



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

ESTUDIO DE SEGURIDAD VIAL DEL TRAMO DIRIAMBÁ – LA BOQUITA (NIC-18B), DEPARTAMENTO DE CARAZO.

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Imara Isabel Zelaya Chang
Br. Efrén Aldanaro Marín Ramírez

Tutor

Msc. Ing. Orlando López Peña

Asesor

Ing. Gilberto Solís Orozco

Managua, Marzo 2017

DEDICATORIA

A Dios Padre, hijo y Espíritu Santo. Ser todo poderoso creador de cielo y tierra, por regalarme la vida, la salud y el cuidado a lo largo de toda mi vida, bendiciéndome de tal manera al darme la oportunidad de llegar hasta este momento brindándome el privilegio de coronar una carrera universitaria.

A mis padres por todo el apoyo espiritual, moral y económico ofrecido durante toda mi vida y en el transcurso de mi formación académica.

A mi abuela, mis hermanos y tías porque siempre estuvieron al cuidado y disposición de cualquier apoyo que pudiesen ofrecerme en el transcurso de esta etapa de estudios.

Imara Isabel Zelaya Chang

DEDICATORIA

Dedico este trabajo monográfico, primeramente, al Dios Todopoderoso por haberme iluminado siempre en este camino azaroso, guiando mis pasos en los momentos más difíciles desplegando su inmenso amor sobre mí, me brindó la fortaleza para continuar adelante a pesar de los tropiezos; recordándome que él es ese Ser Invisible que siempre está a nuestro alrededor para derramar su espíritu sobre nosotros, aunque no lo merezcamos.

A mi madre Otilia Lucía Ramírez Garay, quien siempre estuvo a mi lado apoyándome en todo momento y en toda circunstancia con su gran espíritu guerrero e inquebrantable que sólo una madre suele tener.

A la memoria de mi padre René Marín Casablanca Baldowsky, quien partió de este mundo terrenal confiando en la promesa a su pueblo Israel y está en la presencia de Dios. A mis hermanos Carlson Kay, Carlson Louis y Horeb que también partieron de este mundo terrenal y están junto a mi padre. A todos ellos gracias por su tiempo aquí en la tierra y aunque no estén conmigo los recordaré siempre.

Efren Aldanaro Marín Ramírez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo por haber guiado en el camino, por brindarme sabiduría, fuerzas y perseverancia.

A mi familia por ofrecerme su apoyo incondicional, animándome a seguir adelante y no dejar rendirme.

Con especial cariño al Ing. Juan Blandino, por su comprensión y ayuda tanto moral como académica.

A mis compañeros de estudio y al Ing. Héctor Balladares, por compartir su amistad y apoyo en todo momento.

A los Docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería que me impartieron las diferentes asignaturas a lo largo de carrera de ingeniería civil, orientándome con profesionalismo por el buen camino y brindarme el pan de la enseñanza.

A mi tutor Msc. Ing. Orlando López Peña y demás contribuyentes por dedicarnos el tiempo y la paciencia en la guía del trabajo investigativo.

Imara Isabel Zelaya Chang

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias infinitas a Dios, por brindarme la fortaleza y la perseverancia para finalizar este ciclo de mi formación universitaria e iniciar una nueva etapa en mi vida.

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por mi madre Otilia Lucía, a la memoria de mi padre René quien partió de este mundo gracias por los momentos que compartimos juntos y a todos mis hermanos que están en la presencia de Dios, a mis hermanas Arlen Vicky y Valeska Lucía y mi hermano Fhinter Alexander, porque han sido parte de este arduo trabajo.

Al ingeniero Orlando López, por haber sido mi maestro en el aula de clase y además por orientarme con sus valiosas aportaciones como tutor.

Un agradecimiento especial al Comisionado Ingeniero Gilberto Solís por haberme brindado el asesoramiento para la elaboración de este trabajo monográfico.

No menos importante fue el aporte del ing. Héctor Balladares y el apoyo logístico que me brindó un gran amigo y compañero de clases Ingeniero Yader José Rizo Lucas en esta ardua misión. Recordaré siempre el apoyo incondicional de mis amigos de universidad: Ing. Luis Lay, Ing. Tyron José Barrios, Ing. Alberto José Hernández, Ing. Noel Rodríguez, Ing. Franklin Benavidez, Ing. Ernesto Rojas, ing. Miguel Montano. Para todos ellos mi eterna gratitud.

A mi compañera Imara Isabel Zelaya Chang y su familia por el tiempo, la paciencia y por lo que compartimos en este proyecto.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, nuestra Alma Mater, por ser la Institución que nos acogió y nos permitió formarnos y crecer como personas y como profesionales.

Efren Aldanaro Marín Ramírez

RESUMEN

En el presente documento aborda una problemática que se encuentra dentro del campo de acción de la Ingeniería vial, la cual se caracteriza por el estudio de los componentes del tránsito para determinar las causas directas que provocan los accidentes automovilísticos.

Se expone un diagnóstico del tramo de carretera Diriamba – La Boquita clasificada como colector principal con función de carretera turística ubicada en el departamento de Carazo, la cual une la ciudad de Diriamba con el balneario La Boquita, y también sirve como una vía de acceso para diversas comunidades situadas en su recorrido, así como los balnearios de Casares y Huehueté adyacentes a la misma.

A continuación, una breve descripción de lo que se abordará por capítulo:

Capítulo I - Generalidades: Expone conceptos generales sobre el desarrollo del trabajo, se plantean las hipótesis referidas al problema descrito y se detalla la metodología empleada para la realización de este documento.

Capítulo II – Inventario Vial: Registra todo lo correspondiente a las características físicas, condiciones operativas y los elementos que conforman la infraestructura de la vía en estudio. Se presenta de forma ordenada la información actualizada referente a la ubicación, clasificación, longitud, características geométricas generales, tipo de superficie de rodadura y estado funcional general para dicho tramo de carretera.

Capítulo III – Aforo Vehicular: Este capítulo presenta un análisis de los volúmenes de tránsito que circulan por la vía, las proyecciones de dicho tráfico, un estudio de velocidades y la determinación de los niveles de servicio en que opera la misma.

Capítulo VI – Estudio de Accidentalidad: El primer paso para la realización de este estudio consistió en la recolección de información en la Dirección de

Seguridad de Tránsito de la Policía Nacional, la cual nos proporcionó los registros de accidentes de tránsito de los últimos cinco años (2011–2015) ocurridos en el departamento de Carazo. Para la ejecución del análisis se utilizaron las estadísticas de accidentes correspondientes al tramo de carretera Diriamba – La Boquita de los últimos tres años (2013, 2014 y 2015), de tal manera que se clasificó los accidentes de tránsito según su causa, tipo, consecuencia, etcétera y se determinó los tramos críticos.

Capítulo V – Propuesta Técnica: Presenta una propuesta de posibles soluciones a la problemática con base en los resultados obtenidos en este estudio y en criterios técnicos ingenieriles, la cual debería tomarse en cuenta y/o implementarse en la carretera, por parte de las autoridades encargadas para solventar las deficiencias encontradas respecto a la seguridad vial en la misma.

Conclusiones y Recomendaciones: En esta parte se aborda el resultado final del trabajo desarrollado en todo el documento, de igual manera se recomiendan una serie de medidas preventivas y correctivas cuyo propósito es facilitar a las autoridades correspondientes herramientas útiles que contribuyan al mejoramiento de los niveles de seguridad vial en dicha carretera.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo General:	6
1.4.2 Objetivos Específicos:	6
1.5 MACRO LOCALIZACIÓN Y MICRO LOCALIZACIÓN.....	7
1.6 MARCO TEÓRICO	7
1.6.1 Inventario Vial.....	7
1.6.2 Estudio de Tránsito	8
1.6.2.1 Aforo o Conteo Vehicular	8
1.6.2.2 Tipos de Vehículos	8
1.6.2.3 Volúmenes de Tránsito	9
1.6.2.4 Función Hora Pico	9
1.6.2.5 Factor Pico Horario o Factor Hora de Máxima Demanda (FHMD).....	9
1.6.2.6 Nivel de Servicio (NS).....	10
1.6.3 Estudio de velocidades	10
1.6.4 Estudio de Accidentalidad	10
1.6.4.1 Índice de Accidentalidad	11
1.6.4.2 Accidente de Tránsito	11
1.6.4.3 Factores o Elementos Comunes que Intervienen en los Accidentes.....	11
1.7 HIPÓTESIS	14
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	14
CAPÍTULO II: INVENTARIO VIAL	16
2.1 INTRODUCCIÓN.....	16
2.2 IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO	16
2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	16
2.4 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL.....	17

2.5	TOPOGRAFÍA DEL TERRENO Y VELOCIDAD DE DISEÑO	17
2.6	USO DE SUELO.....	17
2.7	SEÑALIZACIÓN VERTICAL.....	18
2.7.1	Estado Actual de las Señales Verticales Tramo Diriamba – La Boquita.....	19
2.7.2	Postes Guías y Delineadores de dirección Tipo “Chevron”	22
2.8	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	22
2.8.1	Reductores de Velocidad	24
2.8.2	Defensas Metálicas	25
2.8.3	Delineadores Viales Horizontales.....	26
2.9	CARPETA DE RODAMIENTO	26
2.9.1	Análisis de Deterioro de la Carpeta de Rodamiento.....	27
2.10	SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA.....	30
2.10.1	Ancho de Calzada	32
2.10.2	Hombros.....	33
2.10.3	Derecho de Vía	33
2.11	DRENAJE.....	34
2.11.1	Canales	34
2.11.2	Alcantarillas	35
2.12	CICLO VÍAS	36
2.13	BAHÍAS DE BUSES	37
2.14	ANÁLISIS DE INTERSECCIONES.....	39
2.15	TRAZADO GEOMÉTRICO	47
CAPÍTULO III: AFORO VEHICULAR.....		51
3.1	INTRODUCCIÓN.....	51
3.2	TRABAJO DE CAMPO	51
3.3	CLASIFICACIÓN VEHICULAR.....	52
3.4	TIPOS DE TRÁNSITO.....	52
3.4.1	Tránsito actual (Ta)	52
3.4.2	Tránsito futuro (Tf).....	52
3.5	EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EXISTENTE.....	53

3.5.1	Volumen Máximo Horario (VMH).....	57
3.5.2	Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	58
3.6	PROYECCIONES DE TRÁNSITO FUTURO.....	61
3.6.1	Volumen de Proyecciones del Tránsito.....	62
3.6.2	Tasas de Crecimiento.....	63
3.6.3	Tasas Adoptadas para la Proyección del Tráfico.....	67
3.6.4	Tasas Utilizadas en otros Estudios.....	67
3.6.5	Procedimiento de Cálculo para las Proyecciones de Tráfico.....	68
3.7	HORA PICO Y FACTOR PICO HORARIO.....	69
3.8	CAPACIDAD VIAL Y NIVELES DE SERVICIO.....	72
3.8.1	Capacidad en Carreteras de dos Carriles.....	72
3.8.1.1	Relación Volumen a Capacidad del Nivel de Servicio (v/c).....	73
3.8.1.2	Factor de Distribución Direccional (F_d).....	74
3.8.1.3	Factor de Ajuste por Carriles y Hombros Angostos (F_w).....	74
3.8.1.4	Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (F_{hv}).....	75
3.8.2	Cálculo de los Volúmenes y Niveles de Servicio.....	75
3.8.2.1	Tramo Diriamba – Empalme Boquita/Casares (NIC-18B).....	77
3.8.2.2	Tramo Empalme Boquita/Casares – La Boquita (NN-285).....	80
3.9	ESTUDIO DE VELOCIDAD.....	81
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD.....		88
4.1	INTRODUCCIÓN.....	88
4.2	ESTUDIO DE ACCIDENTES.....	88
4.2.1	Accidentes por Consecuencia.....	88
4.2.2	Accidentes por Causa y Severidad.....	89
4.2.3	Accidentes por Tipo.....	91
4.2.4	Accidentes por Periodicidad.....	93
4.2.5	Accidentes por Localización.....	96
4.2.6	Accidentalidad Nocturna.....	98
4.3	DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TRAMO DIRIAMBA – LA BOQUITA.....	99
4.4	MAGNITUD DEL PROBLEMA.....	102

4.4.1	Índices con Respecto a la Población (P)	102
CAPÍTULO V: PROPUESTA TÉCNICA		105
5.1	INTRODUCCIÓN.....	105
5.2	BARRERAS O DEFENSAS METÁLICAS.....	105
5.3	DELINEADORES HORIZONTALES.....	105
5.4	BAHÍAS DE BUSES	106
5.5	ZONAS ESCOLARES	107
5.6	SEÑALIZACIÓN VERTICAL.....	108
5.7	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	112
5.8	POSTES GUÍAS Y DELINEADORES TIPO CHEVRON	112
5.9	INTERSECCIONES LA TRINIDAD Y SAN RAFAEL DEL SUR	114
CONCLUSIONES		115
RECOMENDACIONES		117
BIBLIOGRAFÍA.....		119

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico II-1: Situación actual de la señalización vertical en %	20
Gráfico III-1: Volumen de tráfico tramo Diriamba–La Trinidad	55
Gráfico III-2: Volumen de tráfico tramo La Trinidad–Empalme Boquita/Casares	56
Gráfico III-3: Volumen de tráfico sector Empalme Boquita/Casares–La Boquita	56
Gráfico III-4: PIB vs TPDA de estación 1802	65
Gráfico III-5: PIB vs TPDA de estación 300	65
Gráfico III-6: PIB-per cápita vs TPDA de estación 1802	66
Gráfico III-7: PIB-per cápita vs TPDA de estación 300	66
Gráfico III-8: Comportamiento de hora pico Diriamba-La Trinidad.....	70
Gráfico III-9: Comportamiento de hora pico La Trinidad-Empalme Boquita/Casares	71
Gráfico III-10: Comportamiento de hora pico Empalme Boquita/Casares-La Boquita.....	71
Gráfico III-11: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 42+000)	84
Gráfico III-12: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 51+700)	85
Gráfico III-13: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 64+250)	86
Gráfico III-14: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 68+500)	87
Gráfico IV-1: Accidentes por consecuencia en el tramo de estudio	88
Gráfico IV-2: Accidentes por causa en el tramo de estudio	90
Gráfico IV-3: Accidentes por severidad en el tramo de estudio	91
Gráfico IV-4: Accidentes por tipo en el tramo de estudio	92
Gráfico IV-5: Accidentalidad mensual en el tramo de estudio.....	93
Gráfico IV-6: Accidentalidad diaria semanal en el tramo de estudio	94
Gráfico IV-7: Accidentalidad en horas del día en el tramo en estudio.....	95
Gráfico IV-8: Accidentalidad en horas de la noche en el tramo de estudio	96
Gráfico IV-9: Accidentes por localización en el tramo de estudio	97
Gráfico IV-10: Accidentalidad nocturna año 2015.....	98
Gráfico IV-11: Índices con respecto a la población en el tramo de estudio.....	104
Gráfico V-1: Propuesta de señalización vertical.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1: Velocidades de diseño en función del tipo de terreno y el TPDA.....	17
Tabla II-2: Consolidado de señalización vertical actual del tramo en estudio	19
Tabla II-3: Estado actual de la señalización vertical del tramo en estudio	19
Tabla II-4: Muestra de marcas horizontales (Est. 66+012 – Est. 69+622)	23
Tabla II-5: Consolidado del inventario de marcas horizontales	23
Tabla II-6: Rangos de calificación del estado del pavimento por el método PCI. 27	

Tabla II-7: Área de daños del pavimento del tramo en estudio	28
Tabla II-8: Estado de unidades de muestreo tramo Diriamba–La Boquita	30
Tabla II-9: Características transversales del tramo en estudio	31
Tabla II-10: Dimensiones de la ciclo vía del tramo en estudio	37
Tabla II-11: Inventario de bahías de buses del tramo en estudio.....	38
Tabla II-12: Dimensiones de las bahías de buses del tramo en estudio	39
Tabla II-13: Especificaciones para dimensiones de bahías de buses	39
Tabla II-14: Intersecciones en el tramo en estudio	40
Tabla II-15: Parámetros de curvas horizontales en el tramo en estudio	48
Tabla III-1: Consolidado del aforo vehicular en el tramo de estudio	53
Tabla III-2: Consolidado del aforo de bicicletas en el tramo de estudio	54
Tabla III-3: Volumen máximo horario tramo Diriamba–La Trinidad.....	57
Tabla III-4: Volumen máximo horario tramo La Trinidad–Empalme Boquita/Casares	57
Tabla III-5: Volumen máximo horario tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita.....	58
Tabla III-6: Ejemplo de cálculo del TPD1 tramo Diriamba–La Trinidad.....	59
Tabla III-7: Ejemplo de cálculo del TPD2 tramo Diriamba–La Trinidad.....	59
Tabla III-8: Ejemplo de cálculo del TPDS tramo Diriamba–La Trinidad	60
Tabla III-9: Ejemplo de cálculo del TPDA tramo Diriamba–La Boquita	60
Tabla III-10: Distribución porcentual del TPDA por clase de vehículo	61
Tabla III-11: Tránsito promedio diario anual (TPDA) histórico en el tramo de estudio	62
Tabla III-12: Crecimiento histórico del PIB, PIB per–cápita y TPDA	64
Tabla III-13: Tasas de crecimiento de tráfico adoptadas.....	67
Tabla III-14: Proyecciones del TPDA en el tramo de estudio.....	69
Tabla III-15: Factores de ajuste relación volumen a capacidad (v/c)	73
Tabla III-16: Factores de ajuste para el efecto combinado ancho de carril y hombro.....	74
Tabla III-17: Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles	75
Tabla III-18: Factores de conversión para volumen máximo horario (VMH)	76
Tabla III-19: Estimación del máximo volumen horario para el año 2029.....	77
Tabla III-20: Elementos del tráfico y del tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares	77
Tabla III-21: Nivel de servicio tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares	80
Tabla III-22: Elementos del tráfico y del tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita.....	80
Tabla III-23: Nivel de servicio tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita	81
Tabla III-24: Estaciones para análisis de velocidad en el tramo de estudio	82
Tabla III-25: Distribución porcentual de velocidades (Est. 42+000)	83

Tabla III-26: Distribución porcentual de velocidades (Est. 51+700)	84
Tabla III-27: Distribución porcentual de velocidades (Est. 64+250)	85
Tabla III-28: Distribución porcentual de velocidades (Est. 68+300)	87
Tabla IV-1: Tramos críticos de accidentes en el tramo de estudio.....	100
Tabla IV-2: Resumen de Índices respecto a la población en el tramo de estudio	104
Tabla V-1: Propuesta de reparación de defensas metálicas averiadas	105
Tabla V-2: Propuesta de colocación de tachuelas luminiscentes	106
Tabla V-3: Propuesta de acciones correctivas en bahías de buses.....	107
Tabla V-4: Distancias de separación para postes guías y delineadores chevron	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración I-1: Ubicación geográfica tramo Diriamba–La Boquita.....	7
Ilustración II-1: Señales verticales en malas condiciones	21
Ilustración II-2: Señales verticales en buenas condiciones	22
Ilustración II-3: Señalización horizontal en el tramo en estudio	24
Ilustración II-4: Defensas metálicas en buen estado (Est. 59+200)	25
Ilustración II-5: Defensa metálica doblada (Est. 48+500).....	26
Ilustración II-6: Desnivel calzada – hombrillo sector Buena Vista (Est. 53+500)	29
Ilustración II-7: Componentes de la sección transversal de una vía	31
Ilustración II-8: Calzada del tramo Diriamba – La Boquita (Est. 45+600).....	32
Ilustración II-9: Drenaje horizontal del tramo en estudio	34
Ilustración II-10: Drenaje transversal del tramo en estudio	35
Ilustración II-11: Ciclo vía en ambas bandas del tramo en estudio (Est. 43+100)	36
Ilustración II-12: Bahía de bus sin techo San Gregorio (Est. 41+750)	38
Ilustración II-13: Intersección San Gregorio (Est. 41+700)	41
Ilustración II-14: Intersección Colonia San Sebastián (Est. 42+350)	42
Ilustración II-15: Intersección el Jobo Dulce (Est. 45+200)	43
Ilustración II-16: Intersección La Trinidad (Est.58+500).....	44
Ilustración II-17: Intersección San Rafael del Sur – Amayito (Est. 59+022)	45
Ilustración II-18: Intersección Empalme La Boquita – Casares (Est. 67+850)	46
Ilustración II-19: Trazado en terraplén en el tramo de estudio (Est. 55+200)	50
Ilustración III-1: Tipos de vehículos en el tramo de estudio	54
Ilustración IV-1: Semovientes sueltos sin cuidado en el tramo de estudio.....	92

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad vial es un conjunto de acciones y procedimientos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación de tránsito, a través del conocimiento, educación y cumplimiento de las leyes y reglamentos.

Es muy importante conocer, como peatones o conductores, cuáles son nuestros derechos para garantizar nuestra integridad física; así como también, saber cuáles son nuestras obligaciones.

El trayecto Diriamba – La Boquita, es uno de los tramos de mayor peligrosidad en los períodos vacacionales (según estudios), ya que es una zona de recreación abierta al público, lo que genera un aumento considerable del flujo vehicular en esta vía.

Este estudio indica cuales son los factores que intervienen o causas reales de los accidentes de tráfico y como se aplican los fundamentos ingenieriles en la prevención de riesgos viales y así presentar posibles soluciones que tiendan a mejorar el estado de la seguridad vial existente en la zona comprendida a lo largo del tramo en consideración.

Como parte del contenido se presentan resultados que respaldan la efectividad de la intervención de la seguridad vial para reducir los índices de accidentalidad en las carreteras, a través de la realización de un inventario vial, un aforo vehicular en los sitios principales de la vía en estudio, un estudio de velocidades, y un estudio de accidentalidad tomando en cuenta las estadísticas manejadas por la Dirección de Seguridad de Tránsito de la Policía Nacional de Nicaragua.

1.2 ANTECEDENTES

El municipio de Diriamba pertenece al Departamento de Carazo, tiene una extensión territorial de 341 km², se encuentra ubicado a una distancia de 35 km de la capital Managua, fue fundado en el año 1894. Su nombre en la lengua de los chorotegas significa “Grandes Cerros o Colinas” (de las voces Diri: que significa Cerros y Mba: que significa Grande).

Diriamba cuenta con dos atractivos balnearios turísticos: La Boquita y Casares. El balneario La Boquita se encuentra ubicado a 72 km de Managua, con acceso por carretera pavimentada. En este balneario se han realizado transformaciones en cuanto a sus centros recreativos que permiten combinar el ambiente natural de sus costas.

Diriamba tiene muy buenos sistemas de transporte dispone de una red de transporte intermunicipal con rutas de transporte expreso hacia La Boquita, así como rutas de transporte a las zonas rurales y dentro de la zona urbana.

El tramo de carretera en estudio Diriamba – La Boquita de acuerdo al sistema de clasificación del MTI se define como carretera tipo colectora principal identificada con el código NIC-18B. Esta carretera cruza por sectores densamente poblados como la ciudad de Diriamba y sectores urbanos, semi urbanos y rurales con densidades poblacionales de media a baja que comprende zonas de fincas agropecuarias, casas rústicas (rurales) dispersas, caseríos y poblados.

En enero de 2009 se inició la ejecución del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de dicho tramo de carretera, el cual se encontraba muy deteriorado y presentaba diferentes tipos de daños estructurales severos irreversibles en la superficie de rodamiento.

La ejecución del proyecto significó la reactivación de la única vía de acceso con que disponen los balnearios La Boquita, Casares y Huehueté desde la ciudad de Diriamba, lo que generó mayor circulación de vehículos así como la disminución

de costos de bienes y servicios, principalmente en el transporte y mercadería en general; potenciando el turismo, la pesca, la artesanía local y la inversión tanto nacional como extranjera mejorando la calidad de vida de los pobladores del área de influencia de dicho proyecto.

El proyecto culminó en febrero de 2009 con significativas mejoras en el diseño de la carpeta asfáltica y un mejor diseño geométrico en el trazado de la vía como la construcción de una rotonda en el Empalme La Boquita–Casares, la construcción de una ciclo vía, andenes peatonales, curvas horizontales y verticales con mejores diseños, alcantarillas, cunetas, etc.

También se instaló una nueva señalización vial tanto horizontal como vertical, sin embargo ésta no satisface la cantidad de dispositivos que se requieren para la señalización correcta del tramo. Además se originó una problemática respecto al fenómeno de la accidentalidad debido a una serie de factores que se presentaron al entrar en funcionamiento la nueva vía, por lo que se necesita realizar un estudio de seguridad vial para plantear alternativas de solución que permitan disminuir la ocurrencia de accidentes de tránsito en dicho tramo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La Accidentalidad Vial es un problema de acelerado crecimiento originado principalmente por la falta de Educación Vial. En los últimos años, nuestro país ha registrado un incremento significativo del parque vehicular, lo cual ha provocado que los índices de accidentes de tránsito hayan aumentado considerablemente trayendo como consecuencia, una mayor cantidad de personas muertas y lesionadas lo que constituye una emergencia sanitaria.

Es por eso que las instituciones que trabajan por el bienestar de la seguridad vial, como lo son: El Ministerio de Transporte de Infraestructura (MTI), El Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV), La Policía Nacional, Los Gobiernos Municipales, entre otras Instituciones, están trabajando para reducir los accidentes de tránsito, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se están volviendo un problema mundial de salud pública.

De acuerdo a información de la Policía Nacional, los accidentes de tránsito en Nicaragua son la principal causa de muerte de personas por encima de los homicidios. Se registra más muertes de jóvenes por accidentes de tránsito que por asesinatos. Esta situación es un motivo de preocupación, ya que todos los días estamos expuestos a accidentes de tránsito al momento de transportarnos para realizar nuestras actividades diarias.

Por eso, es necesario contar con Estudios de Seguridad Vial que contemplen medidas correctivas que ayuden a reducir la accidentalidad en las carreteras del país. Estos estudios cuentan con tres componentes básicos: gestión institucional, entorno urbano–rural y cultura ciudadana.

El tramo de carretera Diriamba – La Boquita ha presentado un incremento en los accidentes de tránsito de acuerdo a los registros de la Policía Nacional. A partir de la rehabilitación y mejoramiento de dicha vía finalizada en febrero del 2009, ha sido notorio el aumento considerable de la cantidad de vehículos que circulan por este tramo, debido principalmente al crecimiento del turismo en los

balnearios La Boquita y Casares y el consecuente crecimiento poblacional en la zona.

Por lo tanto, este nuevo panorama implica mayor peligrosidad debido al irrespeto de los límites de velocidad establecidos y el mal uso de una vía que a pesar de tener buenas condiciones de infraestructura, presenta deficiencias en materia de seguridad vial.

Este estudio pretende brindar una solución viable a la problemática actual de este tramo de carretera con el planteamiento de acciones concretas para prevenir los accidentes de tránsito, o bien, minimizar sus efectos para un mejor funcionamiento de la vía.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

- Realizar un estudio de Seguridad Vial del tramo de carretera Diriamba – La Boquita para analizar las causas relacionadas a esta problemática y proponer posibles soluciones.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Elaborar un Inventario Vial para conocer el estado actual de la infraestructura vial existente en dicho tramo.
- Realizar un Aforo Vehicular que permita cuantificar el volumen de circulación en la zona.
- Efectuar un Estudio de Velocidades para determinar la velocidad de operación de los vehículos que circulan en el tramo en estudio.
- Determinar los diferentes factores que contribuyen a la ocurrencia de los accidentes de tránsito.
- Identificar los puntos críticos que presentan un alto índice de accidentes de tránsito.
- Proponer posibles soluciones para disminuir la problemática de la accidentalidad en esta vía.

1.5 MACRO LOCALIZACIÓN Y MICRO LOCALIZACIÓN

Ilustración I-1: Ubicación geográfica tramo Diriamba–La Boquita



Fuente: INETER

1.6 MARCO TEÓRICO

El estudio de la seguridad vial es un mecanismo que el departamento de ingeniería vial de la Policía Nacional de Tránsito podría usar para mejorar los controles de los puntos críticos en la carretera y de esta manera poder tipificar los accidentes, para ello es importante explicar el significado, beneficios y ventajas que dicho estudio le proporciona a la sociedad.

1.6.1 Inventario Vial

El inventario vial es un registro de información suficiente de todos los elementos existentes en un camino, calle o carretera, que se requiere para estimar la

capacidad de flujo de tránsito en dicha vía. Se necesita información del estado en que se encuentra la vía, sus condiciones físico-geométricas tales como: superficies de rodamiento, drenaje mayor y menor, el estado y ubicación de la señalización tanto horizontal como vertical y las zonas peligrosas del tramo para el mejoramiento de la seguridad vial.

1.6.2 Estudio de Tránsito

El estudio de tránsito es un proceso técnico de análisis de carácter investigativo que mide el tráfico de forma cuantitativa, así como: el comportamiento, características y funcionamiento de los flujos de tránsito en una determinada vía. Los estudios de tránsito sirven tanto para los análisis de ingeniería como para soportar los estudios económicos y los estudios de factibilidad. Los estudios de tránsito se pueden dividir en dos categorías: a) Levantamientos o investigaciones de campo y b) Estudios de gabinete o de análisis de investigaciones.

1.6.2.1 Aforo o Conteo Vehicular

El conteo manual es un método para obtener datos de volúmenes de tráfico a partir del uso de personal de campo conocido como aforadores de tráfico, este método permite la clasificación de los vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características (ver anexo 1.1, pág.1). El principal objetivo de realizar el aforo vehicular es cuantificar los volúmenes actuales de tránsito para examinar los niveles de servicio en que opera el tramo de carretera en estudio.

1.6.2.2 Tipos de Vehículos

Vehículos Livianos: son aquellos de menos de 5 toneladas de capacidad, tales como automóviles, camionetas, camperos, entre otros.

