de TPDS a TPDA, se determina la composición vehicular de forma porcentual, la que se conforma de la siguiente manera: de los 779 vpd, el 87.03% correspondiente a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, mini bus) y el 12.97%, se expresa en los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3), observe Gráfico 3.

Gráfico 3. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes de vehículos livianos y pesados del TPDA para el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre son; 87.03% y 12.97% respectivamente, en comparación con los valores de la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos Masatepe, existe una leve variación, ya que los valores que la caracterizan son 90.6% para los vehículos livianos y 9.3% para los vehículos pesados. Cabe mencionar, que los porcentajes de vehículos del tramo en estudio, presentan similitudes con la Estación de Mayor Cobertura 401 Masaya – Granada. (Observe Tabla 12)

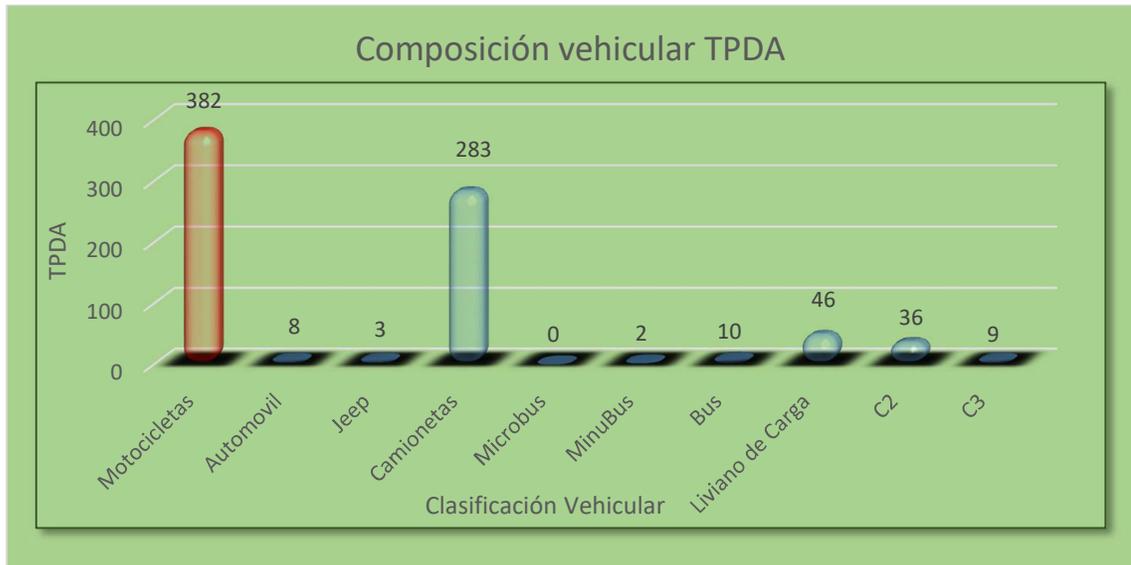
Tabla 12. Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura

EST.	Nombre de Tramo	TPDA	% de Liviano	% de Pesados
101B	Zona Franca - La Garita	23,582	78.10	21.80
1205	Emp. Chichigalpa-Rot. Chinandega	11,010	75.20	24.50
200	Entrada INCAE-El Crucero	9,825	85.00	14.90
401	Masaya - Granada	9,635	87.70	12.10
1802	San Marcos - Masatepe	9,178	90.60	9.30
107	Sébaco-Emp. San Isidro	7,802	76.80	22.90
300	Sébaco - Quebrada Honda	6,238	77.00	22.80
2404	Chinandega - Corinto	5,994	67.10	32.60
2803	Nagarote-La Paz Centro	5,706	62.80	36.80
2400	Rot. Chinandega-Rancheria	4,301	81.30	17.20
700	Emp. Camoapa-tecolostepe	3,355	64.10	35.50

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI 2019. Pág. 13

El Gráfico 4, pág. 27, ilustra, que la mayor incidencia que presenta la proyección del TPDA, son las motocicletas, con una cantidad de 382, seguida por las camionetas con 283, y 46 que corresponden a los livianos de carga (C2<5ton).

Gráfico 4. Composición vehicular TPDA (San Sebastián de Yalí – El Tigre)



Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Tasas de Crecimiento

Acorde a lo que especifica el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2019), las tasas de crecimiento, se implementan con el propósito de considerar datos estadísticos de conteos previos. Es un proceso investigativo, que involucra los diferentes volúmenes de tránsito (TPDA), y su comportamiento, para así, no presentar ningún distorsionamiento por factores locales, al momento de realizar una proyección para un diseño de pavimento.

3.5.4.1. Determinación de la Tasa de Crecimiento

Las tasas de crecimiento varían acorde a los indicadores que se toman en cuenta, por ende, las variables a considerar son la que se describen a continuación; el Producto Interno Bruto (PIB), considerado por ser un factor socioeconómico, el crecimiento poblacional, y los registros históricos de conteos vehiculares, cabe destacar, que se toman los valores de la estación más cercana al tramo en estudio (San Sebastián de Yalí – El Tigre), la cual es, la Estación de Corta Duración 3503, San Sebastián de Yalí – La Rica, dicho registro histórico, se presenta en la última versión del anuario estadístico del MTI (2019). (Ver anexos Tabla 58, pág. VIII).

El Banco Central de Nicaragua, realiza publicaciones de anuarios estadísticos, en los que presentan información de los principales sectores económicos del país, generando así, que se establezca una idea del comportamiento económico. (Banco Central de Nicaragua, 2021), a su vez, detalla el crecimiento poblacional.

Con los registros históricos publicados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y el Banco Central de Nicaragua (BCN), se definen los valores de las variables a considerar para cada una de los años. (Ver Tabla 13)

Tabla 13. Registro Histórico del TPDA (ECD 3503), PIB Y Crecimiento Poblacional

Año	TPDA ECD 3503	PIB	POB
1999	143	26008.9103	5016.8900
2000	-	27075.6892	5098.0300
2001	-	27877.3580	5173.9267
2002	168	28087.5362	5244.6943
2003	-	28795.5480	5312.7498
2004	-	30325.2166	5380.5104
2005	-	31623.8632	5450.3930
2006	146	118837.7102	5637.9650
2007	-	124870.3307	5707.9380
2008	-	129160.5218	5778.7790
2009	342	124907.6983	5850.4990
2010	-	130416.2516	5923.1090
2011	-	138654.2361	5996.6220
2012	-	147661.4045	6071.0480
2013	-	154936.8209	6134.3000
2014	-	162351.2607	6198.1540
2015	388	170093.1572	6262.7070
2016	-	178017.3879	6327.9270
2017	-	186670.9822	6393.8240
2018	-	179873.3000	6460.0000
2019	500	173264.3000	6527.7000

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (MTI 2019) y Banco Central de Nicaragua (BCN 2020)

Para definir las tasas de crecimiento de las variables, se especifican los valores de la Tabla 13, en transformaciones logarítmicas (Ver Tabla 14, pág. 29), permitiendo este modelo matemático, realizar las rectas de regresión, calculando así, el coeficiente de correlación de cada una de las variables.

Tabla 14. Transformaciones Logarítmicas (LN) de los Registros Históricos

Año	LN TPDA ECD 3503	LN PIB	LN POB
1999	4.9628	10.1662	8.5206
2000	-	10.2064	8.5366
2001	-	10.2356	8.5514
2002	5.1240	10.2431	8.5650
2003	-	10.2680	8.5779
2004	-	10.3197	8.5905
2005	-	10.3617	8.6034
2006	4.9836	11.6855	8.6373
2007	-	11.7350	8.6496
2008	-	11.7688	8.6619
2009	5.8348	11.7353	8.6743
2010	-	11.7785	8.6866
2011	-	11.8397	8.6990
2012	-	11.9027	8.7113
2013	-	11.9508	8.7217
2014	-	11.9975	8.7320
2015	5.9610	12.0441	8.7424
2016	-	12.0896	8.7527
2017	-	12.1371	8.7631
2018	-	12.1000	8.7734
2019	6.2146	12.0626	8.7838

Fuente: Elaboración propia

Con las transformaciones logarítmicas (LN) definidas en la Tabla 14, se realizan las correlaciones de las variables apreciadas, en las que se analizan las líneas de tendencias de los valores de las misma con respecto al tiempo, permitiendo así, brindar un porcentaje de correlación, y la tasa de crecimiento para cada una de ellas, para ello, se hace uso de la Ecuación 2:

$$y = mx + b \quad \text{Ec. 2 - Tomada de Anderson, Sweeney, \& Williams (2008)}$$

Donde:

y: Variable dependiente

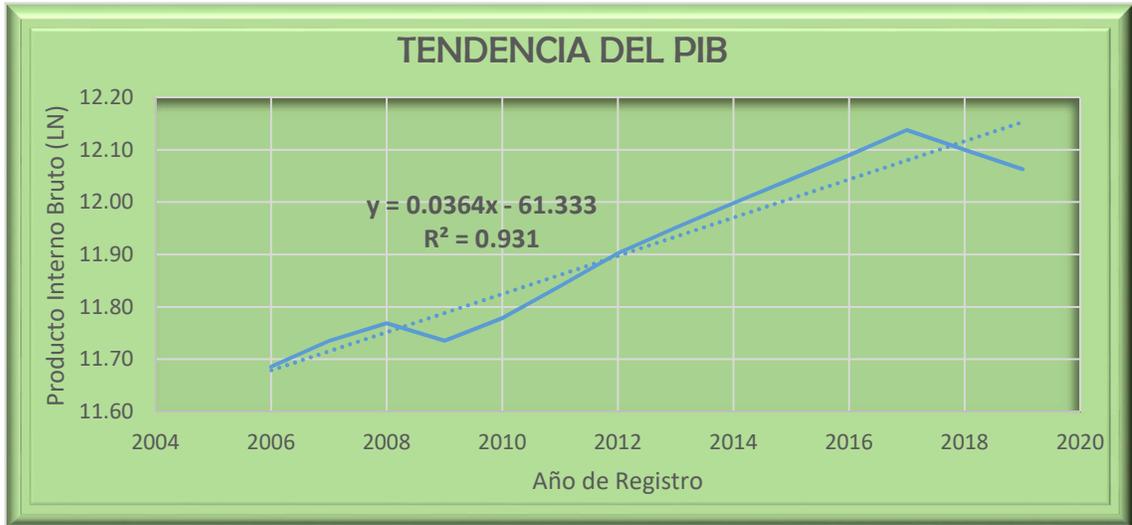
m: Pendiente de la recta (tasa de crecimiento de la variable)

b: Intersecto de la ordenada

En el Gráfico 5, pág. 30, el PIB presenta un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9310$, es decir, 93.10%, por lo que es, una correlación excelente, y muestra una tasa de

crecimiento promedio anual del 3.64%, dicho valor se obtiene de interpretar la Ecuación 2, pág. 29.

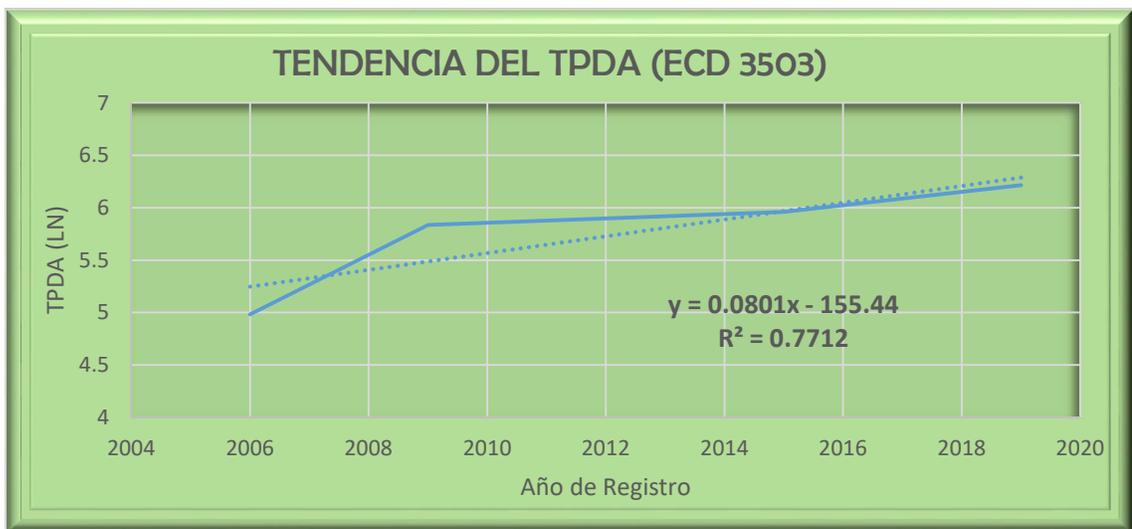
Gráfico 5. Línea de tendencia del PIB



Fuente: Elaboración propia

Los datos de la ECD 3503, San Sebastián de Yalí – La Rica, tienen un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.7712$, es decir, una correlación del 77.12%, y a la vez, presenta una tasa de crecimiento promedio anual del 8.01%, (Ver Gráfico 6)

Gráfico 6. Línea de Tendencia del TPDA (ECD 3503)



Fuente: Elaboración propia

Los datos del crecimiento poblacional, presentan un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.9981$, expresando así, una correlación excelente del 99.81%, y reflejando una tasa de crecimiento promedio anual del 1.12%. (Ver Gráfico 7)

Gráfico 7. Línea de Tendencia del Crecimiento Poblacional



Fuente: Elaboración propia

Cada variable analizada, presentó valores de correlación aceptable en relación al factor tiempo, especificando la tasa de crecimiento promedio anual para cada en la Tabla 15.

Tabla 15. Tasa de crecimiento para las variables

Variable	Coefficiente de Correlación	Tasa de Crecimiento (%)
PIB	0.9310	3.64
TPDA (ECD 3503)	0.7712	8.01
Crecimiento Poblacional	0.9981	1.12

Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2. Tasa de crecimiento vehicular

Las tasas de crecimiento anual para las variables se definieron mediante correlaciones, resultando valores de 8.01% para el TPDA de la ECD 3503, San

Sebastián de Yalí – La Rica, para el PIB un valor de 3.64% y el crecimiento poblacional de 1.12%.

Para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, se realizó un promedio de las tasas que corresponde al PIB y crecimiento poblacional, ya que la tasa del TPDA de la ECD 3503, no es tomada en cuenta, por ser un valor demasiado alto con respecto a la del PIB, que es el que rige a nuestro país, demostrando el cálculo a continuación:

$$TC = \frac{TC_{PIB} + TC_{POB}}{n}$$
$$TC = \frac{3.64\% + 1.12\%}{2}$$
$$TC = 2.38\%$$

La tasa de crecimiento vehicular a implementar en el tramo en estudio, es de 2.38%.

3.5.5. Tránsito de diseño

Acorde con Montejo Fonseca (2002), el Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 3.

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365$$

Ec-3 Tomada de Cal y Mayor (2019)

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor Dirección.

fc: Factor Carril.

3.5.5.1. Periodo de diseño

Según Coronado Iturbide (2002), el periodo de diseño, es el tiempo 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 desproporcionadamente.

El periodo de diseño, se recomienda acorde al tipo de carretera, para ello, observe la Tabla 16, en la que se parecían diferentes tipos de carreteras con su periodo de diseño recomendado; para el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, por ser una colectoras rural (seleccionado por estar en la zona rural del municipio de San Sebastián de Yalí, y por tener un TPDA de 779 vpd, acorde a lo que especifica la SIECA (2002), ver anexos, Tabla 69 pág. XIV), se propone un periodo de diseño de 15 años.

Tabla 16. Periodo 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: Propia: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA 2002. Capítulo 7, pág. 3.

3.5.5.2. Factor de Crecimiento

SIECA (2002), especifica que es uno de los factores involucrados en la expansión del TPDA al tráfico proyectado es el periodo de diseño, a su vez, involucra la tasa de crecimiento vehicular; para obtener el factor de crecimiento, se implementa la Ecuación 4.

$$F_c = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) \quad Ec-4 \text{ Tomado de SIECA (2002)}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento

i: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño

El factor de crecimiento que se emplea, está en función a la tasa de crecimiento vehicular. (Ver Tabla 17).

Tabla 17. Factor de crecimiento

Tasa de Crecimiento	Factor de Crecimiento
2.38 %	17.78

Fuente: *Elaboración propia*

3.5.5.3. Factor Distribución por Dirección

Coronado Iturbide (2002) y SIECA (2011), especifican que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular; en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra dirección, esto para una vía de dos carriles, por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio.

3.5.5.4. Factor Distribución por Carril

AASHTO 93 (2001), especifica que el factor distribución por carril, corresponde al carril de diseño, el cual es el que recibe el mayor número de ESAL's. El tramo en estudio, presenta dos carriles en la vía, por lo que cualquiera puede representar el carril de diseño, ya que ambos canalizan forzosamente el tránsito por dirección.

En la Tabla 18, se presenta el factor de distribución por carril, esto considerando las cantidades de carriles en una sola dirección, seleccionando así, el factor de distribución por carril para el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre con un valor de 1.

Tabla 18. Factor Distribución por Carril

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

Fuente: *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 93. Pág. 58.*

Con los diferentes factores definidos, se calcula el Tránsito de Diseño (TD) para el carril correspondiente, aplicando la Ecuación 3, pág. 32. En la Tabla 19, se presentan los resultados obtenidos, brindando un valor de 2,527,809 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

Tabla 19. Tránsito de Diseño (Tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre)

Tipo de Vehículo	TPDA	Factor Crecimiento	Factor Dirección	Factor Carril	Días del Año	Tránsito para el Carril de Diseño
Mtos.	379	17.78	0.5	1	365	1,239,358
Auto	8	17.78	0.5	1	365	26,098
Jeep	8	17.78	0.5	1	365	9,855
Ctas.	282	17.78	0.5	1	365	918,158
Mini Bus	4	17.78	0.5	1	365	6,570
Bus	9	17.78	0.5	1	365	32,485
Liviano de Carga	47	17.78	0.5	1	365	149,285
C2	35	17.78	0.5	1	365	116,800
C3	8	17.78	0.5	1	365	29,200
					Total	2,527,809

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Ejes equivalentes (ESAL)

Coronado Iturbide (2002) especifica:

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 está 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 denominará “Equivalent Simple Axial Load” o ESAL (ejes equivalentes).

3.5.6.1. Número Estructural asumible

El Número Estructural (SN), se considera como un número abstracto, que tiene la finalidad de expresar la resistencia estructural de un pavimento. Para calcular el ESAL (denominado también W18, y significa la cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 Kips), se debe considerar un

valor de Número Estructural (SN) en función de la importancia de la vía, por lo que se asume un valor de SN igual a 3.

3.5.6.2. Factor de Equivalencia (FESAL)

El Factor de Equivalencia fue determinado por estudios de pruebas de la AASHTO, en los que sometieron muestras de pavimentos a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el objetivo de analizar el daño que se ocasionó a la estructura. Para definir el factor que se implementa, se debe tener en cuenta el peso del eje de cada tipo de vehículo (Observe anexos, Tabla 56 e Ilustración 19, págs. VI y VII), que varía en dependencia del tipo de eje (sencillo, doble), y el valor del SN que se asume según el nivel de importancia de la vía. (Ver anexos, Tablas 59-60, págs. IX-X)

Para definir el FESAL por cada peso de los ejes, se interpolaron ciertos valores que no se definen en los estudios realizados por la AASHTO, aplicando la Ecuación 5.

$$y = \frac{(x-x_1)y_2+(x_2-x)y_1}{(x_2-x_1)} \quad \text{Ec-5 Tomada de Spiegel \& Stephens (2009)}$$

En la Tabla 20, pág. 37, se definen los factores de equivalencia para los ejes que los pesos no estaban presentes en los resultados de las pruebas que obtuvo la AASHTO, esto mediante interpolación, para lo cual, se presenta un ejemplo del desarrollo a continuación:

Se abordan los datos que corresponden al automóvil, que tiene un peso en cada eje de 2.2 kip. En los estudios de la AASHTO, se presentan pesos de los ejes a partir de 2 kip hasta 50 kip, definiendo los pesos en números pares en el rango descrito, por lo que, el FESAL para un eje es de:

$$y = \frac{(2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip})0.002 + (4 \text{ kip} - 2.2 \text{ kip})0.0002}{(4 \text{ kip} - 2 \text{ kip})}$$

$$y = \frac{0.0004 + 0.00036}{2} \quad y = 0.00038$$

El Factor ESAL (FESAL) de 0.00038, corresponde a uno de los dos ejes que posee un automóvil.

Tabla 20. Factor ESAL obtenido por interpolación

Xo	Yo	X (PESO)	Y (Factor de Daño)
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
4	0.002	4.4	0.0038
6	0.011		
8	0.036	8.8	0.0576
10	0.09		
10	0.09	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.3. ESAL de diseño

Con los factores definidos para cada eje, se calcula el valor del ESAL según su clasificación vehicular, implementando la Ecuación 6.

$$ESAL (W18) = TD * FESAL \quad Ec-6 Tomada de SIECA (2002)$$

Donde:

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (Ejes Equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

La implementación de la Ecuación 6, se demuestra a continuación, en un ejemplo con los datos que pertenecen a la camioneta:

El vehículo (camioneta), presenta dos ejes con pesos diferentes, el eje delantero tiene un peso de 2.2 Kip, y el eje trasero 4.4 Kip, por lo que el FESAL es diferente, presentando para el primer eje un valor de 0.00038 y para el segundo de 0.0038, y acorde con la proyección del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, presenta un tránsito de diseño de 918,158, demostrándose a continuación el resultado:

$$ESAL_1 = 918,158 * 0.00038$$

$$ESAL_1 = 349 \text{ psi}$$

$$ESAL_2 = 918,158 * 0.0038$$

$$ESAL_2 = 3,489 \text{ psi}$$

$$ESAL (W18) = 349 \text{ psi} + 3,489 \text{ psi}$$

$$ESAL (W18) = 3,838 \text{ psi}$$

El ESAL de diseño para el tipo de vehículo camioneta, es de 3,838 psi.

En la Tabla 21, se presenta el ESAL total de 574,182 psi, obtenido para el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, siendo esto acumulado en un periodo de diseño de 15 años. Las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento.

