



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA VIAL

Obtención de las variables fundamentales de tráfico y cálculo de las variables de segundo orden de la vía Loja - Catamayo, en los tramos km. 4+000 al km. 11+300, km. 11+300 al km. 22+000 y km. 22+000 al km. 33+300.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Vásquez Serrano, Lorena Silvana

DIRECTORA: Ortiz Viñán, Ana Paulina, Msc.

LOJA - ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Loja, mayo del 2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magíster

Ana Paulina Ortiz Viñan.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación, denominado: Obtención de las variables fundamentales de tráfico y cálculo de las variables de segundo orden de la vía Loja - Catamayo, en los tramos km. 4+000 al km.11+300, km.11+300 al km.22+000 y km. 22+000 al km.33+300, realizado por Vásquez Serrano Lorena Silvana, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, abril de 2018

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“ Yo Vásquez Serrano Lorena Silvana declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Obtención de las variables fundamentales de tráfico y cálculo de las variables de segundo orden de la vía Loja - Catamayo, en los tramos km. 4+000 al km.11+300, km.11+300 al km. 22+000 y km. 22+000 al km.33+300, de la titulación Magíster en Ingeniería Vial, siendo Ana Paulina Ortiz Viñan director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor. Vásquez Serrano Lorena Silvana

Cédula. 1103179808

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso de mi vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A mis padres y hermanos por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y comprensión incondicional, a todos ellos infinitas gracias.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios por permitirme concluir los estudios y hacer realidad este sueño tan anhelado.

De manera especial mi agradecimiento a la Msc. Ana Ortiz, tutora del trabajo de titulación, por guiarme en el desarrollo y culminación de este trabajo, transmitiendo sus conocimientos y criterios técnicos.

Al Dr. Richard Serrano, cotutor del presente trabajo, por brindarme su apoyo y su colaboración científica y técnica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
GENERALIDADES	5
1.1. Planteamiento del Problema	6
1.2. Hipótesis	7
1.3. Objetivos de la investigación.....	7
1.4. Alcance de la investigación.....	8
1.5. Aportes de la investigación	8
1.6. Estructura de la investigación	8
ESTADO DEL ARTE	10
2.1. Introducción.....	11
2.2. Estaciones de conteo.....	11
2.3. Variables fundamentales de la ingeniería de tránsito	12
2.2.1. Variables de primer orden.....	12
2.2.1.1. Intensidad o Flujo Vehicular.	12
2.2.1.2. Velocidad.....	12
2.2.1.3. Densidad o concentración.	12
2.2.2. Relaciones entre las variable de tráfico de primer orden.....	12
2.2.2.1. Relación velocidad – densidad.....	13
2.2.2.2. Relación intensidad – densidad.....	13
2.2.2.3. Relación velocidad - intensidad.....	14
2.3. Variables de segundo orden	14
2.3.1. Niveles de servicio para carreteras de dos carriles.	14
2.3.1.1. Nivel de servicio A.....	17
2.3.1.2. Nivel de servicio B.....	17
2.3.1.3. Nivel de servicio C.....	17

2.3.1.4.	Nivel de servicio D.....	17
2.3.1.5.	Nivel de servicio E.....	17
2.3.1.6.	Nivel de servicio F.....	18
2.3.2.	Capacidad.....	18
2.4.	Parámetros para el cálculo de capacidad y nivel de servicio.....	19
2.4.1.	Velocidad de punto.....	19
2.4.2.	Velocidad media temporal.....	19
2.4.3.	Velocidad de flujo libre.....	21
2.4.4.	Velocidad media ATS.....	22
2.4.4.1.	Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para ATS.....	22
2.4.4.2.	Demanda de flujo o tasa de flujo (V_d) para ATS.....	25
2.4.4.3.	Velocidad media de viaje (ATS).....	26
2.4.5.	Porcentaje de tiempo de demora en seguimiento (PTSF).....	28
2.4.5.1.	Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para PTSF.....	28
2.4.5.2.	Demanda de flujo o tasa de flujo (V_d) para PTSF.....	29
2.4.5.3.	Porcentaje de demora en tiempo de seguimiento (PTSF).....	30
2.5.	Resumen y conclusión.....	31
	METODOLOGÍA.....	33
3.1.	Introducción.....	34
3.2.	Antecedentes.....	35
3.3.	Ubicación del proyecto.....	36
3.4.	Características de la vía.....	36
3.4.1.	Datos de las pendientes de la vía Loja – Catamayo.....	36
3.5.	Localización de estaciones de conteo.....	38
3.5.1.	Fijación de estación primaria tramo 1: km 4+000 – km. 11+300.....	39
3.5.2.	Fijación de estación primaria tramo 2: km. 11+300 – km 22+000.....	40
3.5.3.	Fijación de estación primaria tramo 3: km. 22+000 – km 33+300.....	41
3.6.	Procesamiento de datos.....	42
3.6.1.	Variables de primer orden.....	42
3.6.1.1.	Datos tramo 1: km. 4+000 – km. 11+300.....	42
3.6.1.2.	Datos tramo 2: km. 11+300 – km 22+000.....	43
3.6.1.3.	Datos tramo 3: km. 22+000 – km 33+300.....	43
3.7.	Metodología para la obtención de las variables de segundo orden.....	44
3.7.1.	Obtención del nivel de servicio y capacidad, mediante las relaciones intensidad, velocidad y densidad.....	44

3.7.2. Obtención del nivel de servicio y capacidad mediante la aplicación del HCM (2010).	45
3.8. Resumen y conclusiones	45
RESULTADOS	46
4.1. Introducción	47
4.2. Obtención de variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio mediante las relaciones intensidad-densidad, velocidad-densidad y velocidad intensidad.	47
4.2.1. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad–densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 1.	47
4.2.2. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad-densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 2.	48
4.2.3. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad-densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 3.	50
4.3. Obtención de variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio a partir del HCM (2010)	51
4.3.1. Resultados obtenidos de los cálculos.	53
4.4. Discusión de resultados	55
4.5. Resumen y conclusión	57
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.	59
BIBLIOGRAFÍA.	60
ANEXOS.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de servicio para carreteras de dos carriles	18
Tabla 2. Nivel de confianza.	21
Tabla 3. Equivalencia vehículos pesados (ET) pendientes específicas en ascensos.....	23
Tabla 4. Equivalencia vehículos pesados y recreativos (ER) pendientes en ascensos	24
Tabla 5. Equivalencia de vehículos pesados y recreativos, ET y ER en pendientes descendentes	24
Tabla 6. Equivalencia de vehículos pesados y ETC, en pendientes descendentes.....	25
Tabla 7. Factor de ajuste de grado F_g ATS en terreno plano y pendientes descendientes..	26
Tabla 8. Factor de ajuste de grado f_{np} en terreno plano y pendientes descendentes	27
Tabla 9. Equivalencia vehículos pesados y recreativos, ET y ER en pendientes ascendentes	28
Tabla 10. Equivalencia de vehículos pesados y recreativos, ET y ER pendientes descendentes	29
Tabla 11. Ajuste por pendiente (f_g PTSF) en pendientes específicas en ascensos	29
Tabla 12. Ajuste por pendiente (f_g PTST) en pendientes específicas en descendentes	30
Tabla 13. Coeficientes a y b para estimar el porcentaje de demora	30
Tabla 14. Factor de ajuste (f_{np} PTSF) por porcentaje en zonas de no adelantar.....	31
Tabla 15. Ubicación geo referenciada de la vía Loja - Catamayo	36
Tabla 16. Pendientes en tramo 1 Loja-Catamayo km4+000-km11+300	37
Tabla 17. Pendientes en tramo 2 Loja-Catamayo km11+300-km22+000	37
Tabla 18. Pendientes en tramo 3 Loja-Catamayo km22+000-km33+300	38
Tabla 19. Características geométricas de la vía Loja - Catamayo	38
Tabla 20. Ubicación georeferenciada de estaciones de conteo	39
Tabla 21. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1	42
Tabla 22. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2,	43
Tabla 23. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3.	44
Tabla 24. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 1: km4+000-km11+300.....	52
Tabla 25. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 2: km11+300-km22+000.....	52
Tabla 26. Datos para calcular el ATS y PTSF tramo 3: km22+000 – km33+300	53
Tabla 27. Resultados del calculo del nivel de servicio de los tres tramos de acuerdo al ATS.	54
Tabla 28. Resultados del calculo del nivel de servicio de los tres tramos de acuerdo al PTS.	54
Tabla 29. Resumen de resultados de los métodos utilizados en la investigación.....	55

Tabla 30. Intensidad, Velocidad y Densidad tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: sábado 14/10/2017.....	64
Tabla 31. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1: Km. 4+000 - Km.11+300, día de aforo: domingo 15/10/2017.....	65
Tabla 32. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: lunes 16/10/2017.	66
Tabla 33. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: martes 17/10/2017..	67
Tabla 34 Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: miércoles 18/10/2017.	68
Tabla 35. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: jueves 19/10/2017...	69
Tabla 36. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, sentido AB Loja - Catamayo, día de aforo: viernes 20/10/2017.	70
Tabla 37. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: sábado 21/10/2017.	71
Tabla 38. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 05/10/2017..	72
Tabla 39. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: viernes, 06/10/2017.	73
Tabla 40. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: sábado, 07/10/2017.	74
Tabla 41. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: domingo 08/10/2017.	75
Tabla 42. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: lunes, 09/10/2017. ...	76
Tabla 43. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: martes, 10/10/2017.	77
Tabla 44. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: miércoles, 11/10/2017.	78
Tabla 45. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 12/10/2017..	79
Tabla 46. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, sentido BA Loja - Catamayo, día de aforo: viernes, 13/10/2017.....	80
Tabla 47. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: sábado, 14/10/2017.	81
Tabla 48. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: sábado, 12/08/2017.	82
Tabla 49. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: domingo 13/08/2017.	83
Tabla 50. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: lunes 14/08/2017. ...	84
Tabla 51. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: martes, 15/08/2017.	85
Tabla 52. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: miércoles 16/08//2017.	86
Tabla 53. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 17/08/2017..	87
Tabla 54. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: viernes, 18/08/2017.	88
Tabla 55. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: sábado, 19/08/2017.	89