Vehículos Pesados: son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad, tales como camiones, buses, remolques, entre otros.

1.6.2.3 Volúmenes de Tránsito

El volumen de tránsito es el número total de vehículos que circulan por una sección de la vía en un período de tiempo determinado.

Tránsito Promedio Diario (TPD): Es el volumen de tránsito durante un período de tiempo, dividido por el número de días del período. Según el período utilizado para medir el volumen de tránsito, el TPD puede ser anual, mensual, o semanal, denominándose TPDA, TPDM y TPDS respectivamente.

1.6.2.4 Función Hora Pico

Es la hora de máxima demanda vehicular para una determinada vía, puede ser repetitiva durante varios días de la semana; sin embargo, puede ser diferente para un tipo de vía a otro para el mismo período máximo. Por lo que es necesario hacer la planeación de los controles de tránsito, tales como:

- Prohibiciones de estacionamiento.
- Prohibiciones de ciertos movimientos de giros.

1.6.2.5 Factor Pico Horario o Factor Hora de Máxima Demanda (FHMD)

Se denomina de esta forma a la relación matemática entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el volumen o flujo máximo ($V_{m\acute{a}x}$) que se presenta durante un período dado dentro de dicha hora, éste se representa con la siguiente ecuación:

$$FHMD = \frac{VHMD}{(N * V_{m\acute{a}x})} \quad \text{Ec. I. 1}$$

Dónde; N = número de períodos durante la hora de máxima demanda

Los períodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 ó 15 minutos, utilizándose este último con mayor frecuencia.

El factor pico horario es un indicador de las características de los flujos de tráfico

en períodos máximos. Su máximo valor es la unidad, lo que quiere decir que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Los valores resultantes muy por debajo de la unidad, indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora. Por lo general este valor está alrededor de 0.85, éste es un valor aproximado del 30% del volumen total de la hora pico.

1.6.2.6 Nivel de Servicio (NS)

El concepto de nivel de servicio se utiliza para la medición de la calidad del flujo vehicular, el cual es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de flujo vehicular y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores, tales como: velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

1.6.3 Estudio de velocidades

El estudio de velocidad es un procedimiento que consiste en el análisis de la relación del movimiento del tránsito, dada entre la distancia del recorrido y el tiempo que transcurre al realizar el mismo. Los estudios de velocidades son efectuados generalmente en secciones rectas, a nivel y lejos de intersecciones en los caminos y/o a media cuadra en el área urbana. Así mismo, en otros lugares específicos de acuerdo a los requerimientos.

1.6.4 Estudio de Accidentalidad

El estudio de accidentalidad es un procedimiento que permite realizar un análisis eficaz del comportamiento de los accidentes de tránsito en diferentes intervalos de tiempo, además se localizan los puntos que demandan mayor atención (puntos críticos), y se determina la razón por la cual estos se originan con el fin de evaluarlos y plantear soluciones.

1.6.4.1 Índice de Accidentalidad

Los índices son cifras que resultan de relacionar los accidentes ocurridos con la población y los vehículos de manera proporcional, lo que permite hacer comparaciones acerca del comportamiento de la accidentalidad; éstas darán la escala para juzgar la magnitud del problema.

1.6.4.2 Accidente de Tránsito

Es la acción y omisión culposa cometida por cualquier conductor, pasajeros o peatones en la vía pública o privada, provocando daños materiales, lesiones o muerte de personas, donde interviene por lo menos un vehículo en movimiento.

1.6.4.3 Factores o Elementos Comunes que Intervienen en los Accidentes

- La vía con su entorno
- El vehículo, su carga y su estado mecánico
- El hombre como conductor y peatón

- **La Vía y su Entorno**

La vía es el escenario en donde el hombre es el actor. El nivel de exigencia para el conductor se impondrá:

- Por las características físicas y geométricas de la vía. (línea recta o curva, adherencia o deslice de carretera, etc.)
- Por las condiciones meteorológicas o ambientales (lluvia, niebla, hielo).
- Por el tránsito (densidad o fluidez, vehículos pesados o sólo ligeros).
- Por las normas y señales de circulación (vía señalizada o no, etc.).

- **El Vehículo y su Carga**

Vehículo: Medio de transporte que circula por la vía pública o privada, con impulsión mecánica, animal o por la fuerza del hombre, excepto los comprendidos en la definición del peatón (sillas de ruedas o artefactos especiales).

Estos por su naturaleza se clasifican en:

- Tracción mecánica: son los medios impulsados por cualquier fuerza motriz, su conducción amerita de una licencia de conducir otorgada bajo los requisitos y procedimientos de la Ley de Tránsito.
- Tracción humana: son medios impulsados por fuerza muscular del hombre, como: carretillas, bicicletas, velocípedos.
- Tracción animal: son medios movidos por animales de tiro y pueden ser de silla, carga o cualquier otra clase, tales como: coches, carretas, etc.

- **El Hombre**

El factor humano es uno de los mayores absorbentes en cuanto a la causa de los accidentes, por lo que se le atribuye un porcentaje estimado del 90% de grado de participación en el mismo.

Conducir es una labor que requiere que la persona se mantenga en buenas condiciones físicas y mentales. Debe tenerse presente que en la conducción intervienen diferentes procesos que son los que nos llevan a la ejecución de la maniobra adoptada.

Las buenas facultades mentales del conductor se ven afectadas por:

- Fatiga
- Emanaciones de gases del motor
- Drogas, principalmente antes de conducir

- Irritación
- Ropa inadecuada para la ocasión
- Automedicación
- Conducta exhibicionista

- **Tipos de Accidentes de Tránsito**

- a) Atropello: Ocurre entre un vehículo en movimiento y al menos una persona.
- b) Colisión entre vehículos: Ocurre entre dos o más vehículos.
- c) Colisión con punto fijo: Ocurre con un vehículo en movimiento y un objeto inerte.
- d) Vuelcos: Es un tipo de accidente en el cual el conductor de un vehículo pierde el control del mismo.
- e) Accidente con semoviente: Es un accidente donde participa un vehículo y un semoviente.
- f) Caída de personas: Ocurre cuando una persona cae del vehículo en que se transporta, sufriendo lesiones o la muerte.
- g) Caída de objetos: Ocurre, cuando en los vehículos del transporte de carga no se asegura de forma correcta la misma o se viola la ley de tránsito al sobrecargarlos.

- **Seguridad Vial**

Es el conjunto de acciones y mecanismos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación del tránsito, a través del conocimiento y cumplimiento de las leyes y reglamentos, ya sea como conductor, peatón o pasajero. Esto incluye la educación vial de las personas, el buen estado de los vehículos y la red vial con sus correspondientes dispositivos de seguridad.

1.7 HIPÓTESIS

A continuación planteamos las siguientes hipótesis referidas a esta problemática:

1. Los accidentes de tránsito ocurren por una señalización inadecuada en la vía.
2. Los accidentes de tránsito suceden por la influencia de factores humanos y/o factores mecánicos.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

El presente trabajo consiste en una investigación cuantitativa con carácter evaluativo, cuyo principal resultado será la obtención de información relevante y objetiva para comprender el fenómeno de accidentalidad y aplicar conocimientos en materia de seguridad vial.

El análisis de seguridad vial en el tramo Diriamba – La Boquita pretende estudiar el comportamiento de los usuarios, conocer las condiciones en las que se encuentra físicamente la carretera, determinar los tramos peligrosos y los puntos críticos y hacer recomendaciones para la mejora de las condiciones de seguridad que contribuyan a la reducción de accidentes de tránsito en dicho tramo.

Para lograr un diagnóstico de la situación de la carretera en términos de seguridad vial, se ejecutó el ordenamiento de los aspectos teóricos y técnicos en base a los objetivos específicos de la siguiente manera:

Una vez definido el tramo de carretera en estudio “Diriamba – La Boquita”, que comprende desde la estación 41+717 (Entrada a San Gregorio) hasta la estación 69+622 (Entrada al Balneario La Boquita) se procedió a realizar inspecciones realizando varios recorridos para conocer mejor las características del tramo y determinar el plan de trabajo a seguir.

Seguidamente, se diseñaron los formatos para el levantamiento del inventario

vial, aforo vehicular y estudio de velocidad para ello se contó con la colaboración del Departamento de Ingeniería Vial de la Policía Nacional de Tránsito; al mismo tiempo, se obtuvieron los registros de accidentes de tránsito en el departamento antes mencionado.

Terminado lo anterior, se procedió con el inventario vial, el cual se realizó a lo largo de toda la vía mediante varios recorridos en que se levantaron datos a partir de las observaciones y mediciones de los diversos elementos que componen dicha carretera.

Luego se llevó a cabo el estudio de velocidades en diferentes puntos del tramo (de acuerdo a la accidentalidad y características de la vía), mediante la utilización del parámetro de la velocidad instantánea o puntual utilizando el método manual del cronómetro.

Posteriormente se realizó el conteo vehicular en los tres puntos seleccionados de la carretera. Este estudio se efectuó de último pues requería de una logística más compleja, debido a los recursos humanos y económicos demandados para su correcta realización.

Después de realizar las actividades de campo se procedió con el trabajo de gabinete, en el cual se procesó y analizó la información obtenida, la cual sirvió para elaborar las posibles soluciones a la problemática existente.

CAPÍTULO II: INVENTARIO VIAL

2.1 INTRODUCCIÓN

El inventario vial es el registro de las características técnicas y físicas de la vía, ejecutado mediante una metodología determinada. El propósito de realizar el inventario vial es obtener y actualizar información referente a la ubicación, clasificación, longitud, características geométricas generales, tipo de superficie de rodadura y estado funcional general para efectos de planificación vial.

2.2 IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo en estudio corresponde a las carreteras Diriamba–Empalme Boquita/Casares (código de ruta NIC-18B) y Empalme Boquita/Casares–La Boquita (código de ruta NN-285). El tramo en estudio inicia en la ciudad de Diriamba (estación 41+700) y finaliza en la entrada del centro turístico balneario La Boquita (estación 69+622), comprendiendo un tramo de carretera de 27.9 kilómetros de longitud.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El inventario vial realizado en el tramo de carretera Diriamba–La Boquita (ver gráfico de anexo 2.3, pág.7), conocida popularmente por los pobladores de la zona como “carretera al mar” fue realizado en febrero del 2016, para lo cual se contó con el apoyo logístico de una camioneta Hilux doble cabina para la movilización en el área de estudio, se utilizó el odómetro digital del vehículo con el cual se determinó el número de kilómetros de recorrido y un GPS Garmin con un margen de error de 3% para el levantamiento de las señales verticales y marcas horizontales.

2.4 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

El tramo de carretera (27.9 km) en estudio pertenece al tipo Colectora Principal \equiv Nacional Secundaria¹. Las vías colectoras son carreteras que tienen la función de distribuir los tráficos urbanos desde la red principal hasta la red local con flujos de tráfico mayores de 250 vehículos/día.

2.5 TOPOGRAFÍA DEL TERRENO Y VELOCIDAD DE DISEÑO

El tramo en análisis está situado sobre un terreno mixto, que varía de plano a ondulado-montañoso. Presenta pendientes suaves (0% hasta 3%) en la mayor parte del trayecto, y pendientes moderadas a montañosas (3% a 7%). Para más detalles ver anexo 2.4, págs.8–10.

La velocidad de diseño según las normativas del Manual de Diseño Geométrico del SIECA, toma en cuenta tanto la topografía del terreno como el volumen de tráfico de la vía. La tabla II-1 muestra los valores recomendados de la velocidad de diseño en función de las condiciones mencionadas anteriormente.

Tabla II-1: Velocidades de diseño en función del tipo de terreno y el TPDA

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Manual Centroamericano de diseño geométrico de la SIECA. Marzo, 2004

2.6 USO DE SUELO

El auge del crecimiento poblacional de la ciudad de Diriamba y las poblaciones situadas en el tramo en estudio ha conllevado al incremento del uso de suelo aledaño a la vía, principalmente la construcción de zonas residenciales (Colonia

¹ Clasificación de carreteras según su función de la revista Red Vial de Nicaragua 2014, Ministerio de Transporte e Infraestructura

San Sebastián y Las Colinas), y el aumento de la cantidad de viviendas en el sector rural. El desarrollo del turismo en la zona de los balnearios de La Boquita y Casares ha propiciado la construcción de nuevos proyectos turísticos, hoteles, negocios, casas de veraneo entre otros.

Los suelos predominantes en este tramo son de estructura limo-arenosa y cenizas volcánicas consolidadas. En este tramo los suelos tradicionalmente han sido dedicados desde hace mucho tiempo al establecimiento de potreros para el desarrollo de actividades productivas dedicadas exclusivamente a la ganadería extensiva, vegetación arbustiva y pastos, y en menor extensión se encuentran coberturas vegetativas de áreas protegidas con árboles medianos y grandes en la zona de La Trinidad donde existen 2 reservas ecológicas privadas (La Máquina y El Platanal) y sectores con suelos destinados al cultivo, principalmente de caña de azúcar, arroz y cítricos.

Particularmente la zona de Apompuá presenta suelos erosionados y rocosos con una vegetación constituida por arbustos con espinas y algunos árboles medianos dispersos, en este sector gran parte del suelo se destina a la extracción de toba volcánica (piedra cantera) que es la principal actividad económica a la que se dedican los pobladores de los alrededores. Para más detalles de uso de suelo ver anexos 2.8 y 2.9, págs.22–23.

2.7 SEÑALIZACIÓN VERTICAL

Son dispositivos de control de tránsito instalados a lo largo de un camino. Su objetivo principal es la de advertir e informar a los usuarios de la vía, así como ordenar y reglamentar el comportamiento de los conductores.

Las señales verticales deben ser usadas solo donde se justifiquen de acuerdo a un análisis de necesidades y estudios de campo. Dichas señales son esenciales donde rigen normativas especiales, tanto en lugares específicos como en períodos de tiempo, o donde los peligros sean evidentes para los usuarios.

En la tabla II-2, se muestra la clasificación y cantidad de señales verticales existentes en el tramo en estudio al momento de realizar el inventario, los anexos 2.1 y 2.2, págs.2–6 muestran la clasificación estandarizada y la convención de colores de los dispositivos de señalización vial y el anexo 2.5, pág.11–15 presenta un informe más detallado del estado actual y la ubicación de las señales verticales encontradas.

Tabla II-2: Consolidado de señalización vertical actual del tramo en estudio

Señales Verticales según su Tipo			Total
Reglamentarias	Preventivas	Informativas	
74	40	11	125

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

2.7.1 Estado Actual de las Señales Verticales Tramo Diriamba – La Boquita

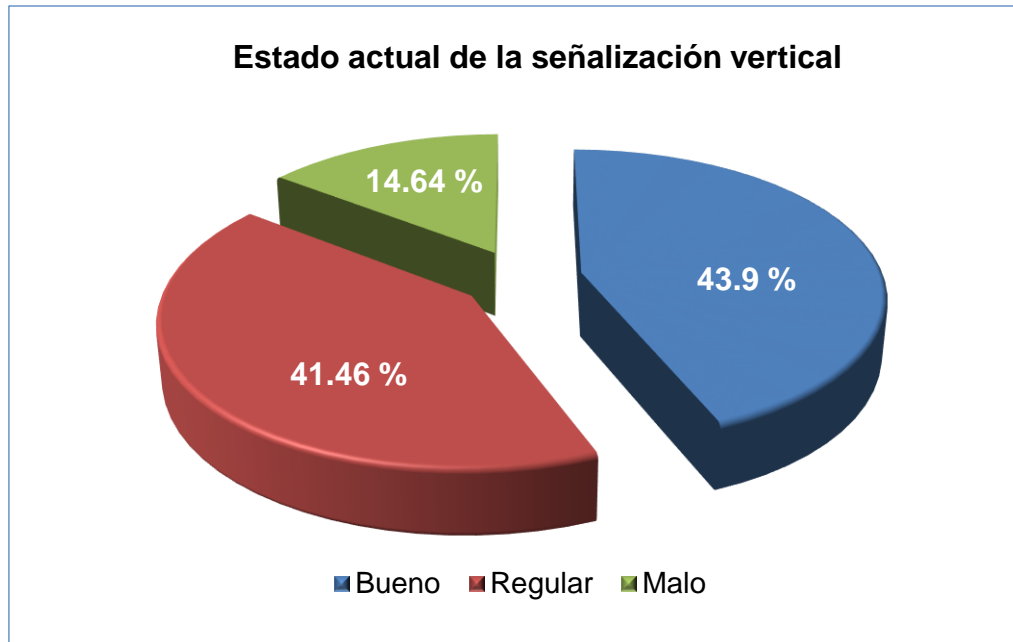
Según el levantamiento de campo realizado en el tramo, se lograron inventariar 125 señales verticales a lo largo de todo el recorrido, clasificando cada señal de acuerdo al estado físico en el que se encontró, de tal manera que se calculó el estado actual de la señalización vertical tanto en cantidad como en porcentaje para cada una de las tres calificaciones que se utilizaron para determinar el nivel de daño en dichas señales. La tabla II-3 muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla II-3: Estado actual de la señalización vertical del tramo en estudio

Inventario	Estado Actual		
	Bueno	Regular	Malo
Cantidad de señales	55	52	18
Porcentaje (%)	43.9%	41.46%	14.63%

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

Gráfico II-1: Situación actual de la señalización vertical en %



Fuente: Elaboración propia

El estado de las señales verticales a lo largo de los 27.9 km del tramo en estudio es variante. En el gráfico II-1, se puede observar que el 43.9 % de las señales se encuentran en buen estado, mientras que el 56.1% está en estado regular o malo, presentando dichas señales dobleces y/o manchas, falta de reflectividad, corrosión e incluso la falta misma de las señales porque han sido arrancadas. El mal estado o la falta de la señalización vial genera una situación de incertidumbre que altera el comportamiento de los conductores, ya que estos dispositivos son los encargados de ordenar, reglamentar y controlar el tráfico para prevenir accidentes de tránsito y evitar conflictos entre los conductores en el tramo de carretera en estudio (ver ilustración II-1).

Ilustración II-1: Señales verticales en malas condiciones



Señalización manchada
Est. 42+629



Poste sin señalización
Est. 44+234



Señalización doblada
Est. 48+369



Señalización doblada y manchada Est. 42+487

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración II-2, se muestran señales verticales en condiciones óptimas en el tramo en estudio. Los daños a la señalización vertical generalmente son causados por el vandalismo, afectando la seguridad vial e incrementando el costo del mantenimiento vial.

Ilustración II-2: Señales verticales en buenas condiciones



Fuente: Elaboración propia

2.7.2 Postes Guías y Delineadores de dirección Tipo “Chevron”

El inventario vial realizado en la carretera mostró que existe deficiencia de postes guías en los tramos con curvas y en los sitios donde se ubican las alcantarillas. Tampoco se encontraron delineadores de dirección tipo “chevron” en las curvas y tramos peligrosos que requieren de estos dispositivos.

2.8 SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Las demarcaciones en el pavimento o señales horizontales son líneas, símbolos y/o letras pintadas sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, incluyen objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. En algunos casos, son utilizadas como complemento de las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como señales verticales y semáforos.

Para realizar el inventario de las marcas horizontales se utilizó un odómetro electrónico de vehículo. En la tabla II-4 se observa una muestra de un tramo de 3,610 metros; el tramo en estudio se dividió en segmentos según el tipo de línea

(continua o discontinua), la condición actual de las marcas horizontales en cada segmento se calificó de acuerdo a la apariencia de la pintura y la reflectividad en ellas (ver tabla completa en anexo 2.6, págs.16–18).

Tabla II-4: Muestra de marcas horizontales (Est. 66+012 – Est. 69+622)

Estación		Línea Central		Línea Discontinua que acompaña a Línea Central		Long. (m)	Estado de línea
Desde	Hasta	Contín.	Discont.	Derecha	Izquierda		
66+012	66+152	-	140	-	-	140	Buena
66+152	66+402	250	-	-	250	500	Buena
66+402	66+652	250	-	250	-	500	Buena
66+652	67+412	-	760	-	-	760	Buena
67+412	67+662	250	-	-	250	500	Buena
67+662	69+622	1,960	-	-	-	1,960	Regular

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

A manera de resumen la tabla II-5, refleja las cantidades totales de señales horizontales encontradas en todo el tramo de estudio.

Tabla II-5: Consolidado del inventario de marcas horizontales

Líneas de División Central	
Línea Central Continua	24,380 m
Línea Central Discontinua	3,540 m
Línea Discontinua Derecha que acompaña a Línea Central	4,690 m
Línea Discontinua Izquierda que acompaña a Línea Central	4,100 m
Longitud Total de Líneas de División Centrales	36,710 m
Líneas de Borde	
Longitud Total de Líneas de Borde	55,840 m

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

En el tramo de carretera en análisis se encontró que los colores usados en las

marcas horizontales son el blanco y el amarillo (ver ilustración II-3).

Ilustración II-3: Señalización horizontal en el tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

Están marcadas en color blanco las líneas discontinuas de líneas centrales dobles, líneas de borde de pavimento, demarcaciones de símbolos y palabras “Escuela”, demarcación de giro y flechas direccionales, líneas de parada, líneas de paso de peatones entre otras; mientras que en color amarillo están marcadas las líneas centrales tanto continuas como discontinuas.

2.8.1 Reductores de Velocidad

En el 2009, se instalaron reductores de velocidad tipo raya logarítmica en la estación 58+900, pero en febrero del 2016 fueron removidos por el Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV).

De acuerdo a las características de la carretera en estudio, la cual se clasifica como una vía rápida, no se debe usar este tipo de dispositivos tal como lo establece el Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA en la sección 3.2.16.2.

2.8.2 Defensas Metálicas

Las defensas metálicas son dispositivos de seguridad instalados en uno o ambos lados de la carretera en tramos donde existe peligro para los vehículos, ya sea por el alineamiento del camino, altura de terraplenes, alcantarillas, accidentes topográficos, entre otros.

Las defensas metálicas encontradas en el tramo de estudio son del tipo Flex-Beam metálicas de doble onda, se encuentran ubicadas en los puntos adecuados, tienen la longitud necesaria, cumplen con la altura del eje de simetría longitudinal de 50 ± 2 cm (medido desde el nivel del hombro del acotamiento de la carretera) y cuentan con el anclaje requerido según lo recomendado por el Manual Centroamericano de Diseño Geométrico de Viales del SIECA, sección 4.3.2 y el Manual de Mantenimiento de carreteras del SIECA, sección 907.

Ilustración II-4: Defensas metálicas en buen estado (Est. 59+200)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

A nivel general, las defensas metálicas se encuentran en buen estado, sin embargo se observó la falta de reflectantes y pernos de sujeción en algunas de ellas y otros daños menores como golpes o abolladuras, por lo que se requiere trabajos de mantenimiento en algunas de ellas (ver ilustraciones II-4 y II-5).

Ilustración II-5: Defensa metálica doblada (Est. 48+500)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

2.8.3 Delineadores Viales Horizontales

Un delineador horizontal tipo capta luz (ojo de gato), es un dispositivo de guía óptica en forma de pirámide truncada, que se utiliza como complemento de marcas viales fijado a la carpeta de rodamiento de la vía, su acción reflectante debe funcionar especialmente de noche y ante cualquier condición ambiental.

En el año 2009 cuando se ejecutó la rehabilitación del tramo en estudio, fueron instalados marcadores tipo capta luz, pero fueron objeto de vandalismo, por lo que actualmente existe una total carencia de estos dispositivos en el tramo.

2.9 CARPETA DE RODAMIENTO

La carpeta es de concreto asfáltico tipo pavimento semi-rígido, con una estructura de pavimento constituida por una base del material reciclado de la base existente estabilizada con cemento al 4% con un espesor de 25 centímetros, más una carpeta de mezcla asfáltica en caliente de cinco centímetros².

² Fuente: Ingeniero Félix Bolaños, Empresa TEC&CÍA Ingenieros Consultores en Obras Civiles, Nicaragua

2.9.1 Análisis de Deterioro de la Carpeta de Rodamiento

El análisis de las condiciones del pavimento se realizó mediante un inventario visual de los diferentes tipos de daños en pavimento asfáltico del tramo Diriamba–La Boquita en febrero de 2016, el tramo evaluado posee una longitud total de 27.922 kilómetros, ancho promedio de calzada 6.8 metros y ancho promedio de hombros 0.40 metros a ambos lados, para este diagnóstico se empleó la metodología norteamericana PCI (Pavement Condition Index)³.

Tabla II-6: Rangos de calificación del estado del pavimento por el método PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Esta metodología constituye una de las herramientas más completas y de más fácil implementación para la evaluación y calificación objetiva para el análisis de deterioro de pavimentos flexibles y rígidos (véase la tabla II-6).

Con el propósito de simplificar los resultados se tomó como unidades de muestreo segmentos con longitud de 1500 m, de este modo se obtuvieron 18 unidades de 1500 m y 1 unidad de 922 m (ver procedimiento y cálculos en anexos 2.11, 2.12 y 2.13, págs.26–36).

Los tipos de daño en la carpeta de rodamiento (tanto estructural como funcional), encontrados en los 27.922 kilómetros de longitud del tramo en estudio se

³ Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concretos en Carreteras, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, Colombia, Abril de 2006

presentan en la tabla II-7. De acuerdo a la metodología PCI todas las afectaciones encontradas en el tramo en estudio están dentro del nivel de severidad bajo.

Tabla II-7: Área de daños del pavimento del tramo en estudio

Tipo de daño	Unidad	Área de daño	% del Área Total	% del Área de daños
1 Piel de cocodrilo	m ²	490.22	0.26%	0.75%
2 Exudación	m ²	3,114.06	1.64%	4.72%
7 Grietas de borde	ml	1,252.66	0.66%	1.90%
9 Desnivel calzada-hombrillo	ml	55,844	29.41%	84.61%
10 Grietas longitudinal y transversal	ml	793.85	0.42%	1.21%
19 Disgregación y desintegración de agregados	m ²	553.10	0.30%	0.84%
Identación	m ²	352.50	0.18%	0.54%
Segregación de materiales	m ²	3,600	1.90%	5.46%
Total		66,000.40	34.77%	100%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla II-7, primero se calculó el área total de la carretera que es igual a la longitud total por el ancho de calzada, o sea 27,922 ml * 6.80 ml = 189,869.60 m². Tomando como ejemplo el tipo de daño piel de cocodrilo, el % del área total se obtiene dividiendo su área de daño entre el área total de la carretera:

$$\% \text{ del Área total} = \frac{490.22}{189,869.60} * 100 = 0.26\%$$

Para calcular el % del área de daños del mismo se divide su área de daño entre el área total de todos los daños:

$$\% \text{ del \u00c1rea de da\u00f1os} = \frac{490.22}{66,000.40} * 100 = 0.75$$

De manera similar se realiza el procedimiento de c\u00e1lculo para el resto de da\u00f1os. Con base en los resultados obtenidos podemos observar que el da\u00f1o estructural predominante son las grietas longitudinal y transversal con 0.42% sobre el \u00e1rea total y un 1.21% del \u00e1rea de da\u00f1os.

La piel de cocodrilo ocupa el segundo lugar con el 0.26% sobre el \u00e1rea total y un 0.75% del \u00e1rea de da\u00f1os. Dentro de los da\u00f1os funcionales que se presentan el desnivel calzada-hombri\u00f1o tiene un 29.41% sobre el \u00e1rea total y un 84.61% dentro del \u00e1rea de da\u00f1os, ya que la v\u00eda presenta una sobre carpeta que genera cierto desnivel entre la carpeta asf\u00e1ltica, la berma y el hombri\u00f1o (v\u00e9ase ilustraci\u00f3n II-6).

Ilustraci\u00f3n II-6: Desnivel calzada – hombri\u00f1o sector Buena Vista (Est. 53+500)



Fuente: Elaboraci\u00f3n propia/Levantamiento de campo

Entre los da\u00f1os no contemplados en la metodolog\u00eda PCI se pudo identificar

daños por indentación o desgaste de la superficie de pavimento como resultado de accidentes de tránsito, explosiones de neumáticos de vehículos pesados y huellas de tractores de orugas; también se encontró segregación de materiales producto de recientes trabajos de mantenimiento. La vía dispone de un buen sistema de drenaje pluvial y no se observó daños por inestabilidad de taludes.

El análisis usando la metodología norteamericana PCI dio como resultado un valor promedio igual a **88** para la condición del pavimento del tramo en estudio, lo que significa que la calificación general para el tramo Diriamba–La Boquita es **Excelente** (ver tabla II-6). La tabla II-8 muestra el resumen del estado del pavimento con respecto a la longitud en todas las unidades de muestreo del tramo en estudio (el análisis completo se detalla en anexo 2.14, pág.37).

Tabla II-8: Estado de unidades de muestreo tramo Diriamba–La Boquita

Estado	Longitud (m)	%
Excelente	24,000	85.95%
Muy Bueno	3,922	14.05%
Total	27,922	100%

Fuente: Elaboración propia

2.10 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

Los elementos de la sección transversal de una carretera influyen sobre sus características operativas, estéticas y de seguridad. Esos elementos deben ser compatibles con los patrones ya establecidos de velocidad, capacidad, nivel de servicio, estética, seguridad y drenaje superficial. Los principales elementos de la sección transversal que condicionan esos patrones son: el ancho y número de carriles de circulación, el ancho y características de los hombros, las pendientes transversales de las calzadas y hombros, los taludes de cortes y terraplenes, los dispositivos para el drenaje superficial, entre otros (apreciar la ilustración II-7).

Ilustración II-7: Componentes de la sección transversal de una vía



Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

En la tabla II-9, se presentan las características transversales de la carretera Diriamba – La Boquita encontradas durante el levantamiento del inventario vial.