Tabla 21. ESAL de Diseño (Tramo San Sebastián de Yalí - EL Tigre)

Tipo de Vehículo	Tránsito de Diseño	Peso por Eje (KIP)	Tipo de Eje	FESAL	W18 (ESAL DE DISEÑO)
Automovil	26,098	2.2	Simple	0.00038	20
		2.2	Simple	0.00038	
Jeep	9,855	2.2	Simple	0.00038	7
		2.2	Simple	0.00038	
Camionetas	918,158	2.2	Simple	0.00038	3,838
		4.4	Simple	0.0038	
		8.8	Simple	0.0576	
MiniBus	6,570	8.8	Simple	0.0576	6,440
		17.6	Simple	0.9226	
Bus	32,485	11	Simple	0.1395	80,871
		22	Simple	2.35	
Liviano de Carga	149,285	8.8	Simple	0.0576	146,329
		17.6	Simple	0.9226	
C2	116,800	11	Simple	0.1395	290,774
		22	Simple	2.35	
C3	29,200	11	Simple	0.1395	45,902
		36.3	Doble	1.4325	
ESAL Total					574,182

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO IV

ESTUDIO DE SUELO

4.1. Generalidades

Los estudios de suelos, representan una etapa de gran relevancia dentro del diseño de una vía, de ellos dependen muchos de los parámetros que se toman en cuenta para la realización del diseño de estructuras de pavimento.

Tomando como referencia a Das (2015) define que, la ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos del estudio de suelos realizado en el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, los cuales se realizaron a partir de los sondeos manuales efectuados a lo largo del tramo a cada 500 m.

4.2. Metodología

El estudio de suelos, se realizó a través de sondeos manuales de 1.5 m de profundidad ubicados a cada 500 m, tomando muestra de cada uno de los estratos encontrados para posteriormente analizarlos en el laboratorio.

Se analizaron los resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales que fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí, los cuales deben cumplir con lo establecido en la norma NIC – 2019.

En la Tabla 22. pág. 41, se muestran cada uno de los ensayos realizados en base a las normas AASHTO.

El proceso de clasificación de los suelos se realizó mediante el método AASHTO que es el recomendado para proyectos viales.

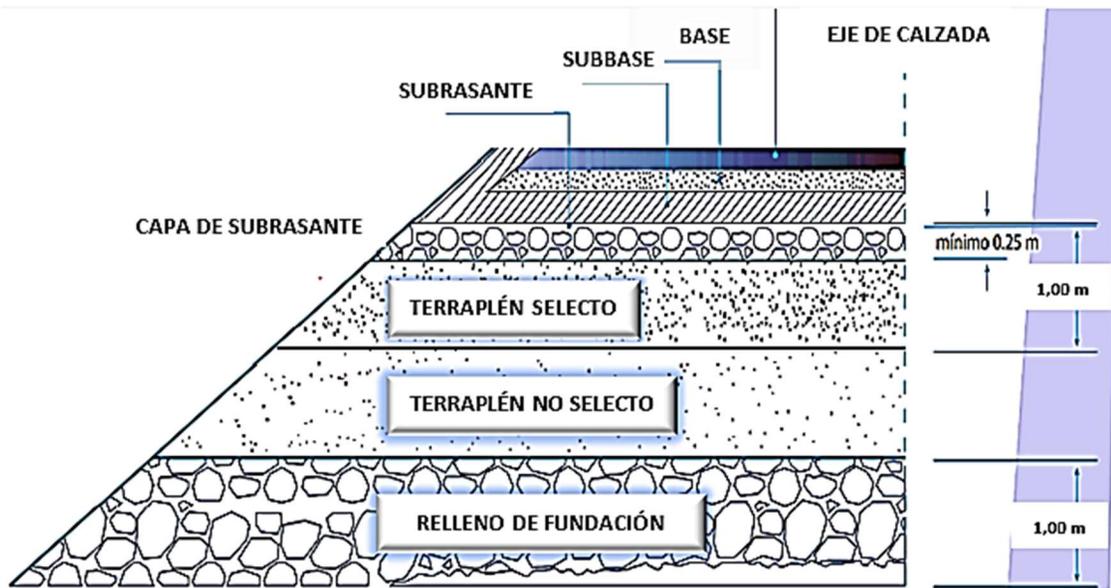
Con base a la estratigrafía se define la subrasante de la carretera, es necesario considerar también lo establecido por la norma NIC – 2019, la cual establece que el mínimo necesario es de 25 cm, según se muestra en la Ilustración 6, pág. 41.

Tabla 22 Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO

Ensayo	Norma
Granulometría	AASHTO T 27-88
Límite Líquido	AASHTO T89
Índice de plasticidad	AASHTO T 90
Pesos unitarios	AASHTO T 19
CBR	AASHTO T 180
Humedad Natural	ASTM D - 2216

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6 Espesores mínimos estructura de pavimento



Fuente: NIC – 2019.

Los sondeos manuales que se realizaron a lo largo del tramo en la banda izquierda, se ubican en las siguientes estaciones, las cuales se muestran en la Tabla 23, pág. 42.

Tabla 23 Referencia de sondeos manuales (Banda Izquierda)

Sondeo (N°)	Referencia
Sm – 1	0+000
Sm – 2	0+500
Sm – 3	1+000
Sm – 4	1+500
Sm – 5	2+000
Sm – 6	2+500
Sm – 7	3+000
Sm – 8	3+500
Sm – 9	4+000
Sm – 10	4+500
Sm – 11	5+000

Fuente: *Elaboración propia*

4.3. Condiciones actuales del tramo

El tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, se encuentra en condiciones de difícil acceso por las características del suelo, las cuales predominan los limos y las arcillas en la carpeta de rodamiento actual. Dicho tramo no cuenta con obras de drenaje por lo que se han hecho grandes fangos de lodo.

En la mayoría de los sondeos a lo largo del tramo, cuenta con dos estratos de los cuales, a corta profundidad se encuentran suelos gravosos y arenosos con presencia de limos y arcillas. Y en los últimos sondeos se evidenció la presencia de limos y arcillas que son malos para usarlos como subrasante.

La Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí, realizó el último mantenimiento al camino en el año 2015, por lo que las condiciones en ciertas estaciones no proporcionan confort, Además, por el paso de los huracanes en el año 2020, ha terminado de deteriorar el tramo, dejando en algunas partes gravas sueltas de gran tamaño, zanjas en las pendientes, por lo que causan accidentes, esto debido a la escorrentía superficial.

4.4. Análisis granulométrico de los sondeos manuales

Crespo Villalaz (2004), define que el análisis granulométrico es:

“La determinación de la cantidad en porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo”. (Pág. 46)

En este proceso se toma como referencia lo establecido en la norma AASHTO T 27- 88. Se analizaron cada una de las muestras de suelo de los sondeos, de acuerdo a los diferentes estratos encontrados.

Se aplicó el método mecánico para tamizar, haciendo uso de la abertura de tamices presentados en Das (2015), los cuales se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24 Abertura de Tamices

Tamiz	Abertura (mm)
2"	76.2
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19.05
½"	12.7
3/8"	9.525
No 4	4.75
No 10	2
No 40	0.425
No 200	0.075

Fuente: Das (2015)

Los resultados obtenidos en la granulometría para cada uno de los sondeos manuales son los que se aprecian en las Tablas 61 - 62. (Ver anexos, págs. XI-XII)

4.5. Límites de Atterberg

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como

un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. (Das, 2012, pág. 64)

Crespo Villalaz (2004), especifica:

El límite líquido viene a ser el contenido de humedad expresado en porcentos con respecto al peso seco de la muestra, con el cual la muestra cambia del estado líquido al plástico. Por eso la resistencia al esfuerzo de corte en estos suelos plásticos es muy pequeña, donde según Atterberg es de 25 g/cm². Es así que la cohesión de un suelo en límite líquido es nula.

$$LL = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \text{ Ec-7 Tomado de Das (2015)}$$

LL: límite líquido en %

P_h: Peso de la muestra húmeda (gr)

P_s: peso de la muestra seca (gr)

P_w: contenido de agua en la muestra (gr)

Crespo Villalaz (2004) lo define límite plástico como:

El contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, pero está secada en horno, donde los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \text{ Ec-8 Tomado de Das (2015)}$$

LP: humedad correspondiente al límite plástico en %

P_h: peso de los trocitos de filamentos húmedos (gr)

P_s: peso de los trocitos de filamentos secos (gr)

P_w: peso del agua contenida en los filamentos (gr)

El Índice de plasticidad según Das (2015):

Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.

El índice plástico depende de la cantidad de arcilla que tiene el suelo.

$$IP = LL - LP \text{ Ec-9. Tomada de Das (2015)}$$

Por otro lado, el Índice de liquidez, es definido por Das (2015):

En los suelos plásticos, el índice de liquidez es indicativo de la historia de los esfuerzos a que se ha sometido el suelo. Si el valor de IL es cercano a cero, se considera el suelo pre consolidado, y si es cercano a uno es considerado como normalmente consolidado.

$$IL = \frac{w-LP}{IP} \text{ Ec-10. Tomada de Das (2015)}$$

En los sondeos manuales analizados del tramo en estudio, se realizaron los ensayos de límite líquido, límite plástico para posteriormente determinar el índice de plasticidad, que son usados para la clasificación del suelo.

Se tomaron en consideración las normas AASHTO T89 para el límite líquido y AASHTO T90 para el índice de plasticidad. Los resultados obtenidos para cada uno de los estratos se muestran en la Tabla 63. (Ver anexos, pág. XIII)

4.6. Estratigrafía de los suelos

En el proceso de clasificación de los suelos, se aplicó el Método AASHTO, el cual es el de uso común en los proyectos de carreteras.

Das (2012) presenta sistema AASHTO para la clasificación de suelos como lo son:

Los suelos se pueden clasificar según ocho grupos principales, A-1 a A-8, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos listados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual. (Ver anexos, Tabla 64 pág. XIV)

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 está dado por la siguiente ecuación:

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

Ec-11. Tomada de Das (2012)

Donde,

F200: porcentaje que pasa la malla núm. 200, expresado como un número entero

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para un suelo que pertenece al grupo A-2-6 o al A-2-7, sólo se utiliza la ecuación parcial del índice de grupo que se relaciona con el índice de plasticidad:

$$IG = 0.01(F_{200} - 15) (IP - 10) \quad \text{Ec-12. Tomada de Das (2012)}$$

Los resultados obtenidos a partir del análisis de cada una de las muestras de suelo de los sondeos manuales, se muestran a continuación, detallando cada una de las características correspondientes de su estratigrafía:

El sondeo manual (Sm-1), se logró encontrar un estrato uniforme en toda la profundidad de 1.5 m, clasificándolo de acuerdo a AASHTO como suelo A-2-4, el cual se denomina Grava arcillosa. El índice de plasticidad es de 6.9% y el límite líquido de 25.5 %. Además, este suelo es considerado de excelente a bueno para usarlo como subrasante.

El resultado del análisis del Sm – 2, se encontraron tres estratos en diferentes profundidades de las cuales se detallan sus características a continuación:

- En la profundidad de 0 – 0.2 m, se clasifica el suelo como A-2-4, el cual corresponde a una Grava arcillosa. Se determinó un índice de plasticidad de 6.90% y el límite líquido de 25.50 %. Este suelo se encuentra en el rango de excelente a bueno para usarlo como subrasante.
- El estrado medio, localizado de 0.2-0.4 m, se encontró un material arcilloso, el cual se clasifica como un suelo A – 7 - 5, de alta plasticidad 24.20 % y

con un límite líquido de 61.40 %. Este tipo de material se encuentra en el rango de regular a malo para subrasante.

- En último estrato, a la profundidad de 1.5 m, se presenta un material fino, correspondiente a un suelo A-4, el cual se denomina suelo limoso, de media plasticidad, con un límite líquido de 39.60 %.

En el caso del Sm – 3, se lograron encontrar tres estratos de suelos, los que se muestran sus especificaciones a continuación:

- En el estrato superior, de 0 a 0.2 m, se observa un material granular, clasificándose como un suelo A -1- b el cual es Grava arcillosa. Además, presentó un límite líquido de 31 % y un índice de plasticidad de 4.10 %. Este suelo es considerado de excelente a bueno para usar como subrasante.
- En el estrato intermedio, de 0.2 a 0.8 m, se localiza un material fino, el cual se clasifica como un suelo A – 4, denominado suelo limoso, de media plasticidad. Posee un límite líquido del 35 % y el índice de plasticidad de 9.5 %.
- El estrato final, se encontró un material fino, el cual se clasifica como un Suelo A–7-5, denominado de acuerdo a AASHTO como un suelo arcilloso de media plasticidad.

El resultado obtenido en el sondeo Sm- 4, se exploraron dos estratos de suelo, los cuales se muestran a continuación:

- En el primer estrato, desde el nivel superficial hasta 1 m de profundidad, se encontró un material granular, el cual se clasifica como un suelo A–5, clasificado como una grava limosa de baja plasticidad. Este material se clasifica de regular a malo para usar como subrasante.
- En el estrato final, se encuentra un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-5 (9), considera como un suelo limoso, de media plasticidad.

El sondeo Sm – 5 y Sm – 6, se localizó una estratigrafía uniforme en toda la profundidad. Cabe mencionar que se encontró material granular, clasificado como A-1-b, A- 2-4 y A-4, las cuales muestran de baja a media plasticidad. Predominan las gravas limosas y arena, calificándose de excelente a bueno para usarlo en la subrasante.

En el caso del Sm – 7, presenta dos estratos de suelos, de los cuales se mencionan a continuación sus características:

- En el primer estrato, desde 0 – 1.05 m, se localiza un material granular, clasificándose como A-4 el cual es un suelo limoso, de media plasticidad.
- En el estrato final, se observa un material arcilloso clasificándose como un A-7-5, el cual tiene alta plasticidad.

Los sondeos 8 y 9, presentan iguales características en su estratigrafía uniforme, encontrándose material fino, clasificado como A-4 y A-7, los cuales corresponden a limos y arcillas. Son suelos plasticidad media y son considerados malos para usarlos en la subrasante.

El resultado del sondeo 10, se obtuvieron tres estratos de los cuales se enuncian a continuación sus características:

- En el estrato superior hasta los primeros 10 centímetros, se localiza un material granular correspondiente a un suelo A-1-b, clasificándose como una grava limosa con baja plasticidad. Este material se categoriza de excelente a bueno para su uso como subrasante.
- En el estrato medio, desde 0.10 – 0.8 m, se observa un material fino, clasificándose como un suelo limoso A-4, el cual posee baja plasticidad.
- En el estrato final, hasta la profundidad de 1.5 m, se localiza un material elástico, el cual se clasifica como un suelo A-7-5, suelo arcilloso y de media plasticidad.

Finalmente, el sondeo manual 11, se lograron encontrar tres estratos de suelo, en los cuales el primero y el último poseen iguales características. Las especificaciones de cada estrato se presentan a continuación:

- El primer estrato, hasta la profundidad de 0.20 metros, se encuentra un material fino, correspondiente a un suelo A-4, el cual se clasifica como un suelo limoso de baja plasticidad y el cual es considerado como malo para usar en la subrasante.
- En el estrato intermedio, desde los 0.20 m a los 0.45 m de profundidad, se observa material granular, el cual se clasifica de acuerdo a AASHTO como un suelo gravoso A-1-b.
- En el tercer estrato, hasta la profundidad de 1.5m se localiza un material fino, correspondiente a un suelo limoso A -4 de baja plasticidad.

4.7. Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales

Los estudios de suelos de los bancos de materiales, fueron proporcionados por la Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí. Se analizaron dos fuentes de materiales, los cuales se encuentran localizados a orillas del tramo en estudio.

Los suelos predominantes en los bancos de materiales son del tipo A-2-4, correspondiente a gravas limosas. Las cuales pueden ser usadas en la base y sub base de la estructura de pavimento.

Los dos bancos de materiales pertenecen a Sr. Santos Edgardo Zeledón Castro y el Sr. Felipe Antonio Centeno, las especificaciones de cada uno se explican en los siguientes acápite.

4.7.1. Banco de Materiales No 1: Santos Edgardo Zeledón Castro

Los predios del Sr. Santos Edgardo Zeledón Castro, se encuentran ubicados en la Estación 0+320 del tramo de carretera San Sebastián – El Tigre, el cual se encuentra conformado por materiales granulares, clasificado de acuerdo a AASHTO como un suelo A -2-4, correspondiente a Gravas limosas. La fracción fina de este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad. El valor

de su CBR es de 81.3 %, su densidad seca máxima es de 1935 kg/m³ y su humedad óptima es de 8.5 %. (Ver anexos, Tabla 65 pág. XV).

4.7.2. Banco de Materiales No 2: Felipe Antonio Centeno

El banco de materiales No 2, se encuentra localizado en los terrenos del Sr. Felipe Antonio Centeno, ubicado de la estación 5+000, 60 metros más adelante, el cual presenta materiales granulares, correspondiendo a un suelo A-2-4, de baja compresibilidad y de media plasticidad. De acuerdo a la clasificación recibe el nombre de Grava limosa. El valor de su CBR es de 81.9%, su densidad seca máxima es de 1935 kg/m³ y su humedad óptima es de 9.7%. Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados se muestran en la Tabla 65 (Ver anexos, pág. XV)

4.8. Análisis de bancos de materiales

Los bancos de materiales propuestos para usar en la base y sub base de la estructura de pavimento, deberán cumplir con los requerimientos de las normas NIC 2019, los cuales se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25 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 Sección 1003.8 (a y b, pág. 809)

El resultado obtenido a partir de los estudios de suelos realizados en los bancos de materiales No 1, se presentan a continuación en la Tabla 26, pág. 51, en la cual se comparan dichos resultados con los requisitos de la norma NIC 2019.

Tabla 26 Evaluación Banco de Materiales No 1

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	24%	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

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla anterior, se logra observar que todos los parámetros cumplen con respecto a lo requerido en la norma NIC 2019, este banco de materiales puede ser utilizado tanto en la base como en la subbase de la estructura de pavimento.

El banco de materiales No 2, se analizó de igual manera que el No 1, comparando los resultados obtenidos con los requisitos de la norma NIC 2019, los cuales en todos los casos cumplen y que se pueden usar como base o subbase en la estructura de pavimento. Los resultados de dicha evaluación se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27 Evaluación de Banco de Materiales No 2

ENSAYO		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	24%	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	6%	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	81.90%	Cumple
	Subbase		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.8.1. Elección de los bancos de materiales

En base a las propiedades de los materiales de los bancos de préstamo estudiados para el tramo, ambos cumplen con los requisitos establecidos de CBR al 95% Proctor modificado están por encima de lo permitido tanto en la base como en la subbase, de acuerdo a la norma NIC 2019.

El banco de materiales No 2 perteneciente al Sr. Felipe Antonio Centeno, se ha seleccionado para usarlo como base granular, el cual posee un CBR de 81.9 % sobrepasando el 80 % requerido en la NIC 2019.

Para la capa subbase se debe usar el banco de materiales No 1 perteneciente al Sr. Santos Edgardo Zeledón Castro, posee un CBR 81.3%, posee un valor que sobrepasa el valor mínimo de 30 % que establece la NIC 2019.

4.9. CBR de diseño

Ensayo que se encarga de medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y que también evalúa la calidad del terreno ya sea para trazar una subrasante, tirar una sub base y base de pavimentos, todo esto llevado a cabo mediante condiciones debidamente controladas de humedad y densidad. (Crespo Villalaz, 2004)

Los valores del CBR del tramo deben cumplir con lo establecido en la norma NIC 2019, las cuales se anidan en la Tabla 28. El valor del CBR se tomó a una profundidad de subrasante de 0.30 metros.

Tabla 28 Especificaciones de terraplén y subrasante

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

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

- 1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.
- 2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

- 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

4.9.1. Identificación de la subrasante

El espesor de la carpeta de rodamiento actual, correspondiente a terracería, es aproximadamente de 0.30 m en la mayoría de los estacionamientos, por lo que la subrasante se estudia a la profundidad antes mencionada.

Los suelos encontrados a partir de los sondeos manuales realizados corresponden a suelos del tipo A-1-b, A-2-4, A-4, A-5 y A-7-5, los cuales se clasifican como grava, gravas limosas, limos y arcillas. De los cuales en su mayoría de acuerdo a lo establecido por la AASHTO son considerados en la escala de regular a malos para usar en la Subrasante.

Los valores de CBR proporcionados por la Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí son los que se muestran en la Tabla 30, pág. 54.

El valor de CBR de la subrasante es un parámetro importante, a partir de él se determinarán otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento como el Módulo de Resiliencia (MR).

El valor del percentil para la determinación del CBR de diseño de la subrasante, se logra obtener a partir de la Tabla 29.

Tabla 29 Percentil de diseño para subrasante

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

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1) 1991

Tabla 30 CBR subrasante

Sondeo	No de muestra	ondeo	Clasificación	CBR
S1	1	0-1.5	A-2-4 (0)	45.00%
S2	1	0.00 – 0.20	A-2-4 (0)	60.00%
	2	0.20 – 0.40	A-7-5(18)	8.00%
	3	0.40 – 1.50	A-4 (8)	15.00%
S3	1	0.00 – 0.20	A-1-b(0)	60.00%
	2	0.20 – 0.80	A-4(6)	20.00%
	3	0.80 – 1.50	A-7-5(7)	5.00%
S4	1	0.00 – 1.00	A-5(0)	6.50%
	2	1.00 – 1.50	A-5(9)	5.00%
S5	1	0.00 – 0.90	A-1-b(0)	55.00%
	2	0.90 – 1.50	A-2-4 (0)	65.00%
S6	1	0.00 – 0.70	A-4(1)	22.00%
	2	0.70 – 1.50	A-2-4 (0)	75.00%
S7	1	0.00 – 1.05	A-4 (0)	12.00%
	2	1.05 – 1.50	A-7-5 (18)	9.00%
S8	1	0.00 – 1.50	A-4 (7)	25.00%
S9	1	0.00 – 0.40	A-4 (4)	20.00%
	2	0.40 – 1.50	A-4 (7)	15.00%
S10	1	0.00 – 0.10	A-1-b (0)	40.00%
	2	0.10 – 0.80	A-4 (6)	20.00%
	3	0.80 – 1.50	A-7-5 (9)	5.00%
S11	1	0.00 – 0.20	A-4 (6)	15.00%
	2	0.20 – 0.45	A-1-b (0)	50.00%
	3	0.45 – 1.50	A-4 (6)	25.00%

Fuente: Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí

Los valores de CBR se han acumulado, para la determinación del valor de CBR de diseño de la subrasante de acuerdo al tipo de suelo existente en el tramo actualmente, el cual se muestra en la Tabla 31, pág. 55.