Tabla 56. Velocidad de Punto en el tramo 1 dirección AB, semana del 14/10/2017 al 21/10/2017.....	90
Tabla 57. Resumen sumatoria tabla 56.....	90
Tabla 58. Características de la distribución normal.....	91
Tabla 59. Velocidad de Punto en el tramo 1, sentido BA semana del 14/10/2017 al 21/10/2017.	93
Tabla 60. Resumen sumatoria tabla 59.....	93
Tabla 61. Características de la distribución normal.....	94
Tabla 62. Datos para encontrar la capacidad y nivel de servicio del tramo 1: Km. 4+000 – Km. 11+300.....	95
Tabla 63. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección AB semana del 05/10/2017 al 14/10/2017.....	98
Tabla 64. Resumen sumatoria tabla 63.....	98
Tabla 65. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección BA, semana del 05/10/2017 al 14/10/2017.....	100
Tabla 66. Resumen sumatoria tabla 65.....	100
Tabla 67. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 2: km11+300-km22+000.....	102
Tabla 68. Velocidad de Punto en el tramo 3, dirección BA, semana del 12/08/2017 al 19/08/2017.....	105
Tabla 69. Resumen sumatoria tabla 68.....	105
Tabla 70. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección AB, semana del 05/10/2017 al 14/10/2017.....	107
Tabla 71. Resumen sumatoria tabla 70.....	107
Tabla 72. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 3: km 22+000 – km 33+300.....	109
Tabla 73. Clasificación Vehicular ARX.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo metrocout 5600	11
Figura 2. Gráficas de las relaciones fundamentales de tráfico.....	13
Figura 3. Metodología para determinar las variables de tráfico de primer y segundo orden(nivel de servicio y capacidad)	35
Figura 4. Vía Loja Catamayo	36
Figura 5. Estaciones de conteo en Vía Loja - Catamayo	39
Figura 6. Colocación de sensor en estación primaria Nro.1, Km 7+100	39
Figura 7. Estación primaria Nro. 1 en km 7+100. vía Loja - Catamayo	40
Figura 8. Estación primaria Nro. 2, Km. 12+600 vía Loja - Catamayo	40
Figura 9. Colocación de sensores en estación primaria Nro. 2:km 12+600	41
Figura 10. Estación primaria Nro. 3, Km. 30+300 vía Loja - Catamayo	41
Figura 11. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo1.....	47
Figura 12. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo 2.....	49
Figura 13. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo 3.....	50
Figura 14. Gráficas tramo 1, aforo: sábado 14/10/2017	64
Figura 15. Gráficas tramo 1, aforo: domingo 15/10/2017	65
Figura 16. Gráficas tramo 1, aforo: lunes 16/10/2017	66
Figura 17. Gráficas tramo 1, aforo: martes 17/10/2017	67
Figura 18. Gráficas tramo 1, aforo: miércoles 18/10/2017	68
Figura 19. Gráficas tramo 1, aforo: jueves 19/10/2017	69
Figura 20. Gráficas tramo 1, aforo: viernes 20/10/2017	70
Figura 21. Gráficas tramo 1, aforo: sábado 21/10/2017	71
Figura 22. Gráficas tramo 2, aforo: jueves 05/10/2017	72
Figura 23. Gráficas tramo 2, aforo: viernes 06/10/2017	73
Figura 24. Gráficas tramo 2, aforo: sábado 07/10/2017	74
Figura 25. Gráficas tramo 2, aforo: domingo 08/10/2017	75
Figura 26. Gráficas tramo 2, aforo: lunes 09/10/2017	76
Figura 27. Gráficas tramo 2, aforo: martes 10/10/2017	77
Figura 28. Gráficas tramo 2, aforo: miércoles 11/10/2017	78
Figura 29. Gráficas tramo 2, aforo: jueves 12/10/2017	79
Figura 30. Gráficas tramo 2, aforo: viernes 13/10/2017	80
Figura 31. Gráficas tramo 2, aforo: sábado 14/10/2017	81

Figura 32. Gráficas tramo 3, aforo: sábado, 12/08/2017	82
Figura 33. Gráficas tramo 3, aforo: domingo 13/08/2017	83
Figura 34. Gráficas tramo 3, aforo: lunes 14/08/2017	84
Figura 35. Gráficas tramo 3, aforo: lunes 15/08//2017	85
Figura 36. Gráficas tramo 3, aforo: miércoles 16/08//2017	86
Figura 37. Gráficas tramo 3, aforo, jueves, 17/08/2017	87
Figura 38. Gráficas tramo 3, aforo, viernes 18/08/2017	88
Figura 39. Gráficas tramo 3, aforo, sábado, 19/08/2017	89
Figura 40. Gráfica frecuencia observada.....	91
Figura 41. Curva frecuencia observada.....	92

RESUMEN

Considerando las derivaciones a centros poblados y lugares turísticos en la vía Loja - Catamayo, se determinan las variables de segundo orden en los tramos 1: Km. 4+000 al Km. 11+300; 2: km. 11+300 al km. 22+000; y, 3: km. 22+000 al km. 33+300. Con la fijación de estaciones primarias de conteo e instalación del equipo metrocount 5600 para un determinado período continuo, se obtienen las variables de tráfico de primer orden: intensidad, velocidad y densidad.

A través del análisis de las gráficas obtenidas al relacionar las variables de primer orden, velocidad – intensidad; intensidad – densidad; y, velocidad – densidad, se obtienen las variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio de los tres tramos analizados.

Con la aplicación de la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM en inglés) para carreteras de dos carriles por pendientes específicas, se obtiene los niveles de servicio y capacidad, a fin de comparar los resultados, concluyendo que la vía Loja – Catamayo opera en los tres tramos con un nivel de servicio C y capacidad inferior a la máxima del Highway Capacity Manual (2010).

Palabras clave: Intensidad, velocidad, densidad, nivel de servicio, capacidad.

ABSTRACT

Considering the derivations to populated centers and tourist places in the Loja Catamayo road, the second order variables were determined in sections 1: Km. 4+000 to Km. 11+300; 2: km.11+300 to km. 22+000 and 3: km. 22+000 to km. 33+300. With the fixation of primary stations of counting and the installation of metrocount 5600 equipment for a certain continuous period, you get the first order traffic variables: intensity, speed and density.

Through the analysis of the graphs obtained by relating the variables of first order, speed - intensity; intensity - density; and, speed - density, the variables of second order, capacity and service level of the three sections analyzed are obtained.

With the application of the Roadway Capacity Manual (HCM) methodology for two-lane highways by specific slopes, the service and capacity levels are get, in order to compare the results, concluding that the Loja-Catamayo highway operates in the three sections with a service level C and capacity lower than the maximum of the Highway Capacity Manual (2010).

Keywords: Intensity, speed, density, service level, capacity.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de una vía refleja entre otras variables la posibilidad de permitir una circulación vehicular fluida, establecer parámetros que relacionan la oferta con la demanda de transporte y definir el nivel de servicio que presenta la vía, particularidades necesarios para la toma de decisiones, acciones en la ingeniería, gestión de tránsito, intervención y/o planificación urbana (Cerquera, 2007).

Una vía puede presentar tramos con diferentes características geométricas y de operación, como ancho de vía, variación de pendientes, radios de curvatura, flujo de tráfico, puntos de acceso, entre otros, lo que genera diferentes niveles de servicio y capacidad; la presente investigación analiza el nivel de servicio de la vía Loja-Catamayo que forma parte de la red vial estatal E50 y E35, mediante las variables de primer orden: intensidad, velocidad y densidad, tomando en cuenta las derivaciones a centros poblados y lugares turísticos.

El presente estudio tiene la finalidad de obtener las variables fundamentales de tráfico de segundo orden, en los tramos, Km 4+000 al 11+300, km 11+300 al 22+000 y km 22+000 al 33+300 de la vía Loja – Catamayo, aplicando los métodos de análisis e interpretación de las gráficas que relacionan las variables fundamentales: flujo, densidad y velocidad, para establecer comparaciones con los obtenidos por el método de pendientes específicas que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010).

Para el desarrollo de la investigación se plantean cuatro capítulos, el primer capítulo enmarca parámetros en los que se fundamenta y desarrolla la investigación, en el capítulo II se presenta el estado del arte y describe las principales definiciones, glosario de términos, métodos y criterios que se aplican en la investigación, contiene el procedimiento, tablas de ajuste y ecuaciones para el cálculo del nivel de servicio y capacidad definido por el Highway Capacity Manual (2010), el capítulo III contiene la toma de datos in situ, datos de las características de la vía, descripción de la metodología empleada, y finalmente en el capítulo IV se realiza el análisis comparativo de resultados por los dos métodos, se establecen conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Los resultados de esta investigación pueden sumarse a la información que recopila sistemáticamente y de manera continua el Observatorio de Ingeniería de Tráfico desarrollado por la Universidad Técnica Particular de Loja, en el que se proporciona entre otros datos información técnica en relación al flujo vehicular necesaria para la planificación, diseño, mantenimiento, rehabilitación y operación de la vía Loja - Catamayo, así como para otros

sistemas de información o bien para la toma de decisiones sobre la inversión de fondos públicos no solo a nivel local sino a nivel nacional.

La obtención de las variables de primer orden: velocidad, densidad e intensidad se lo realizó con la utilización del contador neumático metrocount 5600, para lo cual se fijaron tres estaciones primarias de conteo en cada tramo analizado por un lapso continuo de siete días, para obtener el nivel de servicio y capacidad, una vez procesados se realizó la interpretación de las gráficas que relacionan las variables fundamentales de la ingeniería de tránsito, de conformidad a lo que indica el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), finalmente se aplicó el método de pendientes específicas del HCM (2010) para determinar el nivel de servicio y relacionarlo con las gráficas analizadas.