Tabla II-9: Características transversales del tramo en estudio

INICIO	FINAL	Banda Izquierda			Calzada (Ancho)	Banda Derecha			Total Der. Vía (m)
		Dist. Al Der. Vía	Ancho Cuneta	Ancho Hombro		Ancho Hombro	Ancho Cuneta	Dist. Al Der. Vía	
41+700	43+450	5.25	2.10	0.50	7.25	0.50	2.10	4.90	22.60
43+450	44+838	7.50	1.95	0,40	6.80	0.40	1.95	7.20	26.20
44+838	45+165	7.50	2.10	0.40	6.80	0.40	1.90	7.80	26.90
45+165	47+500	7.90	2.10	0.40	6.75	0.40	2.10	8.20	27.85
47+500	50+850	7.50	2.10	0.30	6.70	0.30	2.00	8.30	27.20
50+850	51+725	7.95	1,80	0.35	6.80	0.35	1.60	8.20	27.05
51+725	53+245	7.50	1.80	0.35	6.80	0.35	1.70	7.80	26.30
53+245	53+820	7.30	1.80	0.40	6.90	0.40	1.70	7.60	26.10
53+820	55+160	7.60	1.70	0.40	6.70	0.40	1.60	7.90	26.30
55+160	58+250	7.80	1.80	0.40	6.90	0.40	1.70	7.90	26.90

INICIO	FINAL	Banda Izquierda			Calzada (Ancho)	Banda Derecha			Total Der. Vía (m)
		Dist. Al Der. Vía	Ancho Cuneta	Ancho Hombro		Ancho Hombro	Ancho Cuneta	Dist. Al Der. Vía	
58+250	60+620	7.50	1.80	0.40	6.90	0.40	1.80	8.20	27.00
60+620	62+550	7.80	1.70	0.30	6.80	0.30	1.80	7.50	26.20
62+550	65+860	7.60	1.70	0.30	6.80	0.30	1.80	7.90	26.40
65+860	67+750	7.50	1.70	0.40	6.90	0.40	1.90	8.20	27.00
67+750	68+350	8.70	-	0.40	6.80	0.40	2.00	8.80	27.10
68+350	69+125	7.80	-	0.35	6.80	0.35	2.00	7.30	24.60
69+125	69+622	6.80	-	0.35	6.80	0.35	2.00	6.20	22.50

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

2.10.1 Ancho de Calzada

La calzada constituye uno de los elementos principales de la carretera, corresponde a la superficie por el cual circulan los vehículos. El ancho de la calzada es la sumatoria de los carriles y se denomina carril a la unidad de medida transversal para la circulación de una sola fila de vehículos.

Ilustración II-8: Calzada del tramo Diriamba – La Boquita (Est. 45+600)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

Los anchos de calzada oscilan entre 6.70 y 7.25 metros a lo largo del tramo de

carretera Diriamba – La Boquita, como puede verse en la tabla II-9, el ancho predominante es 6.80 metros en la mayor parte de dicho tramo.

2.10.2Hombros

Los hombros, bermas o arcenes son una franja longitudinal contigua a la calzada, no están destinados al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales. Los hombros sirven como soporte para proteger toda la estructura de carretera de los azotes de lluvias, erosión del viento, etc.

Durante el inventario del tramo se encontraron hombros con anchos de 0.30 metros a 0.50 metros en todo el recorrido (véase tabla II-9), tales dimensiones no cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de la SIECA para la construcción de Hombros o Espaldones sección 4.3.2. Un hombro tan pequeño puede ser peligroso en las proximidades de zonas pobladas, es bueno recordar que un viaje de 2 a 3 kilómetros en zonas rurales puede realizarse fácilmente a pie o en bicicleta. Es muy habitual en el tramo de estudio encontrarse con un ciclista deportivo o un ciclista de carretera rural.

2.10.3Derecho de Vía

Es la franja (anchura) de terreno total que debe tener toda carretera la cual se destina a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones de la vía, servicios de seguridad, servicios auxiliares, desarrollo paisajístico, etc.

En Nicaragua el derecho de vía está regido por la ley de “Derecho de Vía”, decreto No.46 la cual asigna a las carreteras interdepartamentales y vecinales (colectoras principales y secundarias), 20 metros, o sea 10 metros a cada lado del eje o línea media. Sin embargo, el MTI en su revista “Red Vial 2014”, dice que el ancho requerido para este tipo de carreteras debe ser como mínimo 30 metros.

Las mediciones del derecho de vía indican que los anchos cumplen con los 20

metros que corresponden por ley, sin embargo no cumplen con el mínimo requerido de 30 metros según el MTI (ver más detalles en anexo 2.10, págs.24–25). Además, se pueden observar nuevas construcciones que revelan potenciales invasiones al derecho de vía establecido.

2.11 DRENAJE

Las estructuras de drenaje son fundamentales en las carreteras, tienen como fin evacuar los flujos hidráulicos de la superficie del pavimento y circundantes al mismo. Según su función, se pueden clasificar en estructuras de drenaje menor (cunetas, canaletas, alcantarillas, cajas menores, etc.) y estructuras de drenaje mayor (cajas mayores, sistemas cajas - puentes, cauces, puentes, etc.).

2.11.1 Canales

Los canales son zanjas laterales paralelas al eje de la vía, cuya función principal es servir de encauzamiento para evacuar el agua de lluvia proveniente de la calzada, ayudando a prevenir la destrucción del pavimento.

Ilustración II-9: Drenaje horizontal del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia /Trabajo de campo

Los canales de drenaje encontrados en el tramo Diriamba – La Boquita en su

mayor parte, presentan una sección transversal de forma triangular o trapezoidal y están contruidos con concreto ciclópeo, también se encontraron algunos canales de forma rectangular contruidos totalmente con concreto simple, todos estos canales se hallaron en buen estado debidamente revestidos y limpios (ver ilustración II-9).

2.11.2Alcantarillas

Son obras de drenaje transversal a la vía que permiten y facilitan el paso del agua proveniente de cauces, canales o cunetas. En el tramo en estudio solamente se encuentran drenajes menores (ver ilustración II-10), que son cajas sencillas de alcantarillas con dimensiones que oscilan entre 24 y 72 pulgadas de diámetro como máximo (ver detalles en tabla de anexo 2.7, págs.19–21).

Ilustración II-10: Drenaje transversal del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

2.12 CICLO VÍAS

Las ciclo vías son espacios reservados exclusivamente para el tránsito seguro de bicicletas diseñados a un lado del carril, paralelos a las carreteras. Su uso permite desarrollar el concepto de la bicicleta como un medio de transporte alternativo.

Durante la visita de reconocimiento de sitio, se hizo el levantamiento de los componentes y dimensiones de cada una de las ciclo vías ubicadas sobre el tramo de carretera en análisis (ver ilustración II-11).

Ilustración II-11: Ciclo vía en ambas bandas del tramo en estudio (Est. 43+100)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

El trayecto de la estación 41+717 a la estación 45+100 banda izquierda y de la estación 41+806 a la estación 44+985 banda derecha, tomando como referencia la dirección Diriamba hacia La Boquita, existe la presencia de ciclo vías paralelas a la calzada, el objetivo de la instalación de ciclo vías en estos segmentos es proteger a los ciclistas que circulan en este sector de posibles accidentes de tránsito, especialmente a los trabajadores que se movilizan diariamente en sus bicicletas, hacia su centro de labores en la empresa de zona franca ORNASE

(anteriormente llamada GUANICA). En la tabla II-10, pueden apreciarse las dimensiones que presenta dicha ciclo vía.

Tabla II-10: Dimensiones de la ciclo vía del tramo en estudio

Ciclo vía	Longitud (m)	Ancho (m)	Dist. a línea borde carril (m)	Separadores de bordillo de concreto			
				Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Dist. entre bordillos (m)
Banda Derecha	3,179	2.20	0.45	0.53	0.25	0.27	1.50
Banda Izquierda	3,383	2.15	0.45	0.53	0.25	0.27	1.50

Fuente: Elaboración propia / Levantamiento de campo

2.13 BAHÍAS DE BUSES

Las bahías o paradas de buses se sitúan en las calzadas, donde funcionan como referencia física visible de la existencia del paso de transporte colectivo. Estos espacios públicos también están destinados con el fin de brindar seguridad y refugio a los usuarios en espera del transporte.

Es importante que las bahías sean ubicadas en zonas donde se concentra mayor demanda de usuarios de manera que facilite el encuentro entre pasajeros y vehículos de transporte colectivo.

La siguiente tabla muestra la ubicación de las bahías de buses encontradas sobre el tramo de carretera en estudio:

Tabla II-11: Inventario de bahías de buses del tramo en estudio

Estación	Nombre de Bahía	Banda	
		Derecha	Izquierda
41+750	San Gregorio	X	
50+500	Apompuá	X	X
54+270	Buena Vista	X	X
58+200	La Trinidad	X	X
67+700	La Garita	X	X

Fuente: MTI / División de Planificación / Administración Vial

Las bahías de buses sobre el tramo de estudio, no cuentan con la señalización reglamentaria correspondiente (ver ilustración II-12). Todas las bahías tienen un diseño geométrico para el estacionamiento de un solo bus y presentan un desfase entre las paradas de la banda derecha y de la banda izquierda de la misma estación, que varía de 30 m a 100 m para las diferentes estaciones de autobus. Todas las bahías tienen una acera con ancho de 3 m y poseen franjas separadoras marcadas en el borde del carril de 1 m de ancho.

Ilustración II-12: Bahía de bus sin techo San Gregorio (Est. 41+750)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

Las dimensiones de las bahías encontradas en el inventario realizado se presentan a continuación en la tabla siguiente:

Tabla II-12: Dimensiones de las bahías de buses del tramo en estudio

Nombre Bahía	Entrada (m)	Parada (m)	Salida (m)	Ancho (m)	Long. Total (m)
San Gregorio	30	21	16	3.55	67
Apompuá	22	19	15.6	3.40	56.60
Buena Vista	20.45	18.20	15.50	3.35	54.15
La Trinidad	20.40	18.10	15.45	3.30	53.95
La Garita	29.50	22	16	3.60	67.50

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la geometría de las bahías es importante señalar que estas cumplen con los requerimientos mínimos y sus dimensiones son apropiadas para el estacionamiento de un bus como lo recomienda el Manual para Diseño Geométrico del SIECA (sección 4.3.8) como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla II-13: Especificaciones para dimensiones de bahías de buses

Diseño	Entrada (m)	Parada (m)	Salida (m)	Ancho (m)	Long. Total (m)
1 Bus	10	15	15	3 a 4	40
2 Buses	10	30	15	4	55
3 Buses	15	45	15	4 a 5	75

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño Geométrico de Viales

Cabe señalar que el techo de las casetas ha sido quitado de la mayoría de ellas producto de acciones vandálicas (ver ilustración II-12).

2.14 ANÁLISIS DE INTERSECCIONES

Una intersección es el área donde dos o más carreteras se interceptan, ya sea uniéndose o simplemente cruzándose. A cada vía que sale o llega a una intersección se le identifica como ramal o acceso de la intersección. Dentro del

área de una intersección, se realizan maniobras de convergencia o integración, divergencia o separación, cruzamiento y entrecruzamiento. Todas estas maniobras son fuente de conflictos, no sólo para el conductor que realiza alguna de estas maniobras en particular, sino también para los otros conductores que se aproximan a la zona de conflicto.

Las intersecciones existentes sobre el tramo en estudio son en su mayoría convencionales y al mismo nivel. Los cruces convergen o divergen dando prioridad al ramal principal, especialmente porque en la mayoría de los casos el ramal secundario no es perfectamente perpendicular al principal. El caso excepcional ocurre con la intersección Empalme Boquita–Casares donde existe una rotonda o intersección giratoria con su respectivo sistema de canalización del tránsito. Las intersecciones en el tramo de estudio son las siguientes:

Tabla II-14: Intersecciones en el tramo en estudio

Estación	Descripción	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
41+700	Intersección San Gregorio	11° 51' 23.02" N	86° 14' 45.27" W
42+350	Intersección Colonia San Sebastián	11° 51' 06.27" N	86° 15' 01.74" W
45+200	Intersección Jobo Dulce	11° 49' 41.60" N	86° 15' 54.96" W
58+500	Intersección La Trinidad	11° 44' 07.45" N	86° 19' 52.80" W
59+022	Intersección San Rafael del sur–Amayito	11° 43' 56.57" N	86° 20' 01.13" W
67+850	Intersección Empalme Boquita–Casares	11° 39' 55.03" N	86° 22' 16.78" W

Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

Intersección San Gregorio

Esta intersección se encuentra dentro del área suburbana de la ciudad de Diriamba, consta de 4 ramales o accesos de doble vía en forma de "X". En esta zona la carretera Diriamba–La Boquita (NIC-18B) se une en la banda derecha

con el camino adoquinado hacia san Gregorio de las Cañas y en la banda izquierda con una vía asfaltada que va hacia la zona urbana central de la ciudad de Diriamba (ver ilustración II-13).

Ilustración II-13: Intersección San Gregorio (Est. 41+700)



Fuente: Google Earth Pro

Es una intersección al mismo nivel, convencional y no canalizada, que prioriza los dos ramales de la carretera Diriamba–La Boquita que es la vía principal, siendo los ramales secundarios el camino hacia San Gregorio de las Cañas y la vía de acceso hacia la parte céntrica de Diriamba.

El volumen de tránsito en el día más crítico es cercano a los 4,000 vehículos por día, con una distribución del tráfico de alrededor de 420 vehículos por hora en la vía principal y 40 vehículos por hora en la vía secundaria no presenta mayores complicaciones y conflictos para los conductores, sin embargo en cuanto a la señalización a pesar que las señales de alto se encuentran debidamente instaladas en los accesos secundarios, se sugiere instalar señales de precaución en la vía principal para indicar la proximidad a dicha intersección y remarcar las líneas de los cruces peatonales de pavimento que tienen la pintura borrosa.

Intersección Colonia San Sebastián

Es una intersección a nivel de tipo convencional no canalizada de 3 ramales en forma de “T”, constituido por los dos ramales de la vía principal (tramo Diriamba–La Boquita) y un ramal secundario pavimentado situado en la banda izquierda de la vía principal. El ramal secundario conecta zonas residenciales que son dos nuevas colonias (San Sebastián y Las Colinas) situadas en los suburbios de la ciudad de Diriamba (ver ilustración II-14).

Ilustración II-14: Intersección Colonia San Sebastián (Est. 42+350)



Fuente: Google Earth Pro

El volumen de tráfico en el día más crítico está próximo a los 4,000 vehículos por día con una distribución de volumen promedio de 400 vehículos por hora en la vía principal y 25 vehículos por hora en la vía secundaria. El tráfico vehicular en esta intersección tiene mucha fluidez incluso en las horas pico debido al bajo volumen de vehículos que ingresan a la vía secundaria y los que salen de ella.

Es importante señalar que la existencia de una ciclo vía en ambas bandas de la vía principal permite a los conductores que realizan maniobras de giro en la intersección tener mejor autonomía y visibilidad. Como medidas de protección es

necesario instalar pasos peatonales a nivel para permitir el cruce seguro de peatones sobre la vía principal (tramo Diriamba–La Boquita) ya que se han registrado varios casos de atropellamiento de peatones en esta zona.

Intersección Jobo Dulce

Es una intersección a nivel de tipo convencional y no canalizada de 3 ramales en forma de “Y” con ángulo oblicuo, el acceso secundario situado en la banda derecha de la vía principal (tramo Diriamba–La Boquita) es un camino adoquinado que conecta los poblados de Los Guerreros y San Antonio de Arriba con ésta (ver ilustración II-15).

Ilustración II-15: Intersección el Jobo Dulce (Est. 45+200)



Fuente: Google Earth Pro

En esta intersección sólo la vía principal (tramo Diriamba–La Boquita) registra un volumen de tráfico considerable, en el caso de la vía de acceso secundario el tráfico es muy bajo, regularmente aquí la gente circula a pie o en moto taxis.

Intersección La Trinidad

Esta es una intersección a nivel de vías múltiples no canalizadas, consta de 6

ramales donde los 4 ramales secundarios están en la banda derecha de la carretera Diriamba–La Boquita (vía principal). Estos ramales secundarios se unen con la vía principal en ángulos oblicuos que oscilan entre 45° y 75°, lo cual provoca que se reduzca la distancia de visibilidad para los conductores y peatones y aumenta la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito (ver ilustración II-16).

Ilustración II-16: Intersección La Trinidad (Est.58+500)



Fuente: Google Earth Pro

Esta intersección conecta al poblado La Trinidad (el cual es el poblado más grande sobre el tramo de estudio) y otras comunidades rurales con la vía principal. El tránsito vehicular en los accesos es bajo, solo la vía principal presenta un tráfico regular por lo que el tráfico es fluido incluso hasta en las horas pico, pues los cambios de ruta de los vehículos no son muy frecuentes. Un hecho a considerar es que en esta zona hay poco desplazamiento de peatones, sin embargo es evidente una presencia alta de ciclistas en la vía principal.

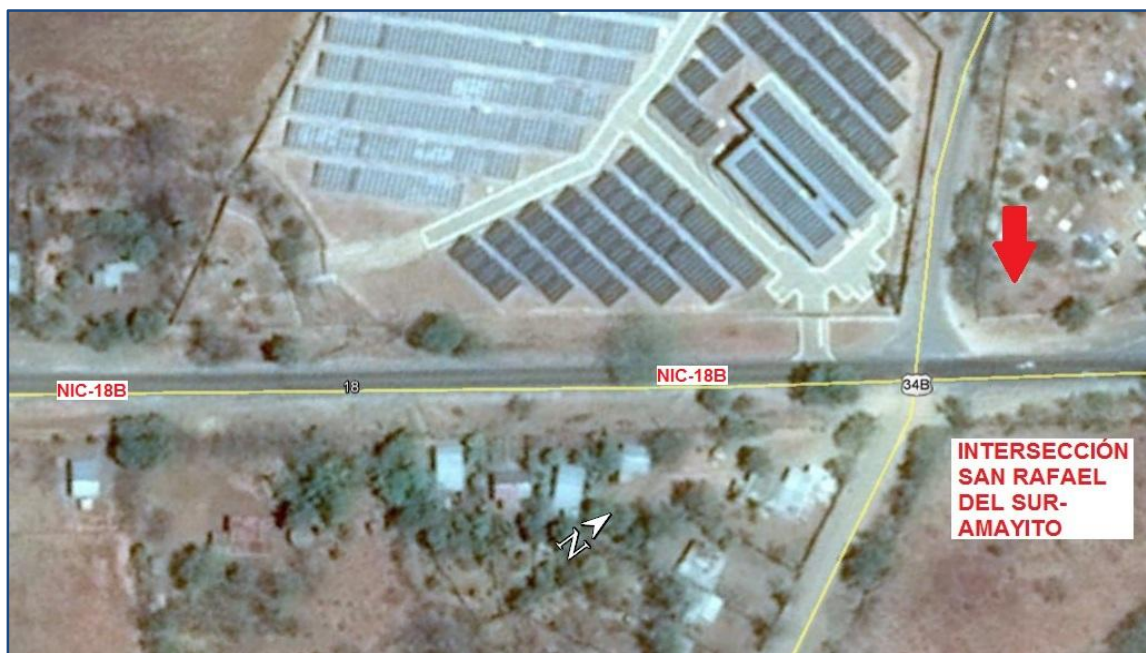
Esta intersección es una zona propensa a los accidentes de tránsito según los

registros de la Policía Nacional de Tránsito. Los accesos secundarios no tienen la señalización debida, pues faltan las señales de alto y en la carretera Diriamba-La Boquita (vía principal) no existen señales que indiquen la proximidad a la intersección ni están marcadas las flechas direccionales en el pavimento.

Intersección San Rafael del Sur – Amayito

Es una intersección a nivel de 4 ramales tipo “cruz” no canalizados, donde sólo el ramal secundario que está en la banda derecha está pavimentado, el cual conduce al municipio de San Rafael del Sur; el otro ramal secundario, situado en la banda izquierda de la vía principal conecta la comunidad de Amayito y otras comunidades hasta el Balneario de Casares (ver ilustración II-17).

Ilustración II-17: Intersección San Rafael del Sur – Amayito (Est. 59+022)



Fuente: Google Earth Pro

Esta intersección presenta un volumen muy bajo de tráfico vehicular a pesar de que uno de sus accesos secundarios se dirige al municipio de San Rafael del Sur. El tráfico en esta intersección es muy fluido y no presenta mayores inconvenientes en cuanto a la conflictividad entre los conductores dentro de la

intersección.

La presencia de ciclistas es alta en esta zona, sobretodo en la vía principal y el desplazamiento de peatones es relativamente nulo. Aunque la intersección no presenta mayores problemas de accidentalidad, es necesario instalar sobre la vía principal señales verticales que indiquen la proximidad de la intersección para advertir a los conductores la presencia de la misma.

Intersección Empalme La Boquita – Casares

Es una intersección a nivel de tipo rotonda, glorieta o giratoria la cual consta de 3 ramales debidamente pavimentados y canalizados. Dos de sus ramales conectan los balnearios turísticos de La Boquita al oeste y Casares al este con el ramal principal que conduce a la ciudad de Diriamba (ver ilustración II-18).

Ilustración II-18: Intersección Empalme La Boquita – Casares (Est. 67+850)



Fuente: Google Earth Pro

El tráfico en esta rotonda varía de bajo a moderado, la intersección se encuentra debidamente señalizada y la accidentalidad es baja dado que hay una buena vigilancia policial ya que se ubica una garita de policía en este lugar, sin embargo

es necesario complementar la señalización vertical con señales informativas que permitan a los conductores nacionales y extranjeros conocer mejor la zona y realizar maniobras con mayor seguridad.

Un fenómeno observado es el desplazamiento de una cantidad alta de ciclistas especialmente en horas de la mañana (6:00am–7:00pm), mediodía (11:00am–01:00pm) y tarde (4:00pm–7:00pm) mayormente en la dirección La Boquita–Casares o viceversa, y en menor número en la dirección hacia Diriamba, por lo que se necesita instalar señales verticales que adviertan a los conductores de vehículos la presencia de una ruta de bicicletas en esta zona.

2.15 TRAZADO GEOMÉTRICO

Para estudiar el trazado analizamos dos aspectos que tienen mucha influencia en la seguridad que presenta una carretera, estos son: la consistencia en el diseño y la coordinación Planta–Perfil. La primera, porque relaciona el comportamiento del diseño ante las expectativas de los conductores y la segunda, porque es una de las causas de accidentes que toma por sorpresa a los conductores: el problema de la falta de visibilidad debido a deficiencias en el trazado.

Para este análisis al no disponer del proyecto completo de diseño del tramo en estudio, nos auxiliamos de los siguientes software: Autocad, Autocad Civil 3D y Google Earth Pro. Además, tomamos como herramientas los datos de visitas de campo, fotografías y los datos de Trazado Geométrico proporcionados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, los cuales nos sirvieron para realizar comparaciones con la normativa vigente.

A continuación en la tabla II-15, se muestra los parámetros actuales de las curvas horizontales en el tramo de estudio para un peralte máximo de 8%:

Tabla II-15: Parámetros de curvas horizontales en el tramo en estudio

Curva No	Estaciones			Datos de curva circular			Sentido	Espiral de transición clotoide	V (km/h)
	PC	PI	PT	Radio (m)	Long. (m)	Gc°		Longitud de transición (m)	
1	41+563.36	41+203.39	41+716.32	210.00	152.96	5.46	IZQ.	10.05	30
2	41+948.71	42+056.23	42+163.07	1107.00	214.36	1.03	IZQ.	13.50	30
3	42+392.86	42+456.52	42+519.97	896.00	127.11	1.28	DER.	27.10	80
4	42+591.33	42+820.84	43+044.14	1124.00	452.81	1.02	IZQ.	22.80	80
5	43+254.64	43+352.76	43+449.08	586.00	194.45	1.95	DER.	36.50	80
6	43+552.92	43+648.84	43+741.97	454.00	189.05	2.52	IZQ.	41.90	80
7	43+837.82	43+945.02	44+049.02	501.00	211.20	2.29	DER.	40.20	80
8	44+198.17	44+276.39	44+354.10	784.00	155.93	1.46	IZQ.	30.15	80
9	45+240.39	45+396.84	45+546.56	604.00	306.17	1.90	IZQ.	29.15	80
10	45+713.67	45+826.90	45+938.77	841.00	225.10	1.36	DER.	28.50	80
11	46+560.02	46+761.73	46+961.14	1536.00	401.12	0.75	DER.	20.10	80
12	47+183.32	47+333.93	47+482.14	969.00	298.81	1.18	IZQ.	25.50	80
13	47+707.28	47+887.60	48+062.67	851.00	355.39	1.35	DER.	28.15	80
14	48+179.51	48+315.08	48+446.38	614.00	266.87	1.87	IZQ.	35.50	80
15	48+598.90	48+800.00	48+998.71	1496.0	399.81	0.77	DER.	20.10	80
16	49+803.60	49+934.90	50+061.91	584.00	258.31	1.96	IZQ.	36.50	80
17	50+192.55	50+327.00	50+455.01	491.00	262.47	2.33	DER.	40.55	80
18	50+877.36	51+145.51	51+412.59	3449.00	535.23	0.33	IZQ.	-	80
19	52+204.39	52+363.69	52+519.43	861.00	315.04	1.33	DER.	28.15	80
20	52+688.01	52+862.82	53+032.76	844.00	344.75	1.36	IZQ.	28.50	80
21	53+179.72	53+375.39	53+563.81	816.00	384.10	1.40	DER.	29.15	80
22	53+811.92	53+937.84	54+061.84	824.00	249.92	1.39	IZQ.	28.80	80
23	54+193.74	54+313.45	54+432.02	996.00	238.27	1.15	DER.	24.80	80
24	54+553.96	54+647.80	54+740.89	854.00	186.93	1.34	IZQ.	28.15	80
25	54+809.67	54+886.99	54+961.03	301.00	151.36	3.81	DER.	45.55	80
26	55+327.28	55+451.22	55+571.72	599.00	244.43	1.91	IZQ.	36.20	80
27	55+650.41	55+737.04	55+819.76	326.00	169.35	3.51	DER.	45.90	80
28	55+949.06	56+093.51	56+225.98	394.00	276.92	2.91	IZQ.	44.25	80
29	56+354.73	56+557.08	56+735.63	456.00	380.89	2.51	DER.	41.90	80
30	56+977.33	57+220.96	57+455.53	1014.00	478.20	1.13	IZQ.	24.45	80
31	58+361.11	58+577.46	58+792.14	2009.00	431.03	0.57	IZQ.	20.10	80

Curva No	Estaciones			Datos de curva circular			Sentido	Espiral de transición clotoide	V (km/h)
	PC	PI	PT	Radio (m)	Long. (m)	Gc°		Longitud de transición (m)	
32	59+239.17	59+465.01	59+689.97	2966.00	450.80	0.39	DER.	-	80
33	60+106.13	60+272.98	60+437.02	1044.00	330.89	1.10	IZQ.	24.15	80
34	60+664.35	60+949.04	61+213.81	851.00	549.47	1.35	DER.	28.15	80
35	61+728.81	61+955.64	62+154.61	499.00	425.81	2.30	IZQ.	40.20	80
36	63+924.15	64+210.85	64+494.96	2452.93	570.82	0.47	DER.	-	80
37	65+393.37	65+588.58	65+766.24	510.00	372.87	2.25	IZQ.	39.55	80
38	65+853.33	66+02034	66+175.75	501.00	322.42	2.29	DER.	40.20	80
39	66+958.15	67+167.88	67+376.90	2915.00	418.75	0.39	DER.	-	80
40	67+743.25	67+823.28	67+896.21	210.00	152.96	5.46	IZQ.	10.05	30
41	68+125.44	68+354.95	68+578.25	1124.00	452.81	1.02	IZQ.	22.80	80
42	68+783.23	68+861.45	68+939.16	784.00	155.93	1.46	IZQ.	30.15	80
43	69+139.16	69+237.29	69+333.61	586.00	194.45	1.95	DER.	36.50	80
44	69+483.61	69+547.27	69+610.71	896.00	127.11	1.28	DER.	27.10	80

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)/Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla II-15, los radios, grados de curvatura y velocidades de diseño cumplen holgadamente con los radios mínimos y grados de curvaturas máximos de curvas horizontales recomendados para dichas velocidades, por el Manual de Diseño Geométrico del SIECA de Marzo de 2004 en lo referido al alineamiento horizontal (sección 4.5 y el cuadro 4.10 de la misma sección). Las longitudes de transición de las espirales se ajustan al cálculo del método de Shortt, descrito en la sección 4.5.5 del mismo manual.

En la tabla II-15, apreciamos que sólo tres de las curvas horizontales presentan velocidades de diseño de 30 km/h, las demás curvas tienen una velocidad de diseño de 80 km/h que es la velocidad de diseño de toda la carretera, lo que nos indica que existe homogeneidad en cuanto a la secuencia de las velocidades desarrolladas en estas curvas.

La carretera se sitúa en un terreno relativamente plano donde las condiciones topográficas favorecen tanto el diseño vertical como horizontal. Durante el

levantamiento de campo no se observó ninguna anomalía en cuanto al efecto de “montaña rusa”, ni la presencia de curvas en columpio en los tramos rectos lo que concuerda con los criterios recomendados para alineamiento vertical del Manual de Diseño Geométrico de la SIECA (inciso c, sección 4.6.2).

Además, el tramo no presenta tramos rectos muy prolongados y las curvas consecutivas tienen rectas intermedias razonables (no muy cortas), por lo que concluimos que el tramo de carretera Diriamba–La Boquita presenta un trazado muy consistente y confortable (ver ilustración II-19).

Ilustración II-19: Trazado en terraplén en el tramo de estudio (Est. 55+200)



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

Sin embargo, es bueno recordar que el hecho que cumpla con la normativa no implica tener un diseño “seguro” para dicho tramo, ya que existen otras factores que influyen en la ocurrencia de accidentes de tránsito que no tienen que ver estrictamente con el diseño geométrico, ejemplo de ello es lo que se refiere a la señalización vial, regulación vial, educación vial, etc.