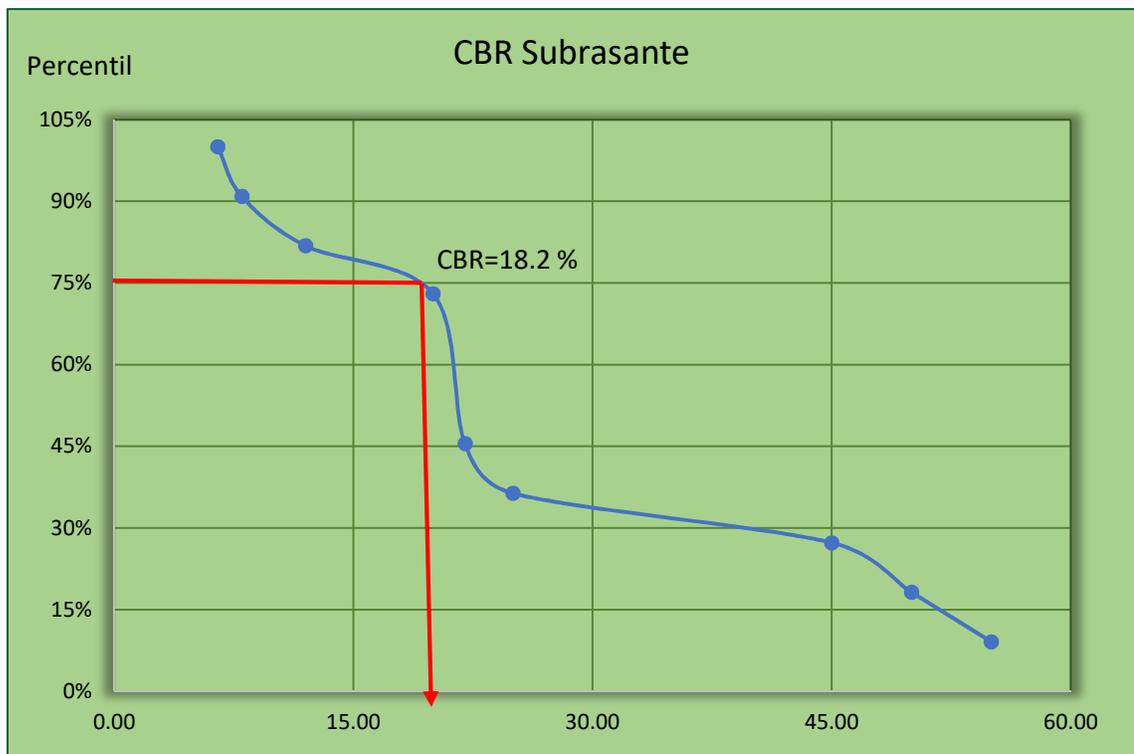
En base a la Tabla 31, pág. 55, y sabiendo que el ESAL de diseño es de 574,182 psi (Ver Tabla 21, pág. 38), el cual se toma en consideración el valor del percentil, 75% del porcentaje de los valores mayores o iguales, y el CBR del tramo actual, interceptando en la curva del Gráfico 8, pág. 55, se obtiene un CBR de diseño de para la subrasante de 18.2%.

Tabla 31 Selección de CBR de diseño para la subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	Cantidades Mayores o Iguales	%
A-5(0)	6.50 %	1	11	100%
A-7-5(18)	8.00 %	1	10	91%
A-4(0)	12.00 %	1	9	82%
A-4 (6)	20.00 %	3	8	73%
A-4(4)				
A-4(1)	22.00 %	1	5	45%
A-4(7)	25.00 %	1	4	36%
A-2-4(0)	45.00 %	1	3	27%
A-1-b(0)	50.00 %	1	2	18%
	55.00 %	1	1	9%
Sumatoria		11		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8 CBR de Diseño Subrasante



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO V
DISEÑO DE
ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO

5.1. Generalidades

En el desarrollo de este capítulo, se muestran los aspectos referentes al diseño de pavimento flexible del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, el cual se ha realizado tomando como referencia lo establecido en la Norma SIECA 2002, aplicando el método de diseño AASHTO – 93.

Tomando como referencia la SIECA (2002), se conoce que un pavimento flexible es aquel que la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

5.2. Método AASHTO – 93

El diseño para el pavimento flexible según la 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 40000 psi (280MPa). (AASHTO 93, 2001)

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de acuerdo con la Ecuación 13.

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

Ec-13. Tomado de SIECA (2002)

Dónde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 KN acumuladas en el período de diseño (**n**).

ZR: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

So: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida deservicio.

Δ PSI: Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la plenitud (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial, **po**) y su plenitud al final del periodo de diseño (Serviciabilidad *Final*, **pt**).

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y subbases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

SN: Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

5.3. Variables de Diseño

En esta sección se detallan cada uno de los parámetros de diseño de la estructura de pavimento flexible.

5.3.1. Periodo de Diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. (SIECA , 2002)

Los periodos de diseño recomendados son los que se muestran en la Tabla 16, pág. 33. En base al tipo de carretera del tramo en estudio, correspondiente a una colectora rural, se selecciona un valor de periodo de diseño de 15 años.

5.3.2. ESAL

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño $F = 1$. (SIECA , 2002)

De acuerdo al estudio de tránsito desarrollado en el Capítulo III, el valor del ESAL es de 574,182 psi. (Ver Tabla 21, pág. 38)

5.3.3. Confiabilidad

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. (SIECA , 2002)

Los diferentes valores de confiabilidad se especifican en la Tabla 32, acorde a los tipos de carreteras.

Tabla 32 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: *Diseño de Pavimentos, AASHTO 93, 2001. Pág. 137*

El valor de confiabilidad R seleccionado, de acuerdo al tipo de carretera $R = 80\%$, se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la confiabilidad, el valor escogido se muestra en la Tabla 57, (Ver anexos, pág. VI)

5.3.4. Desviación Estándar

El valor de la desviación estándar **So** se determina a partir de los valores recomendados por la SIECA (2002), para el caso en estudio, se tomará un valor de 0.40 ya que se encuentra en el intervalo de los valores requeridos para pavimentos flexibles. Los valores sugeridos se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33 Desviación Estándar

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

Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA (2002)*

5.3.5. Serviciabilidad

El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). (SIECA , 2002)

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final.

La inicial (P_o), es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador.

Los valores de serviciabilidad se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34 Valores de Serviciabilidad

Serviciabilidad inicial P_o	Pavimentos rígidos	Pavimentos flexibles.
	4.5	4.2
Serviciabilidad final P_t	Caminos Principales	Caminos de tránsito menor
	2.5	2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA (2002), Capítulo 7, pág. 4

El valor de la pérdida por serviciabilidad determinado por la Ecuación 14:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \text{ Ec.-14 Tomado de SIECA (2002)}$$

Seleccionando como valor de $P_o = 4.2$ y $P_t = 2$ entonces la pérdida por serviciabilidad es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

5.3.6. Módulo de resiliencia de la subrasante

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la subrasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos flexibles, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR. (AASHTO 93, 2001)

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

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

$$Mr = 1500 * CBR \quad \text{Ec-15. Tomado (Montejo Fonseca, 2002)}$$

- ❖ Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 10%, se deberán emplear otras formas de correlación:

$$Mr = 4.326 * \ln(CBR) + 241 \quad \text{Ec-16. Tomado (Montejo Fonseca, 2002)}$$

En el Capítulo IV se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, de acuerdo al Gráfico 8 (pág. 55), resultando un valor de 18.2 %.

El módulo de resiliencia para la subrasante se calcula usando la Ecuación 16, porque es la que más se aproxima, dando como resultado lo siguiente:

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

$$Mr = 4326 * \ln(18.2) + 241 \quad Mr = 12792.5 \text{ Psi}$$

5.3.7. Coeficiente de drenaje

El drenaje de agua en los pavimentos, es un aspecto fundamental que se debe considerar en el diseño de carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La AASHTO 93, recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño, los cuales se aprecian en la Tabla 35, pág. 62.

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una buena capacidad 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 $m_i = 1.00$ (Ver Tabla 35, pág. 62)

El coeficiente de drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo (Ver Tabla 36, pág. 62). (AASHTO 93, 2001)

Tabla 35: Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
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 de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Capítulo 7. Pág. 148.

Tabla 36 Coeficiente de Drenaje

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 de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 7. Pág. 148.

5.3.8. Coeficientes estructurales de capa

El cálculo de los coeficientes estructurales de capa, son necesarios para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento, para poder determinar dichos coeficientes es necesario el uso de gráficos de la norma SIECA para el diseño de pavimentos.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (AASHTO 93, 2001)

El valor de a_1 corresponde al coeficiente de la estructura de pavimento, a_2 corresponde el valor de la base y a_3 al valor de la subbase.

Para la determinación del coeficiente de capa a_1 , se tomó en consideración la estabilidad de Marshall, la cual se muestra en la Tabla 37, considerando que el tránsito que circula en el tramo se encuentra en el rango de tránsito mediano ya que el ESAL es de 574,182 psi. (Ver Tabla 21, pág. 38), resultando una Estabilidad N de 1200.

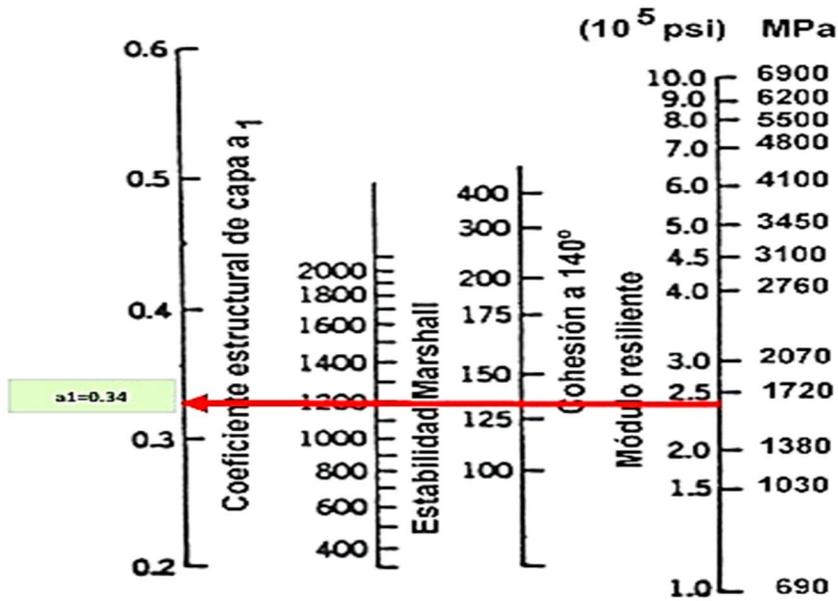
Tabla 37 Criterios para mezcla del Método Marshall

Criterios para Mezcla del Método Marshall	Tránsito Liviano Carpeta y Base		Tránsito mediano Carpeta y Base		Tránsito pesado Carpeta y Base	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta.	35		50		75	
Estabilidad N.	3356		5338		8006	
(lb)	750	-----	1200	-----	1800	-----
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulg)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)						
Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
<p>Clasificación del tránsito</p> <p>Liviano: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño $< 10^4$.</p> <p>Mediano: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño entre 10^4 y 10^6.</p> <p>Pesado: Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño $> 10^6$.</p>						

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Posteriormente, se hace uso del nomograma que se muestra en la Ilustración 7, pág. 64, dando como resultado un $a_1=0.34$.

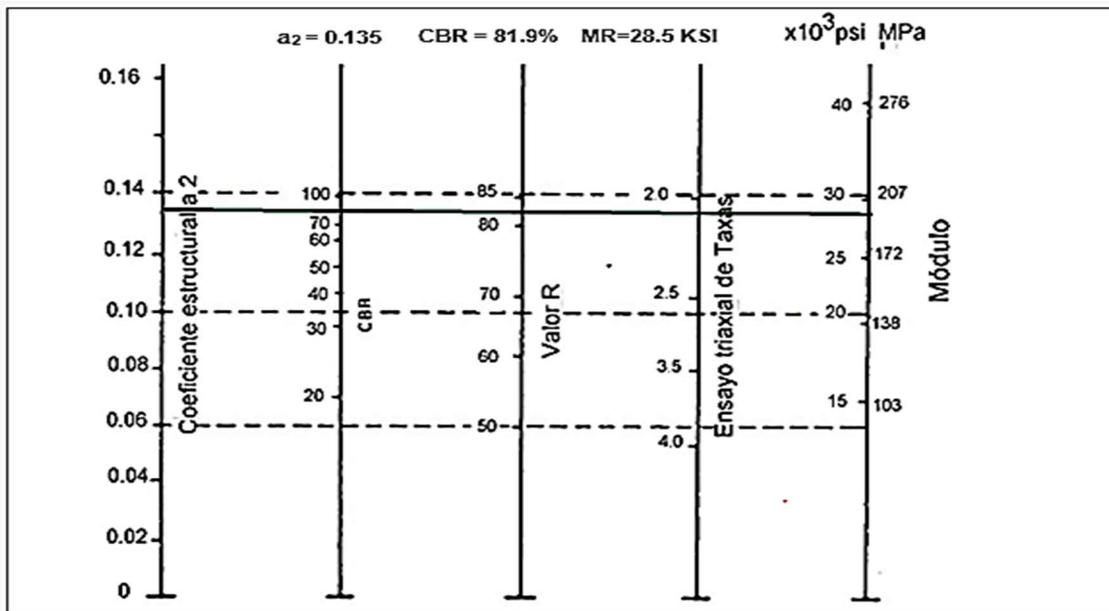
Ilustración 7 Coeficientes estructurales de capas asfálticas relacionados con varios ensayos



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 5. Pág. 110

Para determinar el valor del coeficiente de capa base a₂, se interpola el CBR del banco de materiales No 2, correspondiente a 81.9%, generando un valor de a₂=0.135, tal como se muestra en Ilustración 8.

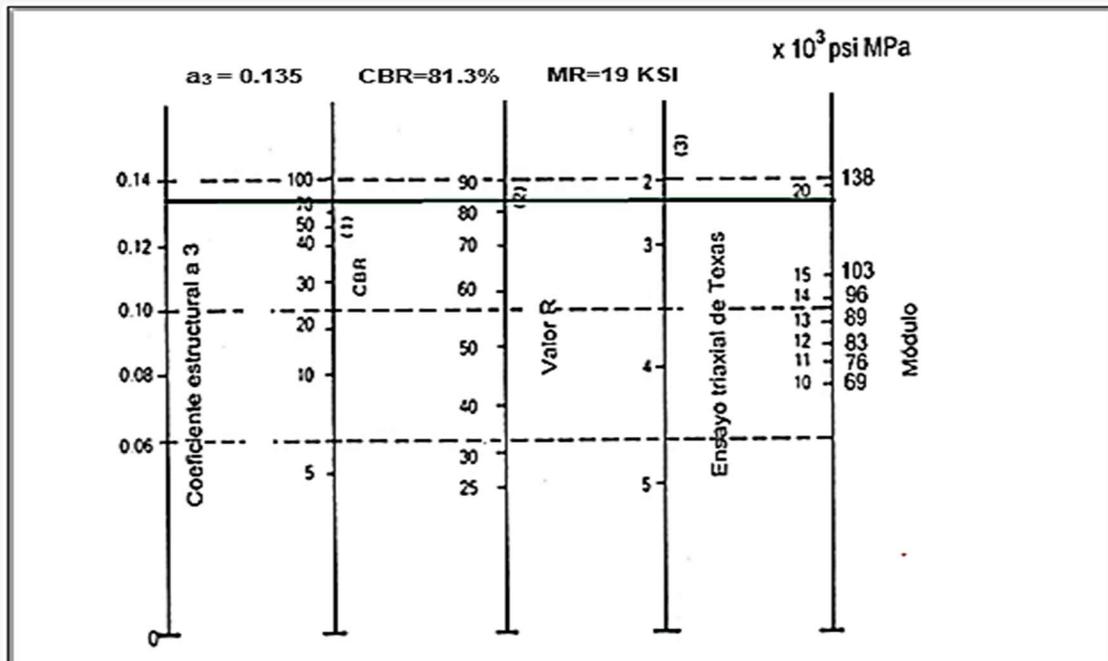
Ilustración 8 Coeficientes estructurales de capa base granular



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001. Capítulo 5. Pág. 118

El valor de a_3 , es el coeficiente de la capa subbase, se interpola igualmente con el CBR del banco de materiales No 1, con un valor de 81.3%, generándose un valor de 0.135 según se observa en la Ilustración 9.

Ilustración 9 Coeficiente de capa de subbase granular



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001. Capítulo 5. Pág. 118

5.3.9. Módulo de resiliencia de la base y subbase

El módulo de resiliencia a utilizar en la base y en la subbase de la estructura de pavimento, se determina a través del uso de los nomogramas mostrados en la Ilustración 8, pág. 64, e Ilustración 9.

Con respecto a dicha interpolación el resultado del módulo de resiliencia para la base es de 28.5 Ksi y para la subbase corresponde a 19 Ksi.

5.3.10. Número estructural

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN. Asumido por la Ecuación 17:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3. \text{ EC-17. Tomado (AASHTO 93, 2001)}$$

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.

Para la determinación del número estructural de la subrasante SN_3 , se toman los datos mostrados en la Tabla 38 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la Ilustración 10, pág. 67:

Tabla 38 Datos para determinación de SN_3

Periodo de Diseño	15 años
ESAL (W18)	574,182 Psi
Confiabilidad (R)	80%
Serviciabilidad	
Servicialidad Inicial (Po)	4.2
Servicialidad Final (Pt)	2
ΔPSI	2.2
Desviaciones Estándar (So)	0.4
CBR Promedio	18.2
Módulo de Resiliencia (Mr)	12,792.55 Psi
	12.79 Ksi

Fuente: *Elaboración Propia*

Para la determinación del número estructural de la subrasante SN_2 , se toman los datos mostrados en la Tabla 39 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la Ilustración 11, pág. 68:

Tabla 39 Datos para determinación de SN_2

Periodo de Diseño	15 años
ESAL (W18)	574,182 Psi
Confiabilidad (R)	80%
Serviciabilidad	
Servicialidad Inicial (Po)	4.2
Servicialidad Final (Pt)	2
ΔPSI	2.2
Desviaciones Estándar (So)	0.4
CBR Promedio	81.3
Módulo de Resiliencia (Mr)	19.00 Ksi

Fuente: *Elaboración Propia*

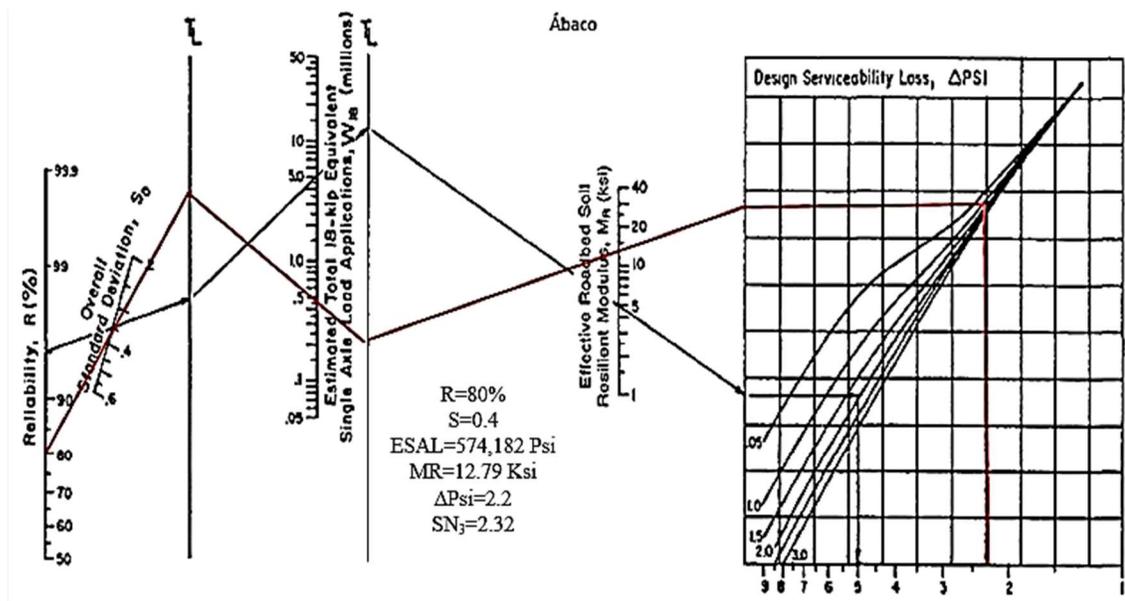
Para la determinación del número estructural de la subrasante SN_1 , se toman los datos mostrados en la Tabla 40 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la Ilustración 12, pág. 68:

Tabla 40 Datos para determinación de SN_1

Periodo de Diseño	15 años
ESAL (W18)	574,182 Psi
Confiabilidad (R)	80%
Serviciabilidad	
Servicialidad Inicial (P_o)	4.2
Servicialidad Final (P_t)	2
ΔPSI	2.2
Desviaciones Estándar (S_o)	0.4
CBR Promedio	81.9
Módulo de Resiliencia (Mr)	28.50 Ksi