Al relacionar los datos obtenidos de las gráficas de las variables fundamentales con los obtenidos por el método de pendientes específicas, se tiene que los tramos analizados de la vía Loja - Catamayo presentan un nivel de servicio C, con lo que se cumple el objetivo general propuesto que plantea determinar las variables de segundo orden en los tramos 1: km.4+000 al km.11+300, 2: km.11+300 al km. 22+000 y 3: Km. 22+000 al km. 33+300: de la misma forma se cumplen con los objetivos específicos como es la obtención de la capacidad de la vía Loja - Catamayo, así se tiene que el tramo 1 presenta un porcentaje de ocupación del 29% de su capacidad, tramo 2 del 20% y el tramo 3 del 23%.

El Highway Capacity Manual (2000), indica que en pendientes largas y pronunciadas el coeficiente que determina el porcentaje de demora de vehículos pesados en pendientes descendentes (PTC) se puede estimar como la cantidad total de camiones que circulan en la vía, mientras que la investigación realizada mediante aforos en situ por la dirección nacional de vialidad de Argentina, determina que este coeficiente podría estar definido en un rango entre el 40% y el 80% del total de vehículos pesados (González y Vela, 2016).

En vista que el manual de capacidad de carreteras (HCM, 2010) presenta tablas de factores de ajuste relacionados a pendientes específicas en ascensos y descensos, así como parámetros de la máxima capacidad de una vía de dos carriles en condiciones ideales es de 3 200 veh/h; sin embargo ,se considera que esta investigación puede verse limitada al no contar con parámetros de una normativa propia que califique al nivel de servicio bajo las condiciones de la zona en estudio, por lo que se plantea la necesidad de profundizar la investigación y proponer un manual aplicable a la topografía, tipo de terreno, flujo, etc.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del Problema

Evaluar el rendimiento de las vías de dos carriles no es tarea fácil para los ingenieros, consultores y constructores, debido a las diversas características que estas presentan. Al estar diseñada la vía de dos carriles con un carril en cada dirección, el tránsito en zonas donde presentan mayor volumen de tráfico experimentan un alto nivel de interacción entre los carriles de dirección opuesta, generalmente los vehículos en su recorrido superan a los vehículos más lentos, cuando la distancia de visibilidad es apropiada y las brechas en el flujo opuesto están disponibles, esta maniobra también depende del nivel de riesgo de los conductores.

Los automovilistas en una vía de dos carriles con bajo volumen raramente se demoran, pero a medida que el volumen se aproxima a la capacidad, se experimenta proporciones de vehículos en aumento de pelotón y mayor retraso; además a medida que disminuye la capacidad de los conductores de adelantar, los automovilistas se ven obligados a ajustar su velocidad lo que conlleva a la reducción de la calidad de servicio. Para evitar largos pelotones, los automovilistas prefieren adelantar y demuestran conducta de tomar riesgos; en consecuencia, este fenómeno afecta las operaciones de tráfico y la seguridad en las carreteras de dos carriles opuestos (Ghosh, Chandra, y Boora, 2013).

En el mundo moderno las redes viales son indispensables, constituyen una infraestructura de transporte con la que se puede acceder a todos los lugares del territorio; sin embargo, muchos tramos de estas redes presentan deterioros ocasionados por diversas causas como: deficiencias de diseño, construcción, conservación y control del tránsito, lo que genera que las condiciones de tráfico sean deficientes y presenten variaciones en los niveles de servicio, con relación al diseño original. Por ello muchas redes viales presentan pérdidas anuales entre 1% y 3% del Producto Interno Bruto (PIB), debido a sobre costos de operación vehicular y reconstrucciones viales que hubieran podido evitarse (Bull, 2003).

La operación y mantenimiento de las vías de dos carriles, dependen fundamentalmente de su flujo vehicular, al realizar la evaluación de las variables de tránsito intensidad, velocidad y densidad, se puede conocer el estado actual de circulación de las vías. Este estudio permitirá conocer la capacidad de la vía Loja - Catamayo, posibilitando la optimización de la inversión de fondos públicos en las etapas de planificación y/o mantenimiento, durante la vida útil de la vía en análisis.

La vía Loja –Catamayo, es una vía de dos carriles de dirección opuesta, según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, pertenece a la red vial estatal de la Provincia de Loja, es parte de la troncal de la sierra E35, ruta Rumichaca - Quito - Ambato - Riobamba - Cuenca - Loja - Macará, posee una longitud de 781 Km; así mismo, integra la transversal sur E50 de la ruta Huaquillas - Arenillas - Catamayo - Loja - Zamora, de 224 km de longitud. La vía Loja - Catamayo conecta la capital provincial con todos los cantones de la provincia de Loja a excepción del cantón Saraguro, constituye un punto estratégico para el turismo vacacional y religioso, sobre todo en mayo y agosto, meses en los que se presenta peregrinaciones al santuario de El Cisne. Otra situación importante que conlleva al incremento del tráfico en esta vía, es la ubicación del Aeropuerto “Ciudad de Catamayo”, que representa un modo de transporte necesario tanto para la Provincia de Loja como para la Provincia de Zamora Chinchipe.

Resulta de mucho interés determinar y evaluar las variables de tráfico: Intensidad, velocidad y densidad en la vía Loja – Catamayo, con el fin de obtener los niveles de servicio y capacidad de esta vía, además se realizará un análisis comparativo con el método de las pendientes específicas que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), para determinar la variación de estos resultados, toda vez que los mismos consideran las características topográficas de la vía en estudio, con lo que se obtendrá información que servirá como fuente de investigación para estudiantes, investigadores, planificadores e instituciones públicas encargadas de la planificación y/o ejecución de obras viales.

1.2. Hipótesis

Las variables fundamentales de tráfico obtenidas en la vía Loja – Catamayo determinan los niveles de servicio y la capacidad de la vía.

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo General.

Determinar las variables de segundo orden en los tramos 1: km.4+000 al km.11+300, 2: km.11+300 al km. 22+000 y 3: Km. 22+000 al km. 33+300.

Objetivo Específicos.

- Determinar la intensidad, velocidad y densidad en los tramos de abscisas tramo 1: km. 4+000 – km. 11+300, tramo 2: km. 11+300 – km. 22+000 y tramo 3: Km. 22+000 – km. 33+300 de la vía Loja – Catamayo.
- Obtener las gráficas de las relaciones fundamentales: velocidad - intensidad, intensidad – densidad y velocidad – densidad.
- Determinar las variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio de la vía Loja-Catamayo, mediante la relación de las variables fundamentales de tráfico y relacionarlo con el obtenido mediante la aplicación (HCM, 2010).

1.4. Alcance de la investigación

El objeto del presente trabajo consiste en determinar el nivel de servicio y capacidad de la carretera Loja – Catamayo, basados en la lectura de los diagramas fundamentales de tráfico que relacionan la intensidad, densidad y velocidad, en comparación con los niveles de servicio y capacidad obtenida con la aplicación del Highway Capacity Manual (HCM, 2010), mediante pendientes específicas.

1.5. Aportes de la investigación

Con la presente investigación se entrega un documento que permite establecer una comparación entre el análisis de las gráficas obtenidas con las variables de primer orden y el procedimiento que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), con el que se establece el nivel de servicio y capacidad de la vía Loja – Catamayo. Además proporciona información fundamental del desempeño de la vía, características de tráfico, comportamiento y vulnerabilidad de la misma, datos que estarán a disposición para futuras investigaciones.

1.6. Estructura de la investigación

La investigación se encuentra estructurada de la siguiente forma:

Capítulo I, aquí se hace referencia a lo que corresponde a generalidades del trabajo.

Capítulo II, este capítulo contiene el estado del arte, en el que se analiza los diagramas fundamentales de tráfico que relaciona las variables intensidad, densidad y velocidad, así

como también se analiza el procedimientos para la obtención del nivel de servicio y capacidad mediante el método de pendientes específicas del manual de capacidad de carreteras (HCM, 2010).

Capítulo III, en este capítulo se hace referencia a la metodología utilizada para encontrar los niveles de servicio de la carretera Loja – Catamayo, mediante el método de análisis de las relaciones de las variables de tráfico y el método por pendientes específicas que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010).

Capítulo IV, En este capítulo se determinan analizan y comparan los resultados obtenidos en los tres tramos de la carretera Loja – Catamayo.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

En nuestro país no se cuenta con una metodología ajustada al tipo de terreno montañoso para el cálculo de los niveles de servicio y capacidad, por ello se ha tomado en consideración los criterios que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010) para la obtención de estos parámetros.

Este tipo de vías están diseñadas por segmentos de sentido opuesto, cuentan con mayor interacción cuando se incrementa el volumen de tráfico, debiéndose utilizar el carril opuesto para realizar maniobras de adelantamiento, siempre y cuando existan brechas que lo permitan y presenten la visibilidad suficiente para poder adelantar, a medida que se incrementa la demanda en este tipo de carreteras la calidad en la operación disminuye.

Para determinar los niveles de servicio se analizan estas vías por segmentos direccionales en terreno plano, ondulado, por pendientes específicas con pendientes mayores al 3% y que incluye un carril de adelantamiento (Transportation Research Board, 2010).

2.2. Estaciones de conteo

Según (Ortiz, 2017), se define estaciones de conteo, a la obtención de las variaciones de la intensidad de tráfico, sean estas diarias, semanales o anuales, las cuales se dividen en primarias y secundarias

Estaciones primarias: a través de las estaciones primarias se obtienen los aforos de las variables de tráfico por un periodo mínimo de una semana.

Estaciones secundarias: a través de estas se obtienen los aforos de las variables de tráfico diario como mínimo.

Para el conteo automático se utilizó el equipo Metrocount 5600, ver la Fig.1.



Figura 1. Equipo metrocout 5600
Fuente tomada del equipo metrocount 5600
Elaborado por: Autora

El equipo Metrocount 5600, clasifica con el tipo ARX a los vehículos en 12 clases que van desde motocicletas hasta camiones con doble o triple tren de carga como se muestra en el anexo E.