CAPÍTULO III: AFORO VEHICULAR

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un análisis de los volúmenes de tránsito que circulan por el tramo Diriamba–La Boquita y un estudio de velocidad que nos permite conocer el comportamiento de los conductores en dicho tramo.

Para el análisis del tránsito en el tramo de estudio, se utilizó la revista “Anuario de Aforos de Tráfico” publicada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) que contiene los resultados de los conteos de tráfico realizados anualmente en gran parte de la red vial de Nicaragua. Para el presente estudio se utilizaron las revistas de los años 2011, 2012, 2013 y 2014.

Además del análisis de la información obtenida de las revistas antes citadas, se realizó un conteo de volumen y composición vehicular por observación directa durante doce horas continuas, entre las 6.00 a.m. y 6.00 p.m., por un período de tres días en cada una de las tres estaciones seleccionadas en dicho tramo.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

Para llevar a cabo el aforo vehicular del estudio en su forma elemental, se requirió de observar en ambos sentidos de la carretera y anotar con un lápiz en un formato especial la clasificación vehicular.

El tramo de estudio se dividió en tres tramos de menor longitud (Diriamba–La Trinidad, La Trinidad–Empalme Boquita/Casares y Empalme Boquita/Casares–La Boquita), en cada uno de estos tramos se situó una estación de conteo en aquellos sitios donde se consideró existen las mayores concentraciones de tráfico vehicular.

El aforo vehicular se efectuó los días Jueves 11, Viernes 12 y sábado 13 de febrero del año 2016, en los períodos de mayor movimiento vehicular durante doce horas continuas entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m. Se ubicaron aforadores

por cada sentido del flujo vehicular, que contaron y clasificaron los diferentes tipos de vehículos en cada una de las tres estaciones de conteo ubicadas a lo largo del tramo de carretera en estudio.

3.3 CLASIFICACIÓN VEHICULAR

El formato de clasificación vehicular utilizado para el trabajo de campo contiene los datos generales referentes a los puntos donde se realizó el conteo: Nombre de la estación, sentido de circulación, hora, fecha, estado de la carpeta de rodamiento, estado del tiempo, nombre del aforador y la clasificación vehicular para realizar dicho conteo en correspondencia con el formato utilizado en los aforos de tráfico realizados por el MTI (Revista Anuario de Aforos de Tráfico, 2014).

3.4 TIPOS DE TRÁNSITO

Según el “Manual para la Revisión de Estudios de Tránsito” preparado por la empresa consultora Corea y Asociados S.A. (CORASCO) para el Ministerio de Transporte e Infraestructura, el tránsito se divide en:

3.4.1 Tránsito actual (T_a)

Es la composición de una cantidad de vehículos que durante una unidad de tiempo viajan en ambas direcciones, en una determinada carretera o entre un origen y un destino.

3.4.2 Tránsito futuro (T_f)

El tránsito futuro se compone del valor proyectado del tránsito a partir del año en que se espera sea concluida la ejecución del estudio o proyecto. El tránsito futuro suele dividirse en:

- Tránsito normal (T_n): Es el resultante del crecimiento esperado del tránsito en las vías existentes, aunque no se lleve a cabo un proyecto.

Generalmente, es el más utilizado para obtener el TPDA futuro, se calcula aplicando las tasas de crecimiento obtenidas a través del análisis por métodos estadísticos del tránsito del pasado.

- Tránsito desviado o tránsito atraído (Td): Es el resultante del crecimiento esperado del tránsito, desviado de otras carreteras u otros medios de transporte (tránsito atraído), a la carretera proyectada (nueva o mejorada) en virtud de un menor costo de transporte.
- Tránsito generado o tránsito desarrollado (Tg): Conocido también como tránsito inducido es el tránsito consecuente de las facilidades creadas por la construcción o mejoramiento de una carretera, sin las cuales no sería originado.

3.5 EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EXISTENTE

Para la evaluación se utilizó el tránsito promedio de los tres días de aforo en cada una de las tres estaciones de conteo del tramo en estudio (ver anexos 3.1, 3.2 y 3.3, págs.40–51), excepto para el cálculo de horas pico y el análisis para obtener los niveles de servicio, para lo cual se utilizó sólo el día más crítico por cada estación (ver resultados finales en tabla III-1).

Tabla III-1: Consolidado del aforo vehicular en el tramo de estudio

Estación	Aforo (Veh/día)			Fechas de Aforo		
	Jueves	Viernes	Sábado	Jueves	Viernes	Sábado
Diriamba	4,278	4,286	4,467	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16
La Trinidad	2,256	2,402	2,750	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16
La Boquita	453	518	694	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16

Fuente: Elaboración propia / Trabajo de Campo

Tabla III-2: Consolidado del aforo de bicicletas en el tramo de estudio

Estación	Aforo (Bicicletas/día)			Fechas de Aforo		
	Jueves	Viernes	Sábado	Jueves	Viernes	Sábado
Diriamba	250	270	286	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16
La Trinidad	112	131	182	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16
La Boquita	122	159	205	11-feb-16	12-feb-16	13-feb-16

Fuente: Elaboración propia / Trabajo de Campo

El tráfico vehicular del tramo de estudio se compone principalmente de vehículos livianos, dada su característica de carretera turística y la existencia de una serie de comunidades aledañas a la misma, cuyos pobladores utilizan en gran medida este tipo de vehículos para el transporte.

El tráfico de vehículos de carga se debe a la explotación de minas de piedra cantera en la zona de Apompuá, la producción agrícola principalmente caña de azúcar en la zona de la Trinidad, ubicación de algunas fincas ganaderas, producción pesquera en la zona de Casares y la Boquita y el transporte de mercancías entre las distintas comunidades aledañas a la vía.

Ilustración III-1: Tipos de vehículos en el tramo de estudio



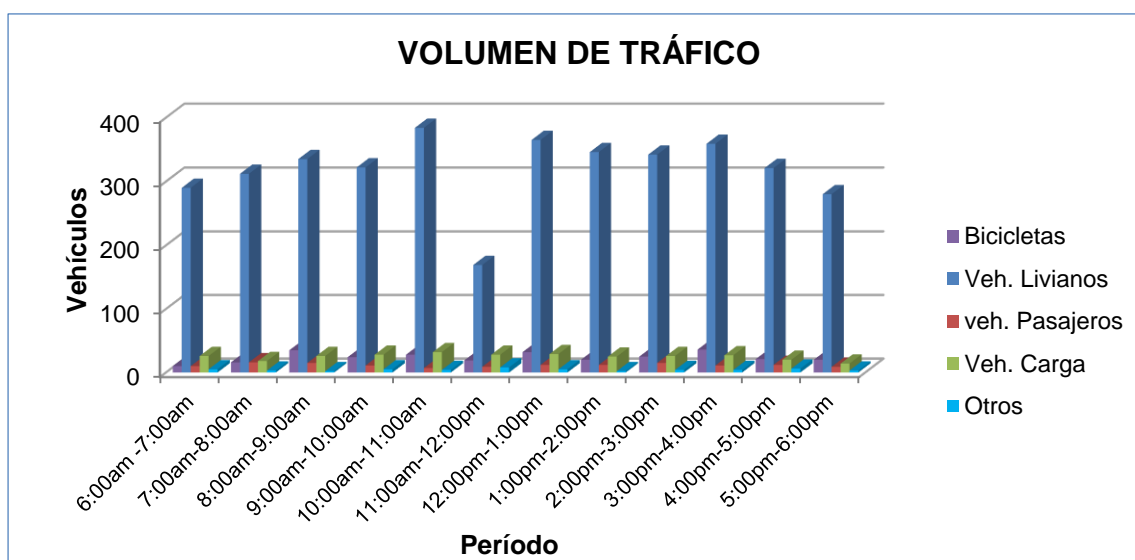
Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

El transporte de pasajeros se genera principalmente por la necesidad de la

población de trasladarse de un lugar a otro, en una zona predominantemente rural, con distancias considerables entre las diferentes comunidades.

En el tramo Diriamba–La Trinidad los **vehículos livianos** representan un **88.94%** del TPDA compuesto por motos, autos, jeep y camionetas, luego siguen los **vehículos de carga** con un **6.06%**, los **vehículos de pasajeros** compuestos por minibuses, microbuses y buses con el **3.47%** y los **vehículos clasificados como otros** con un **1.47%** del TPDA. Es importante resaltar que para este tramo el flujo de **bicicletas** representa un **6.11%** del TPDA, aunque no se tome en cuenta para el cálculo del TPDA, son una parte esencial del tráfico que debe ser tomada en consideración en el diseño de cualquier proyecto vial (véase gráfico III-1).

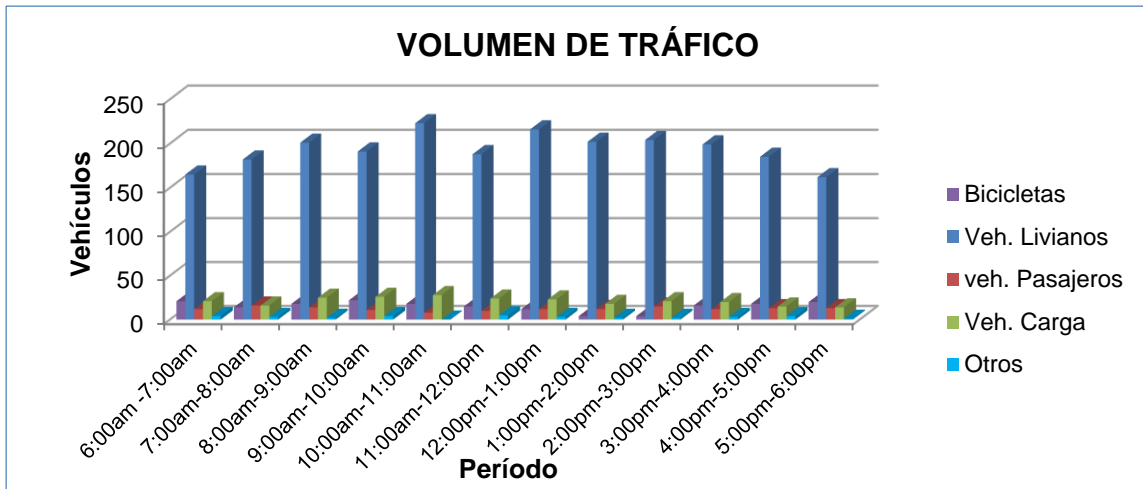
Gráfico III-1: Volumen de tráfico tramo Diriamba–La Trinidad



Fuente: Elaboración propia

En el tramo La Trinidad–Empalme La Boquita / Casares los **vehículos livianos** constituyen un **85%** del TPDA seguido de los **vehículos de carga** con el **8.44%**, los **vehículos de pasajeros** el **5.59%** y **otros** con un **0.93%** del TPDA. En este tramo las **bicicletas** representan alrededor del **5.69%** del TPDA (véase gráfico III-2).

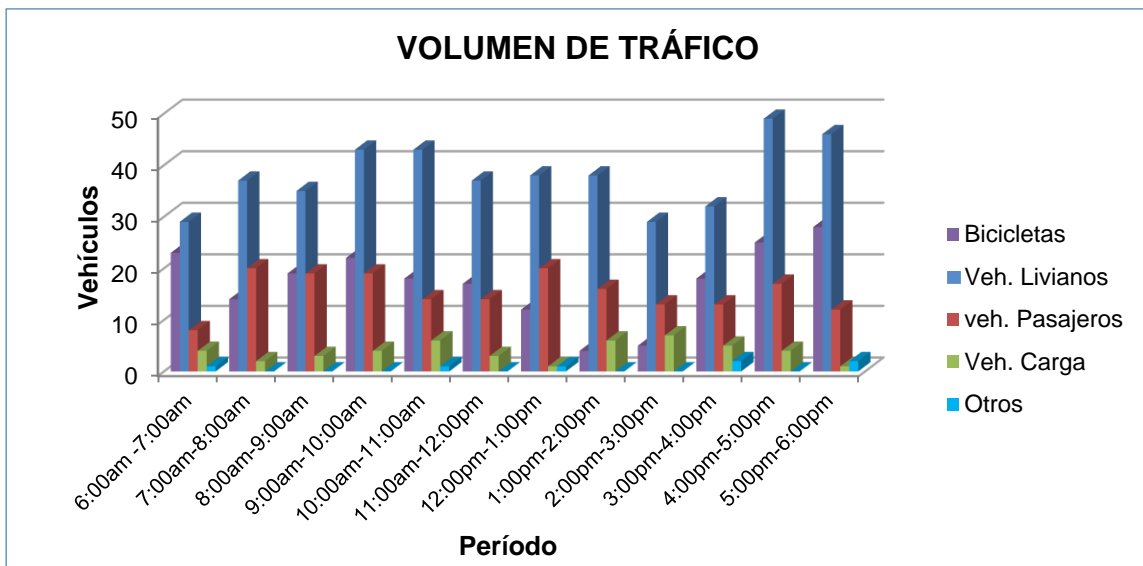
Gráfico III-2: Volumen de tráfico tramo La Trinidad–Empalme Boquita/Casares



Fuente: Elaboración propia

Para el tramo Empalme La Boquita / Casares–La Boquita los **vehículos livianos** son el **66.47%** del TPDA, después están los **vehículos de pasajeros** con un **25.83%**, en menor cantidad se presentan los **vehículos de carga** con **6.50%** y **otros** el **1.19%** del TPDA. Las **bicicletas** en este tramo, representan el **30.82%** del TPDA, por lo que se debe adoptar medidas para mejorar la seguridad vial para este tipo de tráfico no motorizado (véase gráfico III-3).

Gráfico III-3: Volumen de tráfico sector Empalme Boquita/Casares–La Boquita



Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Volumen Máximo Horario (VMH)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de una calzada durante 60 minutos (1 hora) consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

A partir de los conteos de tráfico, se obtuvieron los siguientes resultados del Volumen Máximo Horario que se presentó por cada uno de los días de aforo en cada uno de los puntos de los tramos seleccionados, como se aprecia en las tablas III-3, III-4 y III-5.

Tabla III-3: Volumen máximo horario tramo Diriamba–La Trinidad

TRAMO DIRIAMBA - LA TRINIDAD					
Día	Período	TPD 24 h (vpd)	VMH (vph)	% TPD (24 h)	Distribución Direccional
Jueves	06:15am - 07:15am	5,473	390	7.13%	49.88/50.12
Viernes	11:30am - 12:30pm	5,488	428	7.80%	50.49/49.51
Sábado	09:45am - 10:45am	5,716	431	7.54%	50.12/49.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-4: Volumen máximo horario tramo La Trinidad–Empalme Boquita/Casares

TRAMO LA TRINIDAD - EMPALME LA BOQUITA / CASARES					
Día	Período	TPD 24 h (vpd)	VMH (vph)	% TPD (24 h)	Distribución Direccional
Jueves	06:30am - 07:30am	2,874	254	8.84%	52.15/47.85
Viernes	12:00pm - 01:00pm	3,064	261	8.52%	50.86/49.14
Sábado	09:45am - 10:45am	3,511	263	7.49%	51.05/48.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-5: Volumen máximo horario tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita

TRAMO EMPALME LA BOQUITA / CASARES - LA BOQUITA					
Día	Período	TPD 24 h (vpd)	VMH (vph)	% TPD (24 h)	Distribución Direccional
Jueves	12:15pm - 01:15pm	599	57	9.52%	49.00/51.00
Viernes	09:45am - 10:45am	688	61	8.87%	51.16/48.84
Sábado	09:45am - 10:45am	922	75	8.13%	52.45/47.55

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de corta duración o conteo sumaria, se utilizó la revista Anuario de Aforos de Tráfico 2014 del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de la cual se obtuvieron los factores de ajuste del tráfico vehicular de las estaciones de mayor cobertura (EMC) a nivel nacional que tenían características similares con el comportamiento del tráfico del aforo realizado en el tramo de estudio (ver anexos 3.7 y 3.8, págs.55–56).

Para tal fin, se determinó que las estaciones de mayor cobertura **1802** (San Marcos–Masatepe) y la **300** (Sébaco–Quebrada Honda), designadas por el MTI para el tramo de estudio, eran las que presentaban una mayor similitud con los resultados obtenidos de los conteos vehiculares realizados en los segmentos de dicho tramo: Diriamba–Empalme Boquita/Casares y Empalme Boquita/Casares–La Boquita respectivamente.

Dada la afinidad al comparar los perfiles de variación de los flujos vehiculares, porcentajes similares de vehículos livianos y pesados, distribuciones similares de flujos diarios y semanales; se corroboró que las dos estaciones de mayor cobertura (La **1802** y la **300**), eran las más adecuadas para calcular el TPDA en el tramo de estudio de acuerdo a la fecha en que se realizó el aforo antes mencionado.

Para convertir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas para cada

uno de los 3 días de conteo se utilizaron los factores de expansión por tipo de vehículo a 24 horas (factor día) de la estación de mayor cobertura correspondiente al tramo evaluado, para lo cual se usó la siguiente ecuación:

$$\text{TPD}(24 \text{ h}) = \text{Factor día} * \text{TPD}(12 \text{ h}) \quad \text{Ec. III. 1}$$

En las tablas III-6 y III-7, se presenta una muestra del procedimiento de cálculo del TPD, para lo cual se utiliza los datos del tráfico liviano levantados durante el aforo realizado correspondientes al tramo Diriamba–La Trinidad.

Tabla III-6: Ejemplo de cálculo del TPD1 tramo Diriamba–La Trinidad

Ítem	Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Total (vpd)
Jueves TD(12 h)	3,149	299	169	260	3,877
Viernes TD(12 h)	2,954	318	177	312	3,761
Factor día	1.26	1.49	1.31	1.32	
TPD₁(24 h)	3,845	460	227	378	4,910

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-7: Ejemplo de cálculo del TPD2 tramo Diriamba–La Trinidad

Ítem	Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Total (vpd)
Sábado TD(12 h)	3,156	309	201	312	3,978
Factor día	1.26	1.49	1.31	1.32	
TPD₂(24 h)	3,977	460	263	412	5,112

Fuente: Elaboración propia

Luego se obtuvo el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) de la siguiente forma: Se calculó el TPDS para los 2 días de semana (jueves y viernes) y el TPDS para el día de fin de semana (sábado), para lo cual se utilizó el factor semana por tipo de vehículo y el factor fin de semana por tipo de vehículo respectivamente (ambos factores también se obtienen de la estación de mayor cobertura correspondiente al tramo evaluado), y se procedió a tomar la media de

ambos resultados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TPDS = \frac{[5 * \text{Factor semana} * TPD_1(24 \text{ h}) + 2 * \text{Factor fin semana} * TPD_2(24 \text{ h})]}{7} \quad \text{Ec. III. 2}$$

La tabla III-8 muestra el cálculo del TPDS antes mencionado:

Tabla III-8: Ejemplo de cálculo del TPDS tramo Diriamba–La Trinidad

Ítem	Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Total (vpd)
TPD₁(24 h)	3,845	460	227	378	4,910
TPD₂(24 h)	3,977	460	263	412	5,112
Factor semana	0.97	1.11	1.08	1.03	
Factor fin semana	1.10	0.80	0.84	0.92	
TPDS	3,914	470	238	386	5,008

Fuente: Elaboración propia

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se determinó multiplicando el TPDS obtenido anteriormente por el factor de expansión o factor temporada por tipo de vehículo (este factor se obtiene de la misma forma mencionada anteriormente), y se denota con la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS * \text{Factor de expansión a TPDA} \quad \text{Ec. III. 3}$$

El cálculo del TPDA mencionado anteriormente se ilustra en la tabla siguiente:

Tabla III-9: Ejemplo de cálculo del TPDA tramo Diriamba–La Boquita

Ítem	Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Total (vpd)
TPDS	3,914	470	238	386	5,008
Factor expansión a TPDA	1.02	0.97	0.97	0.96	
TPDA	3,992	456	231	371	5,050

Fuente: Elaboración propia

Los anexos 3.9–3.11, págs.57–59 muestran los resultados completos de los cálculos realizados para encontrar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) para cada uno de los tres tramos en que se dividió el tramo en estudio. En la tabla III-10 se puede apreciar la distribución porcentual del TPDA por clase de vehículo del tráfico en cada uno de los tramos en que se dividió el tramo de carretera de estudio.

Tabla III-10: Distribución porcentual del TPDA por clase de vehículo

Tramo	Bici.	Veh. Livianos	Veh. Pasajeros	Veh. Cargas	Otros
Diriamba - La Trinidad	6.11%	88.94%	3.47%	6.06%	1.47%
La Trinidad - Empalme Boquita / Casares	5.69%	85.00%	5.59%	8.44%	0.93%
Empalme Boquita / Casares - La Boquita	30.82%	66.47%	25.83%	6.50%	1.19%

Fuente: Elaboración propia

3.6 PROYECCIONES DE TRÁNSITO FUTURO

Las proyecciones de demanda de tránsito se pueden realizar de forma cuantitativa por métodos de series de tiempo, o por modelos causales. La primera metodología trata de establecer la tendencia de variación del tránsito según los registros históricos y proyectarlo, asumiendo que la estructura subyacente de la demanda continuará estable.

En los registros históricos del TPDA, tanto de la NIC-18B como de la NN-285, que conforman el tramo de estudio Diriamba–La Boquita (ver tabla III-11) se advierten importantes fluctuaciones en los datos obtenidos de las dos estaciones de corta duración designadas por el MTI para dicho tramo, además de no tener un registro histórico completo de los datos de tráfico de dichas estaciones lo que significa que no es recomendable adoptar la hipótesis de estabilidad.

Tabla III-11: Tránsito promedio diario anual (TPDA) histórico en el tramo de estudio

Estación E.C.D	TPDA histórico en Veh / día										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1805	1,188	-	1,297	-	-	748	1,058	2,694	-	-	1,482
1816	-	-	-	-	-	339	-	-	-	-	651

Fuente: Revista Anuario de Aforos de Tráfico 2014, MTI

Por lo tanto, es conveniente utilizar modelos causales que explican la dependencia del tránsito como un fenómeno derivado de variables socioeconómicas independientes, cuya evolución es la que permite determinar el tránsito futuro.

3.6.1 Volumen de Proyecciones del Tránsito

El volumen del tránsito futuro (TF), procede del tránsito actual (TA) y del incremento del tránsito (IT) esperado al final del período de proyección dado.

$$TF = TA + IT \quad \text{Ec. III. 4}$$

El incremento de tránsito, es el volumen que se espera utilice la carretera construida en el año futuro seleccionado como de proyecto. El tipo de proyección de tránsito que se considera en este estudio es el **Crecimiento Normal del Tránsito (CNTF)**.

El crecimiento normal del tránsito, es el incremento del volumen de tráfico debido al aumento normal en el uso de los vehículos independientemente de cualquier mejora en la vía estudiada. Éste se cuantifica a través de una tasa de crecimiento vehicular “i” para un período de diseño de “n” años, usando la siguiente ecuación:

$$CNTF = TA * (1 + i)^n \quad \text{Ec. III. 5}$$

3.6.2 Tasas de Crecimiento

La variación en demanda de transporte suele expresarse en términos de elasticidad con las variables socio–económicas. La elasticidad es el cambio porcentual en una variable dependiente, para el 1% de cambio en la variable independiente. La elasticidad correspondiente puede establecerse de la comparación entre los valores de las variables en períodos anteriores.

En estudios de demanda de transporte, se han utilizado expresiones del tipo siguiente, donde en general las elasticidades son mayores o iguales a 1:

$$\text{Para cargas: } E_c(\text{elasticidad}) = Y_{\text{transp. cargas}} / Y_{\text{PIB}} \quad \text{Ec. III. 6}$$

Donde PIB: Producto interno bruto.

$$\text{Para pasajeros: } E_c(\text{elasticidad}) = Y_{\text{transp. pasaj.}} / Y_{\text{PIB per cápita}} \quad \text{Ec. III. 7}$$

Donde PIB per cápita: Producto interno bruto por habitante, descontando el efecto del incremento poblacional.

Dado que la teoría, y numerosos estudios empíricos, muestran que la demanda de tránsito se asocia a la actividad económica, y que en este caso dicha actividad está influenciada, como se explicó anteriormente, por la situación de disminución del PIB en términos reales, y por las expectativas de revertir la tendencia en el corto plazo , con tasas de recuperación que varían según el optimismo del pronóstico, se considera conveniente utilizar un modelo agregado de tránsito en función del PIB o de otros parámetros considerados en el estudio.

De acuerdo a lo expuesto se adoptó la siguiente expresión:

$$\Delta T (\%) = E * \Delta V (\%) \quad \text{Ec. III. 8}$$

Dónde:

ΔT = es la variación porcentual del tránsito (tasa de crecimiento)

ΔV = es la variación porcentual del parámetro usado (PIB, PIB-per cápita, población, etc.)

E = es el coeficiente de elasticidad

La tabla III-12, muestra los datos de crecimiento en los últimos años del PIB, PIB-per cápita y TPDA (estaciones de mayor cobertura 1802 y 300)

Tabla III-12: Crecimiento histórico del PIB, PIB per-cápita y TPDA

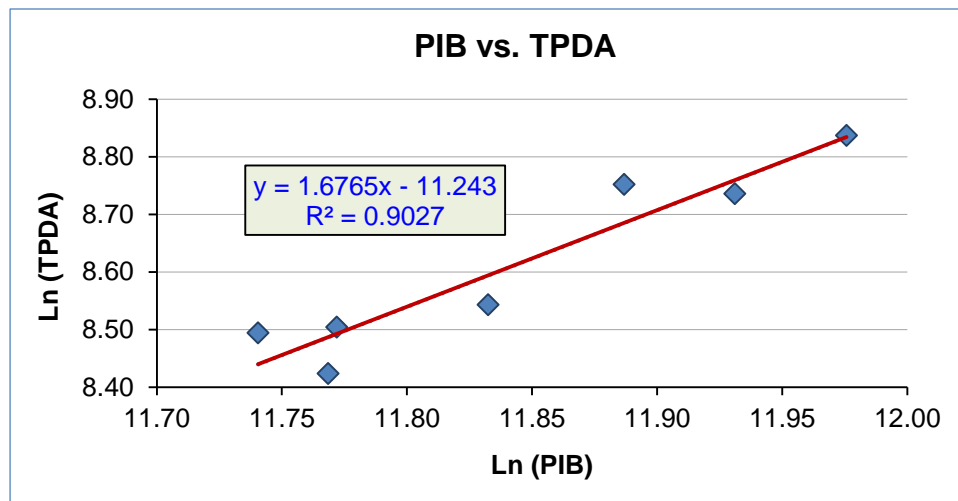
Año	Producto Interno Bruto (PIB) (millones córdobas)	% Variación PIB	PIB - Per Cápita (dólares)	% Variación PIB-Per Cápita	TPDA Estación 1802 (vpd)	TPDA Estación 300 (vpd)
2006	119,235.20	4.20	1,203.70	6.00	-	2,627
2007	125,540.10	5.30	1,306.60	8.60	-	2,629
2008	129,120.10	2.90	1,469.40	12.50	4,554	2,917
2009	125,557.40	-2.80	1,432.50	-2.50	4,887	3,403
2010	129,564.30	3.20	1,475.80	3.00	4,936	3,538
2011	137,638.30	6.20	1,626.90	10.20	5,132	3,701
2012	145,333.00	5.60	1,719.50	5.70	6,324	4,203
2013	151,921.30	4.50	1,772.80	3.10	6,221	4,042
2014	158,856.80	4.60	1,902.20	7.30	6,883	4,500

Fuente: Revista económica (BCN) y Anuario de aforos de tráfico 2014 (MTI)

En la proyección del tráfico se consideró como tasa de crecimiento del tráfico de vehículos de carga la tasa de crecimiento del PIB, para lo cual se realizó una correlación lineal entre esta variable con los TPDA de las estaciones de mayor cobertura **1802** y **300** asociadas a la vía, descartando para este análisis los TPDA de las estaciones de corta duración **1805** y **1816** situadas sobre la vía por

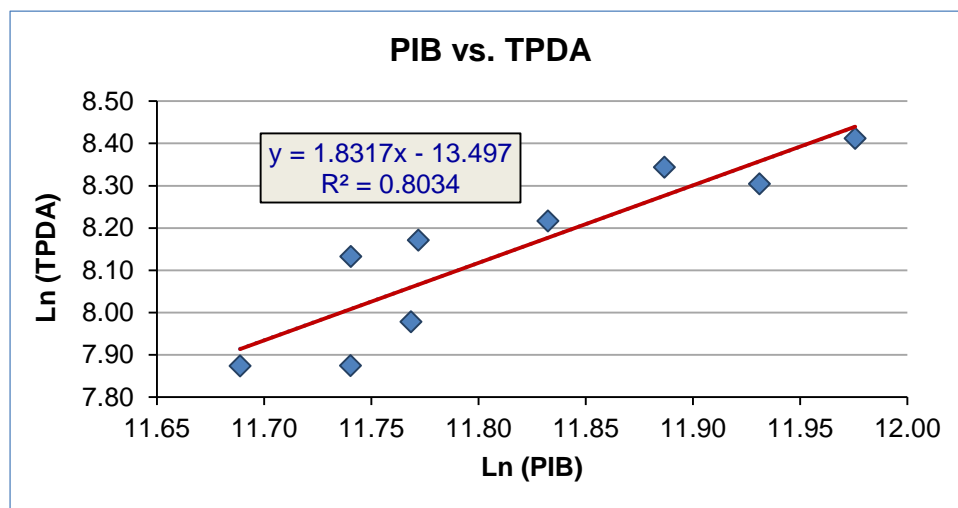
presentar fluctuaciones e inconsistencias en sus datos históricos. Como se puede observar en los gráficos III-4 y III-5 la correlación lineal de las estaciones de mayor cobertura respecto al PIB es muy buena con $R^2 > 0.80$, lo que significa que existe un adecuado nivel de confiabilidad en los datos.