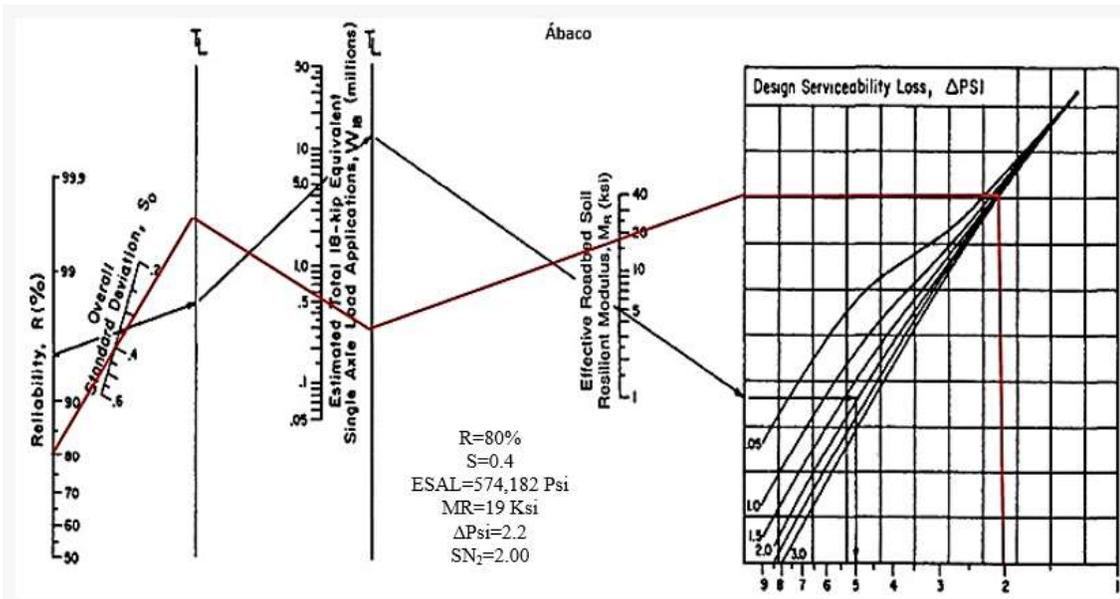
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 10. Determinación de SN_3 (Sub Base)



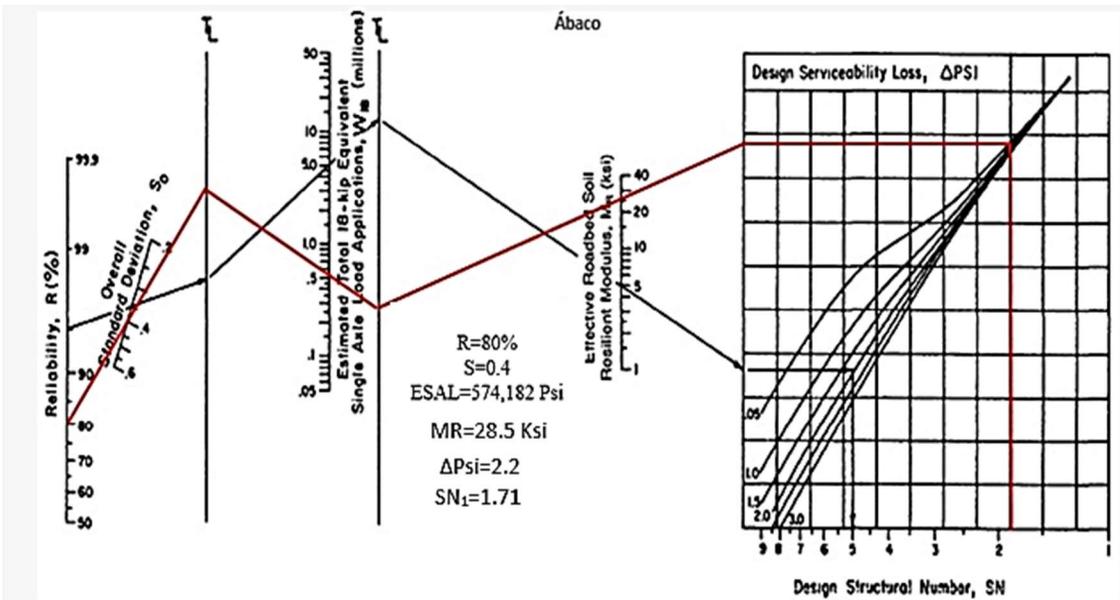
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Determinación de SN₂ (Base)



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12. Determinación de SN₁ (Carpeta Asfáltica)

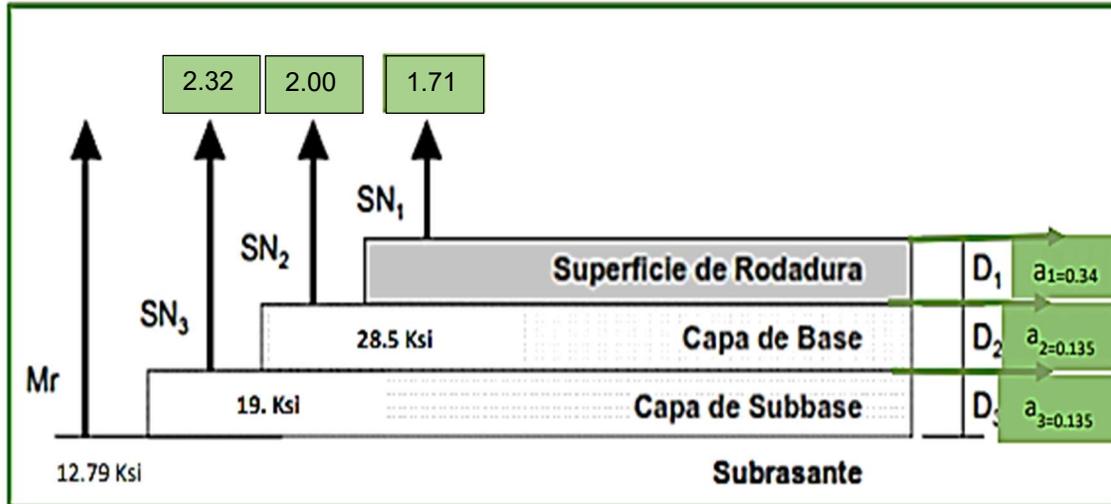


Fuente: Elaboración propia

Todos estos valores son necesarios para la determinación de los espesores de capa de la estructura de pavimento. (Los valores de SN, se comprobaron en Software de la AASTHO 93, coincidiendo los valores con los presentados en los ábacos anteriores) Ver anexos, Ilustraciones 20-22, págs. XVI-XVII

La Ilustración 13, se muestra un consolidado de los valores correspondientes para los números estructurales para cada una de las capas de la estructura de pavimento.

Ilustración 13. Números Estructurales por capa



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2002)

5.4. 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.

5.4.1. Espesor de carpeta asfáltica

Tomando en consideración el valor de SN₁ = 1.71, el coeficiente de capa a₁ = 0.34 y aplicando la Ecuación 20, se define un valor de D₁ = 5 pulg, el proceso se describe a continuación:

$$D_1 = SN_1/a_1 \quad \text{Ec. 20 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_1 = (1.71)/(0.34)$$

$$D_1 = 5 \text{ pulg.}$$

Se recalcula el valor de SN₁, aplicando la Ecuación 21:

$$SN_{1*} = D_1 * a_1 \text{ Ec. 21 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$SN_{1*} = (5) * (0.34)$$

$$SN_{1*} = 1.70$$

5.4.2. Espesor de base

El valor del número estructural $SN_2 = 2.00$ determinado con el uso del ábaco y comprobado con el uso del software. El valor de $a_2 = 0.135$ y $m_2 = 1$, se procede a la aplicación de la Ecuación 18, demostrando el resultado a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_{1*}}{a_2 * m_2} \text{ Ec. 18 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_2 = \frac{2.00 - 1.71}{(0.135) * (1)}$$

$$D_2 = 2.15 \text{ pulg.}$$

“No cumple con espesor mínimo, usar 6 pulg. (Ver Tabla 41)”

Tabla 41 Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular

Numero de ESAL's	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	3	6
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001. Capítulo 8. Pág. 175

Se vuelve a calcular el valor de SN_2^* , aplicando la Ecuación 19, se obtiene un resultado de $SN_2^* = 0.81$, demostrándose a continuación:

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \text{ Ec. 19 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$SN_2^* = (0.135) * (6 \text{ pulg}) * (1)$$

$$SN_2^* = 0.81$$

En base a la Tabla 41, de acuerdo al ESAL de diseño del tramo correspondiente a 574,182 psi (Ver Tabla 21, pág. 38), el valor mínimo de la base granular para el tramo en estudio es de 6 pulgadas, ya que el ESAL se encuentra en el rango de 500,000 – 2,000,000 Psi.

5.4.3. Cálculo de espesor de subbase

Para determinar el espesor de la subbase, se toma en consideración los valores del SN_1^* y SN_2^* calculados anteriormente, así como el valor del coeficiente de capa $a_3=0.135$ y el coeficiente de drenaje $m_3 = 1$.

El cálculo se determina aplicando la siguiente Ecuación 21:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad \text{Ec. 21 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_3 = \frac{2.32 - (0.81 + 1.70)}{(0.135) * (1)}$$

$$D_3 = - 1.41 \text{ pulg "No se necesita subbase".}$$

Los criterios de la AASHTO 93, indican que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo o es cero, no necesita dicha capa.

La verificación de que el proceso esté correcto se encuentra realizando la sumatoria de los SN corregidos, comparando con el SN requerido, tal como se muestra a continuación:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_{req}$$

$$1.70 + 0.81 \geq 2.32$$

$$2.51 \geq 2.32 \text{ Cumple}$$

5.4.4. Consolidado de espesores

Después de haber realizado los cálculos correspondientes al diseño de espesores de la estructura de pavimento del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 42, pág. 72.

Tabla 42 Consolidado de espesores de pavimento

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Carpeta Asfáltica	5	12.70
Base Granular	6	15.24
Espesor Total	11	27.94

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica se muestra la sección transversal con sus espesores en la Ilustración 14 (Ver pág. 77).



CAPITULO VI
DISEÑO
GEOMETRICO

6.1. Generalidades

Es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geoméricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal. (Cárdenas Grisales, 2013, pág. 37)

En este capítulo, se muestran cada uno de los criterios utilizados para llevar a cabo el diseño geométrico del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, el cual se ha realizado tomando en consideración las normas SIECA 2011.

El diseño geométrico, contiene el diseño del alineamiento horizontal conformado por curvas circulares, peralte, sobre ancho en curvas, etc. El alineamiento vertical conformado por curvas verticales y el diseño de la rasante, lo cual sirve para la determinación del movimiento de tierra en las secciones transversales del tramo.

Dicho diseño geométrico, se ha realizado mediante el software Civil 3D 2021, aplicando en todo momento la norma SIECA 2011.

6.2. Condiciones actuales del tramo

El tramo de San Sebastián de Yalí – El tigre, actualmente en cuanto diseño geométrico, la carretera no cuenta con un diseño vial de acuerdo a las normas, en la mayoría del tramo no cuenta con el ancho de calzada recomendado, las curvas no cuentan con el diseño correspondiente.

Es por tal razón, que se propone el diseño geométrico de dicho tramo, el cual se muestra en el desarrollo del presente capítulo, en cumplimiento de las normativas correspondientes.

6.3. Tipo de área

Tomando como referencia a SIECA (2011), los tipos de área se definen como:

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. Las áreas urbanas se

subdividen en áreas urbanizadas (población de más de 50,000 habitantes) y pequeñas áreas urbanas (población entre 5,000 y 50,000 habitantes). Para los propósitos del diseño, debería usarse la población pronosticada para el año de diseño.

Áreas Rurales son las áreas ubicadas fuera de los límites de las áreas urbanas (de menos de 5,000 habitantes). (Pág. 26).

El tramo de San Sebastián de Yalí – El Tigre, se encuentra ubicado alejado del casco urbano del municipio, es una zona montañosa y altamente productiva, por lo que se clasifica como una zona rural ya que cuenta con una población menor de 5,000 habitantes.

6.4. Clasificación de la carretera

La clasificación de la carretera, es uno de los parámetros de diseño fundamentales porque en base a esto se selecciona la velocidad de diseño del tramo y otros parámetros necesarios para el diseño. El TPDA es de 779 veh/día, por lo que se clasifica como una colectora rural de acuerdo a lo establecido por SIECA (2011) en la Tabla 66. (Ver anexos, pág. XVII)

Además, de acuerdo a la Tabla 66, (Ver anexos, pág. XVII), se determina que la vía contara con dos carriles para la circulación de los vehículos, en sentido norte a sur y viceversa.

6.5. Vehículo de diseño

En base a SIECA (2004), define el vehículo de diseño de la siguiente manera:

Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que, al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. De cada tipo de vehículo utilizado para diseño, se

seleccionan a propósito para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos de mayores dimensiones físicas y de radios de giro mayores dentro de su clasificación tipológica. (Pág. 2-1 Capítulo II).

El tramo de carretera por considerarse una colectora rural, en base a la Tabla 69, (Ver anexos, pág. XIX), se selecciona el camión de diseño WB-15, el cual a su vez cuenta con las dimensiones mostradas en la Tabla 67. (Ver anexos, pág. XVIII)

6.6. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño, también conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser mantenida en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado. (SIECA, 2004)

En base a la Tabla 69, (Ver anexos, pág. XIX), el valor de la velocidad de diseño para la carretera tipo colectora rural con un terreno montañoso es de 50 km/ h. Sin embargo, en algunas partes del tramo se propone utilizar 30 km/h, por considerar zonas de alto riesgo y para tratar de seguir el trazo de la actual vía en la medida de lo posible.

En las estaciones de 0+000- 0+ 100, 1+520 – 1+660, 2 + 140 – 2 + 320 se usó la velocidad de 30 km/h, para evitar cambiar el rumbo de la carretera ya que, utilizando la velocidad propuesta por la normativa, no cumplía con los radios de curvatura al momento de formar la curva horizontal.

6.7. Características de la sección transversal

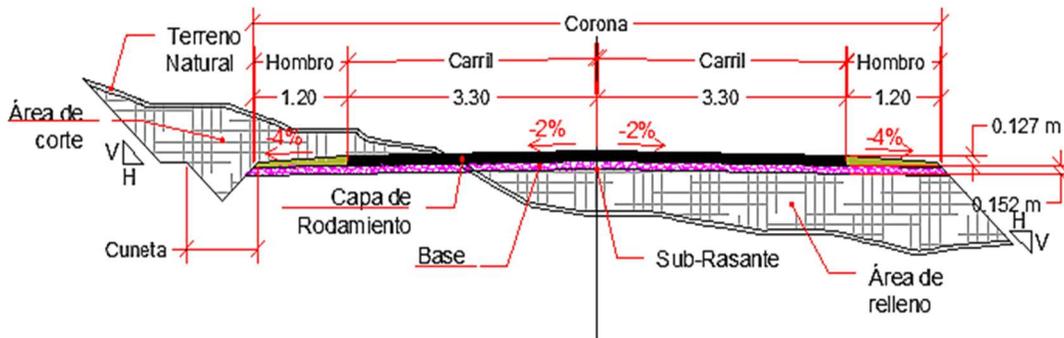
6.7.1. Carril: El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras. SIECA (2004)

El ancho de carril se selecciona en base al tipo de carretera, usando la Tabla 69, (Ver anexos, pág. XIX). El tramo en estudio se clasifica como una colectora rural por lo que el valor del ancho de carril es igual a 3.3 m, la cual contará con 2 carriles para distribuir el tráfico en dos direcciones. (Ver Ilustración 14)

6.7.2. Hombros o espaldones: Los hombros o espaldones, que son las franjas de carretera ubicadas contiguo a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes. SIECA (2004)

Siempre tomando como referencia Tabla 69, (Ver anexos, pág. XIX), los valores del ancho de los hombros se debe asumir un valor entre 1.2 a 1.5 m, para lo cual se seleccionó el valor de 1.2 m. (Ver Ilustración 14)

Ilustración 14. Sección Transversal del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre



Fuente: Elaboración propia

6.8. Alineamiento horizontal

En la actualidad el diseño de carreteras, está orientado a la realización de diseños seguros y económicos, por lo que uno de los casos principales para lograr dicha meta, es adaptar curvas amplias, para que estas se adapten a la topografía del terreno, haciendo menos usual el uso de rectas, reduciendo costos.

6.8.1. Longitud máxima de rectas

Tomando en consideración el criterio establecido por SIECA (2011) que establece, lo descrito en la Ecuación 22, pág. 78:

$$L = 20 * V \quad \text{Ec-22. Tomado de SIECA (2011).}$$

Donde

L= Longitud de la recta, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

En el caso del tramo en estudio, la longitud máxima en recta, se calcula implementando la Ecuación 22, pág. 77:

$$L = 20 * V$$

$$L = 20 * \left(50 \frac{Km}{h}\right)$$

$$L = 1,000 \text{ m}$$

6.8.2. Peralte

La sobreelevación o peralte, e, siempre se necesita cuando un vehículo viaja en una curva cerrada a una velocidad determinada, para contrarrestar las fuerzas centrífugas y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento. (SIECA, 2004)

SIECA (2004), recomienda los valores de peralte para los tipos de zona y de terreno donde se encuentra la carretera.

De acuerdo al tipo de terreno y zona, el tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, se clasifica como un área rural montañosa, por lo tanto, el valor del peralte es de 10%. (Ver Tabla 43)

Tabla 43 Tasas de peralte (e)

Tasa de sobreelevación e en (%)	Tipo de área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004)

6.8.3. Radio de curvatura

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)

El valor del radio de curvatura se determina a partir de la Ecuación 23:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(em_{máx} + fm_{máx})} \quad \text{Ec-23. Tomado de SIECA (2011).}$$

Donde:

$R_{mín}$ = Radio mínimo de la curva, m

$e_{máx}$ = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

V = Velocidad de diseño, KPH

$f_{máx}$ = Factor de fricción lateral

En la Tabla 70 (Ver anexos, pág. XX), se muestra el radio de curvatura recomendado de acuerdo a la velocidad de diseño y al peralte seleccionado, obteniéndose un valor de 68m.

El valor se demuestra usando la Ecuación 23, pág:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(em_{máx} + fm_{máx})}$$

$$R_{mín} = \frac{50^2}{127(0.10 + 0.19)}$$

$$R_{mín} = 67.88 \text{ m} \approx 68 \text{ m}$$

Para velocidades de diseño de 30 km/h se obtiene que el radio mínimo de curvatura debe ser de 19 m. Esto se demuestra con la aplicación de la Ecuación 23, presentado a continuación:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(em_{máx} + fm_{máx})}$$

$$R_{\text{mín}} = \frac{30^2}{127(0.10 + 0.28)}$$

$$R_{\text{mín}} = 18.6 \approx 19 \text{ m}$$

6.8.4. Grado de curvatura

Es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. (SIECA , 2011)

A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} \text{ Ec-24 Tomada de SIECA (2011)}$$

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

Para el tramo en estudio el grado de curvatura, se determinó aplicando la Ecuación 24, para cada uno de los radios calculados

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{19} \quad D_{20} = 60^{\circ}19'$$

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{68} \quad D_{20} = 16^{\circ}51'$$

Al comparar estos datos con los propuestos en la Tabla 70 (Ver anexos, pág. XX), concuerdan con los calculados anteriormente. En el caso del radio de curvatura de 68 m el grado de curvatura es de 16° 51' y para el radio de curvatura de 19 m el grado de curvatura es de 60° 19'.

6.8.5. Bombeo Normal

Es la pendiente que se le da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal, con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un

bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente. (SIECA , 2011, pág. 139)

En la Tabla 44, se muestran los valores del bombeo para los tipos de superficie de pavimento.

Tabla 44 Bombeo normal

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2011). Capítulo 4. Pág. 139

SIECA (2011) define los tipos de pavimento de la siguiente manera:

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

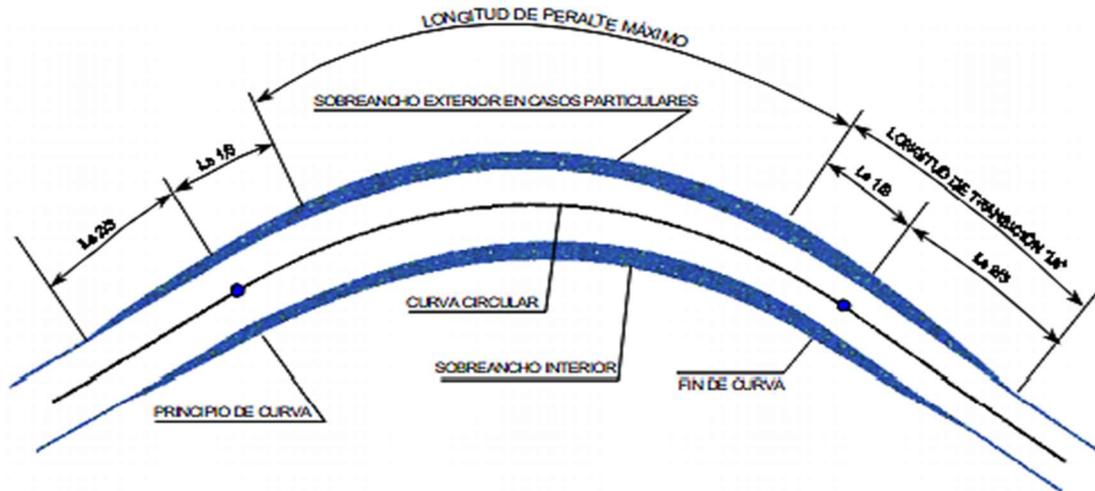
Los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos. (Pág. 139).

En el tramo en estudio, el valor del bombeo es del 2%, tomando en consideración que el tipo de superficie es alta.

6.8.6. Sobreancho de las curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinados con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. (SIECA , 2011) (Ver Ilustración 15 pág. 82)

Ilustración 15 Sobreancho de curvas



Fuente: *Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras*, SIECA (2004)

El valor seleccionado en las Tablas 71-72, (Ver anexos, págs. XXI - XXII), corresponde al Sobreancho de las curvas de acuerdo al radio de curvatura calculado y la velocidad de diseño en el tramo, corresponde a 2.5 m. Dicho valor se obtuvo al realizar una interpolación lineal con los valores propuestos en las Tablas 71-72. (Ver anexos, págs. XXI - XXII)

6.8.7. Curvas horizontales simples

Reyes Pizarro (2013, pp. 11-12), define que una curva simple, es aquella que existen dos tangentes que están unidas entre sí por una solo curva circular, sus elementos característicos son:

- ❖ Grado de curvatura: Es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva.
- ❖ Radio de la curva: Es el radio que genera el diseño de la curva circular.
- ❖ 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.