2.3. Variables fundamentales de la ingeniería de tránsito

Las variables fundamentales de la ingeniería de tránsito se clasifican en variables de primer orden y variables de segundo orden (Belda, 2011).

2.2.1. Variables de primer orden.

Las variables de primer orden son: la intensidad o flujo, velocidad y densidad.(Belda, 2011).

2.2.1.1. *Intensidad o Flujo Vehicular.*

Es la tasa horaria que corresponde a los vehículos que pasan por un punto, sección transversal o un tramo de un carril durante un intervalo de tiempo dado inferior a la hora, usualmente 15 minutos (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

2.2.1.2. *Velocidad.*

Es la relación entre el espacio recorrido por un vehículo, el tiempo empleado para ello y su dirección, se expresa en m/s (Molina y Cerda, 2003).

2.2.1.3. *Densidad o concentración.*

Se define al número de vehículos que ocupan un segmento de un carril de una vía en un instante concreto. El Highway Capacity Manual (HCM) establece la densidad como el promedio de vehículos en el tiempo y se expresa en veh/km (Kraemer et al., 2004).

2.2.2. Relaciones entre las variable de tráfico de primer orden.

La Ingeniería de tránsito relaciona las tres variables de tráfico de primer orden de la siguiente manera: Intensidad – Densidad, Velocidad- Densidad y Velocidad – Intensidad, como lo indica la Figura 2.

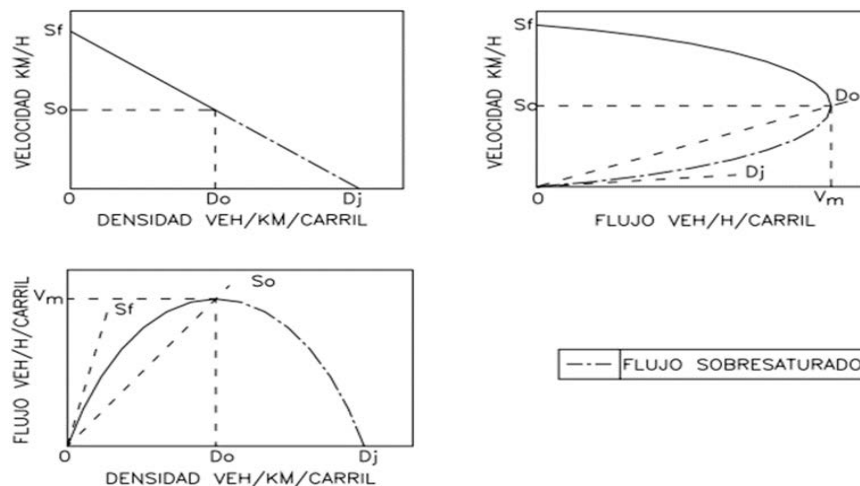


Figura 2. Gráficas de las relaciones fundamentales de tráfico.

Fuente: (Palma, 2006)

Elaborado por: (Palma, 2006)

El trazado que presenten las gráficas depende del tránsito y condiciones de la carretera (Palma, 2006).

2.2.2.1. *Relación velocidad – densidad.*

Esta relación muestra que la velocidad puede llegar a adquirir un valor cero por dos razones. La primera se produce por tener una carretera sin vehículos, es decir una vía vacía, la segunda cuando se genera congestionamiento por que la demanda supera la capacidad de la vía, en donde los vehículos forman pelotones, el espaciamiento entre vehículos es mínimo y estos se ven obligados a realizar paradas y partidas.

En lo referente a las densidades, cuando las densidades son muy bajas y los vehículos no presentan interferencias en su circulación, las velocidades podrían ser tan altas como lo permita las características de la carretera y vehículo, a esto se le llama flujo libre; por tanto, al incrementarse la densidad la velocidad del tránsito disminuye (Belda, 2011).

2.2.2.2. *Relación intensidad – densidad.*

Esta relación muestra que al llegar la densidad al valor cero, la intensidad es cero, pero cuando la densidad alcanza el valor máximo entonces la velocidad media y la intensidad se anulan. Entre las densidades mínimas y media la intensidad adopta valores positivos, llegando a alcanzar la intensidad un valor máximo, que se la conoce como la capacidad de la carretera; mientras que, la densidad con la que se obtiene esta intensidad máxima se la denomina densidad crítica. Cuando la densidad es menor que la densidad crítica, el tráfico se mantiene relativamente fluido y estable pero cuando la densidad es superior a la crítica se produce

inestabilidad en la circulación vehicular por generarse velocidades reducidas, llegando en casos a cero lo que provoca congestionamiento.

La gráfica de la relación intensidad densidad, se lo conoce como diagrama fundamental de tráfico, donde gráficamente la densidad es la abscisa (eje x), la intensidad es la ordenada (eje y) y la velocidad media es la pendiente que une el origen con la máxima intensidad (Palma, 2006).

2.2.2.3. Relación velocidad - intensidad.

Esta relación se caracteriza por presentar dos valores de velocidades distintas para un solo valor de intensidad, a velocidades superiores a la velocidad media la circulación es libre y estable, y en flujos cuyas velocidades son inferiores a la velocidad media, corresponde a una circulación forzada o tráfico congestionado e inestable. (Belda, 2011).

2.3. Variables de segundo orden

2.3.1. Niveles de servicio para carreteras de dos carriles.

El Highway Capacity Manual (2010) mide la calidad del flujo vehicular, mediante niveles de Servicio, considerando para el análisis la intensidad de tráfico del carril opuesto, la topografía y geometría de la vía.

Las carreteras de dos carriles en sentidos opuestos, no están divididas con elementos o estructuras, lo que permite realizar maniobras de adelantamiento con el uso del carril opuesto siempre que la visibilidad y el flujo vehicular del carril opuesto lo permita, en estas carreteras a medida que aumentan los volúmenes de tráfico y las restricciones geométricas, se disminuye la capacidad de adelantar provocando la formación de pelotones generando demora en el desplazamiento de los usuarios (Talamantes, 2016).

El nivel de servicio es una representación de la percepción del conductor del entorno que tiene una mínima relación entre el costo de crear ese entorno con el de operar en la vía. El manual de capacidades de carreteras (HCM, 2010) y el Libro Verde 2011 (AASHTO, 2011) sugieren el cumplimiento de una condición relacionada con el nivel de servicio, para ello los parámetros que considera son el porcentaje de tiempo consumido en el seguimiento de otro vehículo (PTSF) y la velocidad media espacial (ATS).(Valencia, 2016).

El Highway Capacity Manual (2010), clasifica a las carreteras de dos carriles en tres clases.

Clase I: En la carretera clase I, los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas, este tipo de carreteras generalmente son rutas interurbanas importantes, arterias principales que conectan a los principales generadores de tráfico, son rutas de enlace a principales redes de carreteras estatales o nacionales.

Clase II: Son carreteras de dos carriles en las que los conductores, no necesariamente esperan viajar a altas velocidades, son carreteras que funcionan como rutas recreativas que no son arterias primarias, o que pasan a través de terrenos accidentados y no es posible circular a velocidades elevadas, las vías clase II a menudo son usadas para viajes relativamente cortos, para los cuales la visita turística juega un papel importante.

Clase III: Esta clase de carretera generalmente sirve a zonas desarrolladas, son carreteras de clase I o clase II, que conecta a ciudades pequeñas y de elevada área recreativa, en esta clase de carretera, se mezcla el tráfico local con el tránsito externo y con densidad de puntos de accesos no señalizados que superan a las zonas rurales, el análisis para esta clase de carretera, se basa en la modificación del método de carreteras rurales desarrollado por el departamento de transporte de Florida (FDOT)., esta modificación no ha sido sometida a calibración, y se fundamenta en el procedimiento desarrollado y adoptado por el FDOT, se presenta como un procedimiento alternativo, sin embargo se integra en este manual y no se analiza por separado (Transportation Research Board, 2010).

Para determinar la capacidad y nivel de servicio en terreno montañoso, o en vías con pendientes de 3% o más que cubren una longitud de 0.97km o más, se deben analizar como pendientes específicas, considerando todos los ascensos en terrenos montañosos, si la pendiente presenta variaciones se debe analizar como el promedio calculado de la división entre el total del cambio de elevación para el total de la longitud de la pendiente, expresado en porcentaje (Cerquera, 2007).

El análisis del nivel de servicio se lo realiza en ambas direcciones por separado tomando en consideración las pendientes de ascenso y descenso, los parámetros que definen el nivel de servicio y capacidad son el ATS: velocidad media de viaje, PTSF: porcentaje de tiempo en seguimiento y PFFS: Porcentaje de velocidad libre (Talamantes, 2016).

Según (Naranjo, 2008), las carreteras se clasifican por su topografía en:

Llano: se denomina a las carreteras que se encuentran en terrenos generalmente planos con pendientes menores al 3%.

Ondulado: se llama a las carreteras cuyas características de trazado tiene pendientes longitudinales entre el 3% y 6%.

Montañoso: Se denomina a las carreteras que presentan una pendiente entre el 6% y 8%.

Escarpado: Son las carreteras que presentan pendiente superiores al 8%.

El Manual de capacidad de carreteras (HCM, 2010) en condiciones ideales de una vía, establece una capacidad base de 3200 veh/h para vías de dos carriles en sentidos opuestos de circulación y 1700 veh/h en el análisis de un carril; no obstante, esta tasa de flujo está expuesta a modificarse ya sea por la composición del tránsito, es decir por presencia de vehículos pesados, por la topografía del terreno (clasificación montañoso, plano, ondulado, etc.), o por el factor de hora pico (mayor volumen de tránsito en una determinada hora).

Las condiciones ideales para una vía de dos carriles, debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Ancho de carriles: 3,66 m.
- Bermas de 1,83 m o más.
- Inexistencia de tramos con prohibición de adelantamiento.
- No existencia de vehículos pesados.
- Terreno plano
- Ninguna restricción al tránsito principal por algún tipo de control o vehículos que giren.