Gráfico III-4: PIB vs TPDA de estación 1802



Fuente: Elaboración propia

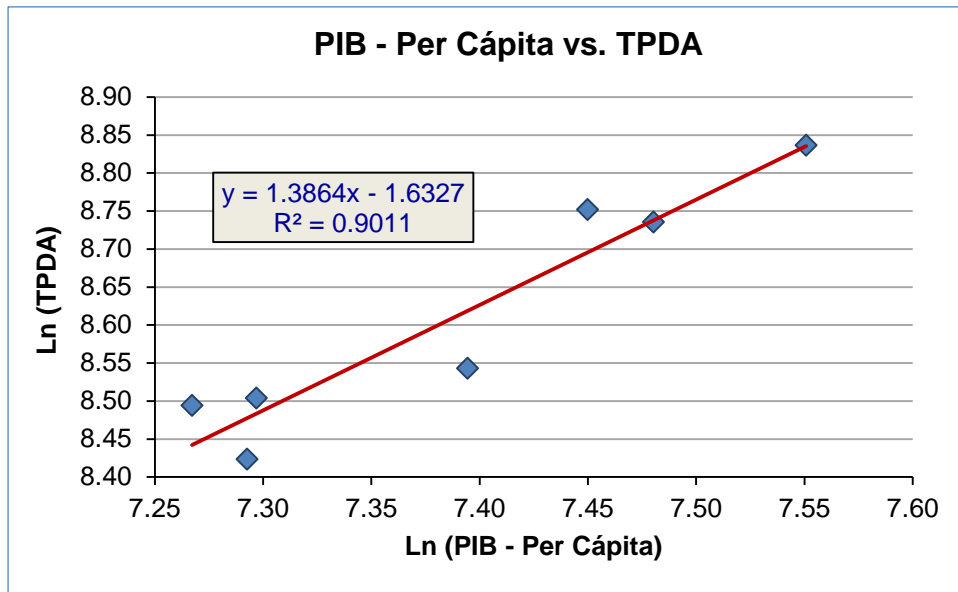
Gráfico III-5: PIB vs TPDA de estación 300



Fuente: Elaboración propia

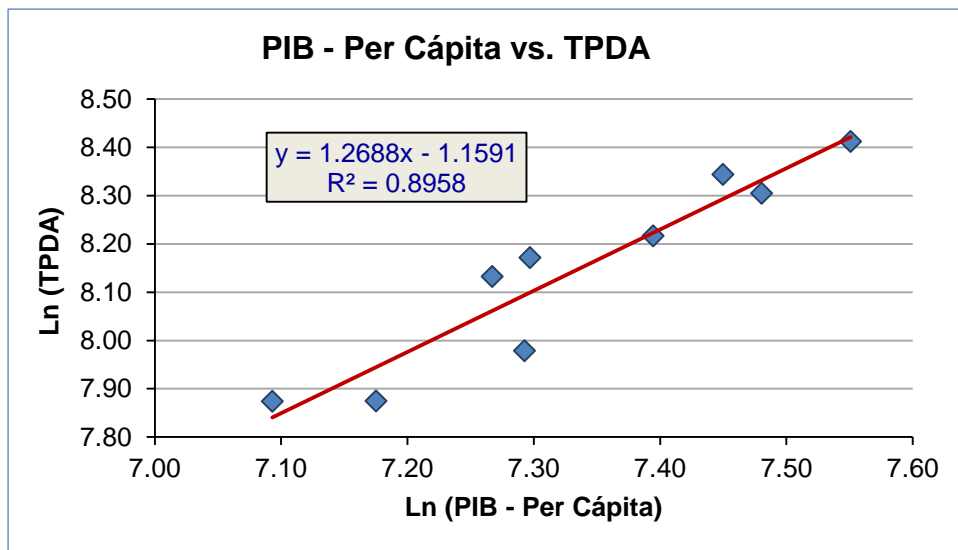
Del mismo modo se consideró como tasa de crecimiento del tráfico liviano y de pasajeros la tasa del PIB per cápita, para lo cual se aplicó el mismo procedimiento de correlación lineal usado anteriormente.

Gráfico III-6: PIB-per cápita vs TPDA de estación 1802



Fuente: Elaboración propia

Gráfico III-7: PIB-per cápita vs TPDA de estación 300



Fuente: Elaboración propia

Los gráficos anteriores III-6 y III-7, muestran una buena correlación lineal entre el PIB per cápita y los TPDA de las estaciones de mayor cobertura, y una gran confiabilidad en los datos con un $R^2 > 0.80$.

3.6.3 Tasas Adoptadas para la Proyección del Tráfico

Las tasas de crecimiento del tráfico vehicular ligero y pesado que se han considerado para la proyección del tránsito futuro, se presentan en la tabla III-13.

Tabla III-13: Tasas de crecimiento de tráfico adoptadas

Período 2016 - 2029	Vehículos Livianos y de Pasajeros		
	Elasticidad PIB - Per cápita vs. TPDA	PIB -Per Cápita	Tasa (%)
	1.2	5.0	6.0
	Vehículos de Carga		
	Elasticidad PIB vs. TPDA	PIB	Tasa (%)
1	4.2	4.2	

Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Tasas Utilizadas en otros Estudios

➤ Estudio Centroamericano de Transporte (ECAT)

Según este estudio de transporte realizado por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) en el 2001, adoptó para Nicaragua las siguientes tasas de crecimiento anual del tráfico en el período 2010–2020: La tasa de crecimiento anual para vehículos livianos y de pasajeros es de 5.5%, y la tasa para vehículos de cargas el 5%. Además adopta para los vehículos ligeros y de pasajeros una elasticidad de 1.5 y para los vehículos de carga una elasticidad igual a la unidad.

➤ Estudio para la Rehabilitación de la Carretera Diriamba – Empalme Boquita/Casares

De acuerdo a este estudio realizado en el 2006 por la firma consultora INOCSA con el auspicio del MTI, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en su momento consideraron que la tasa media de crecimiento anual del tránsito

a usar en cualquier proyección de tráfico sobre esta carretera debe ser el 5.2%, asignando para los vehículos livianos y de pasajeros una tasa promedio de crecimiento no mayor del 6%, y para los vehículos de carga una tasa de crecimiento alrededor del 4%.

3.6.5 Procedimiento de Cálculo para las Proyecciones de Tráfico

Con base en el análisis comparativo con las tasas de crecimiento vehicular empleadas en otros estudios mencionados anteriormente, podemos concluir que las tasas de crecimiento vehicular adoptadas en el presente estudio (6% vehículos livianos y pasajeros y 4.2% vehículos de carga) para la proyección del TPDA a un plazo de 13 años de la carretera Diriamba–La Boquita, son adecuadas como se demuestra en los estudios antes descritos.

Las proyecciones de tráfico para cada uno de los tres tramos considerados en el análisis de la carretera en estudio, a partir de cada una de las tres estaciones de conteo se calcularon utilizando las siguientes expresiones:

Para proyectar el TPDA de vehículos livianos y de pasajeros (tasa = 6%)

$$\text{TPDA proy} = \text{TPDA}_i * (1 + 0.06)^n \quad \text{Ec. III. 9}$$

Para proyectar el TPDA de vehículos de carga (tasa= 4.2%)

$$\text{TPDA proy} = \text{TPDA}_i * (1 + 0.042)^n \quad \text{Ec. III. 10}$$

Dónde:

TPDA_{proy}: Tránsito promedio diario anual proyectado parcial por tipo de vehículo

TPDA_i: Tránsito promedio diario anual año base 2016 por tipo de vehículo

n: Período de proyección en “años”

Finalmente se suman las proyecciones de TPDA parciales por cada tipo de vehículo del año “n” proyectado y se obtiene la proyección total del Tránsito

promedio diario anual correspondiente a ese año (ver tablas anexos 3.12–3.14, págs.60–62). Las proyecciones totales del TPDA para los años proyectados en cada uno de los tres tramos definidos se muestran en la tabla III-14.

Tabla III-14: Proyecciones del TPDA en el tramo de estudio

Proyecciones del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en veh / día						
Tramo	2016	2019	2022	2025	2028	2029
Diriamba - La Trinidad	5,678	6,736	7,994	9,489	11,265	11,928
La Trinidad - Empalme Boquita / Casares	3,200	3,793	4,500	5,335	6,327	6,698
Empalme Boquita / casares - La Boquita	662	786	933	1,106	1,313	1,390

Fuente: Elaboración propia

3.7 HORA PICO Y FACTOR PICO HORARIO

La carretera en estudio se dividió en tramos de menor longitud, con base en el análisis del comportamiento del flujo vehicular, y se evaluó sólo el día más crítico correspondiente al día sábado 13 de febrero de 2016. De tal manera que se determinaron 3 tramos: Diriamba–La Trinidad, La Trinidad–Empalme La Boquita / Casares y Empalme La Boquita / Casares–La Boquita.

La hora pico se determinó con la aplicación del método de los volúmenes equivalentes para encontrar la hora exacta de máxima demanda. Se procedió a las sumatorias correspondientes para cada segmento del tramo en estudio.

El factor pico horario calculado es el FHMD real el cual se determinó con la siguiente ecuación:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * V15} \quad \text{Ec. III. 11}$$

Dónde:

FHMD: Factor pico horario o factor hora de máxima demanda

VHMD: Volumen de hora pico o volumen horario de máxima demanda

V15: Volumen o flujo máximo del período de 15 minutos de mayor demanda en la hora pico

Los resultados obtenidos por cada segmento se muestran a continuación:

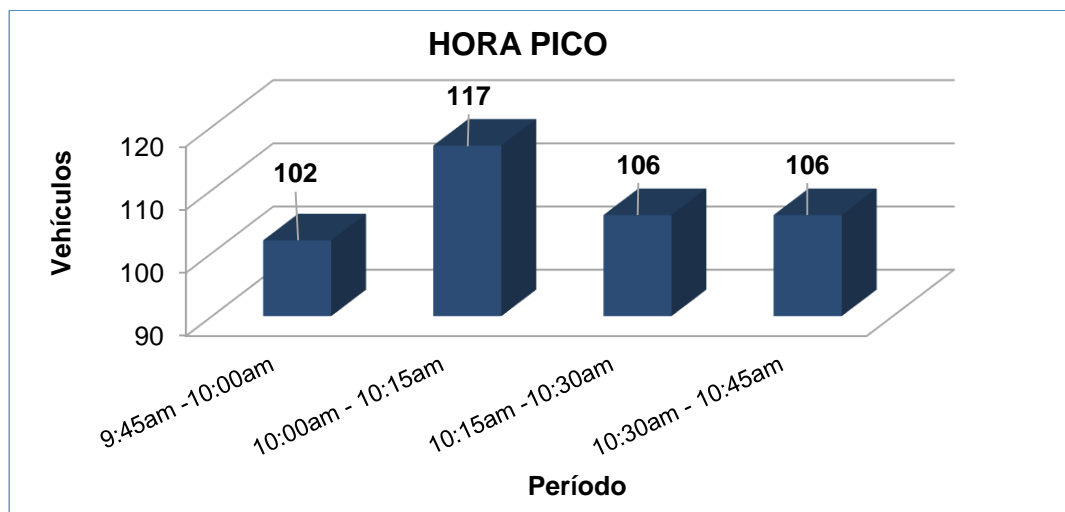
➤ **Tramo Diriamba – La Trinidad**

Hora pico: 9:45 a.m. – 10:45 a.m. = 431 veh.

V15: 10:00 a.m. – 10:15 a.m. = 117 veh. (Valores tomados de anexo 3.4, pág.52)

FHMD: 0.920.

Gráfico III-8: Comportamiento de hora pico Diriamba-La Trinidad



Fuente: Elaboración propia

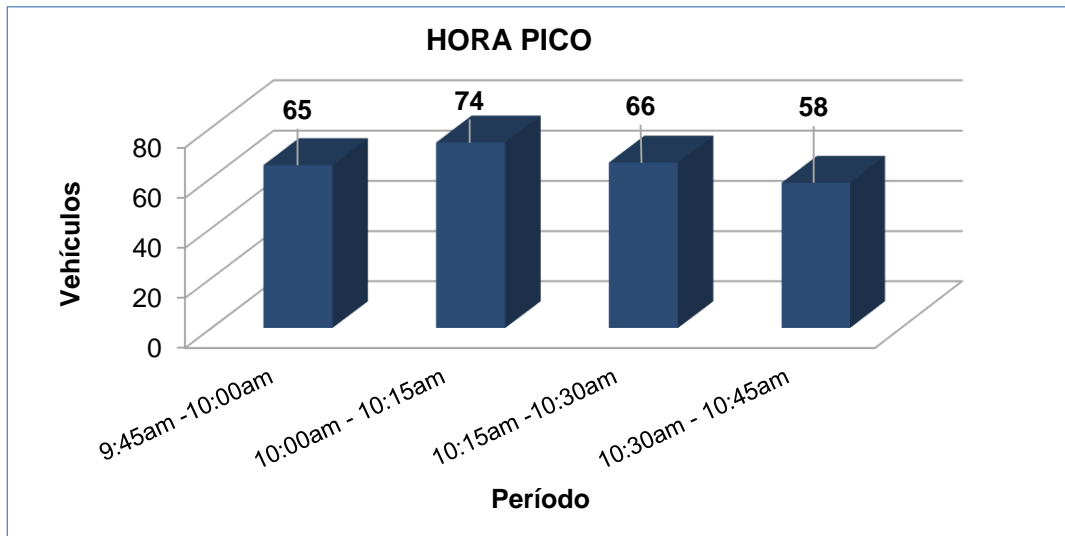
➤ **Tramo La Trinidad – Empalme La Boquita / Casares**

Hora pico: 9:45 a.m. – 10:00 a.m. = 263 veh.

V15: 10:00 a.m. – 10:15 a.m. = 74 veh. (Valores tomados de anexo 3.5, pág.53)

FHMD: 0.888

Gráfico III-9: Comportamiento de hora pico La Trinidad-Empalme Boquita/Casares



Fuente: Elaboración propia

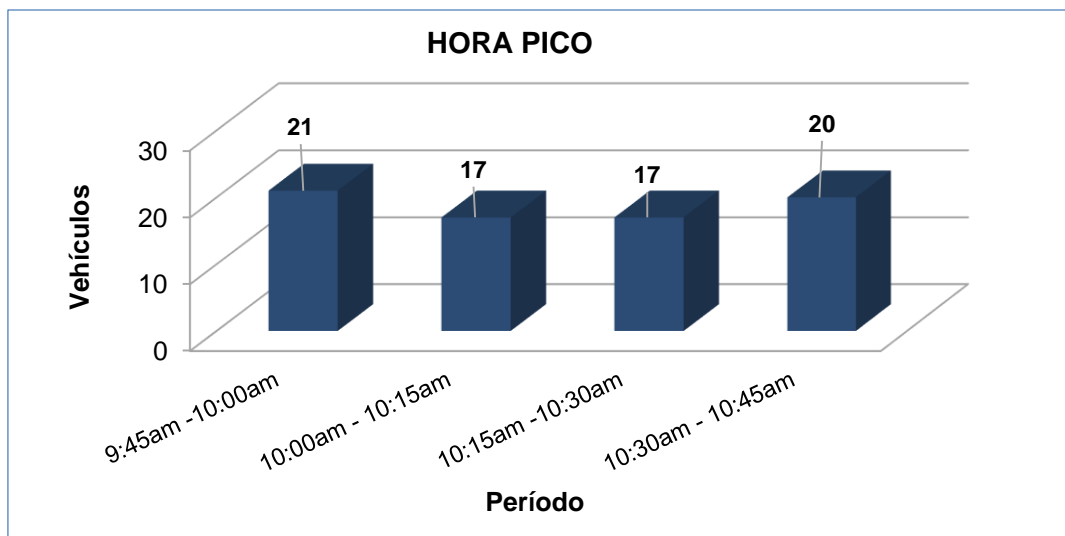
➤ **Tramo Empalme La Boquita / Casares – La Boquita**

Hora Pico: 9:45 a.m. – 10:45 a.m. = 75 veh.

V15: 9.45 a.m. – 10:00 a.m. = 21 veh. (Valores tomados de anexo 3.6, pág.54)

FHMD: 0.892

Gráfico III-10: Comportamiento de hora pico Empalme Boquita/Casares-La Boquita



Fuente: Elaboración propia

3.8 CAPACIDAD VIAL Y NIVELES DE SERVICIO

El flujo máximo del tránsito de una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica y el tránsito se mueve a la velocidad crítica. Esto regularmente ocurre en la hora pico del volumen del tránsito, la hora pico es el período más crítico. Para evaluar la calidad que ofrece una carretera se recurre al concepto de nivel de servicio que es un termómetro de medición de la capacidad de una carretera en la hora más crítica del tráfico en la misma.

3.8.1 Capacidad en Carreteras de dos Carriles

Bajo condiciones ideales del tránsito y de la vía, en carreteras de dos carriles, se alcanzan capacidades de 2,800 automóviles por hora sumando ambos sentidos de circulación. Debido a estas consideraciones técnicas las carreteras se diseñan para operar a volúmenes horarios por debajo de la capacidad.

El procedimiento utilizado en este estudio para el cálculo de capacidades y niveles de servicio de la vía se basa en la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carreteras Norteamericano (HCM) en su versión de 1998.

Para el cálculo del flujo de servicio (S_{fi}) en carreteras de 2 carriles se utilizó el análisis de segmentos de terreno general el cual no considera los efectos de pendientes en el flujo de tráfico. La expresión general usada es la siguiente:

$$S_{fi} = 2,800 * V/c * f_d * f_w * f_{hv} \quad \text{Ec. III. 12}$$

Dónde:

S_{fi} : Volumen de servicio para el nivel de servicio seleccionado

2,800: Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora

V/c : Relación volumen/capacidad del nivel de servicio

f_d : Factor de distribución direccional del tránsito

F_w : Factor para anchos de carril y hombros

F_{hv} : Factor de vehículos pesados

No se consideró usar el análisis de pendientes específicas ya que la carretera no presenta alineamientos con pendientes severas o críticas que influyan en la velocidad de las subidas y que afecte directamente el flujo vehicular.

3.8.1.1 Relación Volumen a Capacidad del Nivel de Servicio (v/c)

El HCM establece relaciones de volumen a capacidad por nivel de servicio con base en las características geométricas expresadas en términos del tipo de terreno y el porcentaje de zonas sin visibilidad de paso.

Tabla III-15: Factores de ajuste relación volumen a capacidad (v/c)

Relación v/c ^a								
Terreno llano								
NS	% de tiempo de retraso	Vel. Prom. ^b	Porcentaje de zonas de no adelantamiento					
			0	20	40	60	80	100
A	≤30	≥58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04
B	≤45	≥55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
C	≤60	≥52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32
D	≤75	≥50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57
E	>75	≥45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
F	100	<45	-	-	-	-	-	-
Terreno ondulado								
A	≤30	≥57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
B	≤45	≥54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13
C	≤60	≥51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28
D	≤75	≥49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43
E	>75	≥40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90
F	100	<40	-	-	-	-	-	-
Terreno montañoso								
A	≤30	≥56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤45	≥54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤60	≥49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤75	≥45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	>75	≥35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	<35	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM-1998)

^a Relación para una capacidad ideal de 2800 veh/h en ambas direcciones.

^b Estas velocidades son sólo informativas y se aplican a carreteras con una velocidad de diseño de 60 mi/h o mayor.

3.8.1.2 Factor de Distribución Direccional (F_d)

El HCM establece una relación aproximadamente lineal para este valor que se mantendrá en el cálculo de la capacidad. Este valor se vuelve más crítico en la medida que aumenta el desbalance en el flujo en cada sentido. La variación en F_d se puede representar mediante la ecuación de una recta de la forma:

$$f_d = 1 - 5.71 * 10^{-3}(DD - 50) \quad \text{Ec. III. 13}$$

Dónde:

DD: Representa el porcentaje de tránsito en la dirección de mayor flujo.

Como ejemplo calculamos el factor para una distribución direccional de 60/40:

$$f_d = 1 - 5.71 * 10^{-3}(60 - 50) = 0.94$$

Que es el mismo valor de f_d que aparece en las tablas del HCM.

3.8.1.3 Factor de Ajuste por Carriles y Hombros Angostos (F_w)

Este factor toma en cuenta la reducción en capacidad por el efecto restrictivo de los carriles angostos menores de 3.65 m, y de hombros menores de 1.80 m de ancho.

Tabla III-16: Factores de ajuste para el efecto combinado ancho de carril y hombro

Ancho de Hombro Utilizable ^a (pies)	Carriles de 12 pies ^b		Carriles de 11 pies ^b		Carriles de 10 pies ^b		Carriles de 9 pies ^b	
	NS A - D	NS E	NS A - D	NS E	NS A - D	NS E	NS A - D	NS E
≥6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM-1998)

3.8.1.4 Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (F_{hv})

Este factor toma en cuenta el efecto restrictivo de los vehículos pesados en el flujo de tránsito, debido a su mayor tamaño y menor capacidad de ajuste de velocidad. Este efecto depende del tipo de terreno, del porcentaje de vehículos pesados y del nivel de servicio de la vía y se expresa con la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT(ET - 1) + PB(EB - 1) + PR(ER - 1)]} \quad \text{Ec. III. 14}$$

Dónde:

PT, PB, PR: Proporción de camiones, autobuses y vehículos recreativos en el flujo de tránsito.

ET, EB, ER: Equivalentes de camiones, autobuses y vehículos recreativos en términos de vehículos pequeños.

Tabla III-17: Equivalentes en vehículos ligeros

Tipo de Vehículo	Nivel de Servicio	Tipo de Terreno		
		Llano	Ondulado	Montañoso
Camiones, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B y C	2.2	5.0	10.0
	D y E	2.0	5.0	12.0
Vehículos Recreacionales, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B y C	2.5	3.9	5.2
	D y E	1.6	3.3	5.2
Autobuses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B y C	2.0	3.4	6.0
	D y E	1.6	2.9	6.5

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM-1998)

3.8.2 Cálculo de los Volúmenes y Niveles de Servicio

El tramo de carretera en estudio se dividió en dos tramos de menor longitud: Diriamba–Empalme Boquita/Casares (NIC-18B) y Empalme Boquita / Casares–La Boquita (NN-285), utilizando para el cálculo del volumen y nivel de servicio los resultados del conteo volumétrico de tráfico del día y flujo más crítico registrado

en cada uno de los tramos.

La tabla III-18, muestra los factores de conversión de TPDA a TPD los cuales se obtuvieron de la relación TPD/TPDA correspondiente a cada tramo en que se dividió la carretera en estudio (Los valores TPDA y TPD se toman de las tablas de cálculo en anexos 3.9–3.11, págs.57–59). Por ejemplo, para calcular el factor (TPDA a TPD) para el tramo Diriamba–La Trinidad tenemos que:

$$\text{Factor(TPDA a TPD)} = \frac{5,559\text{vpd}}{5,678\text{vpd}} = 0.9790$$

De igual forma se calcula para los demás tramos. Para determinar los factores de conversión de TPD a VMH (Ir a tablas III-3, III-4 y III-5), de la columna de valores seleccionar el máximo valor en cada tabla correspondiente a cada uno de los tramos de la carretera. Por ejemplo, para el tramo Diriamba–La Trinidad en la tabla III-3 en la columna “% TPD (24 h)” tenemos 3 valores: 7.13%, 7.80% y 7.54%. Tomamos el máximo valor 7.80% y luego dividimos este valor entre 100 y obtenemos el Factor (TPD a VMH)= 0.0780. De igual manera se procede para los tramos restantes.

Tabla III-18: Factores de conversión para volumen máximo horario (VMH)

Tramo	Factor (TPDA a TPD)	Factor (TPD a VMH)
Diriamba - La Trinidad	0.9790	0.0780
La Trinidad - Empalme Boquita/Casares	0.9841	0.0884
Empalme Boquita - Casares	1.1118	0.0952

Fuente: Elaboración propia

La tabla III-19, nos presenta los resultados del tránsito promedio diario (TPD) y el volumen horario máximo (VMH) que tendrá cada tramo en el año proyectado 2029, calculados con los factores antes descritos, y que servirán para determinar los niveles de servicio para el año 2029. Como ejemplo, calcularemos el TPD y VMH para el año 2029 del tramo Diriamba–La Boquita a partir del TPDA= 11,928 vpd (Tomado de tabla de cálculo del anexo 3.12, pág.60):

$$\text{TPD} = \text{TPDA} * \text{Factor}(\text{TPDA a TPD}) = 11,928 * 0.9790 = 11,678 \text{ vpd}$$

$$\text{VMH} = \text{TPD} * \text{Factor}(\text{TPD a VMH}) = 11,678 * 0.0780 = 911 \text{ vph}$$

De manera similar se procede con los demás tramos (utilizar valores de las tablas de anexos 3.13 y 3.14, págs.61–62).

Tabla III-19: Estimación del máximo volumen horario para el año 2029

TRAMO	AÑO	TPDA (vpd)	TPD (vpd)	VMH (vph)
Diriamba - La Trinidad	2029	11,928	11,678	911
La Trinidad - Empalme La Boquita/Casares	2029	6,698	6,591	583
Empalme La Boquita/Casares - La Boquita	2029	1,390	1,545	147

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.1 Tramo Diriamba – Empalme Boquita/Casares (NIC-18B)

La información del tramo se detalla a continuación:

Tabla III-20: Elementos del tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares

ELEMENTOS DEL TRÁFICO Y LA CARRETERA			
FACTOR	VALOR	FACTOR	VALOR
VMH 2016 (vph)	431	Velocidad de Proyecto (kph)	80
VMH 2029 (vph)	911	Ancho de Carril (m)	3.35
Distribución Direccional	50.12/49.88	Ancho de Hombro (m)	0.40
Camiones (%)	7	Tipo de Terreno	Ondulado
Buses (%)	4	Restricción de Rebase (%)	60
Veh. Recreativos (%)	0	Intensidad 2016 (vph)	468
FHMD	0.92	Intensidad 2029 (vph)	990

Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar el nivel de servicio en que opera el tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares se utiliza la siguiente metodología:

Comenzamos calculando los flujos o volúmenes de servicio cuyos resultados se muestran en la tabla III-20, para ilustrar el procedimiento tomamos como ejemplo, el cálculo del flujo de servicio para el nivel de servicio A:

Primero, determinamos cada uno de los factores de ajuste para dicho nivel:

La constante “Cj” representa el flujo de tránsito ideal para ambos sentidos en carreteras de 2 carriles que es igual a 2,800 vph.

El factor “v/c” se obtiene de la siguiente forma: con los datos de entrada Tipo de terreno= Ondulado y Restricción de rebase o no adelantamiento = 60% (tomados de tabla III-20), entramos a la tabla III-15 y seleccionamos el valor v/c= 0.05 en la fila del nivel de servicio A.

El factor “Fd” se obtiene de la ecuación III.13, donde “DD”, representa el porcentaje de tránsito en la dirección de mayor flujo el cual se determina a partir del dato de distribución direccional del tráfico= 50.12/49.88 (Tomado de tabla III-20) por lo tanto elegimos el mayor porcentaje de flujo DD= 50.12. Ahora calculamos:

$$F_d = 1 - 5.71 * 10^{-3}(50.12 - 50) = 0.99$$

Para el factor “Fw”, con los datos Ancho de carril= 3.35 m= 11 pies y ancho de hombro= 0.40 m= 1.312 pies (Tomados de tabla III-20), vamos a la tabla III-16 y determinamos que para el nivel de servicio A el valor Fw se encuentra entre los valores 0.65 y 0.75 para los anchos de hombro 0 pies y 2 pies respectivamente, por lo que interpolamos y obtenemos un Fw= 0.72.

Para calcular el factor “Fhv”, primero, encontramos los valores equivalentes de vehículos ligeros sólo para buses y camiones (ET y EB) ya que el porcentaje de vehículos recreacionales es cero porque no se observó este tipo de vehículos durante el período de aforo en el tramo de estudio, para esto con el dato de entrada Tipo de terreno= Ondulado, vamos a la tabla III-17, buscamos la

columna Ondulado y seleccionamos el valor ET=4.0 que está en la fila Camiones y nivel de servicio A, luego seleccionamos el valor EB=3.0 que está en la fila Buses y nivel de servicio A. Segundo, tomamos de la tabla III-20 los siguientes datos: Camiones (%)= 7%, Buses (%)= 4% y Veh. Recreativos (%)= 0 y procedemos a calcular el Fhv con la ecuación III.14:

$$F_{hv} = \frac{1}{[1 + 0.07(4.0 - 1) + 0.04(3.0 - 1) + 0]} = 0.775$$

Después de obtener todos los factores de ajuste para el nivel A, procedemos a calcular el flujo de servicio para ese nivel con la ecuación III.12:

$$S_{fA} = 2,800 * 0.05 * 0.99 * 0.72 * 0.775 = 77 \text{ vph}$$

De igual manera, se utiliza el mismo procedimiento para calcular los flujos de servicio en los otros niveles de servicio restantes.

Finalmente, para obtener el nivel de servicio en el que está operando el tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares primero, calculamos la **Intensidad 2016** (tabla III-20), llamada también **Índice de Flujo para los 15 minutos Pico** o **Demanda Máxima Horaria (VDM)**, dividiendo la Hora Pico (VMH 2016) entre el Factor de Hora Pico (FHMD) de la tabla III-20:

$$\text{Intensidad 2016} = \frac{\text{VMH}}{\text{FHMD}} = \frac{431}{0.92} = 468 \text{ vph}$$

De la misma manera, podemos calcular la intensidad para el año 2029.