- Tangente

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ec-25 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$T = (24.02m) * \tan \frac{106^\circ 46' 13''}{2} \quad T = 32.33 m$$

- Cuerda larga

$$CL = 2R \sin \Delta / 2 \quad \text{Ec-26 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$CL = 2(24.02 m) \sin 106^\circ 46' 13'' / 2 \quad CL = 38.56 m$$

- Externa

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \Delta / 2} - 1 \right) \quad \text{Ec-27 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$E = (24.02 m) * \left(\frac{1}{\cos 106^\circ 46' 13'' / 2} - 1 \right) \quad E = 16.25 m$$

- Ordenada media

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{Ec-28 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$M = (24.02 m) * \left(1 - \cos \frac{106^\circ 46' 13''}{2} \right) \quad M = 9.69 m$$

- Grado de curvatura

$$G^\circ c = 2 * \sin^{-1} * \frac{c}{2R} \quad \text{Ec-29 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$c = 5 m$ por que el radio es menor de 50 m

$$G^\circ c = 2 * \sin^{-1} * \frac{5}{2 * 24.02} \quad G^\circ c = 11^\circ 56' 53.95''$$

- Longitud de curva

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad \text{Ec-30 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$Lc = \frac{\pi * 24.04 * 106^\circ 46' 13''}{180} \quad Lc = 44.80 m$$

- Estación PT

$$PT = PC + Lc \quad \text{Ec-31 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$PT = 0 + 033.07 + 44.80 m \quad PT = 0 + 077.87$$

- Estación PI

$$PI = PC + T \quad \text{Ec-32 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$PI = 0 + 033.07 + 32.33 \text{ m} \quad PI = 0 + 065.40$$

- Deflexión por metro

$$\delta = \frac{G^{\circ}c}{2c} \quad \text{Ec-33 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$\delta = \frac{11^{\circ} 56' 53.95''}{2 \cdot 5} \quad \delta = 1^{\circ} 11' 41.4'' / \text{m}$$

- Deflexión por cuerda unitaria

$$\delta = \frac{G^{\circ}c}{2} \quad \text{Ec-34 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$\delta = \frac{11^{\circ} 56' 53.95''}{2} \quad \delta = 5^{\circ} 58' 26.98''$$

- Tabla de replanteo

Tabla 45 Cuadro de replanteo de curva horizontal simple

Punto	Estación	Cuerda	Deflexión	Deflexión Acumulada
PC	0+033.07		0° 0' 0''	0° 0' 0''
	0+040	6.93	8° 16' 48.67''	8° 16' 48.67''
	0+045	5	5° 58' 26.98''	14° 15' 15.65''
	0+050	5	5° 58' 26.98''	20° 13' 42.63''
	0+055	5	5° 58' 26.98''	26° 12' 9.61''
	0+060	5	5° 58' 26.98''	32° 10' 36.59''
	0+065	5	5° 58' 26.98''	38° 9' 3.57''
	0+070	5	5° 58' 26.98''	44° 7' 30.55''
	0+075	5	5° 58' 26.98''	50° 5' 57.53''
PT	0+077.83	2.83	3° 22' 52.96''	53° 28' 50.49''
Sumatoria			53° 28' 50.49''	

Fuente: Elaboración propia

Los elementos geométricos de las curvas horizontales se muestran en las Tablas 103 y 104 (Ver Anexos, pág. L– LI)

6.9. Alineamiento vertical

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como subrasante. (SIECA , 2011)

La curva vertical tiene por objeto suavizar los cambios de las pendientes en el alineamiento vertical, en cuya longitud se efectúa el paso gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características de drenaje adecuadas. (SIECA , 2011)

Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes por el signo positivo (+) y bajadas con el signo negativo (-). (SIECA, 2004)

6.9.1. Pendientes de diseño

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ellas. En automóviles, las pendientes de subida de hasta 5% no tienen influencia apreciable en la velocidad, cuando se compara con la correspondiente en terreno plano. (SIECA , 2011)

El valor de las pendientes máximas de acuerdo al tipo de terreno se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales

Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), Capítulo 3. Pág. 119

El valor de acuerdo al tipo de terreno, clasificado anteriormente como montañoso y la velocidad de diseño seleccionada de 50 km/h, corresponde a una pendiente máxima de 10 %.

En el caso de los tramos con velocidades de 30 km/h se debe considerar la pendiente máxima de 12%.

En el diseño, se muestran en ciertos tramos con pendientes mayores a las permisibles, tal es el caso de la estación 3+660 – 4+060 que la pendiente sobrepasa el valor recomendado por la norma, ya que es de -16.40 %.

De hecho, la única alternativa de solución en ese tramo, es colocar señales que indiquen una velocidad más baja para poder circular ya que es una zona sinuosa y que podría ser causal de un accidente.

El problema radica en que, si se lograba hacer cumplir con la pendiente máxima recomendada por la norma, se tendría que realizar un relleno muy grande y eso incrementaría el costo de la obra.

En la estación 0+080 – 0+ 700 la pendiente corresponde a 11 %, se ha dejado debido a que no sobrepasa mucho a la pendiente máxima recomendada y se ha tratado de seguir la línea actual del camino.

6.9.2. Curvas Verticales

SIECA (2004) 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:

- a. Curvas verticales en cresta: Estas curvas se diseñan en consideración a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño.
- b. Curvas verticales en columpio: Dichas curvas se diseñan en relación a la distancia que alcanza a iluminar los faros del vehículo de diseño. (pág. 156)

Se muestra a continuación un ejemplo de cálculo de curva vertical, siendo esta la más crítica en el diseño geométrico del tramo en estudio, los datos son los siguientes:

Curva vertical cóncava simétrica

Est PIV= 3 + 947.44

Cota PIV= 967.42 m

Pendiente de entrada = -16.40 %

Pendiente de salida = +3.29 %

Longitud de curva vertical = 255.92 m

- Cálculo de la estación PCV

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

$$EST\ PCV = 3 + 947.44 - \frac{255.92}{2}$$

$$EST\ PCV = 3 + 819.48$$

- Cálculo de la estación PTV

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

$$EST\ PTV = 3 + 947.44 + \frac{255.92}{2}$$

$$EST\ PTV = 4 + 075.40$$

- Determinar la cota PCV

$$Cota\ PCV = Cota\ PIV - m\left(\frac{LCV}{2}\right)$$

$$Cota\ PCV = 967.42 - (-0.1640)\left(\frac{255.92}{2}\right)$$

$$Cota\ PCV = 988.410\ m$$

- Determinar la cota PTV

$$Cota\ PTV = Cota\ PIV + n\left(\frac{LCV}{2}\right)$$

$$Cota\ PTV = 967.42 + (0.0329)\left(\frac{255.92}{2}\right)$$

$$Cota\ PTV = 971.630\ m$$

- Determinar las cotas a lo largo de las tangentes considerando que los estacionamientos son a cada 20 m.

$$Cota\ 1 = 988.41 + (-0.1640)(20) = 985.130\ m$$

$$Cota\ 2 = 988.41 + (-0.1640)(40) = 981.850\ m$$

$$Cota\ 3 = 988.41 + (-0.1640)(60) = 978.570\ m$$

$$Cota\ 4 = 988.41 + (-0.1640)(80) = 975.290\ m$$

$$Cota\ 5 = 988.41 + (-0.1640)(100) = 972.010\ m$$

$$Cota\ 6 = 988.41 + (-0.1640)(120) = 968.730\ m$$

$$Cota\ 7 = 967.42 + (0.0329)(20) = 968.078\ m$$

$$Cota\ 8 = 967.42 + (0.0329)(40) = 968.074\ m$$

$$Cota\ 9 = 967.42 + (0.0329)(60) = 969.394\ m$$

$$Cota\ 10 = 967.42 + (0.0329)(80) = 970.052\ m$$

$$Cota\ 11 = 967.42 + (0.0329)(100) = 970.710\ m$$

$$Cota\ 12 = 967.42 + (0.0329)(120) = 971.368\ m$$

Las curvas verticales y sus elementos se muestran en la Tabla 102 (Ver anexos, pág. XLIX)

- De forma resumida se muestran las elevaciones de las tangentes de la curva en la Tabla 47.

Tabla 47 Cotas curva vertical más crítica

Puntos	EST	Pendientes	Cotas en la Tangente
PCV	3+819.48	-16.40%	988.41
1	3+840		985.13
2	3+860		981.85
3	3+880		978.57
4	3+900		975.29
5	3+920		972.01
6	3+940		968.73
PIV	3+947.44	3.29%	967.42
7	3+960		968.078
8	3+980		968.074
9	4+000		969.394
10	4+020		970.052
11	4+040		970.71
12	4+060		971.368
PTV	4+075		971.63

Fuente: Elaboración propia

6.8.3. Tasa de curvatura K

El valor de la tasa de curvatura, tomando en consideración las velocidades de diseño, en el caso de las curvas en cresta, la velocidad de diseño es de 50 km/h, para lo cual el valor de K es de 7, tomando como referencia a la Tabla 68. (Ver anexos, pág. XVIII)

Para las curvas en columpio, el valor de la tasa de curvatura K es de 13, considerando la velocidad de diseño de 50 km/h. Dicho valor se toma a partir de la Tabla 73. (Ver anexos, pág. XXIII)

6.9.4. Resumen de criterios

En la Tabla 46, pág. 91, se muestra un resumen de los criterios utilizados en el diseño geométrico del tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre.

Tabla 48 Resumen de criterios de diseño

Descripción/Parámetro	Forma	Unidad	Valores
Clasificación Funcional	Colectora Rural Montañosa		
Velocidad de Diseño	Vd	KPH	50 (30)
Vehículo de Diseño	Veh.	Tipo	WB-15
Radio de curvatura Mínimo	R	m	68 (19)
Grado de Curvatura	Gc	G. Min. Seg.	16°19' (60°19')
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	1.2
Ancho de Corona	Ac	m	9
Bombeo Normal	B	%	2
Bombeo de Hombros	Hm%	%	4
Peralte o sobreelevación	e _{máx.}	%	10
Pendiente Máx.	Pend%	%	10 (12)
Sobrecancho	Sa	m	2.5
Curvas verticales Cresta	DVP	M	7
Curvas verticales Columpio	DVA	M	13
Superficie carpeta de Rodamiento	Srod.	Tipo	Asfalto

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VII

COSTO Y PRESUPUESTO

7.1. Generalidades

En el desarrollo de este capítulo, se detallará uno de los puntos más importantes de la viabilidad de una obra, haciendo referencia al costo de ejecución que tendrá el proyecto.

Para definir el monto total de ejecución del proyecto, se tuvieron en cuenta diferentes parámetros, tales como: ubicación geográfica, condiciones climáticas, condiciones de acceso al sector de ejecución, distancia de los centros de distribución de materiales, mano de obra calificada, diseño y dimensión del proyecto, y riegos asumidos.

Teniendo en cuenta la magnitud del proyecto, se presentará la información detallada de los costos de los diferentes recursos que definirán la obra, estableciendo así un conjunto de valores denominado presupuesto.

7.2. Costos directos

“Es la sumatoria de la mano de obra, equipos, herramientas y materiales necesarios para la realización de un proceso productivo”. (Ibañez , 2010)

El resultado de los costos directos se muestra en las Tablas 74-75 (Ver anexos, págs. XXX-XXXI), el valor obtenido es de C\$103, 197,977.31.

7.2.1. Análisis de costos unitarios

El análisis de costos unitarios del tramo de carretera de San Sebastián de Yalí – El Tigre, se realizó tomando en consideración las sub etapas correspondientes del proyecto, las cuales son las que se muestran en el catálogo de etapas y sub etapas del FISE.

Los costos unitarios que se detallan, son la mano de obra directa, los materiales y los equipos, tomando en cuenta los rendimientos correspondientes, tal como se muestra en cada uno de los detalles de costos.

➤ **Preliminares**

La etapa de preliminares abarca la movilización y desmovilización y los trabajos por administración.

✓ **Movilización y desmovilización**

La movilización y desmovilización, tiene un costo unitario de C\$ 281,894.74, de los cuales están distribuidos costo de la mano de obra C\$ 10,570.40, representando el 3.75 % del costo unitario y el costo de los equipos es de C\$ 271,324.35, representando el 96.25 % del costo unitario. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 76, pág. XXXII)

✓ **Trabajos por administración**

Los trabajos por administración, tienen un costo unitario de C\$ 13, 056,301.80, el cual es un costo que solo involucra mano de obra directa por lo tanto ésta representa el 100% del costo unitario. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 77, pág. XXXII)

➤ **Movimiento de Tierra**

La actividad del movimiento de tierra, incluye el abra y destronque, desalojo, excavación en la vía, excavación en banco, construcción de terraplén y el sobre acarreo de los materiales a 5 km.

✓ **Abra y destronque**

La actividad corresponde a una cantidad de obra de 50,000 m² y el costo unitario es de C\$ 5, 622,937.73, el cual está dividido en un 10.64 % para mano de obra con C\$ 598,428.92 y el 89.36 % para equipos con un C\$ 5, 024,508.81. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 78, pág. XXXIII)

✓ **Desalojo**

El desalojo de los materiales, tiene una cantidad de obra de 9981.45 m³ y el costo unitario correspondiente al desalojo del material, es de C\$ 334 el metro cúbico de material, distribuyéndose en un 4.84 % la mano de obra con C\$ 16.18 y el 95.16% para los equipos C\$ 317.83.

✓ **Excavación en la vía**

Esta actividad corresponde al corte de 25227.73 m³ de material existente, el cual tiene un costo unitario por m³ de C\$ 149.85, el cual para los materiales se ha designado un 30.32 %, la mano de obra tiene designado un 16.94 % y los equipos el 52.74 % del costo unitario total. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 79, pág. XXXIV)

✓ **Excavación en banco de préstamo selecto**

La excavación en banco, posee una cantidad de obra de 11320.66 m³, la que tiene un costo unitario de C\$ 187.07, designándose para material el 86.38 %, mano de obra 5.02 % y equipos un 8.60 % del costo total unitario. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 80, pág. XXXV)

✓ **Construcción de terraplén**

La construcción del terraplén, corresponde básicamente a la subrasante, la cual posee una cantidad de obra de 17549.69 m³ la cual se consideran los rellenos a realizar según diseño geométrico, el costo unitario para dicha actividad es de C\$ 256.65, distribuido en un 2.18 % para material, el 28.38 % para mano de obra y el 69.44 % para el pago de equipos. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 82, pág. XXXVI)

✓ **Sobre acarreo largo**

Los materiales del movimiento de tierra, será movilizado a una distancia de 2 km, dicha actividad posee una cantidad de obra de 125047.09 m³, el cual posee un costo unitario de C\$ 31.63, el cual en un 100 % está destinado para equipos. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 81, pág. XXXV)

➤ **Capas superficiales de agregados**

En esta etapa, corresponde la actividad de la conformación de la base, la cual según diseño de la estructura de pavimento debe poseer 6 pulgadas, la cantidad de obra a efectuar es de 8708.20 m³, el cual posee un costo unitario por m³ de C\$ 239.81, la cual se va a distribuir el 2.33 % para materiales, 29.93 % para mano

de obra y el 67.74 % del costo unitario total para los equipos. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 83, pág. XXXVII)

➤ **Pavimento de concreto bituminoso en caliente**

La cantidad de pavimento bituminoso, es de 45000 m², el cual tiene un costo unitario de C\$ 1349 el m² para espesor de 4 pulgadas, el cual será realizado por medio de subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 84, pág. XXXVIII)

➤ **Señales verticales de control de tráfico**

En el tramo se van a ubicar 13 señales verticales, las cuales tienen un costo unitario de C\$ 6755.21, dicha actividad será dada en un 100 % al subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 85, pág. XXXVIII)

➤ **Marcas de pavimento**

En esta etapa se encuentran, las marcas de tránsito reflectorizadas continuas en blanco y amarillo, los captaluces.

✓ **Marcas de tránsito reflectorizadas continuas (línea blanca)**

La cantidad de obra, para dicha actividad es de 10000 m y tiene un costo unitario de C\$ 100.80 y el 100 % corresponde a subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 86, pág. XXXIX)

➤ **Marcas de tránsito reflectorizada continua (línea amarilla)**

La cantidad de obra, para esta actividad son 5000 m y tiene un costo de C\$ 100.80 el cual será ejecutado por medio de subcontratación. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 87, pág. XXXIX)

➤ **Captaluces**

Se ubicarán la cantidad de 1254 captaluces los cuales tienen un costo de C\$ 116.88, los cuales serán ejecutados por medio de un subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 88, pág. XL)

➤ **Obras misceláneas**

En esta esta se ejecutarán las siguientes sub etapas: Guarda vía de Viga “W”, Postes guía, Cunetas revestidas Tipo II y el programa de manejo ambiental.

➤ **Guarda vía de viga W**

La cantidad de obra para esta actividad son 1000 ml, lo que tendrá un costo unitario de C\$ 100.80, lo que en su totalidad será ejecutado por subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 89, pág. XL)

➤ **Postes guías**

Se ubicarán 21 postes guías a lo largo del tramo, cada uno posee un costo unitario de C\$ 2000, los cuales se ejecutarán a través de un subcontrato. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 90, pág. XLI)

➤ **Cunetas revestidas tipo II**

Se construirán 3500 ml de cuneta tipo II, cada metro tendrá un costo unitario de C\$ 449.15, el 91.08 % se ha designado para materiales, el 4.32 % para mano de obra, el 4.59 % para equipos. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 91, pág. XLI)

➤ **Plan de manejo ambiental**

El plan de manejo ambiental se ha designado una partida del presupuesto correspondiente a C\$ 73,335.34, el cual en su totalidad corresponde a mano de obra. (Ver detalle de costo unitario en anexos, Tabla 92, pág. XLII)

7.3. Costos Indirectos

“Son aquellos costos que no tienen relación directa en la ejecución de la obra, pero son indispensables incluirlos en el presupuesto por que se refieren a la sumatoria de los diversos gastos técnico – administrativos necesarios para el correcto desarrollo de un proyecto” (Ibañez , 2010).

El valor de los costos indirectos del tramo en estudio, es de C\$ C\$ 5, 898,779.14.

7.3.1. Gastos generales fijos

“Los gastos generales fijos, son los costos de licitación, gastos legales, carteles de obra, gastos de inspección a obra y publicaciones derivadas del proceso, liquidación de obra, etc.”. (Ibañez , 2010)

El gasto general, se obtuvo un costo total de C\$ 993,318.27 (Ver detalle en anexos, Tabla 93, pág. XLIII)

El gasto de operación es C\$ 2, 233,804.05, el cual incluye herramientas, equipo liviano, combustibles y lubricantes. (Ver detalle en anexos, Tabla 94, pág. XLIV)

7.3.2. Gastos generales variables

Estos costos corresponden a costos de la dirección técnica y administrativa en obra conformada por los sueldos y remuneraciones del personal profesional, técnico, administrativo y auxiliar a utilizar en la ejecución de la obra, gastos de alimentación y pasajes del personal, gastos administrativos de la oficina y costos del personal del contratista que interviene indirectamente en la obra y que no ha sido cargado ni en los precios unitarios ni en los de dirección y administración de la obra. Los sueldos y remuneraciones han sido igualmente deben ser afectados por sus leyes sociales, equipos de pruebas no destructivas, etc.” (Ibañez , 2010)

Los gastos iniciales, tienen un total de C\$ 149,750.00, los cuales se detallan en la Tabla 95 (Ver anexos, pág. XLV)

La papelería de campo se le ha asignado una partida de C\$ 7,500.00, el salario del personal administrativo es de C\$ 1, 092,432.00, todo esto se detalla en las Tablas 96-97. (Ver anexos, pág. XLV-XLVI)

Los servicios profesionales tienen un costo de C\$ 126,704.57, el viático y transporte del personal tiene un costo de C\$ 573,860.00, cada uno se detalla en las Tablas 98-99. (Ver anexos, págs. XLVI y CLVII)

Otros gastos e imprevistos, se detallan en las Tablas 100-101 (Ver anexos, pág. XLVIII), los cuales tienen un costo de C\$ 25,736.00 y C\$ 533,043.43, respectivamente.

7.4. Presupuesto

“Es un artificio que permite planear y controlar las actividades de un proceso productivo”. (Ibañez , 2010)

“El presupuesto está formado por Costo directo, costos indirectos, impuestos y utilidades”. (Ibañez , 2010)

El costo directo obtenido es de C\$ 103, 197,977.31, el costo indirecto es de C\$ 5, 898,779.14, representando el 5.74 % del monto total de la obra. Los costos administrativos son de C\$ 10, 909,675.65, lo que representa el 10 % del costo total.

El proyecto generará utilidades al contratista de C\$ 6, 000,321.61, lo que representa el 5.81 % del monto total.

Respecto a los impuestos, el impuesto municipal es de C\$ 1, 260,067.54 y el Impuesto Valor Agregado es de C\$ 19,090,023.19, por lo que el monto total de la obra es de C\$146,356,844.44 y en dólares es de \$4,154,642.73.

El detalle del presupuesto se muestra en las Tablas 50-51, pág. 100-101. Además, se muestra el consolidado de costos en la Tabla 49.