El Highway Capacity Manual (HCM, 2010) establece para carreteras de dos carriles seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van desde el óptimo al inferior. Las condiciones de operación de estos niveles para sistemas viales de circulación continua se ilustran a continuación.

Los niveles de servicio A, B, C y D, se definen a partir de ciertos valores de la velocidad, tiempo de recorrido, libertad de maniobras, interrupciones en la circulación, comodidad y seguridad vial. El nivel E corresponde a situaciones próximas a la saturación, y el F, se produce cuando por haberse rebasado la capacidad de la vía, las condiciones son inestables y tanto la velocidad como la intensidad pueden fluctuar considerablemente.

2.3.1.1. Nivel de servicio A.

Los conductores pueden experimentar velocidades altas de operación en las carreteras de clase I, no presentan dificultad para adelantar, el flujo es libre, rara vez se presenta pelotones de tres o más vehículos. En las carreteras de clase II se espera tener la presencia de una pequeña cantidad de pelotones, la velocidad se ve restringida por las condiciones y características de la carretera. En las carreteras de clase III los conductores están condicionados a mantener la velocidad de operación cercana a la velocidad de flujo libre (FFS).

2.3.1.2. Nivel de servicio B.

En este nivel la demanda de adelantar corresponde a una circulación de flujo estable por tanto se presenta balanceada en las dos clases de carreteras I y II, el grado de pelotones es notable. En las carreteras de clase I se percibe la reducción de la velocidad, mientras que en las carreteras clase III es difícil mantener la velocidad de flujo libre FFS; sin embargo, la reducción de la velocidad es relativamente pequeña.

2.3.1.3. Nivel de servicio C.

Los vehículos viajan en su mayor parte en pelotones y la velocidad se reduce notoriamente en las tres clases de carreteras, el flujo todavía es estable

2.3.1.4. Nivel de servicio D.

En este nivel los pelotones se incrementan significativamente y la demanda de adelantamiento es elevada en las carreteras de Clase I y II, acercándose la capacidad de adelantamiento a cero, se presenta un alto porcentaje de pelotones, el PTSF es significativo y la velocidad de flujo libre (FFS) se presenta disminuido.

2.3.1.5. Nivel de servicio E.

En este nivel la intensidad de tráfico es próxima a la capacidad o límite de la vía, los adelantamientos en las carreteras clase I y II son imposibles, el PTSF es mayor al 80%, las velocidades se ven reducidas a un valor bajo. En las carreteras de clase III la velocidad es

menor a $2/3$ de la velocidad de flujo libre (FFS) ($v < 2/3 \text{FFS}$), el límite inferior de este nivel representa la capacidad.

2.3.1.6. Nivel de servicio F.

Se presenta cuando el flujo de demanda en una o en ambas direcciones excede la capacidad de la vía, las condiciones de operación son extremadamente inestables, existe una gran congestión en todas las clases de carreteras de dos carriles (Transportation Research Board, 2010).

La Tabla 1. Presenta los niveles de servicio para carreteras de sentidos opuestos.

Tabla 1. Niveles de servicio para carreteras de dos carriles

NIVEL DE SERVICIO	CLASE I		CLASE II	CLASE III
	ATS VELOCIDAD DE VIAJE km/h	PTSF TIEMPO DE DEMORA %	PTSF TIEMPO DE DEMORA %	PFFS VELOCIDAD FLUJO LIBRE %
A	>88,55	≤ 35	≤ 40	> 91,7
B	>80,50-88,55	>35 - 50	>40 - 55	>83,3 - 91,7
C	>72,45-80,50	>50 - 65	>55 - 70	>75 - 83,3
D	>64,40-72,45	>65 - 80	>70 - 85	>66,7 - 75
E	$\leq 64,40$	> 80	> 85	$\leq 66,7$
F	-	-	-	-

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

2.3.2. Capacidad.

Se considera que la capacidad es el máximo número de vehículos que pueden transitar por una vía en una unidad de tiempo determinado, la capacidad evalúa la suficiencia y la calidad de una vía, lo que indica que es una medida cualitativa y cuantitativa.(Kraemer et al., 2004).

Entre las aplicaciones de los resultados del nivel de servicio de una vía, está el de solucionar uno de los problemas que presentan las carreteras de dos carriles, como es la presencia de pelotones de vehículos generados por diferentes causas, sea por el desarrollo de potencia de los vehículos, la no existencia de zonas de rebase, pendientes pronunciadas o mínimos radios de curvaturas, para lo que se ha propuesto la modificación de la infraestructura existente, a través de cambios en los diseños que permiten a los vehículos realizar adelantamientos mediante carriles de ascenso, apartaderos, tramos de tres o cuatro carriles, circulación por berma y carreteras con un carril de adelantamiento (Valencia, 2016).

Las velocidades de los vehículos pesados relacionándola con el índice de accidentalidad la estudió Glennon (1970), dedujo que este indicador se incrementa al reducirse la velocidad de los camiones respecto al resto del tránsito que supera los 15km/h, lo que ha permitido justificar la implementación de carriles de ascenso a fin de mejorar la seguridad (Valencia, 2016).

2.4. Parámetros para el cálculo de capacidad y nivel de servicio

2.4.1. Velocidad de punto.

Es la velocidad a la cual un vehículo pasa por un punto en la vía, tiene la finalidad de medir las características de la velocidad en un lugar específico, a esta velocidad también se la denomina velocidad instantánea, se puede obtener con la utilización de contadores mecánicos (Ocoró, 2014).

2.4.2. Velocidad media temporal.

Se llama velocidad temporal a la media aritmética de las velocidades de punto (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

El cálculo de la velocidad temporal se realiza con la utilización de las siguientes ecuaciones:

Rango.

[Ecuación 1]

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$$

Donde,

R = rango

V máx. = valor máximo de las velocidades medidas.

V mín.= valor mínimo de las velocidades medidas

El intervalo de clase se lo calcula mediante la utilización de la estadística, ecuación 3, empleando la regla para determinar la cantidad de clases k, donde 2^k debe ser mayor al número de observaciones, como la ecuación 2 lo indica (Webster, 2001).

$$2^k \geq n$$

[Ecuación 2]

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k}$$

[Ecuación 3]

Donde,

R = rango

K = cantidad de clases o intervalos (sugerido)

n = número de observaciones.

a) Media aritmética para calcular la velocidad temporal

$$\bar{X} = Vt = \frac{\sum_{i=1}^n (fVi)}{\sum f} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde,

$\bar{X}$ = Media aritmética

Vt = Velocidad media temporal

$\sum f Vi$ = Sumatoria de todas las velocidades observadas

$\sum f$ = suma de las frecuencias para todas las clases.

b) Desviación estándar (García, 2016)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fVi) - \frac{[\sum (fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde,

S = Desviación estándar

Vt = velocidad temporal

$\sum f Vi$ = Sumatoria de todas las velocidades observadas

$\sum (f Vi)^2$ = Sumatoria de todas las velocidades observadas elevadas al cuadrado.

$\sum f$ = suma de las frecuencias para todas las clases.

Confiabilidad de la muestra.

Se calcula el error por medio del cálculo de intervalos de la velocidad media que están dados con la siguiente ecuación (Pineda, 2013).

$$Vt - \frac{K S}{\sqrt{n}} < \mu < Vt + \frac{K S}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde,

Vt= Velocidad media del muestreo

S = Desviación estándar

μ = media de la población.

n = número de observaciones.

K = número de desviación estándar, nivel de confiabilidad deseado.

El error estándar de la media estimada se define con la siguiente expresión.

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

La ecuación 7, define los límites del intervalo de confianza, con los que se obtiene la probabilidad que la velocidad media sea una medida válida.

La tabla Nro. 2, indica el nivel de confianza a partir de la constante K, nivel de confianza deseado. Un valor de la constante K= 2 provee un nivel de confianza del 95.5% y un valor k=3 un nivel de confianza de 99.7%.

Tabla 2. Nivel de confianza.

Constante K	Nivel de Confianza (%)
1.00	68.30
1.55	86.60
1.64	90.00
1.96	95.00
2.00	95.50
2.50	98.80
2.58	99.00
3.00	99.70

Fuente: (Pineda, 2013)

Elaborado por: Autora

2.4.3. Velocidad de flujo libre.

Se denomina velocidad de flujo libre FFS (free flow speed), a la velocidad promedio del flujo vehicular de una carretera en condiciones de bajo volumen vehicular, se la determina con la ecuación 8 que se detalla a continuación (Palma, 2006).

$$FFS = SFM + 0,0125 \left(\frac{V_{fi}}{f_{HV}} \right) \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Donde,

FFS = Velocidad de flujo libre estimada

SMF = Velocidad media medida en campo (km/h)

V_{fi} = Tasa de flujo observada en el período en que el dato del campo fue obtenido (veh/h)

f_{HV} = Factor de ajuste de vehículo-pesado.

2.4.4. Velocidad media ATS.

El ATS manifiesta el estado de la movilidad en una carretera de dos carriles, se refiere al tiempo medio que toman los vehículos para recorrer un segmento en un tiempo determinado. La velocidad media ATS se determina únicamente para carreteras de clase I y clase III.

Previo a la obtención de la velocidad media ATS se debe determinar el factor de ajuste para vehículos pesados y el volumen de demanda en las dos direcciones (dirección de análisis y dirección opuesta), aplicando lo que indica el manual de capacidades de carreteras (HCM, 2010) (Transportation Research Board, 2010).

2.4.4.1. Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para ATS.