Luego, comparamos la **Intensidad 2016** con los **Flujos o Volúmenes de servicio (Sfi)** de la tabla III-21, y determinamos el nivel de servicio:

$$\text{Intensidad 2016} = 468 \text{ vph} > S_{fc} = 464 \text{ vph}$$

Por lo tanto, concluimos que el tramo de carretera Diriamba – Empalme Boquita/Casares está operando en el **Nivel de Servicio “D”** de forma holgada

dentro del rango de flujo estable, ya que excede levemente el límite del nivel de servicio “C” como se puede observar en la tabla III-21, la capacidad máxima del tramo es de 1,599 vph, por lo que el tramo está operando a un 29% de su capacidad actualmente. Se estima que para el año 2029 estará operando en el nivel de servicio “E” a un 62% de su capacidad máxima, lo que coincide con su período de diseño o vida útil.

Tabla III-21: Nivel de servicio tramo Diriamba–Empalme Boquita/Casares

Nivel de Servicio	Cj	v/c	Fd	Fw	Fhv	Sfi
A	2,800	0.05	0.99	0.72	0.775	77
B	2,800	0.17	0.99	0.72	0.727	247
C	2,800	0.32	0.99	0.72	0.727	464
D	2,800	0.48	0.99	0.72	0.737	706
E	2,800	0.91	0.99	0.86	0.737	1,599
F	2,800	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.2 Tramo Empalme Boquita/Casares – La Boquita (NN-285)

La información del tramo se muestra en la tabla siguiente:

Tabla III-22: Elemento del tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita

ELEMENTOS DEL TRÁFICO Y LA CARRETERA			
FACTOR	VALOR	FACTOR	VALOR
VMH 2016 (vph)	75	Velocidad de Proyecto (kph)	80
VMH 2029 (vph)	147	Ancho de Carril (m)	3.35
Distribución Direccional	52.45/47.55	Ancho de Hombro (m)	0.40
Camiones (%)	7	Tipo de Terreno	Ondulado
Buses (%)	26	Restricción de Rebase (%)	80
Veh. Recreativos (%)	0	Intensidad 2016 (vph)	84
FHMD	0.89	Intensidad 2029 (vph)	165

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el nivel de servicio en que opera este tramo se utilizó la misma metodología empleada en el tramo anterior cuyos resultados se presentan en la tabla III-23. Al comparar la Intensidad 2016 de la tabla III-22 con cada uno de los volúmenes de servicio (Sfi) de la tabla III-23 tenemos que:

$$\text{Intensidad 2016} = 84 \text{ vph} > \text{Sf}_A = 46 \text{ vph}$$

Con base en este resultado, deducimos que el tramo Empalme boquita/Casares – La Boquita está operando en el **Nivel de Servicio “B”**, el cual está dentro del rango de flujo estable. Como se puede observar en la tabla III-23, la capacidad máxima del tramo es de 1,205 vph, lo que refleja que el tramo está operando a un 7% de su capacidad actualmente con un tráfico fluido, excelente maniobrabilidad y un alto nivel de confort para los conductores.

Para el año 2029, la vía operará en el nivel de servicio “C” a un 14% de su capacidad, la libertad de maniobra estará notablemente más restringida y los cambios de vía requerirán más cuidado y vigilancia por parte del conductor, la vía seguirá operando dentro del rango de flujo estable.

Tabla III-23: Nivel de servicio tramo Empalme Boquita/Casares–La Boquita

Nivel de Servicio	Cj	v/c	Fd	Fw	Fhv	Sfi
A	2,800	0.04	0.986	0.72	0.578	46
B	2,800	0.15	0.986	0.72	0.525	157
C	2,800	0.3	0.986	0.72	0.525	313
D	2,800	0.46	0.986	0.72	0.564	516
E	2,800	0.90	0.986	0.86	0.564	1,205
F	2,800	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.9 ESTUDIO DE VELOCIDAD

El estudio de velocidad se realizó con el objetivo de determinar las variaciones de velocidad que desarrollan los conductores en dichos puntos y demostrar si se están respetando los límites de velocidad establecidos para el tramo de carretera

Diriamba–La Boquita. Se determinaron cuatro puntos de control cuya ubicación se fundamentó en los siguientes criterios:

- Dos puntos donde las condiciones geométricas de la carretera permite exceder límites de velocidad.
- Un punto de gran concentración peatonal situada en zona suburbana con condiciones geométricas óptimas para desarrollar alta velocidad, pero con velocidad restringida de 40 Km/h, donde aumenta la peligrosidad de accidentes por falta de precaución y/o exceso en el límite de velocidad.
- Un punto del tramo en el cual existe señalización reglamentaria restrictiva sobre el límite de velocidad máxima situado en zona escolar que fue escogido para saber si se respetaba el límite de los 25 Km/h.

Los puntos seleccionados a lo largo del tramo Diriamba–La Boquita para el estudio de velocidades se muestran en la tabla siguiente:

Tabla III-24: Estaciones para análisis de velocidad en el tramo de estudio

N°	Estación	Localidad	Zona	Velocidad máxima (Kph)
1	42+000	Cercano a San Gregorio	Sub Urbana	40
2	51+700	Apompúa	Rural Restringida	40
3	64+250	Escuela Salvador Mendieta	Escolar	25
4	68+500	La Boquita	Rural	60

Fuente: Elaboración propia

El método utilizado para el análisis de velocidad fue la velocidad de punto o instantánea. El estudio se realizó de forma manual, utilizando para ello cronómetro y cinta métrica, se midió el tiempo de recorrido de los vehículos en una distancia predefinida de 100 metros y luego se calculó la velocidad de cada uno de ellos.

La recolección de datos se realizó atendiendo las recomendaciones de la Oficina

de Ingeniería Vial de la Policía Nacional para mantener una muestra aleatoria, midiendo la velocidad instantánea de los vehículos durante un período de dos horas por cada sentido de banda (ver anexos 3.15–3.19, págs.63–68). Los resultados obtenidos en los cuatro puntos levantados fueron los siguientes:

Estación 42+000 (cercano a San Gregorio)

La tabla III-25, presenta el comportamiento en porcentaje respecto a la velocidad de los vehículos livianos, buses y vehículos pesados en la estación 42+000, en sombreado se señala el rango de velocidad máxima permitida para esta zona sub urbana.

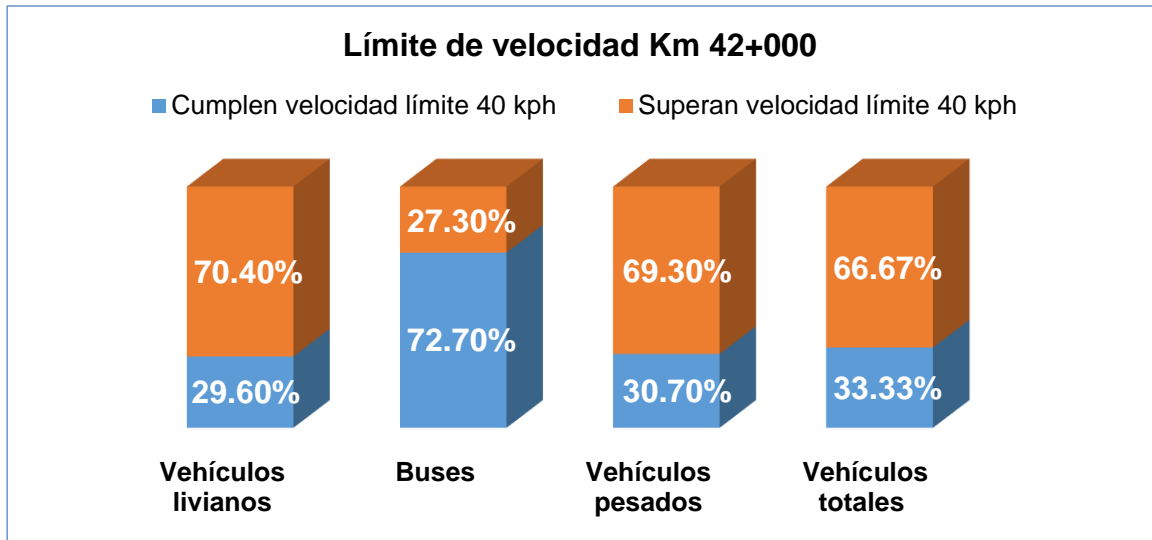
Tabla III-25: Distribución porcentual de velocidades (Est. 42+000)

Rango de velocidad (Kph)	Vehículos livianos	Buses	Vehículos pesados	Vehículos totales
101 - 110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91 – 100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81 – 90	2.80%	0.00%	0.00%	2.30%
71 – 80	3.70%	0.00%	7.70%	3.80%
61 – 70	4.60%	18.20%	15.40%	6.80%
51 – 60	28.70%	9.10%	15.40%	25.77%
41 – 50	30.60%	0.00%	30.80%	28.00%
31 - 40	27.80%	45.40%	15.40%	28.03%
0 - 30	1.80%	27.30%	15.30%	5.30%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

El gráfico III-11, muestra el comportamiento de los tipos de vehículos que superan o cumplen la velocidad máxima permitida. Los vehículos livianos y los pesados son los que más irrespetan el límite de velocidad con un 70.40% y 69.30% respectivamente, en el caso de los buses sólo el 27.30% lo hacen.

Gráfico III-11: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 42+000)



Fuente: Elaboración propia

Estación 51+700 (Apompúa)

La tabla III-26, muestra el comportamiento en porcentaje de la velocidad de los vehículos livianos, buses y pesados en la estación 51+700, en sombreado se señala el rango de velocidad máxima permitida para esta zona rural.

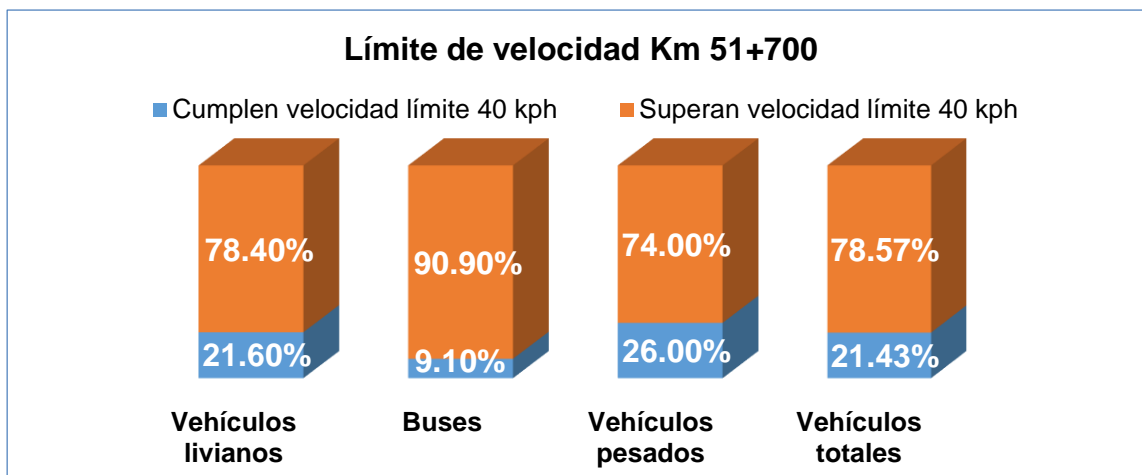
Tabla III-26: Distribución porcentual de velocidades (Est. 51+700)

Rango de velocidad (Kph)	Vehículos livianos	Buses	Vehículos pesados	Vehículos totales
101 - 110	1.70%	0.00%	0.00%	1.00%
91 – 100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81 – 90	5.00%	0.00%	7.40%	5.10%
71 – 80	6.70%	18.20%	18.50%	11.22%
61 – 70	18.30%	36.30%	14.80%	19.40%
51 – 60	20.00%	18.20%	11.10%	17.35%
41 – 50	26.70%	18.20%	22.20%	24.50%
31 - 40	13.30%	9.10%	7.40%	11.23%
0 - 30	8.30%	0.00%	18.60%	10.20%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

El gráfico III-12, muestra el comportamiento de los tipos de vehículos que superan o cumplen la velocidad máxima permitida. Los buses y los vehículos livianos son los que mayormente irrespetan el límite de velocidad con un 90.90% y 78.40% respectivamente, seguido de los vehículos pesados con un 74.00%.

Gráfico III-12: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 51+700)



Fuente: Elaboración propia

Estación 64+250 (Escuela Salvador Mendieta)

Tabla III-27: Distribución porcentual de velocidades (Est. 64+250)

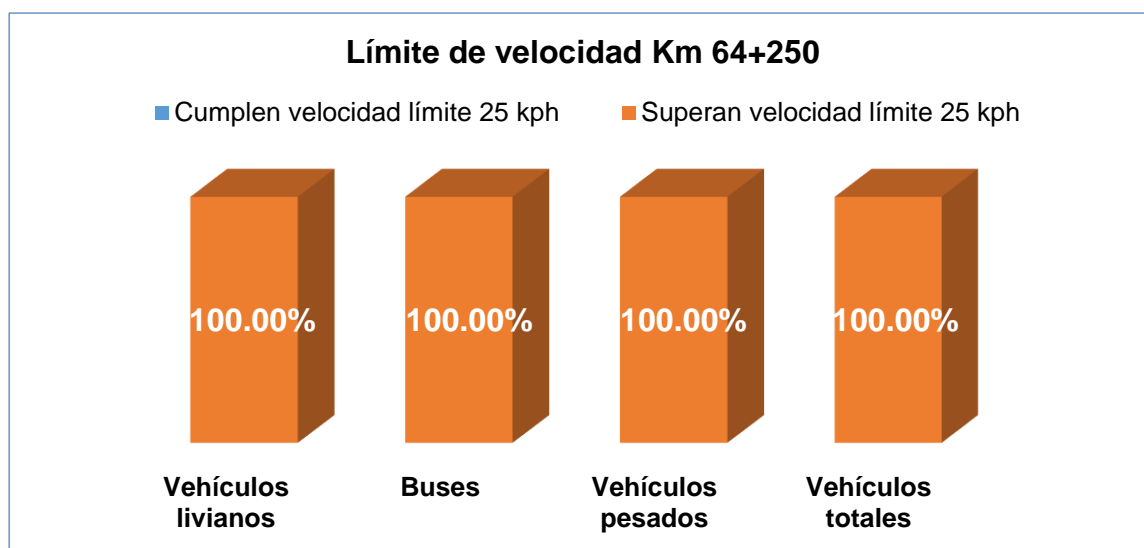
Rango de velocidad (Kph)	Vehículos livianos	Buses	Vehículos pesados	Vehículos totales
101 - 110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91 – 100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81 – 90	2.50%	0.00%	0.00%	1.72%
71 – 80	12.50%	0.00%	20.00%	12.07%
61 – 70	17.50%	0.00%	10.00%	13.80%
51 – 60	30.00%	62.50%	30.00%	34.48%
41 – 50	27.50%	12.50%	30.00%	25.86%
31 - 40	10.00%	25.00%	10.00%	12.07%
0 - 30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

La tabla III-27, presenta el comportamiento en porcentaje respecto a la velocidad de los vehículos livianos, buses y vehículos pesados en la estación 64+250, en sombreado se señala el rango de velocidad máxima permitida para esta zona escolar rural.

El gráfico III-13, muestra el comportamiento de los tipos de vehículos que superan y los que cumplen la velocidad máxima permitida. El 100% de todos los tipos de vehículos irrespetan la velocidad límite de 25 kph para esta zona escolar, en los horarios tanto de entrada como de salida de clases de los estudiantes.

Gráfico III-13: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 64+250)



Fuente: Elaboración propia

Estación 68+500 (La Boquita)

La tabla III-28, presenta el comportamiento en porcentaje respecto a la velocidad de los vehículos livianos, buses y vehículos pesados en la estación 68+500, en sombreado se señala el rango de velocidad máxima permitida para esta zona rural.

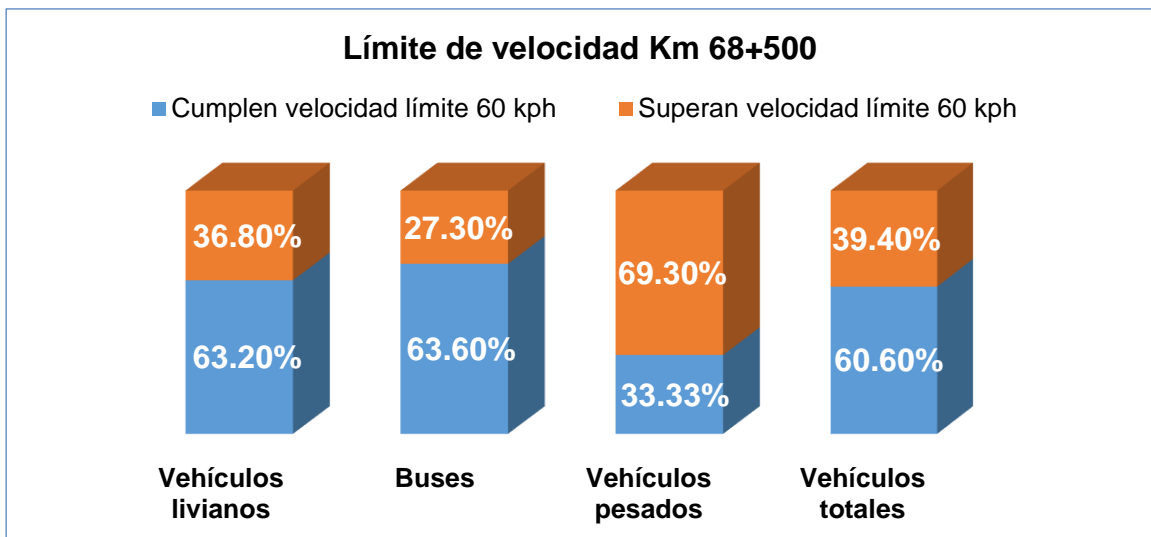
Tabla III-28: Distribución porcentual de velocidades (Est. 68+500)

Rango de velocidad (Kph)	Vehículos livianos	Buses	Vehículos pesados	Vehículos totales
101 - 110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91 – 100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81 – 90	5.30%	0.00%	33.33%	6.06%
71 – 80	10.50%	0.00%	0.00%	6.06%
61 – 70	21.00%	36.40%	33.33%	27.28%
51 – 60	15.80%	0.00%	0.00%	9.09%
41 – 50	31.60%	18.20%	0.00%	24.24%
31 - 40	10.50%	36.40%	0.00%	18.18%
0 - 30	5.30%	9.00%	33.33%	9.09%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

El gráfico III-14, muestra el comportamiento de los tipos de vehículos que superan o que cumplen la velocidad máxima permitida. Los vehículos pesados son los que más irrespetan el límite de velocidad con un 69.30%, le siguen los vehículos livianos y buses con el 36.80% y 27.30% respectivamente.

Gráfico III-14: Comportamiento con el límite de velocidad (Est. 68+500)



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD

4.1 INTRODUCCIÓN

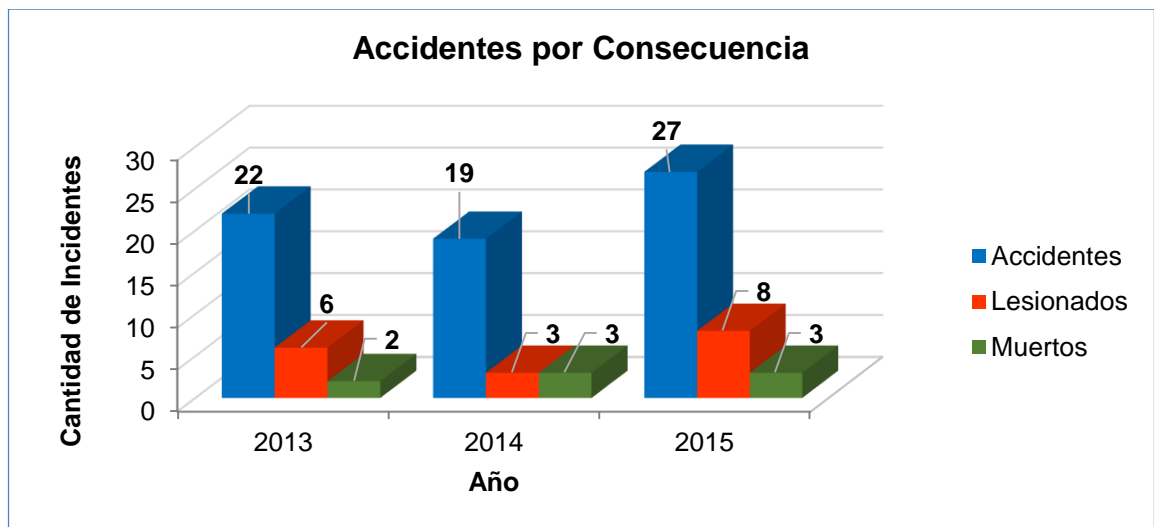
El presente estudio pretende analizar los accidentes de tránsito de los últimos 3 años del tramo en estudio, para determinar las causas, identificar los tramos críticos, calcular los índices de accidentalidad y proponer soluciones desde la óptica de la ingeniería vial que ayuden a disminuir la cantidad de accidentes de tránsito dicho tramo.

4.2 ESTUDIO DE ACCIDENTES

4.2.1 Accidentes por Consecuencia

Los accidentes en la carretera Diriamba–La Boquita, han tenido un incremento significativo en los últimos 3 años tanto en la severidad como en la cantidad (ver anexo 4.1, pág.69). Ésta es una información que se comprobó con los resultados finales del análisis realizado, tal como se muestra en el gráfico siguiente:

Gráfico IV-1: Accidentes por consecuencia en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

Como se ilustra en el gráfico IV-1, el año 2015 presentó mayor cantidad de accidente con respecto a los demás años analizados con un aumento de los

fallecidos en los últimos dos años (2014 y 2015). El año 2015 registra mayor número de lesionados con respecto a los demás años del período en estudio.

Pese al esfuerzo de las autoridades pertinentes para reducir la cifra de accidentes en el tramo por medio de campañas de educación vial, existe poco interés de los conductores para tomar conciencia en la prevención de éstos.

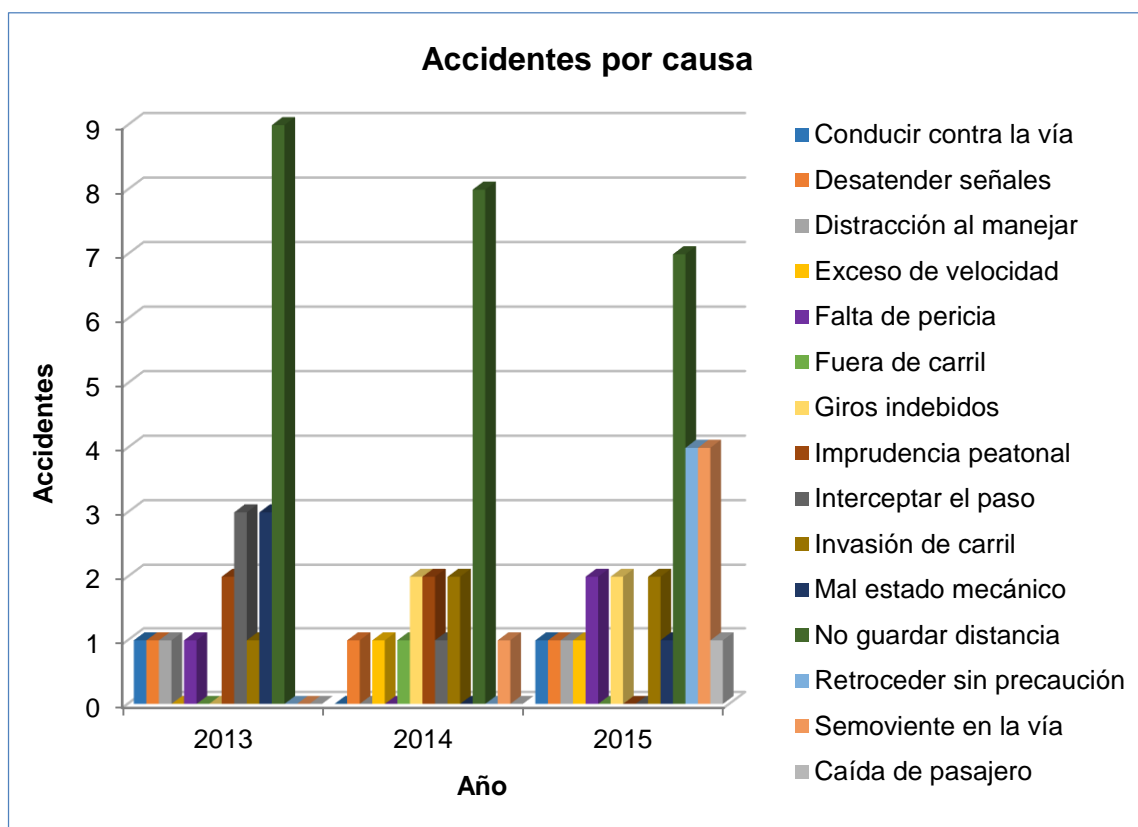
4.2.2 Accidentes por Causa y Severidad

Como se muestra en el gráfico IV-2, el **No guardar distancia** es la causa principal de accidentes en el tramo, otras causas de gran impacto han sido la **Presencia de semoviente en la vía, Retroceder sin precaución, Falta de pericia, Giros indebidos, Invasión de carril e Imprudencia peatonal** durante los 3 años de análisis.

Según los resultados obtenidos de los registros de accidentalidad de la Policía Nacional de Tránsito el exceso de velocidad no aparece como una de las causas importantes en la ocurrencia de los accidentes, a pesar de que se demostró que en la mayoría de los puntos donde se realizó el estudio de velocidad los conductores exceden los límites de velocidad (ver capítulo III, sección 3.9, pág.82).

Tampoco aparece como causa importante el hecho de conducir en estado de ebriedad, lo que nos hace suponer que existen ciertas anomalías, tanto en la redacción de los informes de accidentes en el sitio del accidente como en el procesamiento de dicha información (ver anexo 4.3, págs.69–70).

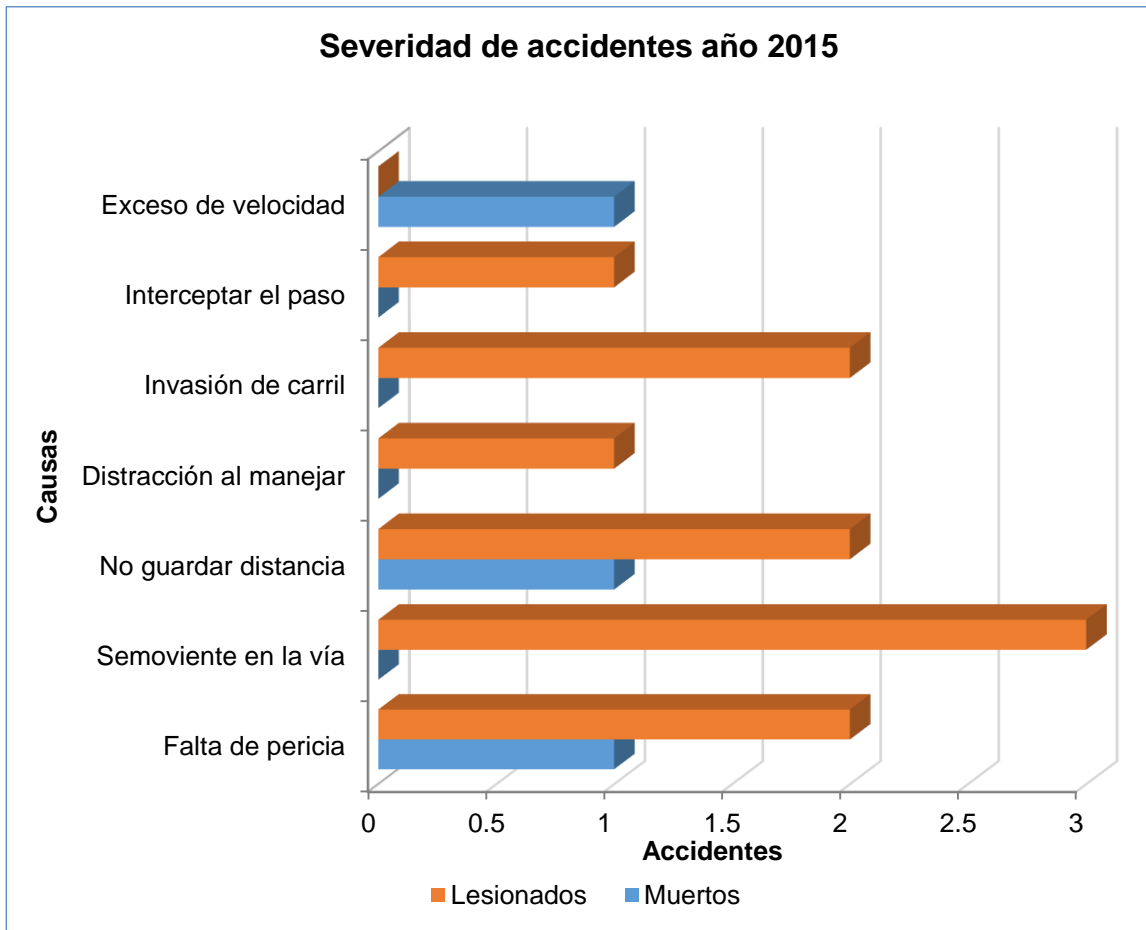
Gráfico IV-2: Accidentes por causa en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia / Trabajo de gabinete

El impacto de estas causas en la integridad física de las personas se muestra en el gráfico IV-3, que refleja de forma cuantitativa los accidentes por muertos y lesionados en el año 2015. La severidad de los accidentes está en función de las víctimas (muertos y lesionados), como se refleja en el gráfico IV-3, la mayor cantidad de personas lesionadas ha sido por causa de **Semovientes en la vía**, **Invasión de carril**, **No guardar distancia** y **Falta de pericia**. En cuanto a las víctimas fatales en su mayoría las causas fueron **Exceso de velocidad**, **No guardar distancia** y **Falta de pericia**.