Tabla 49 Consolidado de costo y presupuesto

Costo Total Directo Sin Impuestos	C\$103,197,977.31	\$2,929,488.74
Costos Indirectos (6.03 %)	C\$ 5,898,779.14	\$167,449.08
Costos Administrativos (9 %)	C\$ 10,909,675.65	\$309,693.78
Utilidades (5.83 %)	C\$ 6,000,321.61	\$170,331.58
Costo Total Sin Impuesto	C\$ 126,006,753.71	\$ 3,576,963.18
Impuesto Municipal (1.0%)	C\$ 1,260,067.54	\$ 35,769.63
Impuesto al Valor Agregado IVA (15%)	C\$ 19,090,023.19	\$ 541,909.92
Total General	C\$146,356,844.44	\$ 4,154,642.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Presupuesto (Parte 1)

Código	Concepto de Obra	U/M	CANT.	C/U (C\$)	Costo Total (C\$)	Costo Total (USD\$)
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERA DE ASFALTO					126,006,753.73	3,576,963.15
100	REQUERIMIENTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS					
110	PRELIMINARES					
110(09)	Movilización y Desmovilización	CU	1	344,199.00	344,199.00	9,770.80
110(06)	Trabajos por Administración	GLB	1	15,942,000.40	15,942,000.49	452,546.76
200	MOVIMIENTO DE TIERRA					
201	ABRA Y DESTRONQUE					
201 (3)	Abra y Destronque	GLB	1	6,865,717.22	6,865,717.22	194,897.63
203	EXCAVACIÓN Y TERRAPLANEADO					
203 (14)	Desalojo	M3	9981.45	407.83	4,070,688.38	115,554.94
203 (1A)	Excavación en la Vía	M3	25227.73	182.97	4,616,040.56	131,035.89
203 (5)	Excavación Préstamo Selecto	M3	11320.66	228.42	2,585,857.67	73,404.94
203 (6)	Construcción de Terraplén	M3	17549.69	313.37	5,499,628.53	156,118.37
206	Sobre acarreo Corto					
206 (1)	Sobre acarreo Corto a 2 km	M3	125047.1	38.62	4,828,814.23	137,075.91
300	CAPAS SUPERFICIALES DE AGREGADOS					
304	CAPA DE AGREGADO TRATADO					
304 (2A)	Capa Base	M3	8708.2	292.81	2,549,871.66	72,383.40
400	PAVIMENTOS ASFALTICOS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Presupuesto (Parte 2)

Código	Concepto de Obra	U/M	CANT.	C/U (C\$)	Costo Total (C\$)	Costo Total (USD\$)
407	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO DE DESGASTE ABIERTA					
407 (1)	Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente	M2	45000	1,647.16	74,121,995.25	2,104,106.62
800	CONTROL Y SEGURIDAD DEL TRAFICO					
801	SEÑALES VERTICALES DE CONTROL DE TRAFICO					
801 (1)	Señales Verticales	C/U	13	8,211.35	106,747.50	3,030.25
802	MARCAS DE PAVIMENTO					
802 (1A)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas (Blanca)	ML	10000	123.08	1,230,787.76	34,938.46
802 (1B)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	ML	5000	123.08	615,393.88	17,469.23
802 (2)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	M2	500	533.34	266,670.68	7,570.00
802 (5)	Captaluces	CU	1254	142.71	178,961.82	5,080.20
900	OBRAS MISCELANEAS					
902	GUARDAVIAS					
902 (1)	Guarda Vía de Viga "W" (Flex Beam)	ML	1000	123.08	123,078.78	3,493.85
913	REVESTIDO DE CAUCES Y CUENTAS					
913 (2)	Cunetas Revestidas Tipo II	ML	3500	548.42	1,919,473.60	54,488.24
914	MONUMENTOS, MOJONES Y POSTES INDICADORES					
914 (4)	Postes Guías	C/U	21	2,442.04	51,282.82	1,455.77
	TRABAJOS AMBIENTALES Y ADMINISTRATIVOS					
	Programa de Manejo Ambiental	C/U	1	89,543.89	89,543.89	2,541.89

Fuente: Elaboración propia



**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

8.1. Conclusiones

1. El levantamiento topográfico realizado, cumple con los requisitos que establece el manual de revisión del MTI, dicho estudio posee el levantamiento de detalles, establecimiento de BM, lo cual ha permitido caracterizar planimétricamente y altimétricamente el terreno del tramo.
2. En base, al estudio de tránsito realizado en la Estación 0 + 000 del tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre, durante 7 días consecutivos, por doce horas diarias, se logra consolidar que el TPDA es de 779 vehículos por día, se determinó la tasa de crecimiento vehicular a implementar, la cual es de 2.38%, resultando del promedio de las tasas que concierne a los registros históricos del PIB y crecimiento poblacional, ya que la tasa de la ECD 3503, no es considera, por ser un valor muy alto en comparación a la del PIB, ya que este rige el país. El ESAL de diseño obtenido es de 574,182 Psi.
3. Respecto al estudio de suelos, se realizaron 11 sondeos manuales, se obtuvo que en la mayoría predominaron las gravas arcillosas, gravas limosas, suelos limosos y arcillosos, los cuales poseen una caracterización de regulares a malos para el uso en subrasante, sin embargo, en base a los ensayos de CBR se obtuvo que cumplen con el mínimo establecido por la norma NIC – 2019. Los bancos de materiales, poseen suelo granular, clasificado de acuerdo al método AASHTO como A – 2 – 4. El banco No 1, ubicado en la Est. 0 + 320, posee un CBR del 81.3 %. En cambio, el banco No 2, ubicado 60 metros en la Est. 5 +000, posee un CBR de 81.9%.
4. La estructura de pavimento flexible diseñada, se realizó tomando cada uno de los requisitos y procesos establecidos en el Manual Centroamericano de diseño de pavimentos SIECA 2002, tomando como referencia el Método AASHTO 93. El cálculo de espesores de capa de la estructura, dio como resultado para la carpeta asfáltica un valor de 5 pulgadas, lo cual se encuentra en el rango requerido para las solicitaciones de carga vial. El espesor de la base, según cálculos resultó de 2.15 pulg, pero la norma

establece que el mínimo es de 6 pulgadas, por lo tanto, se considera dicho valor. En el caso de la subbase, el cálculo da un valor de -1.41 pulg, por lo que no es necesario utilizar subbase ya que el resultado es negativo.

5. El diseño geométrico del tramo, se efectuó tomando en cuenta la norma SIECA 2011, llegándose a obtener que la sección transversal, posee un ancho total de 9 m, constituidos de dos carriles de 3.3 m cada uno y hombros exteriores de 1.2 m cada uno. Además, posee un valor de bombeo normal del 2 %. El alineamiento horizontal, está conformado de curvas horizontales simples, con un valor de peralte del 10 %, radio de curvatura mínimo de 68 m cuando la velocidad de diseño es 50 km/h y 19 m cuando es de 30 km/h. También, las curvas poseen un sobreebanco de 2.5 m. El alineamiento vertical, está constituido de curvas verticales en cresta y columpio, en los cuales la pendiente permisible de 10 % en tramos con velocidad de diseño de 50 km/h y del 12 % en tramos con velocidad de diseño de 30 km/h.
6. El costo y presupuesto de la obra, se calculó tomando en consideración el catálogo del FISE, obteniéndose que el proyecto, tendrá un monto total de C\$146,356,844.44.

8.2. Recomendaciones

1. La excavación en la vía, no debe pasar los niveles de corte especificados en el diseño, esto para los 5 km del tramo.
2. El material cortado, se utilizará para la conformación del terraplén y realizar los correspondientes rellenos de acuerdo al diseño de la rasante.
3. Durante el proceso de construcción se debe controlar cualquier material indeseable presentado que no fuera detectado en el estudio geotécnico.
4. El material de la capa base, debe cumplir con las especificaciones mínimas de compactación y a su vez se debe controlar que el material esté libre de otro material contaminante ya que puede afectar la resistencia de la estructura de pavimento.
5. Realizar prueba de comprobación de la compactación a la capa base después de su procesamiento, garantizando obtener el 95 % Proctor.
6. Para los espesores de la base y estructura de pavimento se debe implementar el valor definido en el diseño, dichos espesores son: 6 pulgadas para la base granular y 4 pulgadas para la mezcla asfáltica.
7. En el proceso de curado, no se debe permitir tráfico vehicular sobre la capa de material granular estabilizada, la capa se debe mantener húmeda, el agua debe ser aplicada a presión produciendo un rocío fino y uniforme.
8. En caso de encontrarse suelos de características altamente deformables con alto contenido de humedad y baja resistencia deberán ser subexcavadas y rellenas con el material de préstamo solicitado.
9. Antes de la aplicación de la carpeta asfáltica se debe remover la tierra suelta, polvo y otros materiales que no favorezcan el proceso, para dicha labor se emplean barredoras mecánicas o un soplete, si es necesario se pueden implementar ambos. Esto lo especifica la sección 401.3.2 del Tomo I de la NIC 2019.

10. Las superficies de estructuras y árboles cercanos a las áreas a imprimir la carpeta asfáltica, deberán ser protegidas de tal manera que evite ser contaminada o dañado. Sección 401.3.3. del Tomo I de la NIC 2019.
11. La temperatura de la aplicación de los materiales asfálticos deberá ajustarse a las especificaciones en el artículo 1002.10 de la NIC 2019.
12. Después de haberse aplicado el riego asfáltico, debe dejarse curar como mínimo 24 horas, acorde a lo que especifica la especificación 401.3.4 del Tomo I de la NIC 2019.
13. Ningún asfalto sobrante debe desecharse en banco de préstamos, cunetas o mantos acuíferos acorde a lo que especifica la sección 401.3.3. del Tomo I de la NIC 2019.
14. Verificar que el espesor del pavimento flexible, no varíe en más de dos centímetros con el espesor definido.

8.3. Bibliografía

- AASHTO 93. (2001). *Diseño de Pavimentos Método AASHTO 1993*. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de los Estados Unidos.
- Banco Central de Nicaragua. (2020). *Anuarios Estadísticos*. Managua: BCN.
- Cal, R., Reyes Spíndola, M., & Cárdenas Grisales, J. (2007). *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones 8a. Edición*. México: 2007 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: USAID/SIECA.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México, D.F.: Limosa S.A.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima Edición*. México, D.F.: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Cuarta Edición*. México, D.F.: Cengage Learning.
- García Márquez, F. (1994). *Curso Básico de Topografía*. México, D.F: árbol editorial .
- Herrera , F. (2015). *Proyecto de Rehabilitación de camino San Sebastián de Yalí- El Tigre* . San Sebastián de Yalí, Jinotega, Nicaragua. : Alcaldía Municipal de San Sebastián de Yalí.
- Ibañez , W. (2010). *Costos y Tiempos en Carreteras* . Lima, Perú : MACRO .
- MTI . (2019). *Anuario de Aforos de Tráfico Año 2018*. Managua : Ministerio de Transporte e Infraestructura
- MTI. (2008). *Manual para la Revisión de Levantamientos Topográficos*. Managua, Nicaragua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- MTI. (2008). *Manual para revisión de Diseños Geométricos*. Managua, Nicaragua: Ministerio de Transporte e Infraestructura .
- Méndez, J. (Diciembre de 2014). *Análisis y Antecedentes de la Comunidad El Tigre*.

- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos* . Bogotá, D.C.: Agora Editores.
- SIECA . (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos* . Guatemala: SIECA.
- SIECA . (2011). *Manual centroamericano de normas de diseño geométrico de carreteras* . Guatemala : SIECA .
- SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras* . Guatemala : SIECA .
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). *Estadística*. México, DF.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Wolf , P. R., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía* . México, D.F. : Alfaomeg



ANEXOS

Ilustración 17. Problemas de drenaje



Fuente: Propia

Ilustración 18. Condiciones actuales del Tramo Yalí-El Tigre



Fuente: Propia

Tabla 52. Puntos de Cambio (PL1-PL34)

Código	Norte	Este	Elevación
PL-1	1471749.964	588495.9	909.42
PL-2	1471841.784	588421.7	922.96
PL-3	1471920.947	588428.3	930.9
PL-4	1471998.34	588423.8	938.45
PL-5	1472136.258	588415.3	953.62
PL-6	1472173.279	588401.4	957.48
PL-7	1472272.859	588345.9	969.88
PL-8	1472366.221	588187.4	969.85
PL-9	1472399.149	588093.2	971.6
PL-10	1472427.814	588044	974.25
PL-11	1472556.932	587987.8	986.82
PL-12	1472714.876	587967.9	995.5
PL-13	1472831.134	587953.6	992.8
PL-14	1472865.39	587931.7	992.71
PL-15	1472882.372	587894.1	992.45
PL-16	1472876.641	587837.6	992.5
PL-17	1472891.62	587803.8	993.2
PL-18	1472909.802	587798.1	994.4
PL-19	1472925.408	587784	995.8
PL-20	1472929.492	587765.6	997.5
PL-21	1472923.249	587688.7	998.35
PL-22	1472936.298	587633.2	993.37
PL-23	1473010.27	587443.3	983.8
PL-24	1473014.365	587385.5	985.85
PL-25	1473023.768	587350.1	987.3
PL-26	1473144.128	587280.4	995.88
PL-27	1473159.806	587266.4	996.85
PL-28	1473166.554	587250.1	996.8
PL-29	1473185.039	587215.7	999.35
PL-30	1473236.599	587182.8	1001.3
PL-31	1473262.719	587154.2	1003.22
PL-32	1473275.227	587119.7	1005.22
PL-33	1473266.556	587018.7	1010.97
PL-34	1473259.402	586963	1013.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Punto de Cambio (PI35-PL69)

Código	Norte	Este	Elevación
PL-35	1473259	586856.7	1018.85
PL-36	1473256	586806	1020.18
PL-37	1473279	586773	1018.77
PL-38	1473341	586762.7	1012.3
PL-39	1473360	586754.2	1011.19
PL-40	1473387	586731.7	1010.27
PL-41	1473427	586685.8	1010.47
PL-42	1473484	586663.3	1012.3
PL-43	1473535	586607.3	1012.18
PL-44	1473589	586588.5	1008.35
PL-45	1473644	586602	1004.5
PL-46	1473749	586770.2	1022.2
PL-47	1473865	586876.4	1008.16
PL-48	1473921	586930.2	1007.9
PL-49	1473984	586976.9	1000.12
PL-50	1474075	587002.8	982.25
PL-51	1474126	586970.9	974.5
PL-52	1474158	586945.3	971.25
PL-53	1474196	586948.2	970
PL-54	1474251	586966.9	970.03
PL-55	1474312	586966.8	971.25
PL-56	1474387	586975	975.03
PL-57	1474406	586966.6	976.03
PL-58	1474443	586922.2	980.24
PL-59	1474458	586866.7	985.25
PL-60	1474490	586847.1	990.22
PL-61	1474527	586843	991.25
PL-62	1474585	586857.4	990.25
PL-63	1474681	586865.9	984.05
PL-64	1474740	586871	983.85
PL-65	1474792	586900.6	986.46
PL-66	1474840	586931.3	989.86
PL-67	1474872	587005.3	986.48
PL-68	1474921	587038.3	998.65
PL-69	1474965	587065.6	1001.52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Formato para Control de Aforo Vehicular

Tramo:		Est:															
Sentido:		Fecha															
Hora	Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga				Equipos Pesados		Otros	Vol.	
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	T2S1/ T2S2/ T3S1	T2S3/ T2S2/ T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C.			
6:00	7:00																
7:00	8:00																
8:00	9:00																
9:00	10:00																
10:00	11:00																
11:00	12:00																
12:00	1:00																
1:00	2:00																
2:00	3:00																
3:00	4:00																
4:00	5:00																
5:00	6:00																
Volumen (12 horas diurnas)																	

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Tabla 55. EMC San Marcos - Masatepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	N° ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marco – Masatepe	NIC-35A	3505	ECS	Estelí (Inter NIC-1) - La Estanzuela
	NIC-35A	3504	ECS	La Estanzuela - San Nicolás
	NIC-35B	3502	ECD	Estelí (Inter NIC-1) - Em- Chilamatillo
	NIC-35B	3507	ECS	Emp. Chilamatillo - Escuela Miraflores
	NIC-35B	3508	ECS	Escuela Miraflores - San Sebastián de Yalí (Empalme Quiatas)
	NIC-35C	2605	ECS	El Jicaral - Santa Rosa del Peñón
	NIC-35D	3503	ECD	San Sebastián de Yalí - La Rica
	NIC-36	1214	ECD	Emp. Posoltega - Posoltega
	NIC-37A	714	ECS	Las Lajitas - Cuapa - Camarca el Zancudo
	NIC-37B	3701	ECS	Juigalpa - Puerto Díaz
	NIC-38	3801	ECS	Dos Montes - El Sauce
	NIC-38	2611	ECS	El Sauce -Río Grande

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Tabla 56. Peso por eje para vehículos livianos

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

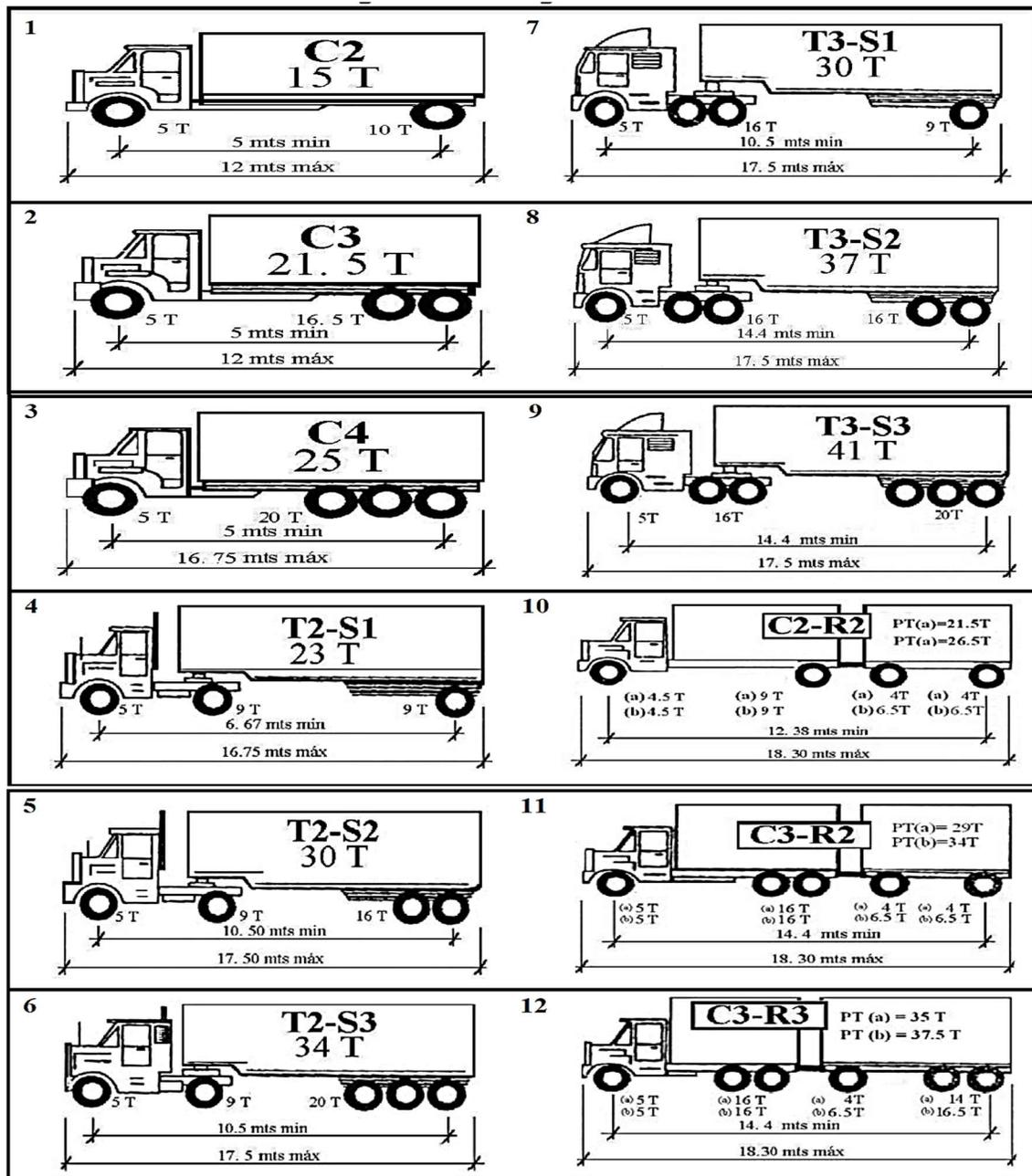
Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Tabla 57 Desviación 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

Ilustración 19. Peso por eje para vehículos de carga



Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Tabla 58. Registro histórico ECD San Sebastián de Yalí-La Rica

N°	Cód.	Est.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv. <5T	C2 >5T	C3	TPDA
218	NIIC-35D	3503	2015	184	3	2	162		2	14	11	10		388
Nombre de Tramo			2009	187		10	103			19	2	18	3	342
San Sebastián de Yalí - La Rica			2006	33		6	69			17	6	15		146
Tipo	EMC	Depart	2002	28	1	12	80			15	16	15		168
ECD	1802	Jinotega	1999	24		10	72			22	6	9		143
Tasa de Crecimiento		6.57%	2019	237	4	3	209		3	18	14	13		500
				Liv. 453				Pasaj. 21			Pesado 27			
				90%				4%			5%			

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019, pág. 186

Tabla 59. Factor de Equivalencia Eje Simple

Carga / eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	35.6	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.079
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	80	1	1	1	1	1	1
20	89	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	160	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	178	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	213.6	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento, AASHTO 93. Capítulo 3. Pág. 41

Tabla 60. Factor de Equivalencia Eje Doble

Carga / eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0	0	0	0	0	0
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	80	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	275.9	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento, AASHTO 93. Capítulo 3. Pág. 42

Tabla 61. Análisis granulométrico (SM1-SM6)

Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	% Pasa por el tamiz									
			2"	1 ½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
1	1	0-1.5	100	91	75	64	52	44	33	27	20	15
2	1	0-0.20	100	91	75	64	52	44	33	27	20	15
	2	0.20-0.40							100	98	96	88
	3	0.40-1.5							100	94	89	76
3	1	0-0.2	100	76	59	52	47	44	36	32	26	21
	2	0.2-0.8					100	94	83	79	73	64
	3	0.8-1.5			100	89	83	73	56	54	53	53
4	1	0-1		100	70	66	63	60	46	43	39	36
	2	1-1.5							100	97	90	77
5	1	0-0.9	100	76	59	52	47	44	36	32	26	21
	2	0.9-1.5	100	91	75	64	52	44	33	27	20	15
6	1	0-0.7		100	77	69	67	65	55	49	43	37
	2	0.7-1.5		100	77	70	68	66	50	41	35	29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Análisis granulométrico (SM7-SM11)

Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	% Pasa por el tamiz										
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	
7	1	0-1.05							100	77	68	51	37
	2	1.05-1.5								100	92	84	79
8	1	0-1.5								100	97	84	67
9	1	0-0.4								100	90	68	57
	2	0.4-1.5								100	96	82	70
10	1	0-0.1	100	76	59	52	47	44	36	32	26	21	
	2	0.1-0.8							100	97	83	63	
	3	0.8-1.5							100	95	78	66	
11	1	0-0.2							100	97	83	63	
	2	0.2-0.45	100	76	59	52	47	44	36	32	26	21	
	3	0.45-1.5							100	97	83	63	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Límites de Consistencia

Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	Límite Líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
1	1	0-1.5	25.50 %	18.60 %	6.90 %
2	1	0-0.20	25.50 %	18.60 %	6.90 %
	2	0.20-0.40	61.40 %	37.20 %	24.20 %
	3	0.40-1.5	39.60 %	31.10 %	8.50 %
3	1	0-0.2	31.00 %	26.90 %	4.10 %
	2	0.2-0.8	35.00 %	25.50 %	9.50 %
	3	0.8-1.5	48.10 %	31.20 %	16.90 %
4	1	0-1	43.30 %	37.70 %	5.60 %
	2	1-1.5	45.60 %	35.90 %	9.70 %
5	1	0-0.9	31.00 %	26.90 %	4.10 %
	2	0.9-1.5	25.50 %	18.60 %	6.90 %
6	1	0-0.7	37.80 %	27.30 %	10.50 %
	2	0.7-1.5	35.30 %	30.00 %	5.30 %
7	1	0-1.05	33.50 %	25.60 %	7.90 %
	2	1.05-1.5	64.10 %	39.10 %	25.00 %
8	1	0-1.5	37.30 %	26.60 %	10.70 %
9	1	0-0.4	NP	NP	NP
	2	0.4-1.5	27.10 %	23.80 %	3.30 %
10	1	0-0.1	31.00 %	26.90 %	4.10 %
	2	0.1-0.8	30.90 %	25.20 %	5.70 %
	3	0.8-1.5	53.60 %	41.00 %	12.60 %
11	1	0-0.2	30.90 %	25.20 %	5.70 %
	2	0.2-0.45	31.00 %	26.90 %	4.10 %
	3	0.45-1.5	30.90 %	25.20 %	5.70 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64 Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el número 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de Clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (% pasa)							
No 10	50 máx.						
No 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasó No 40.							
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena.		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el número 200)						
	A-4		A-5		A-6		A-7
Grupo de Clasificación							A-7-5 y A-7-6
Análisis de tamiz (% pasa)							
No 10							
No 40							
No 200	36 mín.		36 mín.		36 mín.		36 mín.
Características de la fracción que pasó No 40.							
Límite Líquido	40 máx.		41 mín.		40 máx.		41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.		10 máx.		11 mín.		11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos				Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						

Fuente: Das (2015)

Tabla 65 Estudio de Suelos Banco de Materiales

PVSS	PVSC	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	I.P.	AASHTO	
					Kg/m ³	Kg/m ³	Kg./m ³	%	100%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"				3/8"
		Banco de Préstamo N°1 "Sr. Santos Edgardo Zeledón Castro"																
1,560	1,734	1,935	8.5	81.3	96	73	49	37	28	22	13	6	3	2	24	6	A-2-4 (0)	
		Banco de Préstamo N°2 "Sr. Felipe Antonio Centeno"																
1,588	1,802	1,985	9.7	81.9	84	63	46	39	33	29	20	13	6	3	24.3	5.5	A-2-4 (0)	
<p>Observaciones</p> <p style="text-align: center;"> PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto L.L. = Límite Líquido I.P. = Índice de Plasticidad </p>																		

Fuente: Alcaldía Municipal San Sebastián de Yalí

Ilustración 20 Comprobación de SN3 con software

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for input and calculation. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So' as 0.4. The 'Serviciabilidad inicial y final' section has 'PSI inicial' as 4.2 and 'PSI final' as 2. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section has 'Mr' as 12790 psi. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 574182' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 2.32'. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software AASHTO 93.

Ilustración 21 Comprobación de SN2 con software

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for input and calculation. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So' as 0.4. The 'Serviciabilidad inicial y final' section has 'PSI inicial' as 4.2 and 'PSI final' as 2. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section has 'Mr' as 19000 psi. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 574182' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 2.00'. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software AASHTO 93

Ilustración 22 Comprobación del SN1 con software

Fuente: Software AASHTO 93

Tabla 66 Clasificación de las carreteras

Función	Clase de carretera	Nom.	TPD	N° 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 Urbano	CMU	10,000-20,000	4-6
Colector Menor	Colector Menor Rural	CR	500 – 3,000	2
	Colector Menor Urbano	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)

Tabla 67 Dimensiones de los vehículos de diseño (metros)

Descripción	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Ancho	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Longitud	5.8	12.1	9.1 (9.2)	16.7 (16.8)	21	22.5
Voladizo delantero	0.9	2.1	1.2	0.9	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5	2.4	1.8	0.6	0.9	0.9
Distancia entre ejes extremos WB1	3.4	7.6	6.1	6.1	6.1	6.1
Distancia entre ejes extremos WB2				9.1	12.8	14.3

Fuente: Propia

Tabla 68 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	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52	52
110	220	73.6	74
120	250	95	95

Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 125

Tabla 69 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

No	Descripción	Autopistas regionales	Troncales		Colectoras	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD	>2,000	2,000-1.000	1.500-450	300-50	450-75
3	FPH	0.92	0.92	0.95 – 0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB – 20	WB – 20	WB – 20	WB – 15	WB – 15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño (kph)	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	No de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de carril (m)	3.6	3.6	3.3 – 3-6	3.3 – 3.6	3.3
9	Ancho de hombros / espaldones (m)	Int 1 – 1-5 Ext. 1.8-2.5	Int 1 – 1-5 Ext. 1.8-2.5	Int. 0.5-1.0 Ext. 1.2-1.8	Ext. 1.2– 1.5	Ext. 1.2– 1.5
10	Tipo de superficie de rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav - Grava
11	Dist. De Visibilidad de parada (m)	110- 245	110-170	85- 140	65- 110	65- 110
12	Dist.de Visibilidad adelantamiento (m)	480- 670	480 - 600	410-540	350 - 480	350 - 480
13	Radio mín. curva, peralte 6% (m)	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Máximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' -5°53'	12°44' -5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5 - 3	1.5 – 3	1.5 - 3	1.5 - 3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. SIECA (2004)

Tabla 70 Radio y grado de curvatura recomendados

Velocidad de Diseño (KPH)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo= 4%		Grado de Curvatura	Peralte máximo= 6%		Grado de Curvatura
		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	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	280	04°06'	252	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	Peralte máximo= 10%		Grado de Curvatura
		Radio (m)			Radio (m)		
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7	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	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	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	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 89

Tabla 71 Valores de Sobreebanco (400-3000)

Radio De Curva	Ancho de Calzada 7.20m						Ancho de Calzada 6.60 m						Ancho de calzada 6.0 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	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	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	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1	1
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 112

Tabla 72. Valores de Sobreancho (70-300)

Radio De Curva	Ancho de Calzada 7.20m						Ancho de Calzada 6.60 m						Ancho de calzada 6.0 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
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1	1			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.3				
100	1.6	1.7					1.9	2					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 112

Tabla 73 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) Capítulo 3. Pág. 125

Ilustración 23. Sondeo manual



Fuente: Propia

Ilustración 24. Recolección de muestras en los sondeos



Fuente: Propia

Ilustración 25. Realización de aforo vehicular



Fuente: Propia

Ilustración 26. Muestra en laboratorio



Fuente: Propia

Ilustración 27. Tramo San Sebastián de Yalí - El Tigre



Fuente: Propia

Ilustración 28. Peso de las muestras



Fuente: Propia

Ilustración 29. Lavado de las muestras



Fuente: Propia

Tabla 74. Costos Directos (Parte 1)

Código	Concepto de Obra	U/M	CANT.	C/U (C\$)	Costo Total (C\$)	Costo Total (USD\$)
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERA ASFALTO					70,252,670.15	1,994,267.84
100	Requerimientos Legales y Administrativos					
110	Preliminares					
110(09)	Movilización y Desmovilización	CU	1	281,894.74	281,894.74	8,002.17
110(06)	Trabajos por Administración	GLB	1	13,056,301.80	13,056,301.80	370,630.22
200	Movimiento de Tierra					
201	Abra y Destronque					
201 (3)	Abra y Destronque	GLB	1	5,622,937.73	5,622,937.73	159,618.75
203	Excavación y Terraplenado					
203 (14)	Desalojo	M3	9981.45	334	3,333,843.58	94,638.07
203 (1A)	Excavación en la Vía	M3	25227.73	149.85	3,780,480.29	107,316.78
203 (5)	Excavación Préstamo Selecto	M3	11320.66	187.07	2,117,785.54	60,117.74
203 (6)	Construcción de Terraplén	M3	17549.69	256.65	4,504,127.94	127,859.02
206	Sobre acarreo					
206 (1)	Sobre acarreo largo a 2 Km	M3	125047.1	31.63	3,954,739.30	112,263.48
300	Capas Superficiales de Agregados					
304	Capa de Agregado Tratado					
304 (2A)	Capa Base	M3	8708.2	239.81	2,088,313.44	59,281.11
400	Pavimentos Asfálticos y Tratamientos Superficiales					
407	Carpeta de Concreto Asfáltico de Desgaste Abierta					
407 (1)	Pavimento de Concreto Bituminoso en Caliente	M2	45000	1349	60,705,000.00	1,723,237.38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Costos Directos (Parte 2)

Código	Concepto de Obra	U/M	CANT.	C/U (C\$)	Costo Total (C\$)	Costo Total (USD\$)
800	Control y Seguridad del Tráfico				-	
801	Señales Verticales de Control de Tráfico					
801 (1)	Señales Verticales	C/U	13	6,755.21	87,817.73	2,492.89
802	Marcas de Pavimento					
802 (1A)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Blanca	ML	10000	100.8	1,008,000.00	28,614.17
802 (1B)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	ML	5000	100.8	504,000.00	14,307.09
802 (2)	Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	M2	500	436.8	218,400.00	6,199.74
802 (5)	Captaluces	CU	1254	116.88	146,567.52	4,160.62
900	Obras Misceláneas					
902	Guardavías					
902 (1)	Guarda Vía de Viga "W" (Flex Beam)	ML	1000	100.8	100,800.00	2,861.42
914	monumentos, Mojones y Postes Indicadores					
914 (4)	Postes Guías	C/U	21	2,000.00	42,000.00	1,192.26
913	Revestido de Cauces y Cuentas					
913 (2)	Cunetas Revestidas Tipo II	ML	3500	449.15	1,572,025.20	44,625.20
	Trabajos Ambientales y Administrativos					
	Programa de Manejo Ambiental	C/U	1	73,335.34	73,335.34	2,081.78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76 Costo unitario Movilización y Desmovilización

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Traslado de Cargadora de Ruedas	Viajes	2.00	34,916.00	69,832.00
1	Traslado de Tractor de Cadena D6	Viajes	2.00	34,916.00	69,832.00
1	Traslado de Excavadora	Viajes	2.00	34,916.00	69,832.00
1	Traslado de Motoniveladora	Viajes	2.00	34,916.00	69,832.00
1	Traslado de Vibrocompactadora	Viajes	2.00	34,916.00	69,832.00
5	Traslado de Camión Volquete 10 M3	Hrs	82.42	1,618.84	133,419.6
1	Traslado de Camión Cisterna 3000 Gl	Hrs	16.48	1,317.02	21,708.85
1	Traslado de Herramientas menores	Viajes	4.00	2,090.07	8,360.27
	Movilización y desmovilización de Personal	Glb	1.00	30,000.00	30,000.00
1	Operador de Camión Cabezal	Hrs	0.00	67.07	0.00
1	Operador de Camión Volquete	Hrs	82.42	67.07	10,178.23
1	Operador de Camión Cisterna	Hrs	16.48	56.47	1,714.12
1	Ayudantes de maquinas	hrs	59.34	40.71	4,448.44
1	Viáticos	Día	24.00	200.00	4,800.00
MATERIAL :			0.00		
% DE MATERIAL :			0.00%		
MANO DE OBRA :			10,570.40		
% DE MANO DE OBRA :			3.75%		
EQUIPO :			271,324.35		
% DE EQUIPO :			96.25%		
SUBCONTRATO :			0.00		
% DE SUBCONTRATO :			0.00%		
TOTAL :			281,894.74		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77 Costo unitario de Trabajos por administración

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Trabajos por administración	Glb	1.00	13,056,301.80	13,056,301.80
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		13,056,301.80		
% DE MANO DE OBRA :		100.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		0.00		
% DE SUBCONTRATO :		0.00%		
TOTAL :		13,056,301.80		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78 Costo unitario Abra y destronque

Descripción	Unidad	Rendimiento Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Motosierra	Hrs	40.00 M ² /hr	1,250.00	180.36	225,450.00
Cargador frontal para cargar desechos	Hrs	120.00 M ² /hr	416.67	2,011.21	838,004.71
Volquetes acarreo de material	Hrs	40.00 M ² /hr	1,250.00	1,618.84	2,023,552.60
Operador de Motosierra	Hrs		1,250.00	54.96	126,494.97
Operador de Cargador Frontal	Hrs		416.67	88.21	67,678.36
Operador de Camión Volquete	Hrs		1,250.00	67.07	154,371.47
Ayudante de equipos	Hrs	15.00 M ² /hr	3,333.33	40.71	249,884.12
Tractor D6	Hrs	100.00 M ² /hr	500.00	3,875.00	1,937,501.5
MATERIAL :				0.00	
% DE MATERIAL :				0.00%	
MANO DE OBRA :				598,428.92	
% DE MANO DE OBRA :				10.64%	
EQUIPO :				5,024,508.81	
% DE EQUIPO :				89.36%	
SUBCONTRATO :				0.00	
% DE SUBCONTRATO :				0.00%	
TOTAL :				5,622,937.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79 Costo unitario Excavación en la vía

Descripción	Unidad	Rendimiento Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Agua para proceso de material	m ³	1.298 m ³ /m ³	19,429.06	59.00	1,146,314.40
Tractor D6T	Hrs	110.000 m ³ /hr	229.34	3,875.00	888,704.81
Cargador frontal	Hrs	45.909 m ³ /hr	549.51	2,011.21	1,105,190.60
Operador de Tractor D6	Hrs	110.000 m ³ /hr	229.34	114.69	48,433.30
Operador de Cargador Frontal	Hrs	45.909 m ³ /hr	549.51	88.21	89,256.64
Ayudantes de máquinas	Hrs	9.042 m ³ /hr	2,789.93	40.71	209,148.11
Perrero	Hrs	10.384 m ³ /hr	2,429.43	40.71	182,122.82
Ayudante de línea	Hrs	22.326 m ³ /hr	1,129.95	40.71	84,706.97
Viáticos de operadores	Día	189.663 m ³ /día	133.01	200.00	26,602.64
MATERIAL :	45.44				
% DE MATERIAL :	30.32				
MANO DE OBRA :	25.38				
% DE MANO DE OBRA :	16.94%				
EQUIPO :	79.04				
% DE EQUIPO :	52.74				
SUBCONTRATO :	0.00				
% DE SUBCONTRATO :	0.00				
TOTAL :	149.85				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80 Costo unitario Excavación en banco de préstamo selecto

Descripción	Unidad	Rendimiento Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Material Selecto	m ³		14,716.86	120.00	1,766,022.9
Agua	m ³	10.560 m ³ /hr	1,072.03	59.00	63,249.90
Cargador frontal	Hrs	125.000 m ³ /hr	90.57	2,011.21	182,145.92
Operador de Cargador Frontal	Hrs		90.57	88.21	7,988.67
Ayudantes de máquinas	Hrs	12.042 m ³ /hr	940.07	40.71	38,271.03
Ayudante de línea	Hrs	12.326 m ³ /hr	918.41	40.71	37,389.26
Viáticos de operadores	Día	99.663 m ³ /día	113.59	200.00	22,717.80
MATERIAL :		161.59			
% DE MATERIAL :		86.38%			
MANO DE OBRA :		9.40			
% DE MANO DE OBRA :		5.02%			
EQUIPO :		16.09			
% DE EQUIPO :		8.60%			
SUBCONTRATO :		0.00			
% DE SUBCONTRATO :		0.00%			
TOTAL :		187.07			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81 Costo unitario sobre acarreo largo

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Costo sobre acarreo m3/km	M3	125,047.0	31.63	3,954,739.3
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		31.63		
% DE EQUIPO :		100.00%		
SUBCONTRATO :		0.00		
% DE SUBCONTRATO :		0.00%		
TOTAL :		31.63		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82 Costo unitario de construcción de terraplén

DESCRIPCION	UNIDAD	RENDIMIENTO EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Ayudantes de máquinas	Hrs	4.04 m³/hr	6,246.43	40.71	468,264.83
Agua	m³	10.56 m³/hr	2,388.99	59.00	140,950.39
Motoniveladora	Hrs	60.00 m³/hr	420.46	2,459.80	1,034,252.84
compactadora	Hrs	60.00 m³/hr	420.46	2,113.64	888,704.81
Camión Cisterna	Hrs	60.00 m³/hr	420.46	1,317.02	553,756.31
Bomba de succión	Hrs	15.00 m³/hr	1,681.85	109.18	183,628.50
Operador de Motoniveladora	Hrs		420.46	114.69	88,794.38
Operador de Vibrocompactadora	Hrs		420.46	61.74	47,803.84
Operador de Vibrocompactadora	Hrs		9,009.90	61.74	1,024,368.01
Operador de Camión Cisterna	Hrs		420.46	56.47	43,724.38
Compactadora Manuales	hrs		9,009.90	203.76	1,835,861.76
Operador de Bomba de succión	Hrs		1,681.85	40.71	126,080.18
Viáticos	Día	131.23 m³/día	192.24	200.00	38,447.27
MATERIAL :		5.59			
% DE MATERIAL :		2.18%			
MANO DE OBRA :		72.84			
% DE MANO DE OBRA :		28.38%			
EQUIPO :		178.22			
% DE EQUIPO :		69.44%			
SUBCONTRATO :		0.00			
% DE SUBCONTRATO :		0.00%			
TOTAL :		256.65			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83 Costo unitario de capa base

DESCRIPCION	UNIDAD	RENDIMIENTO EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Ayudantes de máquinas	Hrs	4.04 m ³ /hr	2,156.16	40.71	161,637.37
Agua	m ³	10.56 m ³ /hr	824.64	59.00	48,653.77
Motoniveladora	Hrs	60.00 m ³ /hr	145.14	2,459.80	357,007.17
Compactadora	Hrs	75.00 m ³ /hr	116.11	2,113.64	245,413.10
Camión Cisterna	Hrs	99.60 m ³ /hr	87.43	1,317.02	115,149.17
Bomba de succión	Hrs	15.00 m ³ /hr	580.55	109.18	63,385.56
Operador de Motoniveladora	Hrs		145.14	114.69	30,650.37
Operador de Vibrocompactadora	Hrs		116.11	61.74	13,200.88
Operador de Vibrocompactadora	Hrs		3,110.07	61.74	353,595.09
Operador de Camión Cisterna	Hrs		87.43	56.47	9,092.13
Compactadora Manuales	hrs		3,110.07	203.76	633,709.47
Operador de Bomba de succión	Hrs		580.55	40.71	43,520.82
Viáticos	Día	131.23 m ³ /día	66.36	200.00	13,271.37
MATERIAL :	5.59				
% DE MATERIAL :	2.33%				
MANO DE OBRA :	71.77				
% DE MANO DE OBRA :	29.93%				
EQUIPO :	162.45				
% DE EQUIPO :	67.74%				
SUBCONTRATO :	0.00				
% DE SUBCONTRATO :	0.00%				
TOTAL :	239.81				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84 Costo unitario asfalto

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Pavimento de concreto bituminoso en caliente (4 pulg).	M2	45000	1349.00	60,705,000.00
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		1349.00		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		1349.00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 Costo unitario de señales verticales

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Suministro e instalación de señales verticales Grande	Glb	13.00	6,755.21	87,817.73
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		6,755.21		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		6,755.21		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86 Costo unitario de marca reflectorizada continua (blanca)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Marcas de Tránsito Reflectorizadas	gln	10,000.00	100.80	1,008,000.00
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		100.80		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		100.80		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 87 Costo unitario de marcas reflectorizadas continuas (amarilla)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Marcas de Tránsito Reflectorizadas Continuas	gln	5,000.00	100.80	504,000.00
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		100.80		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		100.80		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88 Costo unitario de captaluces

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Suministro e instalación de CAPTALUCES	Glb	1,254.00	116.88	146,567.52
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		116.88		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		116.88		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89 Costo unitario de guarda vías

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Suministro e instalación de señales verticales	Glb	28.00	3,600.00	100,800.00
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0.00		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		100.80		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		100.80		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90 Costo unitario de postes guías

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	G	PRECIO TOTAL
Suministro e instalación de postes guías	C/U	21	2000	42000
MATERIAL :		0		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		0		
% DE MANO DE OBRA :		0.00%		
EQUIPO :		0		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		2000		
% DE SUBCONTRATO :		100.00%		
TOTAL :		2000		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91 Costo unitario de Cunetas revestidas tipo II

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Concreto de 3000 Psi	m3	350.00	3,807.04	1,332,464.46
Madera de pino	P2v	12,425.64	5.02	62,314.57
Clavos de 2 1/2"	Lbs	1,137.76	32.59	37,084.15
				1,431,863.18
Excavación	Hrs	1,333.50	40.71	54,288.12
Fundir	Hrs	262.50	40.71	10,686.64
Viáticos	Día	15.00	200.00	3,000.00
				67,974.76
Botar material sobrante	Hrs	25.73	1,042.50	26,822.66
Vibrador	Hrs	105.00	432.04	45,364.61
				72,187.27
MATERIAL :		409.10		
% DE MATERIAL :		91.08%		
MANO DE OBRA :		19.42		
% DE MANO DE OBRA :		4.32%		
EQUIPO :		20.62		
% DE EQUIPO :		4.59%		
SUBCONTRATO :		0.00		
% DE SUBCONTRATO :		0.00%		
TOTAL :		449.15		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92 Costo unitario de Plan de manejo ambiental