El ajuste de vehículos pesados se lo aplica a dos tipos de vehículos, camiones y recreativos, los autobuses también deben ser considerados como vehículos pesados, el factor de ajuste de vehículos pesados f_{HV} ATS se lo determina con la Ecuación 9, para lo cual se obtienen los factores ET y ER de la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5. El porcentaje de vehículos pesados (PT) y porcentaje de vehículos recreativos (PR) se los determina en situ (Talamantes, 2016).

$$f(d/o)_{HV\ ATS} = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

Donde,

$f(d/o)_{HV\ ATS}$ = Factor de ajuste de vehículo pesado (f_d $_{HV\ ATS}$, en la dirección en análisis, f_o $_{HV\ ATS}$, en dirección opuesta)

PT = Porcentaje de vehículos pesados en el flujo vehicular

ET = Automóviles equivalentes a un vehículo pesado (ATS, Tabla 3 y Tabla 5)

PR = Porcentaje de vehículos recreativos en el flujo vehicular

ER = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo (ATS, Tabla 4 y Tabla 5).

Tabla 3. Equivalencia vehículos pesados (ET) pendientes específicas en ascensos

PENDIENTE%	LONGITUD PENDIENTE (KM)	Tasa de flujo de demanda direccional								
		Vvph (pc / h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	>900
≥ 3,0 < 3,5	0,4	2,6	2,4	2,3	2,2	1,8	1,8	1,7	1,3	1,1
	0,8	3,7	3,4	3,3	3,2	2,7	2,6	2,6	2,3	2
	1,2	4,6	4,4	4,3	4,2	3,7	3,6	3,4	2,4	1,9
	1,6	5,2	5	4,9	4,9	4,4	4,2	4,1	3	1,6
	2,4	6,2	6	5,9	5,8	5,3	5	4,8	3,6	2,9
	3,2	7,3	6,9	6,7	6,5	5,7	5,5	5,3	4,1	3,5
	4,8	8,4	8	7,7	7,5	6,5	6,2	6	4,6	3,9
	≥6,4	9,4	8,8	8,6	8,3	7,2	6,9	6,6	4,8	3,7
≥ 3,5 < 4,5	0,4	3,8	3,4	3,2	3	2,3	2,2	2,2	1,7	1,5
	0,8	5,5	5,3	5,1	5	4,4	4,2	4	2,8	2,2
	1,2	6,5	6,4	6,5	6,5	6,3	5,9	5,6	3,6	2,6
	1,6	7,9	7,6	7,4	7,3	6,7	6,6	6,4	5,3	4,7
	2,4	9,6	9,2	9	8,9	8,1	7,9	7,7	6,5	5,9
	3,2	10,3	10,1	10	9,9	9,4	9,1	8,9	7,4	6,7
	4,8	11,4	11,3	11,2	11,2	10,7	10,3	10	8	7
	≥6,4	12,4	12,2	12,2	12,1	11,5	11,2	10,8	8,6	7,5
≥ 4,5 < 5,5	0,4	4,4	4	3,7	3,5	2,7	2,7	2,7	2,6	2,5
	0,8	6	6	6	6	5,9	5,7	5,6	4,6	4,2
	1,2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	1,6	9,2	9,2	9,1	9,1	9	9	9	8,9	8,8
	2,4	10,6	10,6	10,6	10,6	10,5	10,4	10,4	10,2	10,1
	3,2	11,8	11,8	11,8	11,8	11,6	11,6	11,5	11,1	10,9
	4,8	13,7	13,7	13,6	13,6	13,3	13,1	13	11,9	11,3
	≥6,4	15,3	15,3	15,2	15,2	14,6	14,2	13,8	11,3	10
≥ 5,5 < 6,5	0,4	4,8	4,6	4,5	4,4	4	3,9	3,8	3,2	2,9
	0,8	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
	1,2	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
	1,6	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,2	10,1
	2,4	11,9	11,9	11,9	11,9	11,8	11,8	11,8	11,7	11,6
	3,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5
	4,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,3	14,3	14,2	14,1
	≥6,4	15,4	15,4	15,3	15,2	15,2	15,2	15,1	14,9	14,8
≥ 6,5	0,4	5,1	5,1	5	5	4,8	4,7	4,7	4,5	4,4
	0,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	1,2	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
	1,6	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,3	10,2
	2,4	12	12	12	12	11,9	11,9	11,9	11,8	11,7
	3,2	12,9	12,9	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,7	12,6
	4,8	14,5	14,5	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2
	≥6,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,3	15,3	15,3	15,2	15,1

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

Tabla 4. Equivalencia vehículos pesados y recreativos (ER) pendientes en ascensos

PENDIENTE %	LONGITUD PENDIENTE (KM)	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (pc / h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	>900
≥ 3,0 < 3,5	≤ 0,40	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1
	> 0,40 ≤ 1,21	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1	1	1	1
	>1,21 ≤ 2,01	1,3	1,2	1,2	1,1	1	1	1	1	1
	> 2,01 ≤ 3,62	1	1,3	1,2	1,1	1	1	1	1	1
	> 3,62	1,5	1,4	1,3	1,2	1	1	1	1	1
≥ 3,5 < 4,5	≤1,21	1,3	1,2	1,2	1,1	1	1	1	1	1
	>1,21 ≤5,63	1,4	1,3	1,2	1,1	1	1	1	1	1
	>5,63	1,5	1,4	1,3	1,2	1	1	1	1	1
≥ 4,5 < 5,5	≤4,02	1,5	1,4	1,3	1,2	1	1	1	1	1
	>4,02	1,6	1,5	1,4	1,2	1	1	1	1	1
≥ 5,5 < 6,5	≤1,21	1,5	1,4	1,3	1,1	1	1	1	1	1
	>1,21 ≤4,02	1,6	1,5	1,4	1,2	1	1	1	1	1
	>4,02 ≤5,63	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	1	1
	>5,63	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
≥ 6,5	≤4,02	1,6	1,5	1,4	1,2	1	1	1	1	1
	>4,02 ≤5,63	1,6	1,5	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

Tabla 5. Equivalencia de vehículos pesados y recreativos, ET y ER en pendientes descendentes

TIPO DE VEHÍCULO	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (veh/h)	Terreno plano y pendientes específicos en descensos	Terrenos Ondulados
CAMIONES ET	≤ 100	1,90	2,70
	200	1,50	2,30
	300	1,40	2,10
	400	1,30	2,00
	500	1,20	1,80
	600	1,10	1,70
	700	1,10	1,60
	800	1,10	1,40
	≥ 900	1,00	1,30
RVS, ER	Todos los flujos	1,00	1,10

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

La mayoría de las pendientes específicas descendentes se las analiza como terreno plano; sin embargo, algunas son severas como para obligar a algunos vehículos pesados acelerar, en estos casos los camioneros se ven obligados a disminuir la velocidad y aplicar el freno de motor, ya que el sistema de frenos normal no sería suficiente para reducir la velocidad y evitar que un vehículo pesado gane impulso a medida que desciende bruscamente.

Una de las condiciones que expone el manual de carreteras (HCM, 2010) y el libro verde AASHTO (2011), es que se experimenta una reducción de dos o más niveles de servicio al circular entre accesos o derivaciones y pendientes pronunciadas (Valencia, 2016). Cuando existe esta situación, el factor de ajuste del vehículo pesado $f_{HV\ ATs}$ se determina con la Ecuación 10.

$$f(d/o) \text{ HV ATS} = \frac{1}{1+PTC*PT(ETC-1)+(1-PTC)*PT(ET-1)+PR(ER-1)} \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Donde,

PTC = porcentaje de camiones que operan a velocidad de rastreo (decimal); y

ETC = equivalente de automóvil de pasajeros para camiones que operan a velocidad de rastreo (Tabla 6).

La Tabla 6 presenta los factores de ajuste ETC, equivalencia de vehículos pesados para determinar el ATS en pendientes descendientes por viajar a velocidades bajas.

Tabla 6. Equivalencia de vehículos pesados y ETC, en pendientes descendientes

Diferencia entre FFS y velocidad de arrastre del camión (km/h)	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (pc / h)								
	≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	>900
≤24,14	4,7	4,1	3,6	3,1	2,6	2,1	1,6	1	1
32,19	9,9	8,7	7,8	6,7	5,8	4,9	4	2,7	1
40,23	15,1	13,5	12	10,4	9	7,7	6,4	5,1	3,8
48,28	22	19,8	17,5	15,6	13,1	11,6	9,2	6,1	4,1
56,33	29	26	23,1	20,1	17,3	14,6	11,9	9,2	6,5

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

El Highway Capacity Manual (HCM, 2000), establece que en pendientes largas y pronunciadas el PTC se puede estimar como la cantidad total de camiones que circulan en la vía, mientras que la investigación realizada mediante aforos in situ por la dirección nacional de vialidad de Argentina, determina que el PTC podría estar definido en un rango entre el 40% y el 80% del total de vehículos pesados (González y Vela, 2016).

2.4.4.2. Demanda de flujo o tasa de flujo (Vd) para ATS.

Para obtener la intensidad de la velocidad media Vd ATS, es necesario realizar tres ajustes: factor hora de máxima demanda (FHMD), factor por pendiente (Fg), y factor ajuste por vehículos pesados de la Ecuación 10 (f HV), la demanda de tasa de flujo se la expresa mediante la Ecuación 11 (Cerquera, 2007).

$$V(d/o) \text{ ATS} = \frac{Vf d/o}{(FHMD)(f(d/o) \text{ HV ATS})(Fg \text{ ATS})} \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Donde,

$V(d/o)$ ATS = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el período de máxima demanda de 15 minutos.

Vfd/o = Volumen en la hora de máxima demanda para la dirección en análisis.

FHMD = Factor de la hora de máxima demanda.

$f(d/o)$ HV ATS = Factor de ajuste por vehículos pesados (d dirección en análisis, o en dirección opuesta)

Fg ATS = Factor de ajuste por pendiente. (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Factor de ajuste de grado Fg ATS en terreno plano y pendientes descendientes

Tasa de flujo de demanda de una dirección Vvph (veh/h)	FACTOR DE AJUSTE Fg ATS	
	Terreno plano y pendientes descendientes específicas	Terreno Ondulado
≤ 100	1,00	0,67
200	1,00	0,75
300	1,00	0,83
400	1,00	0,90
500	1,00	0,95
600	1,00	0,97
700	1,00	0,98
800	1,00	0,99
≥ 900	1,00	1,00

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

El factor de máxima demanda se determina mediante la relación del volumen que se produce en la hora pico para la tasa de volumen máxima dentro de esta hora. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

$$FHMD = \frac{\text{Volumen en la Hora de Máxima Demanda}}{\text{Volumen Máximo 15 min.}} \quad [\text{Ecuación 11a}]$$

Para el análisis de los tramos este parámetro se obtiene del procesamiento de datos con el contador neumático Metrocount 5600.