Gráfico IV-3: Accidentes por severidad en el tramo de estudio



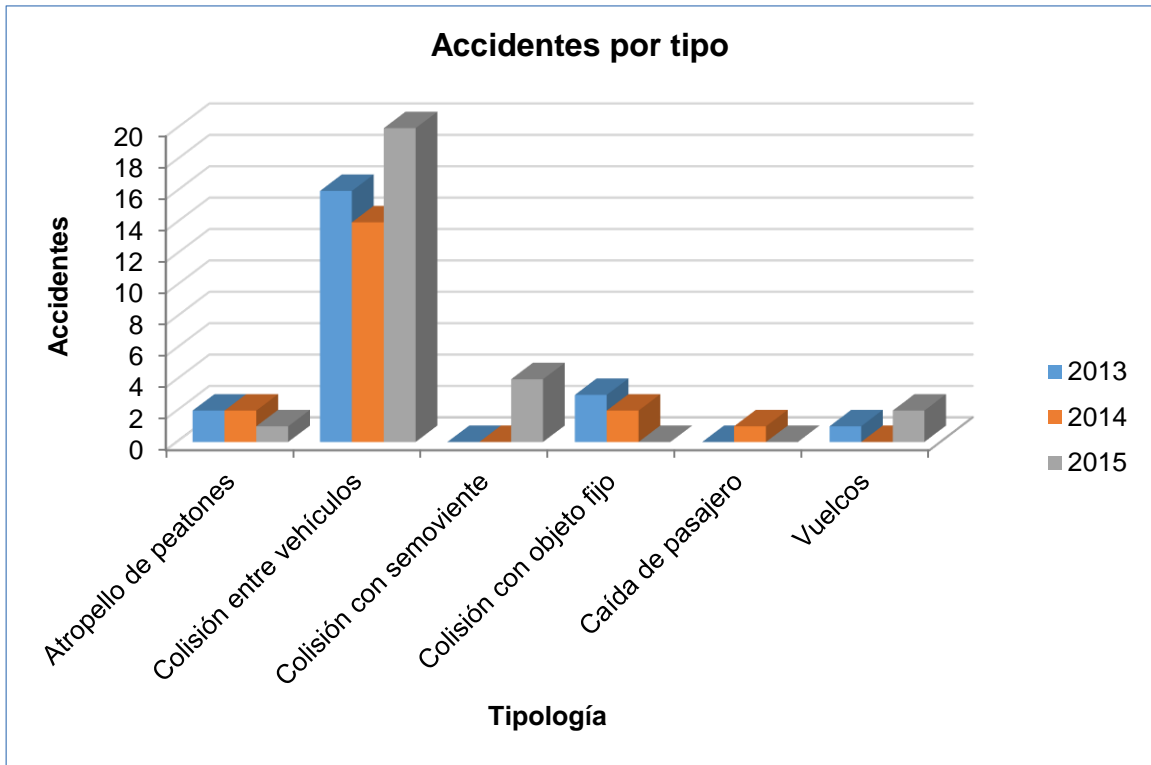
Fuente: Elaboración propia/Trabajo de gabinete

4.2.3 Accidentes por Tipo

La gran mayoría de los accidentes de tránsito ocurridos en el tramo de carretera en estudio, fueron principalmente **Colisiones o choques entre vehículos** en el período en estudio (ver gráfico IV-4). Para más detalles ir a la tabla del anexo 4.2, pág.69.

En el año 2015 se registraron varios accidentes de **Colisión o choque con semovientes**, por lo que la presencia de animales en la vía, especialmente ganado vacuno (vacas), equino (caballos) y caprino (cabras) sigue siendo un grave problema en dicho tramo (ilustración IV-1).

Gráfico IV-4: Accidentes por tipo en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia / Trabajo de gabinete

Ilustración IV-1: Semovientes sueltos sin cuidado en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de campo

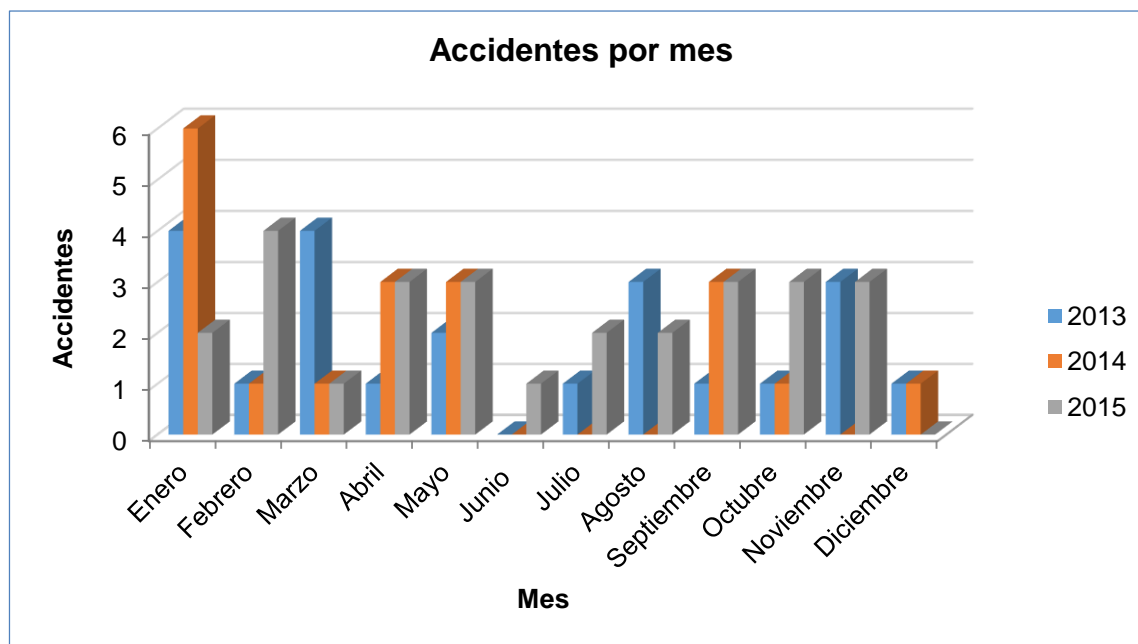
4.2.4 Accidentes por Periodicidad

La periodicidad de los accidentes en el tramo de estudio se dividió en tres etapas por cada año: Según los meses, días de la semana y horas (tanto del día como de la noche) en que ocurrieron los accidentes en dicho tramo (ver tablas de anexos 4.5–4.8, págs.71–72).

Los hechos determinados son:

- La época en que más accidentes ocurrieron fue en los meses de verano de enero hasta mayo en el período en estudio (ver gráfico IV-5). Un caso particular es que el mes de diciembre registra muy pocos accidentes, debido al fuerte control policial en el tramo en ese período vacacional.

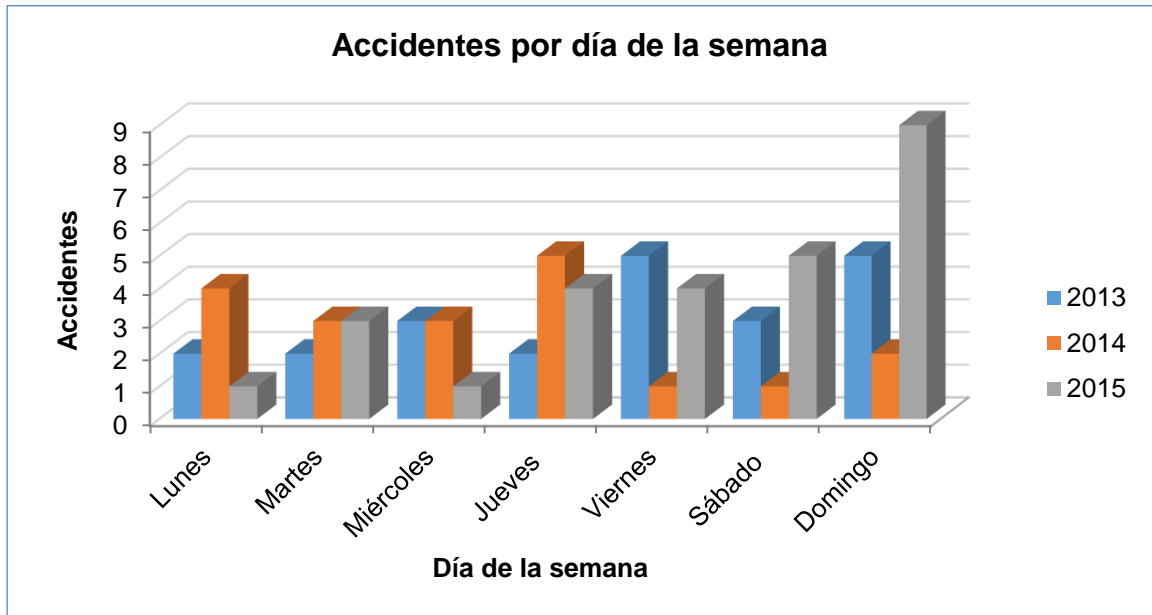
Gráfico IV-5: Accidentalidad mensual en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de gabinete

- Los días con mayor frecuencia de accidentes son los cercanos al fin de semana (jueves, viernes, sábado y domingo), como producto del aumento de los viajes con fines turísticos en la vía (ver gráfico IV-6).

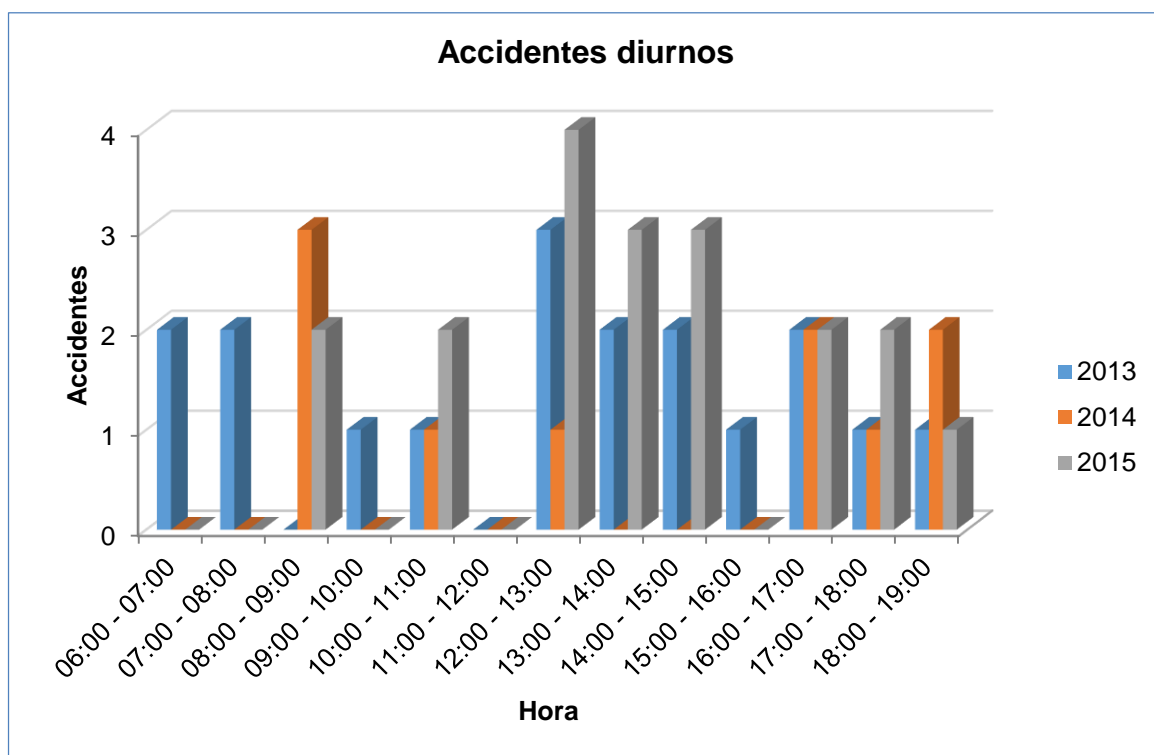
Gráfico IV-6: Accidentalidad diaria semanal en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia/Trabajo de gabinete

- El horario más crítico de accidentes de tránsito durante el día se mayormente por la tarde, a partir de 12:00 horas hasta las 15:00 horas, seguido de las 16:00 a las 17:00 horas, que puede justificarse porque son los horarios en que muchas personas regresan de los balnearios de la zona y posiblemente algunos conductores hayan consumido alcohol y manejen en estado de ebriedad (ver gráfico IV-7).

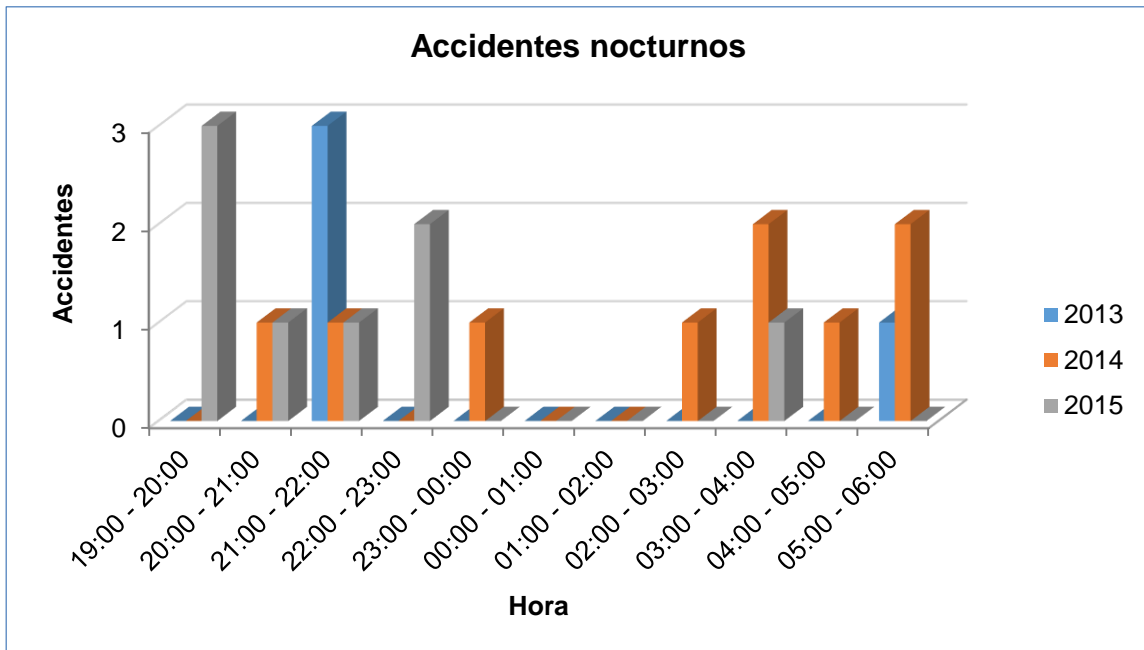
Gráfico IV-7: Accidentalidad en horas del día en el tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia / Trabajo de gabinete

- La mayor cantidad de accidentes en horas de la noche ocurren en los siguientes horarios: de las 19:00 a las 23:00 horas y de las 03:00 a las 6:00 horas (ver gráfico IV-8) , lo que se justifica porque estas son las horas nocturnas en que se movilizan más usuarios en el tramo de estudio (este tráfico nocturno es debido a causas varias), lo que unido a la poca visibilidad nocturna y el escaso control de la Policía Nacional en el horario nocturno, aumenta el riesgo de que se registren accidentes de tránsito.

Gráfico IV-8: Accidentalidad en horas de la noche en el tramo de estudio



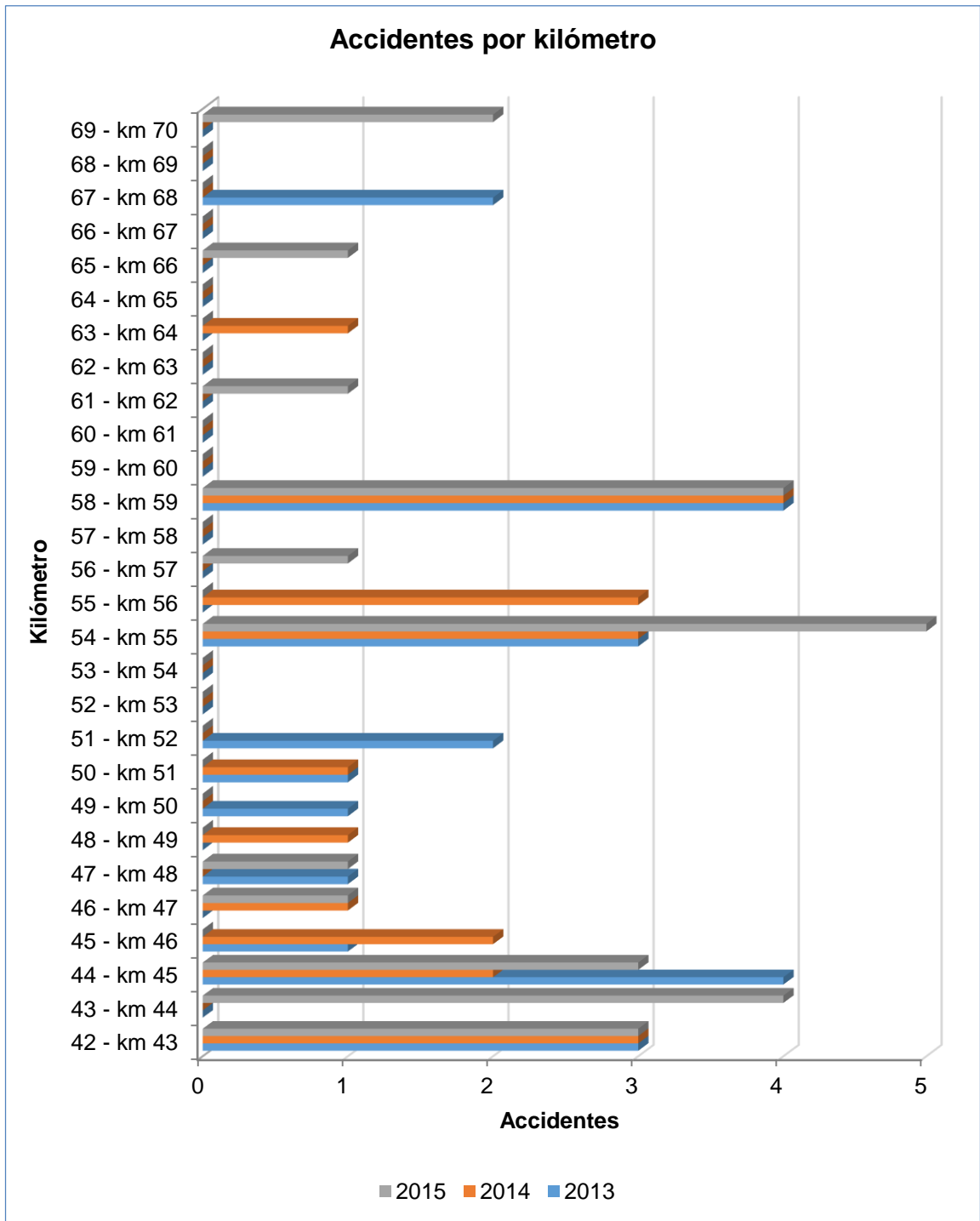
Fuente: Elaboración propia/Trabajo de gabinete

4.2.5 Accidentes por Localización

El gráfico IV-9, presenta la localización de los accidentes por kilómetro. El tramo comprendido desde el kilómetro 54 al kilómetro 55 es donde ocurren más accidentes, registrando 3 o más accidentes por año, esta es una zona rural donde existen algunos poblados y geoméricamente presenta facilidades para altas velocidades debido a la visibilidad y el buen estado de la carpeta de rodamiento.

En segundo lugar está el tramo del km 58 al km 59 en la zona de la intersección La Trinidad, en tercer lugar el tramo del km 44 al km 45 cerca de la zona franca (ORNASE) y por último el tramo del km 42 al km 44 que se sitúa en la zona de las urbanizaciones de San Sebastián y comprende el trayecto de la ciclo vía (ver tabla de resumen en anexo 4.4, pág.70).

Gráfico IV-9: Accidentes por localización en el tramo de estudio

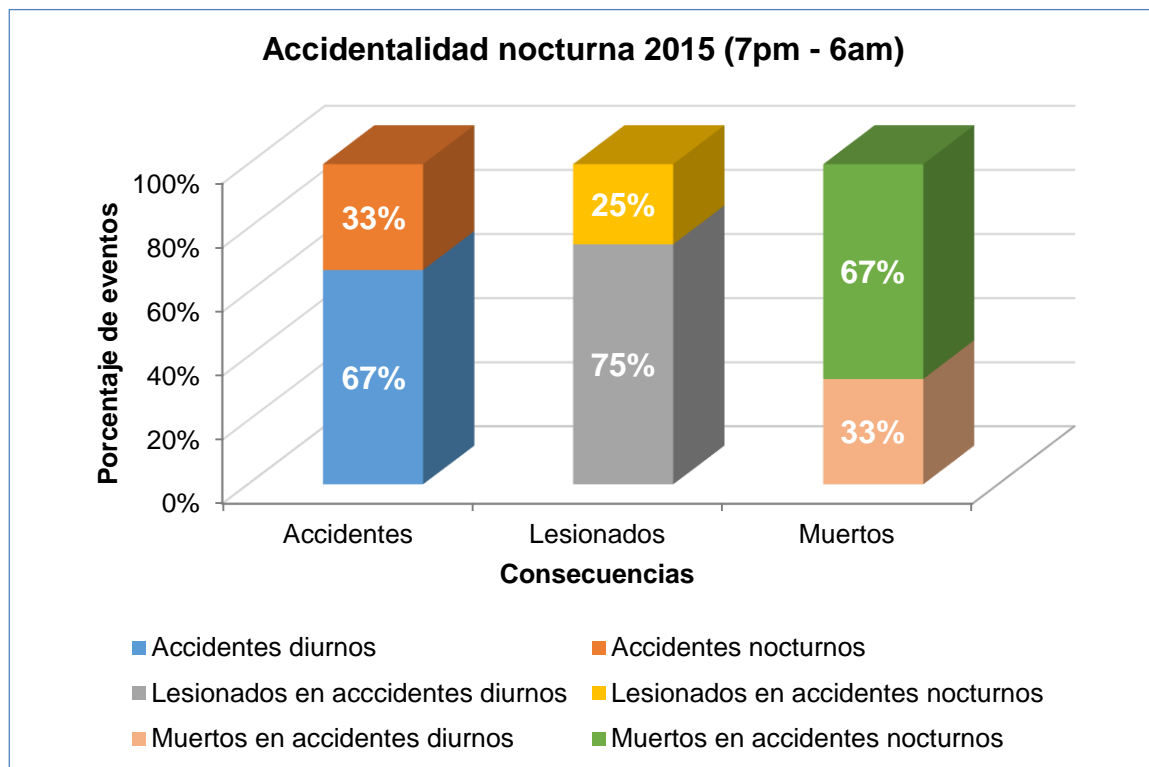


Fuente: Elaboración propia / Trabajo de gabinete

4.2.6 Accidentalidad Nocturna

El análisis de accidentalidad nocturna reveló que en promedio aproximadamente un 30% de los accidentes del tramo de carretera en estudio suceden de noche, la situación para el año 2015 se describe a continuación en el siguiente gráfico:

Gráfico IV-10: Accidentalidad nocturna año 2015



Fuente: Elaboración propia

El gráfico IV-10, muestra que la cantidad de accidentes de tránsito durante la noche es menor que la ocurrida durante el día, debido a la menor movilización de usuarios en el tramo a estas horas. También puede verse en dicho gráfico, que el 33% de los accidentes de tránsito del año 2015 sucedieron en horas de la noche (7pm – 6am). Así mismo, en ese mismo período nocturno, se registró el 25% de los lesionados y el 67% de los fallecidos, lo que nos indica el grado de peligrosidad que presenta el tramo para las personas que conducen de noche.

4.3 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TRAMO DIRIAMBÁ – LA BOQUITA

El término punto crítico se interpreta como la ubicación exacta de un punto determinado o un estacionamiento en la carretera, puntualizarlo no es tan sencillo, ya que para los oficiales de la policía de tránsito no siempre es fácil dar la ubicación exacta de los accidentes en el informe correspondiente. Por lo cual, la nueva bibliografía y la experiencia sugieren que el término más apropiado es “tramos de concentración de accidentes o tramos críticos”.

De acuerdo a la clasificación del Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección de Seguridad de Tránsito Nacional, se puede especificar como tramos críticos (en lugar de puntos críticos) aquellos lugares donde se registran **3 ó más accidentes en el año (al menos durante 3 años consecutivos)**. En consideración a esta clasificación para el tramo en estudio se identificaron los sitios donde ocurrieron 3 ó más accidentes en los últimos 3 años.

Un punto a destacar es la dificultad para poder obtener la ubicación precisa de cada uno de los accidentes en el tramo de estudio, porque en las estadísticas de accidentalidad suministradas por la Dirección de Seguridad de Tránsito Nacional la información está incompleta. En cuanto al registro de muertos y lesionados, se encontró que la Policía Nacional no posee una estrategia de seguimiento a los lesionados por accidentes de tránsito que ingresan a los hospitales y que pueden fallecer a consecuencia de estos accidentes.

La selección de los tramos críticos se realizó con el objetivo de determinar los factores que influyen en estos accidentes de tránsito (factor humano, vehicular y de la vía). Los tramos críticos seleccionados corresponden a la zona suburbana de la ciudad de Diriamba (Colonias San Sebastián y las Colinas) y a la zona rural (poblados de El Jobo Dulce, Buena Vista y La Trinidad). Los sitios identificados como tramos críticos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV-1: Tramos críticos de accidentes en el tramo de estudio

Tramo	Años	Accidentes	Lesionados	Muertos
km 42 – km 44	2013	3	1	1
	2014	3	0	0
	2015	7	2	1
Km 44 – km 45	2013	4	5	0
	2014	3	0	1
	2015	3	2	0
Km 54 – km 55	2013	3	1	0
	2014	3	0	1
	2015	5	2	0
km 58 – km 59	2013	4	0	1
	2014	4	0	0
	2015	4	3	0

Fuente: Elaboración propia / Trabajo de gabinete

Los tramos críticos expuestos en la tabla IV-1 se describen a continuación:

Km 42 – Km 44 (Sector Suburbano Colonias San Sebastián y Las Colinas)

Desde el kilómetro 42 hasta el kilómetro 44 históricamente ha sido una zona de alta accidentalidad, en el año 2015 se registraron siete accidentes de tránsito que dejaron dos personas lesionadas y una persona fallecida, las principales causas de los accidentes se debieron a **No Guardar la Distancia** e **Invasión de Carril**.

Esta zona comprende desde la salida de Diriamba (en dirección a la Boquita), la intersección Colonia San Sebastián, el sector de La Colonias San Sebastián y las Colinas hasta las inmediaciones de la Zona Franca Industrial ORNASE, donde la presencia de peatones y ciclistas es frecuente y en su trayectoria están situados varios colegios. A lo largo de este tramo se encuentra una **Ciclo vía** en ambas

bandas de la vía que protege a los ciclistas del riesgo de sufrir accidentes.

Km 44 – Km 45 (Zona Rural Comunidad El Jobo Dulce)

Esta zona se extiende desde la Zona Franca Industrial ORNASE, recorre fincas rústicas hasta la comunidad de El Jobo Dulce. Aquí durante el año 2015 se registraron tres accidentes con un saldo de dos lesionados (aunque en años anteriores se ha registrado personas fallecidas y mayor número de lesionados) es un tramo peligroso debido a las características topográficas de la vía que permite desarrollar altas velocidades.

Las principales causas de accidentes fueron **Invasión de Carril, Exceso de Velocidad y Semoviente en la Vía**. Un aspecto fundamental tiene que ver con la falta de señalización vertical y el señalamiento horizontal se encuentra borroso y la reflectividad es muy baja durante la noche.

Km 54 – Km 55 (Sector de los poblados de Apompuá y Buena Vista)

Esta zona comprende parte del sector del poblado de Apompuá y todo el poblado de Buena Vista. En este tramo en el año 2015 se registraron 5 accidentes con un saldo de dos heridos (en el 2014 se registró una persona fallecida). Las causas principales de accidentes fueron **Falta de Pericia y Giros Indebidos**.

Un hecho importante a destacar es que en todo este sector existe un movimiento continuo de camiones que salen y entran a las minas de explotación de piedra cantera situadas en el sector de Apompuá y Buena Vista, no existe una señalización adecuada. Además existe presencia de peatones y ciclistas que circulan dentro de los carriles de la carretera debido a que el ancho de los hombros es pequeño (varía de 0.20 metros a 0.30 metros) lo que aumenta el riesgo de accidentes de tránsito.

Km 58 – Km 59 (Sector del poblado La Trinidad)

En este tramo en el 2015 ocurrieron 4 accidentes con un saldo de tres heridos (en el año 2013 hubo una persona fallecida). Este sector comprende desde el

centro eco turístico la Máquina, la intersección del poblado La Trinidad hasta la Intersección de San Rafael del Sur – Amayito. Las causas que originaron estos accidentes según los registros de la Dirección de Tránsito son **Distracción al Manejar, Retroceder sin Precaución y Desatender Señales.**

En este tramo está la intersección La Trinidad que como se expuso en el capítulo II (sección 2.14, pág.39) del presente documento, tiene una configuración geométrica que disminuye la visibilidad de los conductores. Además esta zona se encuentra poco señalizada lo que aumenta el riesgo de accidentes de tránsito porque los conductores no son advertidos de la proximidad de dicha intersección.

4.4 MAGNITUD DEL PROBLEMA

Al relacionar proporcionalmente los accidentes de tránsito ocurridos con la cantidad de población, el número de vehículos o kilómetros de longitud de un tramo de carretera, se obtienen tasas o índices que permiten hacer comparaciones sobre el comportamiento de accidentalidad, proporcionando la escala para juzgar la magnitud del problema.

Para este estudio sólo se utilizarán los índices con respecto a la población debido a que son los más importantes y los más utilizados a nivel mundial y de los que se dispone de datos para realizar comparaciones.