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Charlas Ambientales de contingencia	c/u	1.00	3,522.73	3,522.73
Talleres de educación vial y adaptación al cambio climático	Glb	1.00	5,284.10	5,284.10
Charla sobre seguridad y protección al trabajador (cada semana)	c/u	12.00	1,761.37	21,136.44
Aviso a la población	Glb	1.00	1,232.96	1,232.96
Especialista Ambiental y ayudantes para la aplicación de medidas ambientales	Glb	1.00	3,522.73	3,522.73
Monitoreo y seguimiento	Glb	1.00	21,136.38	21,136.38
Aranceles MARENA	Glb	1.00	17,500.00	17,500.00
MATERIAL :		0.00		
% DE MATERIAL :		0.00%		
MANO DE OBRA :		73,335.34		
% DE MANO DE OBRA :		100.00%		
EQUIPO :		0.00		
% DE EQUIPO :		0.00%		
SUBCONTRATO :		0.00		
% DE SUBCONTRATO :		0.00%		
TOTAL :		73,335.34		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93 Gastos generales

DESCRIPCION	UND.	%	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
GASTOS GENERALES					
GASTOS DE OFERTA					
Planos y Especificaciones	GLB		1.00	3,500.00	3,500.00
Elaboración de Take Off	GLB		1.00	3,000.00	3,000.00
Elaboración de Presupuesto	GLB		1.00	3,000.00	3,000.00
Papelería y Útiles de oficina	GLB		1.00	2,500.00	2,500.00
Fotocopias			1,250.00	0.75	937.50
FIANZAS					
Valor del Contrato sin impuestos			103,198,370.15		
Mantenimiento de Oferta	GLB	3.00	3,095,951.10	0.015	46,439.27
Cumplimiento	GLB	10.00	10,319,837.02	0.02	206,396.74
Fianza de adelanto	GLB	20.00	20,639,674.03	0.03	619,190.22
Fianza Vicios Ocultos	GLB	5.00	5,159,918.51	0.015	77,398.78
SEGUROS					
Daños a la Obra			702,526.70	0.03	21,075.80
TOTAL					993,322.02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94 Gastos de operación

DESCRIPCION	UNID.	TIEMPO	CAN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
HERRAMIENTAS					
Herramientas p/ Estruct de Concreto.	MES	5.00	1.00	2,500.00	12500.00
Palas, Piochas, Barras, Barras de Uñas	MES	5.00	1.00	1,200.00	6000.00
Cinceles, Piquetas, Mazos, Puyas	MES	5.00	1.00	1,285.00	6425.00
Carretillas, Barriles	MES	5.00	1.00	2,560.00	12800.00
Equipo de Seguridad	MES	5.00	1.00	5,000.00	25000.00
EQUIPO LIVIANO					
Mezcladora	MES	5.00	4.00	17,613.65	352,273.00
Vibrador de Gasolina	MES	5.00	4.00	17,613.65	352,273.00
Vibrocompactadora manual	MES	5.00	4.00	19,375.02	387,500.40
Planta Eléctrica	MES	5.00	1.00	29,943.21	149,716.05
Camioneta(s)	MES	5.00	2.00	26,420.48	264,204.80
Camioncito	MES	5.00	1.00	35,000.00	175,000.00
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES					
Mezcladora	MES	5.00	4.00	6,322.46	126,449.20
Vibrador de Gasolina	MES	5.00	4.00	6,322.46	126,449.20
Vibrocompactadora manual		5.00	4.00	6,322.46	126,449.20
Planta Eléctrica	MES	5.00	2.00	6,322.46	63,224.60
Camioneta	MES	5.00	2.00	4,753.96	47,539.60
TOTAL					2,233,804.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95 Gastos iniciales

DESCRIPCION	UNID.	TIEMPO	CAN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Construcciones Provisionales	M2		16	1,250.00	20,000.00
Polines de madera	CU		15	200.00	3,000.00
Mobiliario de Ofic.de Const. Provis.	C/U		1.00	5,000.00	5,000.00
Rótulos del Proyecto	C/U	1.00	2.00	20,000.00	40,000.00
Equipo Oficina de Campo	C/U	4.00	1.00	4,500.00	18,000.00
Camas y Colchones	C/U	1.00	4.00	850.00	3,400.00
Servicios Sanitarios	Glb	1.00	1.00	5,250.00	5,250.00
SERVICIOS PUBLICOS					
Consumo de Agua	MES	5.00	2.00	450.00	4,500.00
Conexión Eléctrica provisional	GLB	1.00	1.00	2,500.00	2,500.00
Consumo de Energía	MES	5.00	2.00	650.00	6,500.00
Comunicación	GLB	5.00	1.00	1,200.00	6,000.00
BOTIQUIN DE CAMPO					
Inicial	C/U	2.00	2.00	1,250.00	5,000.00
Reposición	C/U	3.00	12	850.00	30,600.00
TOTAL					149,750.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96 Gastos de oficina

DESCRIPCION	UNIDAD	TIEMPO	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Papelería de campo	MES	5.00	1.00	1,500.00	7500.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97 Salarios del personal administrativo

DESCRIPCION	UNIDAD	TIEMPO	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Ingeniero Residente	MES	5.00	1.00	20,000.00	100,000.00
Ingeniero Asistente Calculista	MES	5.00	1.00	12,000.00	60,000.00
Maestro de Obras	MES	5.00	2.00	13,000.00	130,000.00
Fiscal	MES	5.00	1.00	10,000.00	50,000.00
Bodeguero	MES	5.00	1.00	10,000.00	50,000.00
Conductor	MES	5.00	1.00	9,000.00	45,000.00
Vigilante Nocturno	MES	5.00	1.00	9,000.00	45,000.00
Vigilante Diurno	MES	5.00	1.00	9,000.00	45,000.00
Mecánico	MES	5.00	1.00	10,000.00	50,000.00
Llantero	MES	5.00	1.00	8,500.00	42,500.00
Ayudante(s)	MES	5.00	1.00	8,500.00	42,500.00
Prestaciones Sociales	GLB				432,432.00
TOTAL					1,092,432.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98 Servicios profesionales

DESCRIPCION	UNIDAD	TIEMPO	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Pruebas de Compactación	C/U	10.00	4.00	750.00	30,000.00
Laboratorio de Suelos	MES	1.00	1.00	50,000.00	50,000.00
Topografía	MES	1.00	0.25	126,818.28	31,704.57
TOTAL					126,704.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99 Viáticos y transporte del personal

DESCRIPCION	UND.	TIEMPO	CAN.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
HOSPEDAJE					
Alquiler de Casa	MES	5.00	1.00	14,000.00	70,000.00
Consumo de Agua (casa)	MES	5.00	1.00	500.00	2,500.00
Consumo de Elect.(casa)	MES	5.00	1.00	1,000.00	5,000.00
ALIMENTACION					
Ing. Residente	MES	5.00	1.00	8,100.00	40,500.00
Maestro de Obras	MES	5.00	2.00	7,200.00	72,000.00
Bodeguero/Fiscal/Kardista	MES	5.00	3.00	7,200.00	108,000.00
Armadores	MES	5.00	4.00	7,200.00	144,000.00
Mecánico	MES	5.00	1.00	7,200.00	36,000.00
Llantero	MES	5.00	1.00	7,200.00	36,000.00
Conductor	MES	5.00	1.00	7,200.00	36,000.00
PASAJES					
Ing. Residente	MES	5.00	1.00	300.00	1,500.00
Maestro de Obras	MES	5.00	2.00	300.00	3,000.00
Bodeguero/Fiscal/Kardista	MES	5.00	3.00	24.00	360.00
Choferes	MES	5.00	2.00	300.00	3,000.00
Pagador(es)	MES	5.00	1.00	200.00	1,000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100 Otros gastos

DESCRIPCION	UND.	TIEMPO	CAN.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Equipo Dir. en tiempo Muerto Lluvias	MES	5.00	20.00	1,460.00	146,000.00
Personal Dir. en tiempo Muerto Lluvias	MES	5.00	20.00	639.44	63,944.00
Instalaciones Provisionales					
Oficinas y Laboratorio	MES	5.00	2.00	16,000.00	160,000.00
Cocina y comedor	MES	5.00	1.00	4,431.75	22,158.75
Taller	MES	5.00	1.00	30,000.00	150,000.00
Bodega	MES	5.00	1.00	30,000.00	30,000.00
Letrinas	MES	5.00	5.00	11,818.00	59,090.00
Camas del Personal	MES	5.00	4.00	4,200.00	16,800.00
Computadoras oficina de campo	MES	5.00	1.00	20,681.50	20,681.50
Camas y colchones	MES	5.00	4.00	3,500.00	14,000.00
Cercas perimetrales	MES	5.00	200.0	45.00	9,000.00
Rollos plástico de prevención	MES	5.00	20	200.00	4,000.00
TOTAL					695,674.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101 Imprevistos

DESCRIPCION	UNIDAD	TIEMPO	CAN.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Rótulos de señalización de tránsito	C/U		12.00	1,250.00	15,000.00
Riego en Acceso a Bancos	Hrs		50.00	214.72	10,736.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 102. Curvas verticales del Tramo San Sebastián de Yalí – El Tigre

No de Curva	Est PCV	Elev. PCV	Est. PIV	Elev. PIV	Est. PTV	Elev. PTV	Valor de K	Long. Curva Vertical	Pendiente	Tipo de Curva
1	0+021.92	907.58	0+057.6	907.96	0+093.28	912.59	6	71.36	1.08%	Columpio
2	0+155.08	920.61	0+173.10	922.94	0+191.11	924.78	13	36.03	12.97%	Cresta
3	0+632.34	969.79	0+686.69	975.34	0+741.04	972.44	7	108.7	10.20%	Cresta
4	0+767.16	971.05	0+854.95	966.37	0+942.74	973.55	13	175.58	-5.33%	Columpio
5	1+182.53	993.17	1+217.97	996.06	1+253.41	995.37	7	70.88	8.18%	Cresta
6	1+474.21	991.07	1+528.02	990.03	1+528.83	993.43	13	107.62	-1.95%	Columpio
7	1+644.41	997.4	1+695.76	1000.65	1+747.10	996.37	7	102.69	6.33%	Cresta
8	1+846.86	988.05	1+934.06	980.78	2+021.26	985.2	13	174.4	-8.34%	Columpio
9	2+692.64	1019.29	2+734.92	1021.44	2+777.20	1018.47	7	84.56	5.08%	Cresta
10	2+848.11	1013.51	2+906.01	1009.45	2+963.91	1010.56	13	115.79	-7.00%	Columpio
11	3+081.83	1012.8	3+114.67	1013.43	3+147.5	1010.97	7	65.67	1.90%	Cresta
12	3+218.25	1005.68	3+256.95	1002.79	3+295.65	1002.2	13	77.4	-7.48%	Columpio
13	3+346.81	1001.42	3+379.07	1000.93	3+411.33	1002.04	13	64.52	-1.52%	Columpio
14	3+610.58	1008.89	3+680	1011.27	3+749.42	999.89	7	138.85	3.44%	Cresta
15	3+819.48	988.41	3+947.44	967.42	4+075.40	971.63	13	255.92	-16.40%	Columpio
16	4+218.05	976.33	4+262.19	977.78	4+306.34	982.23	13	88.29	3.29%	Columpio
17	4+363.25	987.97	4+419.61	993.65	4+475.96	990.26	7	112.71	10.08%	Cresta
18	4+533.09	987.82	4+610.90	982.14	4+688.72	986.77	13	155.61	-6.02%	Columpio

Fuente; Elaboración propia

Tabla 103. Curvas horizontales (PI-1_Pi-30)

PI	Dirección	Deflexión	Radio	Tangente	L	LC	E	M	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
PI:1	S52° 00' 03W"	36°17'25"	24	7,87	15,20	14,95	1,26	1,19	0+010.21	0+018.08	0+025.42	1471771,65	588521,59
PI:2	S87° 14' 27W"	106°46'13"	24.02	32,33	44,76	38,56	16,25	9,69	0+033.07	0+065.40	0+077.83	1471731,92	588494,94
PI:3	N31° 05' 31W"	16°33'50"	68	9,90	19,66	19,59	0,72	0,71	0+122.93	0+132.83	0+142.59	1471799,42	588439,54
PI:4	N3° 48' 22W"	38°00'29"	68	23,42	45,11	44,29	3,92	3,71	0+178.65	0+202.07	0+223.76	1471863,37	588412,64
PI:5	N3° 17' 06W"	36°57'56"	68	22,73	43,87	43,11	3,70	3,51	0+278.09	0+300.82	0+321.96	1471960,34	588438,99
PI:6	N5° 56' 49W"	31°38'29"	68	19,27	37,55	37,08	2,68	2,58	0+340.15	0+359.42	0+377.70	1472016,23	588416,67
PI:7	N0° 05' 05E"	19°34'39"	68	11,73	23,24	23,12	1,00	0,99	0+402.92	0+414.65	0+426.16	1472071,62	588426,31
PI:8	N24° 36' 47W"	29°49'05"	68	18,10	35,39	34,99	2,37	2,29	0+487.95	0+506.06	0+523.34	1472161,94	588410,86
PI:9	N27° 43' 05W"	23°36'29"	68	14,21	28,02	27,82	1,47	1,44	0+543.07	0+557.28	0+571.09	1472202,09	588377,74
PI:10	N37° 55' 26W"	44°01'13"	68	27,49	52,24	50,97	5,35	4,96	0+596.55	0+624.04	0+648.80	1472266,68	588359,33
PI:11	N66° 09' 36W"	12°27'06"	68	7,42	14,78	14,75	0,40	0,40	0+825.94	0+833.36	0+840.72	1472372,91	588175,81
PI:12	N57° 03' 52W"	30°38'33"	68	18,63	36,37	35,94	2,51	2,42	0+931.98	0+950.61	0+968.34	1472408,41	588064,00
PI:13	N32° 49' 52W"	17°49'28"	68	10,66	21,15	21,07	0,83	0,82	0+993.97	1+004.63	1+015.12	1472449,38	588027,44
PI:14	N8° 25' 52W"	30°58'31"	68	18,84	36,76	36,32	2,56	2,47	1+088.01	1+106.86	1+124.78	1472542,99	587985,92
PI:15	N2° 14' 57W"	18°36'41"	68	11,14	22,09	21,99	0,91	0,89	1+135.51	1+146.65	1+157.59	1472583,39	587990,93
PI:16	N4° 46' 57W"	13°32'41"	68	8,08	16,08	16,04	0,48	0,47	1+259.87	1+267.94	1+275.94	1472702,42	587966,59
PI:17	N6° 54' 43W"	17°48'13"	68	10,65	21,13	21,04	0,83	0,82	1+334.17	1+344.83	1+355.30	1472779,34	587969,26
PI:18	N57° 02' 04W"	82°26'29"	68	59,57	97,84	89,62	22,40	16,85	1+399.73	1+459.31	1+497.58	1472889,65	587938,02
PI:19	N59° 23' 56W"	77°42'45"	27.82	22,42	37,74	34,91	7,91	6,16	1+544.83	1+567.25	1+582.57	1472871,09	587810,11
PI:20	N62° 13' 25W"	83°21'42"	33.16	29,53	48,25	44,10	11,24	8,39	1+604.58	1+634.11	1+652.83	1472940,34	587784,16
PI:21	N88° 16' 48W"	31°14'55"	68	19,02	37,09	36,63	2,61	2,51	1+683.06	1+702.08	1+720.15	1472921,41	587707,70
PI:22	N81° 04' 48W"	16°50'55"	68	10,07	20,00	19,92	0,74	0,73	1+740.48	1+750.55	1+760.47	1472936,14	587660,53
PI:23	N77° 42' 21W"	23°35'49"	68	14,20	28,01	27,81	1,47	1,44	1+791.79	1+806.00	1+819.80	1472936,62	587604,93
PI:24	N78° 39' 05W"	25°29'16"	68	15,38	30,25	30,00	1,72	1,68	1+983.98	1+999.36	2+014.23	1473015,72	587428,05
PI:25	N57° 43' 14W"	67°20'57"	68	45,31	79,93	75,41	13,71	11,41	2+043.89	2+089.19	2+123.82	1473013,52	587337,73
PI:26	N50° 53' 33W"	53°41'33"	38.51	19,49	36,08	34,78	4,65	4,15	2+223.94	2+243.43	2+260.03	1473164,13	587270,53
PI:27	N54° 46' 08W"	45°56'23"	37.85	16,04	30,35	29,54	3,26	3,00	2+275.55	2+291.59	2+305.90	1473174,97	587220,64
PI:28	N65° 16' 01W"	66°56'10"	68	44,95	79,44	75,00	13,52	11,27	2+371.22	2+416.18	2+450.66	1473282,34	587154,08
PI:29	N88° 14' 51W"	20°58'30"	68	12,59	24,89	24,75	1,16	1,14	2+507.04	2+519.63	2+531.93	1473265,03	587041,48
PI:30	S86° 35' 35W"	31°17'38"	68	19,05	37,14	36,68	2,62	2,52	2+545.83	2+564.88	2+582.97	1473274,69	586996,99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104. Curvas horizontales (PI-31_Pi-59)

PI	Dirección	Deflexión	Radio	Tangente	L	LC	E	M	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
PI:31	S84° 00' 27W"	26°07'23"	68	15,78	31,00	30,74	1,81	1,76	2+605.25	2+621.03	2+636.26	1473256,05	586943,01
PI:32	S85° 07' 34W"	23°53'08"	68	14,38	28,35	28,14	1,50	1,47	2+662.80	2+677.19	2+691.15	1473263,02	586886,74
PI:33	N55° 02' 08W"	103°33'43"	68	86,35	122,91	106,85	41,91	25,93	2+711.08	2+797.43	2+833.99	1473228,11	586771,23
PI:34	N30° 42' 10W"	54°53'46"	68	35,32	65,15	62,69	8,63	7,65	2+857.15	2+892.47	2+922.30	1473372,71	586763,01
PI:35	N37° 19' 15W"	41°39'37"	68	25,87	49,44	48,36	4,76	4,44	2+945.20	2+971.08	2+994.65	1473417,09	586691,57
PI:36	N38° 40' 48W"	44°22'43"	68	27,74	52,67	51,36	5,44	5,04	3+009.73	3+037.47	3+062.40	1473482,96	586672,07
PI:37	N35° 35' 20W"	50°33'40"	68	32,12	60,01	58,08	7,20	6,51	3+084.66	3+116.78	3+144.67	1473522,93	586600,35
PI:38	N25° 25' 48E"	71°28'35"	68	48,93	84,83	79,44	15,78	12,80	3+185.40	3+234.33	3+270.23	1473642,74	586578,56
PI:39	N48° 55' 03E"	24°30'05"	68	14,77	29,08	28,86	1,58	1,55	3+451.19	3+465.95	3+480.27	1473760,72	586792,88
PI:40	N44° 54' 03E"	16°28'04"	68	9,84	19,54	19,48	0,71	0,70	3+605.32	3+615.16	3+624.87	1473880,77	586882,25
PI:41	N39° 36' 55E"	27°02'19"	68	16,35	32,09	31,79	1,94	1,88	3+691.59	3+707.94	3+723.68	1473936,51	586956,59
PI:42	N35° 08' 19E"	18°05'08"	68	10,82	21,46	21,38	0,86	0,85	3+738.49	3+749.31	3+759.96	1473974,21	586975,06
PI:43	N14° 02' 35E"	60°16'37"	68	39,48	71,54	68,28	10,63	9,19	3+768.34	3+807.82	3+839.88	1474016,30	587015,96
PI:44	N27° 36' 46W"	23°02'05"	68	13,86	27,34	27,15	1,40	1,37	3+865.26	3+879.11	3+892.59	1474091,93	586994,14
PI:45	N4° 19' 45W"	69°36'06"	68	47,26	82,60	77,62	14,81	12,16	3+936.21	3+983.48	4+018.82	1474173,17	586928,04
PI:46	N13° 43' 15E"	33°30'04"	68	20,47	39,76	39,20	3,01	2,89	4+040.60	4+061.06	4+080.36	1474250,32	586973,43
PI:47	N7° 20' 35E"	20°44'44"	68	12,45	24,62	24,49	1,13	1,11	4+103.48	4+115.92	4+128.10	1474306,27	586970,47
PI:48	N3° 03' 38E"	29°18'40"	68	17,78	34,79	34,41	2,29	2,21	4+146.38	4+164.16	4+181.16	1474352,48	586985,23
PI:49	N49° 02' 36W"	74°53'47"	68	52,08	88,89	82,69	17,65	14,01	4+196.94	4+249.02	4+285.83	1474436,38	586968,01
PI:50	N50° 18' 21W"	72°22'16"	68	49,74	85,89	80,29	16,25	13,12	4+298.04	4+347.78	4+383.93	1474443,36	586854,20
PI:51	N8° 44' 42E"	45°43'50"	68	28,68	54,27	52,84	5,80	5,34	4+398.33	4+427.01	4+452.60	1474533,37	586831,56
PI:52	N14° 49' 37E"	33°33'59"	68	20,51	39,84	39,27	3,03	2,90	4+464.69	4+485.19	4+504.52	1474585,55	586863,67
PI:53	N3° 53' 21E"	11°41'27"	68	6,96	13,88	13,85	0,36	0,35	4+525.52	4+532.48	4+539.40	1474633,99	586862,02
PI:54	N0° 14' 05W"	19°56'20"	70.11	12,32	24,40	24,28	1,07	1,06	4+576.77	4+589.09	4+601.17	1474689,83	586871,60
PI:55	N17° 41' 25E"	55°47'19"	68	36,00	66,21	63,63	8,94	7,90	4+610.90	4+646.90	4+677.11	1474746,96	586861,31
PI:56	N36° 05' 42E"	18°58'45"	68	11,37	22,52	22,42	0,94	0,93	4+699.95	4+711.31	4+722.47	1474796,09	586911,45
PI:57	N48° 08' 47E"	43°04'55"	68	26,84	51,13	49,93	5,11	4,75	4+744.32	4+771.16	4+795.45	1474849,79	586938,35
PI:58	N44° 11' 54E"	50°58'40"	68	32,42	60,50	58,53	7,33	6,62	4+834.20	4+866.62	4+894.70	1474883,81	587030,26
PI:59	N32° 13' 11E"	27°01'13"	68	16,34	32,07	31,77	1,94	1,88	4+913.29	4+929.63	4+945.36	1474947,60	587051,86

Fuente: Elaboración propia