2.4.4.3. Velocidad media de viaje (ATS).

La velocidad media de viaje se la obtiene mediante la Ecuación 12, para lo cual se realiza el ajuste de zonas de no adelantamiento, factor obtenido de la Tabla 8 (Cerquera, 2007).

$$ATS_d = FFS - 0,0125(V_d + V_o) - f_{np} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Donde,

ATS = Velocidad media de viaje en la dirección de análisis. (Km/h).

FFS = Velocidad de flujo libre (km/h).

V_d = Demanda de tasa de flujo libre para determinar el ATS en la dirección de análisis.

V_o = Demanda de tasa de flujo libre para determinar el ATS en la dirección de análisis.

f_{np} = Factor de ajuste, por % zonas de no adelantamiento en dirección de análisis (Tabla 8).

Tabla 8. Factor de ajuste de grado f_{np} en terreno plano y pendientes descendientes

Tasa de flujo de demanda opuesto, V_{vp} (pc/h)	Porcentaje de zonas de no adelantar (f_{np}) %				
	≤20	40	60	80	100
FFS ≥ 105 Km/h					
≤100	1,1	2,2	2,8	3	3,1
200	2,2	3,3	3,9	4	4,2
400	1,6	2,3	2,7	2,8	2,9
600	1,4	1,5	1,7	1,9	2
800	0,7	1	1,2	1,4	1,5
1000	0,6	0,8	1,1	1,1	1,2
1200	0,6	0,8	0,9	1	1,1
1400	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
≥1600	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
FFS = 96,60 Km/h					
≤100	0,7	1,7	2,5	2,8	2,9
200	1,9	2,9	3,7	4	4,2
400	1,4	2	2,5	2,7	3,9
600	1,1	1,3	1,6	1,9	2
800	0,6	0,9	1,1	1,3	1,4
1000	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2
1200	0,5	0,7	0,9	0,9	1,1
1400	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9
≥1600	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
FFS = 88,50 Km/h					
≤100	0,5	1,2	2,2	2,6	2,7
200	1,5	2,4	3,5	3,9	4,1
400	1,3	1,9	2,4	2,7	2,8
600	0,9	1,1	1,6	1,8	1,9
800	0,5	0,7	1,1	1,2	1,4
1000	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
1200	0,5	0,6	0,7	0,9	1
1400	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
≥1600	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
FFS = 80,50 Km/h					
≤100	0,2	0,7	1,9	2,4	2,5
200	1,2	2	3,3	3,9	4
400	1,1	1,6	2,2	2,6	2,7
600	0,6	0,9	1,4	1,7	1,9
800	0,4	0,6	0,9	1,2	1,3
1000	0,4	0,4	0,7	0,9	1,1
1200	0,4	0,4	0,7	0,8	1
1400	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8
≥1600	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
FFS ≤ 72,40 Km/h					
≤100	0,1	0,4	1,7	2,2	2,4
200	0,9	1,6	3,1	3,8	4
400	0,9	0,5	2	2,5	2,7
600	0,4	0,3	1,3	1,7	1,8
800	0,3	0,3	0,8	1,1	1,2
1000	0,3	0,3	0,6	0,8	1,1
1200	0,3	0,3	0,6	0,7	1
1400	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7
≥1600	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

2.4.5. Porcentaje de tiempo de demora en seguimiento (PTSF).

La estimación del porcentaje de tiempo de demora en seguimiento (PTSF) se aplica únicamente en carreteras de dos carriles clase I y clase II, para carreteras de dos carriles clase III, el nivel de servicio no se analiza mediante el cálculo del PTSF (Talamantes, 2016).

2.4.5.1. Factor de ajuste para vehículos pesados (*f* HV) para PTSF.

Para obtener el factor de ajuste *f* HV, se utilizan los factores ET y ER, que corresponden a vehículos pesados y recreativos, mismos que se obtienen de la Tabla 9 y Tabla 10 para ser aplicando en la Ecuación 13.

$$f(d/o) \text{ HV PTSF} = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

Donde,

f(d/o) HV PTSF = Factor de ajuste vehículos pesados, (*f*d=dirección de análisis, *f*o=opuesta)

PT = Porcentaje de vehículos pesados en el flujo vehicular

ET = Automóviles equivalentes a un vehículo pesado (PTSF, Tabla 9 y Tabla 10)

PR = Porcentaje de vehículos recreativos en el flujo vehicular

ER = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo (PTSF, Tabla 9 y Tabla 10)

Tabla 9. Equivalencia vehículos pesados y recreativos, ET y ER en pendientes ascendentes

PENDIENTE %	LONGITUD PENDIENTE (KM)	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (pc / h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	>900
EQUIVALENCIA DE VEHÍCULOS PESADOS (ET)										
≥ 3,0 < 3,5	≤3,22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4,83	1,5	1,3	1,3	1,2	1	1	1	1	1
	≥6,44	1,6	1,4	1,3	1,3	1	1	1	1	1
≥ 3,5 < 4,5	≤ 1,61	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,41	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1	1
	3,22	1,6	1,3	1	1	1	1	1	1	1
	4,83	1,8	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	≥ 6,44	2,1	1,9	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
≥ 4,5 < 5,5	≤ 1,61	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,41	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	3,22	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
	4,83	2,4	2,2	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
	≥ 6,44	3,5	3,1	2,9	2,7	2,1	2	2	1,8	1,8
≥ 5,5 < 6,5	≤ 1,21	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,61	1	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	2,41	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	3,22	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
	4,83	3,4	3,2	3	2,9	2,4	2,3	2,3	1,9	1,9
	≥ 6,44	4,5	4,1	3,9	3,7	2,9	2,7	2,6	2	2
≥ 6,5	≤0,81	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,21	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1	1
	1,61	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4
	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2	2	2	2	2
	3,22	2,9	2,8	2,7	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
	4,83	4,2	3,9	3,7	3,6	3	2,8	2,7	2,2	2,2
	≥ 6,44	5	4,6	4,4	4,2	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5
EQUIVALENCIA DE VEHÍCULOS LIGEROS Y RECREATIVOS RVS (ER)										
TODOS	ALL	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

Tabla 10. Equivalencia de vehículos pesados y recreativos, ET y ER pendientes descendentes

TIPO DE VEHÍCULO	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (veh/h)	Terreno plano y pendientes específicas en	Terrenos Ondulados
CAMIONES ET	≤ 100	1,1	1,9
	200	1,1	1,8
	300	1,1	1,7
	400	1,1	1,6
	500	1	1,4
	600	1	1,2
	700	1	1
	800	1	1
	≥ 900	1	1
RVS, RS	Todos los flujos	1	1

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

2.4.5.2. Demanda de flujo o tasa de flujo (Vd) para PTSF.

La demanda de flujo se la determina mediante el uso del factor de ajuste por pendientes, obtenido de la Tabla 11 y Tabla 12, con la aplicación de la Ecuación 14.

$$V(d/o)_{PTSF} = \frac{Vfd/o}{(FHMD)(f(d/o)_{HV\ PTSF})(Fg\ PTSF)} \quad [Ecuación\ 14]$$

Donde,

$V(d/o)_{PTSF}$ = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el período de máxima demanda de 15 minutos (Vd_{PTSF} en la dirección de análisis, Vo_{PTSF} o en la dirección opuesta).

Vfd/o = Volumen en la hora de máxima demanda para la dirección en análisis.

FHMD = Factor de la hora de máxima demanda.

$f(d/o)_{HV\ PTSF}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados (d dirección en análisis y opuesta).

Fg_{PTSF} = Factor de ajuste por pendiente. (Ver Tabla 11 y Tabla 12).

Tabla 11. Ajuste por pendiente ($f_g\ PTSF$) en pendientes específicas en ascensos

PENDIENTE %	LONGITUD PENDIENTE (KM)	Tasa de flujo de demanda direccional Vvph (pc / h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	>900
≥ 3,0 < 3,5	0,4	1	0,99	0,97	0,96	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	0,8	1	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,2	1	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,6	1	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	2,4	1	0,99	0,98	0,97	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	3,2	1	0,99	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	4,8	1	1	0,98	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
≥6,4	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97	
≥ 3,5 < 4,5	0,4	1	0,99	0,98	0,97	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
	0,8	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95
	1,2	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
	1,6	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	2,4	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	3,2	1	1	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	4,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
≥6,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
≥ 4,5 < 5,5	0,4	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,97	0,97
	≥0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
≥ 5,5	TODO	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

Tabla 12. Ajuste por pendiente (f_g PTST) en pendientes específicas en descendentes

Tasa de flujo de demanda de una dirección, Vvph (veh/h)	FACTOR DE AJUSTE f_g PTSF	
	Terreno plano y pendientes	Terreno Ondulado
≤ 100	1,00	0,73
200	1,00	0,80
300	1,00	0,85
400	1,00	0,90
500	1,00	0,96
600	1,00	0,97
700	1,00	0,99
800	1,00	1,00
≥ 900	1,00	1,00

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

2.4.5.3. Porcentaje de demora en tiempo de seguimiento (PTSF).

Para el cálculo del porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSF) se determina el porcentaje base del tiempo de la demora (BPTSF), mediante la Ecuación 15.

$$BPTSF = 100(1 - e^{a Vd^b}) \quad [\text{Ecuación 15}]$$

Donde,

Vd = Tasa de flujo equivalente a vehículos livianos, período de máxima demanda de 15 min.

a y b = coeficiente para determinar el porcentaje de demora en seguimiento (Tabla 13)