4.4.1 Índices con Respecto a la Población (P)

Los índices son: índice de accidentalidad (número de accidentes), índice de morbilidad (número de heridos) e índice de mortalidad (número de muertos), con respecto al número de habitantes que se trate expresado por cada 100,000 habitantes.

En este caso, se tomó en cuenta la población más cercana a la vía, que es la del departamento de Carazo ya que es el sector de población directamente afectado. Se estimó la proyección de la población para el año 2017, según los datos de la población de Carazo (censo poblacional del año 2005 del INEC)

dando como resultado 210,355 habitantes.

Los cálculos se realizaron mediante las ecuaciones:

- Índice de accidentalidad

$$I_{\text{morb/P}} = \frac{\text{No. de accidentes en el año} \times 100,000}{\text{No. de habitantes}} \quad \text{Ec. IV. 1}$$

De la ecuación obtenemos el índice de accidentalidad con respecto a la población, que es **12.84 accidentes por cada 100,000 habitantes** para el año 2015.

- Índice de morbilidad

$$I_{\text{morb/P}} = \frac{\text{No. de heridos en el año} \times 100,000}{\text{No. de habitantes}} \quad \text{Ec. IV. 2}$$

De la ecuación obtenemos el índice de morbilidad con respecto a la población, el cual es de **3.80 accidentes por cada 100,000 habitantes** para el año 2015.

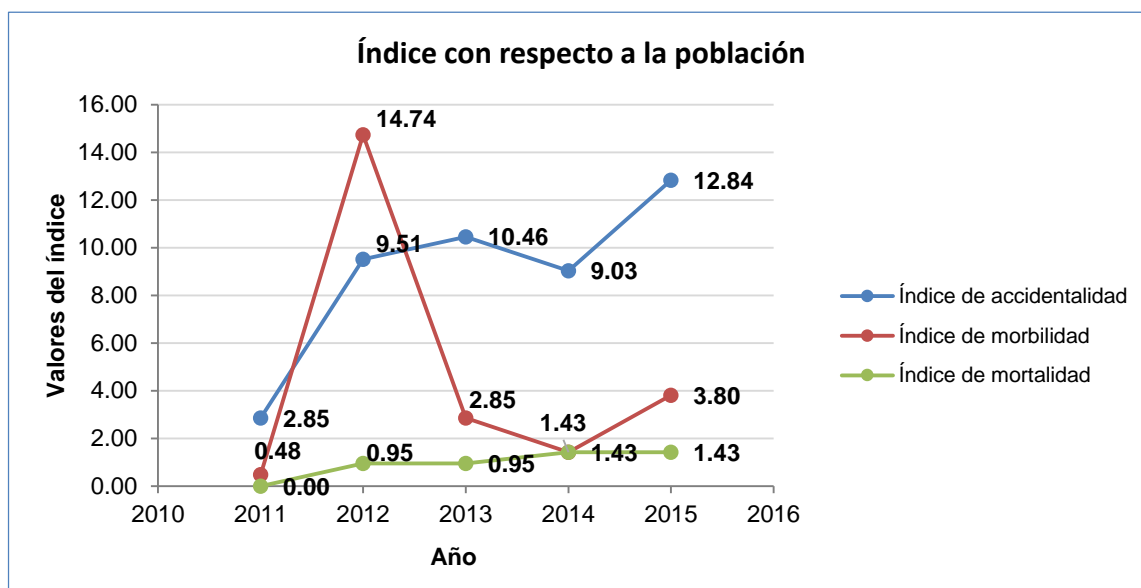
- Índice de mortalidad

$$I_{\text{mort/P}} = \frac{\text{No. de muertos en el año} \times 100,000}{\text{No. de habitantes}} \quad \text{Ec. IV. 3}$$

De la ecuación obtenemos el índice de mortalidad con respecto a la población, siendo de **1.43 accidentes por cada 100,000 habitantes** para el año 2015.

Como podemos observar, en el gráfico IV-11 y la tabla IV-2, el índice de accidentalidad con respecto a la población ha incrementado considerablemente en el período evaluado, en el 2015 el índice fue de 12.84, muy cerca del índice nacional que fue de 15.3, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó que el país con menor índice de accidentalidad en América Latina en el 2015 fue Cuba con el 8.7.

Gráfico IV-11: Índices con respecto a la población en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

Los países a nivel mundial, según la OMS, con los índices de accidentalidad más bajos fueron Mónaco (0.0), Micronesia (1.9), Suecia (2.8), Kiribati y Reino Unido (2.9), San marino (3.2) y Suiza (3.3).

Tabla IV-2: Resumen de Índices respecto a la población en el tramo de estudio

Índices	2011	2012	2013	2014	2015
Índice de accidentalidad	2.85	9.51	10.46	9.03	12.84
Índice de morbilidad	0.48	14.74	2.85	1.43	3.80
Índice de mortalidad	0.00	0.95	0.95	1.43	1.43

Fuente: Elaboración propia

Los organismos internacionales no definen valores tolerables para los índices de accidentalidad, generalmente se realizan análisis comparativos con los países que presentan índices más bajos. Las Naciones Unidas (UN), en particular la OMS como órgano rector de la salud mundial, se ha propuesto la meta de reducir los índices de accidentalidad vial en general, en un 50% al final del año 2020 con base en las cifras del año 2011, como podemos ver los índices respecto a la población de la tabla IV-2 están lejos de alcanzar esta meta.

CAPÍTULO V: PROPUESTA TÉCNICA

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantean las propuestas técnicas, que según los resultados de los estudios realizados anteriormente, deben implementarse en el tramo de carretera en estudio para solucionar los problemas actuales de seguridad vial tal como se detalla a continuación:

5.2 BARRERAS O DEFENSAS METÁLICAS

Se debe realizar trabajos de mantenimiento en las barreras metálicas ubicadas sobre la vía en aquellos sitios donde faltan los reflectantes. El color del reflejante debe ser amarillo tránsito, el reflejante debe orientarse en sentido normal al sentido del tránsito. Se deben reparar golpes y abolladuras producidos por impactos de vehículos, reponer elementos de defensa faltantes por causa de acciones vandálicas, pernos de sujeción faltantes y otras reparaciones menores. La propuesta de reparaciones en defensas metálicas averiadas se muestra en la tabla V-1, a continuación:

Tabla V-1: Propuesta de reparación de defensas metálicas averiadas

Estación		Longitud (m)	Posición de Barrera Metálica	
Desde	Hasta		izquierda	Derecha
48+990	49+150	160		x
55+700	56+050	350		x
55+800	56+000	200	x	
63+100	63+180	80		x

Fuente: Elaboración propia

5.3 DELINEADORES HORIZONTALES

Instalar botones o paneles reflectantes tipo capta luz (ojos de gato) a lo largo de toda la longitud de la carretera. El color de los paneles reflectantes debe ser

amarillo tránsito en la línea central y blanco para el borde de calzada, exceptuando curvas peligrosas, donde se debe instalar color amarillo en el borde exterior de la curva.

En los segmentos de tramos sinuosos, descritos en la tabla V-2, dada la existencia de curvas continuas aumenta la peligrosidad al circular por la vía debido a la disminución de la visibilidad, sobre todo por la noche y en períodos lluviosos, por lo que se deben instalar tachuelas fotos luminiscentes a lo largo de los tramos lo más pronto posible.

Tabla V-2: Propuesta de colocación de tachuelas luminiscentes

Estación		Ubicación	Marcador a utilizar
Inicio	Fin		
50+100	50+500	Apompuá	Tachuelas foto luminiscentes
54+500	57+300	Buena Vista - La Trinidad	Tachuelas foto luminiscentes
60+200	62+200	La Trinidad - El Tepano	Tachuelas foto luminiscentes
65+400	66+300	El Tepano - Cenizas	Tachuelas foto luminiscentes

Fuente: Elaboración propia

5.4 BAHÍAS DE BUSES

Instalar la señalización reglamentaria faltante y brindar mantenimiento a todas las bahías, colocando nuevamente el techo faltante en las casetas que lo requieren. En cuanto a las dimensiones de las bahías, éstas se ajustan a las medidas mínimas para el acomodamiento de un bus, recomendadas por el Manual de Diseño Geométrico de la SIECA (sección 4.3.8) tal como se demostró en la sección 2.13, pág.37, del capítulo II del presente documento (ver tabla II-13).

A continuación se muestra una tabla donde se indican las acciones correctivas a realizar:

Tabla V-3: Propuesta de acciones correctivas en bahías de buses

Estación	Nombre Bahía	OBSERVACIONES
41+750	San Gregorio	Colocar señal “Parada de buses”, R-10-1 , en banda derecha. Instalar techo faltante. Remarcar pintura de franja separadora de bahía en banda derecha.
50+500	Apompuá	Instalar techo faltante. Remarcar pintura de franja separadora de bahía en ambas bandas
54+270	La Máquina	Cambiar señal “Parada de buses”, R-10-1 , en banda derecha. Reparar techo dañado en ambas bandas. Remarcar pintura de franja separadora de bahía en ambas bandas.
58+200	La Trinidad	Reparar techo dañado en ambas bandas. Remarcar pintura de franja separadora de bahía en ambas bandas.
67+700	La Garita	Reparar techo dañado en ambas bandas. Remarcar pintura de franja separadora de bahía en ambas bandas.

Fuente: Elaboración propia

5.5 ZONAS ESCOLARES

Las tablas del anexo 5.1, págs. 73–77 y del anexo 5.3, pág.78–79 muestran la ubicación y los tipos de señales verticales y horizontales propuestas que deben colocarse en las zonas escolares con carácter obligatorio, según las disposiciones de la Dirección de Seguridad de Tránsito de la Policía Nacional.

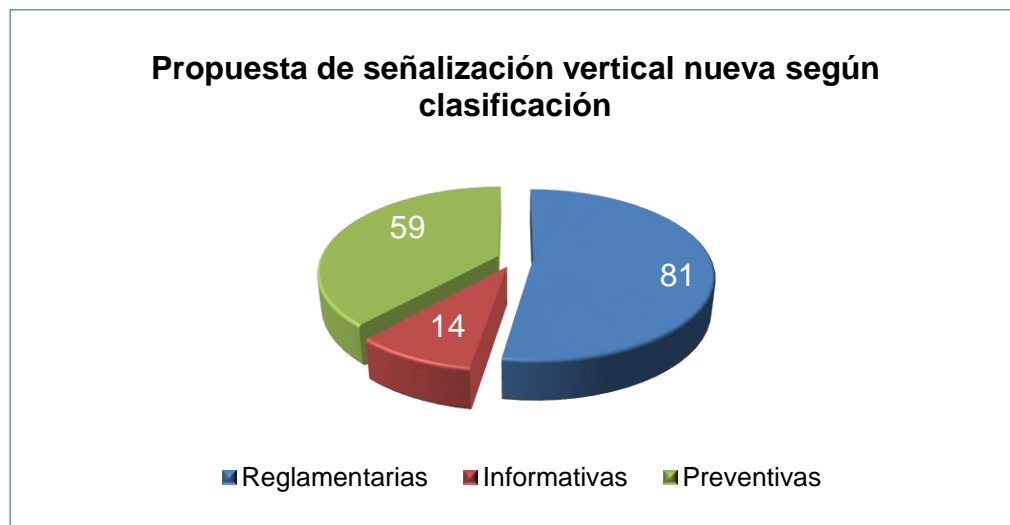
De acuerdo al capítulo 7 del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2014) para el control de tránsito en zonas escolares, se debe completar la señalización vial faltante y cambiar la que está en mal estado en todas las zonas adyacentes a los centros escolares que se encuentran a lo largo del tramo en estudio, tales como repintar las marcas horizontales “Escuela”, los cruces peatonales tipo zebra y la colocación de las señales verticales escolares **E-1-1**, **E-1-2**, **E-1-3**, **E-2-4** y **E-3-3**.

5.6 SEÑALIZACIÓN VERTICAL

Dar mantenimiento a las 52 señales encontradas en condiciones regulares y sustituir las 18 señales que se encuentran en mal estado, las cuales obligatoriamente deben ser reemplazadas por nuevas señales. Además se debe revisar periódicamente las características de reflectividad de las señales verticales para mejorar la señalización nocturna.

Para la completa y correcta señalización del tramo en estudio se propone complementar las 125 señales ya existentes, con la incorporación de **154** señales nuevas (ver todos los detalles de la propuesta de nuevas señales en las tablas del anexo 5.1, págs.73–77), las cuales se dividen en 14 informativas, 59 preventivas, 81 reglamentarias; por lo que la sumatoria de las señales existentes con las nuevas daría un resultado final de 279 señales verticales en total (ver detalles en el anexo 5.6, pág.82, planos 1/33–33/33).

Gráfico V-1: Propuesta de señalización vertical



Fuente: Elaboración propia

La propuesta de señalización mostrada en el gráfico V-1, contiene un total de **154** señales nuevas como se mencionó anteriormente. Este total se obtuvo mediante el análisis de los resultados del inventario vial y los estudios de tránsito, velocidad y accidentalidad realizados en el tramo en estudio, lo que nos llevó a la

conclusión que la señalización vertical actual presenta deficiencias en varios aspectos como se describe a continuación:

Señalización incompleta en zonas escolares: De acuerdo al capítulo 7 del Manual de dispositivos Uniformes del SIECA una zona escolar debe tener una correcta señalización que garantice la seguridad de los escolares. En este sentido en las 9 zonas escolares del tramo se deben instalar 12 señales combinadas **E-1-1/E-1-2**, 6 señales **E-1-1**, 1 señal **E-1-3**, 7 señales **E-2-4** y 2 señales combinadas **E-1-1/E-3-3** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73–77).

Señalización en curvas: Conforme a la sección 2.3.4 sobre las señales que indican cambios en el alineamiento horizontal del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA, éstas deben usarse únicamente para advertir a los conductores la proximidad de una curva o sucesión de curvas que ofrezcan peligro por sus características físicas o por falta de visibilidad. Por lo tanto es necesario instalar en 5 curvas con riesgo de accidentes las siguientes señales: 5 señales **P-1-4** y 4 señales **P-1-2** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73, 75 y 76).

Señalización para restringir adelantamiento: Según el Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA en la sección 2.2.16 se deben colocar señales de restricción de adelantamiento en aquellos sitios del tramo donde las condiciones geométricas reducen la distancia de visibilidad de rebase y resulta peligroso adelantar a otro vehículo, como en el caso de curvas, intersecciones carece de este tipo de señal vertical y en aquellos sitios donde está en peligro la seguridad de personas y de otros vehículos. Para tal efecto el tramo en estudio carece de este tipo de señales en tales sitios por lo que se deben instalar 30 señales **R-13-1** y 16 señales **R-13-5** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73–77)

Señalización de cruces peatonales: Se deben instalar 4 señales **P-9-1**, 1 señal **P-9-4** y 1 señal **R-11-4** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73 y 77) en aquellas zonas que son seguras para que las personas crucen la carretera en la parte urbana y en los cruces peatonales marcados tanto en la parte urbana como rural, tal como

lo recomienda el Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA en las secciones 2.2.14 y 2.3.12.

Señalización para la dirección de circulación: Se deben instalar 2 señales “Mantenga su derecha”, **R-6-1** (ver tabla del anexo 5.1, pág.73), porque existe peligro de accidentes debido a la presencia de obstáculos en la parte izquierda del inicio de la ciclo vía, por lo tanto, se tomó en cuenta las recomendaciones del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA (sección 2.2.9).

Señalización para la protección de ciclistas: En vista de la presencia de ciclistas sobre el tramo en estudio, sobretodo en aquellos sitios donde el tráfico de bicicletas es bastante considerable y de acuerdo al Manual de Dispositivos uniformes del SIECA en el capítulo 8 para el control de tránsito en rutas de bicicletas, se determinó instalar en la zona donde está situada la ciclo vía 3 señales “Carril derecho exclusivo para bicicletas”, **R-9-12**, que complementarían a las señales ya existentes en dicha ciclo vía.

Instalar 8 señales “Presencia de ciclistas”, **P-9-10**, en los sitios de Apompuá, Buena Vista, La Trinidad y La Boquita. Además se deben colocar 2 señales combinadas **B-1/B-4-2**, 1 señal combinada **B-1/B-3-1** y 1 señal combinada **B-1/B-3-2**, con el objetivo de designar una ruta de bicicletas para el tramo de carretera que se extiende desde el Empalme La Boquita–Casares hasta la entrada del balneario La Boquita, dado que este tramo presenta un tránsito alto y constante de ciclistas en ambas bandas (ver detalles de las señales para ciclistas en tablas del anexo 5.1, págs.73–77).

Señalización de límite de velocidad: Para regular el límite de velocidad tal como se recomienda en el Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA en la sección 2.2.5.1, la regulación definida por Dirección de Seguridad de Tránsito de la Policía Nacional y la normativa del Ministerio de Transporte e Infraestructura e deben instalar 15 señales “Velocidad máxima 60 km/h”, **R-2-1**, 1 señal “Fin de velocidad restringida 40 km/h”, **R-2-11** y 1 señal “Fin de velocidad restringida 25

km/h”, **R-2-11** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73–75 y 77)

Señalización para indicar la proximidad a una intersección: El tramo en estudio carece de este tipo de señales en las intersecciones existentes, por lo tanto, siguiendo las recomendaciones del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA (secciones 2.3.5 y 2.3.6), se llegó a la conclusión que se deben instalar en las intersecciones más importantes de la vía 5 señales **P-2-4**, 1 señal **P-2-1**, 2 señales **P-2-3** y 3 señales **P-3-4** para indicar a los usuarios la proximidad de la Rotonda Boquita–Casares (ver tabla del anexo 5.1, págs.73–77).

Señalización para indicar la presencia de semovientes o equipos en la vía: Debido a la presencia de ganado en la vía, para indicar aquellos sitios donde es evidente que se realiza cruce de ganado se deben instalar 6 señales **P-10-1** (ver tabla del anexo 5.1, págs.73, 74 y 76).

También existe un tramo de aproximadamente 6 kilómetros en la zona de Apompuá y Buena Vista, donde debido a la presencia de minas de explotación de piedra volcánica toba (piedra cantera), es frecuente el movimiento constante de camiones que entran y salen de la vía; por lo que se deben instalar 2 señales combinadas “Salida de camiones, próximos 6 km”, **P-10-6/P-10-7** (ver tabla del anexo 5.1, págs.74 y 75). Para establecer esta señalización se tomó en cuenta las recomendaciones del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA en la sección 2.3.13.

Otras señales: Para indicar el acceso a la localidad de destino Apompuá se debe instalar 2 señales “Apompuá”, **ID-2-1** en consonancia con lo recomendado en la sección 2.4.4.5.1 del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA. Se debe instalar 1 señal faltante “Parada de autobuses”, **R-10-1** en la bahía Buena Vista, banda derecha, según lo establecido en la sección 2.2.13 del mismo manual.

Además con respecto a señales informativas resulta importante instalar 2 señales **IR-6-2** que indiquen “Reserva biológica La Máquina” de acuerdo a la sección 2.4.6..9 del mismo manual para identificación de áreas protegidas. Se

deben instalar 3 señales **II-5-2**, dos de ellas para identificar el poblado El Tepano y una de ellas para el Poblado La Boquita. Todas las señales deben llevar indicada la velocidad máxima legal dentro de ambas poblaciones que es 40 kph de acuerdo a la sección 2.4.3.8 del mismo manual.

Así mismo se debe instalar 1 señal “Balneario público”, **IS-4-1**, para indicar que el sitio de playa La Boquita está abierto al público y cuenta con servicios como restaurantes, hospedajes, baños, etc, tal como se aborda en la sección 2.4.5.7 del mismo manual. Para tener un mejor señalización de la Rotonda Empalme Boquita–Casares, se deben instalar 3 señales “Isla central separadora”, **P-4-5**, como se indica en la sección 2.3.7 del mismo manual, de igual manera se deben instalar 3 señales especiales **ESP-1** con diagramas que indiquen el sentido de circulación en dicha rotonda. Para conocer la ubicación de todas estas señales ver tablas del anexo 5.1, págs.74–77.

5.7 SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Realizar la pintura de las marcas horizontales faltantes al mantenimiento realizado en febrero del presente año, tales como líneas centrales, bordes de calzada, marcas de prevención, etc.

Los anexos 5.2 y 5.3, págs.78 y 79 muestran un consolidado de los diferentes tipos de líneas y marcas con su respectiva ubicación de kilometraje a las cuales se les debe brindar mantenimiento periódico. Las especificaciones de dimensión y color de pintura, deben obedecer las normas establecidas en el capítulo 3 sobre señales horizontales en pavimento del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la SIECA.

5.8 POSTES GUÍAS Y DELINEADORES TIPO CHEVRON

En el tramo de carretera en estudio existe deficiencia en cuanto a la colocación de postes guías principalmente en las curvas, por lo tanto se deben instalar un total de 212 postes guías de concreto (ver el anexo 5.5, pág.81). Además se

propone completar como mínimo 8 postes guías (cuatro postes guías a cada lado) en cada alcantarilla como se plantea en el anexo 5.4, págs.80 y 81.

En cuanto a los delineadores horizontales tipo chevron, **P-1-9** (necesarios para indicar los cambios de dirección en aquellas curvas que presentan algún tipo de peligro), se deben instalar un total de 98 delineadores tipo chevron (ver el anexo 5.5, pág.81). Para los postes guías existentes es necesario darle mantenimiento con pintura a los postes que lo requieran.

El criterio utilizado para el cálculo de los postes guías y delineadores chevron toma como base las longitudes de curva y las características topográficas de las mismas. La tabla V-4 muestra los valores convencionales establecidos para el tramo en estudio tomando en cuenta los espaciamientos máximos recomendados para delineadores en la sección 2.3.15.3 del Manual de Dispositivos Uniformes del SIECA y las valoraciones del especialista en seguridad vial de la Policía Nacional Msc. Ing. Gilberto Solís Orozco.

Tabla V-4: Distancias de separación para postes guías y delineadores chevron

Longitud (Mts)	Distancia de separación (m)	
	Curva	Segmentos Rectos
	Postes	Postes
10 – 200	15	20
201 – 400	20	25
401 – 600	30	35
601 - 1000	40	40

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de postes guías se encuentra dividiendo la longitud total a señalar entre la distancia de separación (tabla V-4), colocando en las curvas la misma cantidad de delineadores chevron que postes guías. En los tramos rectos que necesiten delineamiento se colocan los delineadores chevron en los postes guías pares o impares.

5.9 INTERSECCIONES LA TRINIDAD Y SAN RAFAEL DEL SUR

De acuerdo a la sección 5.3 del Manual de Diseño Geométrico del SIECA, Marzo 2004 y la sección 4.3.2 del Manual de Dispositivos Uniformes de la SIECA referente a intersecciones de bajo tráfico, se presenta una propuesta de señalización particular para la intersecciones La Trinidad y San Rafael del Sur, que es una zona propensa a los accidentes de tránsito, de señales verticales de “alto” **R-1-1** con su respectiva demarcación horizontal en cada uno de los accesos.

También, se deben colocar señales verticales **P-2-4**, **P-2-1** e **ID-2-1** que indican la proximidad a intersecciones en la vía principal con su respectiva señalización horizontal (ver detalles de propuesta de señalización de intersecciones La Trinidad y San Rafael del Sur en el anexo 5.6, pág.82, plano 1/1).

CONCLUSIONES

- 1.El inventario vial realizado reveló que la carpeta de rodamiento está en excelentes condiciones con un drenaje eficiente, los anchos de calzada y derechos de vía están dentro de los parámetros admisibles (Norma NIC 2000 y Manual de Diseño Geométrico SIECA Marzo 2004), sin embargo la señalización vertical no está completa y los anchos de hombros no son adecuados.
- 2.El trazado geométrico se ajusta a la normativa de diseño del SIECA, presentando consistencia en el diseño y coordinación Planta – Perfil.
- 3.La señalización horizontal a rasgos generales está en buen estado en su mayoría, sin embargo persisten algunas señales horizontales con pintura borrosa o en otros casos faltan marcas horizontales en sitios que lo requieren.
- 4.El volumen de tráfico está constituido mayoritariamente por vehículos livianos según los resultados del aforo vehicular efectuado en el tramo.
- 5.El tramo en estudio opera holgadamente en el nivel de servicio “D” durante la hora pico, lo que indica que está dentro del rango de flujo estable, proporcionando una alta capacidad de maniobra dentro del flujo de tráfico y un buen nivel de confort físico y Psicológico a los conductores.
- 6.El estudio de velocidad realizado en el tramo de estudio reveló que la mayoría de los vehículos exceden los límites de velocidad establecidos en la carretera especialmente se encontró que en el punto de control de la escuela Salvador Mendieta el 100% de los vehículos excedían el límite de velocidad de 25 kph en los horarios de entrada y salida de los escolares del centro de estudio.

7.El análisis de accidentalidad en el tramo de estudio reveló un alarmante incremento en la tasa de accidentes de tránsito en los últimos 5 años, en el año 2015 la cantidad de accidentes de tránsito registrados fue de 27, un incremento del 93% en comparación con el año 2011 en el que se registraron 14 accidentes de tránsito y un aumento del 23% si lo comparamos con los 22 accidentes de tránsito ocurridos en el año 2013.

8.El índice de accidentalidad en el año 2015 fue de 13 accidentes por cada 100,000 habitantes en comparación con el nacional que fue de 15.3 accidentes por cada 100,000 habitantes en ese mismo año. El período de más accidentalidad fue en los meses de Enero a Mayo, los fines de semana (viernes, sábado y domingo) y en horas de la tarde (12:00 m – 8.00 pm).

9.Se identifican 4 tramos críticos donde se concentra en los últimos 3 años (2013, 2014 y 2015) el 55% de los accidentes totales, el 60% de los fallecidos y el 65% de los lesionados de dicho período.

10. Las causas principales de los accidentes en los últimos 3 años (2013, 2014 y 2015) son en primer lugar no guardar distancia, en segundo lugar semoviente en la vía y retroceder sin precaución.

RECOMENDACIONES

1. El MTI y el FOMAV deben brindar mantenimiento permanente a la vía, garantizando la reposición de señales verticales destruidas y la correcta instalación de las nuevas señales, así mismo realizar la limpieza de la vegetación del derecho de vía, limpieza y reparación del sistema de drenaje.
2. Tener en cuenta las especificaciones de dimensiones de ancho de hombros o espaldones en la sección 4.3.2 del Manual de Diseño Geométrico del SIECA para el correcto dimensionamiento de éstos. En el caso de diseño de ciclovías considerar el Manual Técnico sobre Diseño y Construcción de Ciclovías, Proyecto PNUD para la promoción de un transporte ambientalmente sostenible para Managua metropolitana, Marzo 2014.
3. Se recomienda el uso de un cuestionario estándar para la recolección de datos de accidentes de tránsito en todo el país el que debe contener la mayor información relevante posible y ser de fácil uso tanto por las personas que llenan el cuestionario en el sitio del accidente como para aquellos que deben procesar la información.
4. La Policía Nacional de Tránsito debe ubicar con el sistema de posicionamiento global (GPS) los accidentes de tránsito y dar seguimiento en los hospitales a los lesionados por accidentes de tránsito, porque pueden fallecer a consecuencia de éstos para mejorar el sistema de registro de accidentes.
5. El MTI según lo establecido en el decreto 46 (Ley del derecho de vía) debe ser más severo y no permitir la invasión a los derechos de vía, pues generan desorden, reducen la visibilidad e influyen en la ocurrencia de accidentes de tránsito.

6. La Policía de Tránsito debe mejorar sus métodos de vigilancia, establecer patrullaje móvil sobre la vía, sobretodo en los tramos críticos que concentran mayor cantidad de accidentes de tránsito, así mismo realizar planes de control de semovientes que deambulan peligrosamente en la vía pública.

7. Implementar planes especiales de seguridad vial en los accesos a los centros escolares ubicados en el tramo de estudio para resguardar la seguridad de los estudiantes, principalmente a la hora de entrada y salida de éstos.

8. Ser estricto en el control de los vehículos de carga, tanto el MTI como la Policía Nacional deben instalar básculas móviles para verificar que el peso límite de 8 toneladas que rige para el tramo de estudio no sea sobrepasado y de esta manera evitar daños al pavimento.

9. Se recomienda el uso de auditorías de seguridad vial en todas las etapas de un proyecto. Se debe desarrollar guías para su aplicación de acuerdo a la realidad del país, tránsito, infraestructura, condiciones climáticas y geográficas del país o adaptando guías desarrolladas en otros países.

10. Integrarse al Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial (2011–2020) de las Naciones Unidas y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que plantean la meta de reducción de los accidentes de tránsito con base en el año 2011, en un 50% para finales del año 2020.

BIBLIOGRAFÍA

- Ingeniería de Tránsito y Carreteras. Nicholas J. Garber/ Lester A. Huel. Editorial Thompson, 2005. 3a. Edición.
- Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones. Cal y Mayor, Rafael. 7a. Edición AlfaOmega, México, 1994.
- Principios de la ingeniería de Tránsito. Guido Rodelat Egues. Editorial I.T.E., Washington, USA. 2003.

Otros Documentos:

- Anuario de Aforos de Tráfico. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Año 2014.
- Estudio de Ingeniería Ambiental y Diseño Final para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Diriamba – Empalme La Boquita / Casares, Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI). Enero 2006.
- Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. 2da Edición, SIECA, Marzo 2004.
- Manual para la Revisión de estudios de tránsito. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Corea y Asociados S.A (CORASCO). Octubre 2008.
- Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, 1ra. Edición, SIECA. Guatemala, Año 2000.
- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (NIC – 2000). Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Revista Red Vial de Nicaragua 2014. División General de Planificación, Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI). Junio 2015.

Sitios web:

- www.slideshare.net/darkysam/caracterizacion-diriamba
- www.manfut.org/carazo/diriamba.html
- www.mti.gob.ni