Tabla 13. Coeficientes a y b para estimar el porcentaje de demora

Caudal de demanda opuesto v_o (pc / h)	a	b
≤ 200	-0,0014	0,973
400	-0,0022	0,923
600	-0,0033	0,87
800	-0,0045	0,833
1000	-0,0049	0,829
1200	-0,0054	0,825
1400	-0,0058	0,821
≥ 1600	-0,0062	0,817

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

Mediante la Ecuación 16, se calcula el porcentaje de demora en seguimiento (PTSF) de conformidad con el manual de capacidades de carreteras (HCM, 2010).

$$PTSF = BPTSF + f_{np} PTSF * \left(\frac{Vd PTSF}{Vd PTSF + v_o PTSF} \right) \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Donde,

PTSF = Porcentaje de demora en tiempo (km/h)

BPTSF = Porcentaje base del tiempo de demora para ambas direcciones de viaje combinado.

f_{np} = Factor de ajuste por porcentaje de adelantamiento (Tabla 14) para PTSF

Tabla 14. Factor de ajuste (f_{np} PTSF) por porcentaje en zonas de no adelantar

tasa de flujo bidireccional $v=vo+vd$ (veh/h)	Reducción de la velocidad media en zonas de no adelantamiento (f_{np}) %					
	0	20	40	60	80	100
División por sentido de circulación 50/50						
≤ 200	9	29,2	43,4	49,4	51	52,6
400	16,2	41	54,2	61,6	63,8	65,8
600	15,8	38,2	47,8	53,2	55,2	56,8
800	15,8	33,8	40,4	44	44,8	46,6
1400	12,8	20	23,8	26,2	27,4	28,6
2000	10	13,6	15,8	17,4	18,2	18,8
2600	5,5	7,7	8,7	9,5	10,1	10,3
3200	3,3	4,7	5,1	5,5	5,7	6,1
División por sentido de circulación 60/40						
≤ 200	11	30,6	41	51,2	52,3	53,5
400	14,6	36,1	44,8	53,4	55	56,3
600	14,8	36,9	44	51,1	52,8	54,6
800	13,6	28,2	33,4	38,6	39,9	41,3
1400	11,8	18,9	22,1	25,4	26,4	27,3
2000	9,1	13,5	15,6	16	16,8	17,3
2600	5,9	7,7	8,6	9,6	10	10,2
División por sentido de circulación 70/30						
≤ 200	9,9	28,1	38	47,8	48,5	49
400	10,6	30,3	38,6	46,7	47,7	48,8
600	10,9	30,9	37,5	43,9	45,4	47
800	10,3	23,6	28,4	33,3	34,5	35,5
1400	8	14,6	17,7	20,8	21,6	22,3
2000	7,3	9,7	11,7	13,3	14	14,5
División por sentido de circulación 80/20						
≤ 200	8,9	27,1	37,1	47	47,4	47,9
400	6,6	26,1	34,5	42,7	43,5	44,1
600	4	24,5	31,3	38,1	39,1	40
800	3,8	18,5	23,5	28,4	29,1	29,9
1400	3,5	10,3	13,3	16,3	16,9	32,2
2000	3,5	7	8,5	10,1	10,4	10,7
División por sentido de circulación 90/10						
≤ 200	4,6	24,1	33,6	43,1	43,4	43,6
400	0	20,2	28,3	36,3	36,7	37
600	-3,1	16,8	23,5	30,1	30,6	31,1
800	-2,8	10,5	15,2	19,9	20,3	20,8
1400	-1,2	5,5	8,3	11	11,5	11,9

Fuente: Transportation Research Board (2010)

Elaborado por: Autora

2.5. Resumen y conclusión.

En el presente capítulo se detalla todas y cada una de las ecuaciones y tablas que contienen los factores de ajuste necesarios que propone el manual de carreteras (HCM, 2010), para determinar los parámetros ATS y PTSF que determinan las variables de segundo orden (nivel

de servicio y capacidad de la vía), en carreteras de dos carriles clase I por pendientes específicas.

La aplicación del método por pendientes específicas, requiere contar con todos los datos de las características geométricas de la vía, como variación de pendientes, zonas de no rebase, zonas de derivaciones de tráfico, estado de la vía, entre otras.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Introducción.

Para el presente trabajo de investigación se realizó aforos automáticos con el empleo del equipo de conteo tipo neumático (metrocount 5600), el cual se basa en un mecanismo automático que detecta el paso de vehículos, su conteo y posterior almacenamiento.

Para el estudio se dividió la vía Loja – Catamayo en tres tramos considerando las derivaciones a centros poblados y centros turísticos que presenta esta. Una vez sectorizado se establecieron las estaciones primarias de conteo, lugares en el que se colocó e instalo el contador metrocount durante un período de 7 continuos durante las 24 horas.

Una vez obtenidas las variables de tráfico intensidad, densidad y velocidad en los tres tramos de la vía Loja – Catamayo, en base a los diagramas fundamentales de tráfico que describe el Highway Capacity Manual (HCM, 2000), se construyen las gráficas que relacionan: intensidad-densidad, velocidad-densidad y velocidad-intensidad, para su interpretación y análisis, con lo que se define el nivel de servicio y capacidad de la vía en estudio.

Con fines comparativos, se aplica la metodología de pendientes específicas que propone el Highway Capacity Manual (HCM, 2010) en el capítulo 15, capacidad y nivel de servicio para carreteras de dos carriles. Previo a la aplicación de esta metodología se obtiene la velocidad media de la muestra, utilizando las herramientas de la estadística de tendencia de medida central y de dispersión como media aritmética y desviación estándar, para la aplicación del método de pendientes específicas es necesario conocer la topografía de la vía como longitudes, variación de pendientes, zonas de no adelantamiento, cuyos valores fueron proporcionados por el MTOP Loja.

Una vez clasificada la vía en estudio como clase I, se procede a obtener los parámetros que establecen el nivel de servicio y capacidad, el primer paso es calcular la velocidad de flujo libre (FFS), luego se obtiene el factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}) y el caudal de demanda (V_i) para cada sentido o dirección de la vía en estudio, parámetros necesarios para obtener la **velocidad de desplazamiento promedio (ATS)**. De igual manera se obtienen los factores de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}), el caudal de demanda (V_i), para cada sentido o dirección de la vía y el porcentaje base de seguimiento (BTPSF) para finalmente determinar el **porcentaje de cola de los vehículos (PTSF)**.

Finalmente se realiza la comparación entre los dos métodos utilizados en la investigación y se emite las respectivas conclusiones y recomendaciones.

El presente trabajo utiliza la metodología de investigación cuantitativa, la cual se fundamenta en el análisis de las cantidades, usando un estudio numérico que se relaciona con fundamentos estadísticos, y el tipo de investigación analítica, basada en realizar comparación de variables entre grupos de estudio sin alterar su naturaleza (Campos, 2017).

A continuación a través de la Figura 3, se indica la secuencia de aplicación de las gráficas de relación de variables y el Highway Capacity Manual (2010).

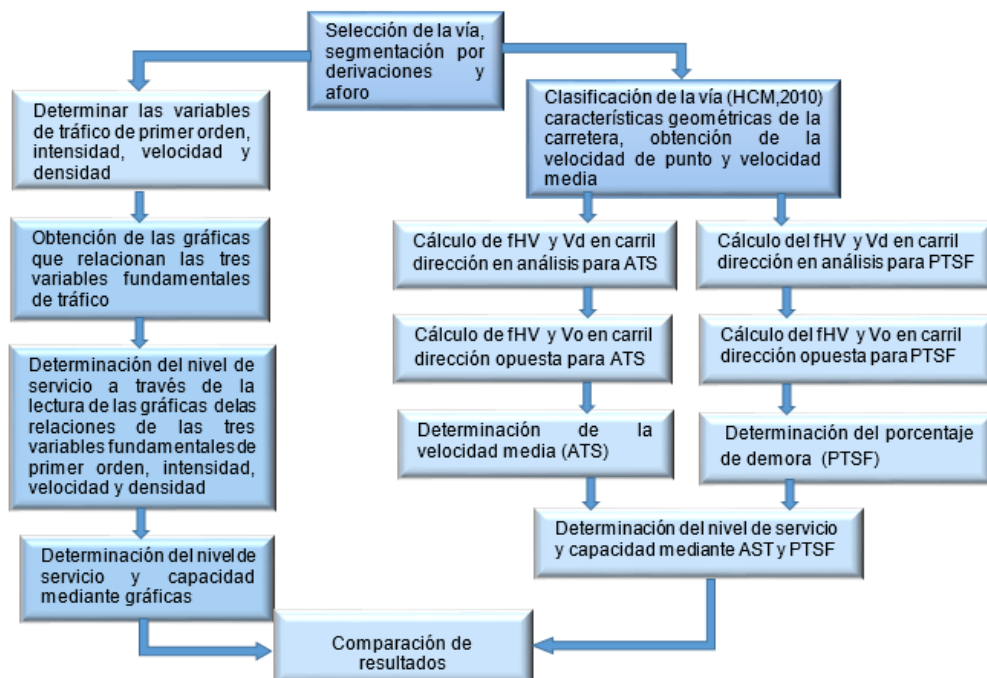


Figura 3. Metodología para determinar las variables de tráfico de primer y segundo orden (nivel de servicio y capacidad)
Fuente: (HCM, 2010)
Elaborado por: Autora

3.2. Antecedentes.

La vía Loja – Catamayo tiene una extensión de 33,30 km y está conformada de dos carriles, de dirección opuesta, con un ancho vía de 9,70 m en pavimento flexible, es parte de la red vial estatal conforme a las normas del Decreto Ejecutivo No. 860, publicado en el Registro Oficial 186 de 18 de diciembre de 2000 y Acuerdo Ministerial No. 001 de 12 de enero de 2001, red vial conformada por doce vías primarias que forma parte de la troncal de la sierra E35 ruta Rumichaca - Quito - Ambato - Riobamba - Cuenca - Loja - Macará, de 781Km de

longitud y E50 transversal sur, Huaquillas - Arenillas - Catamayo - Loja - Zamora; dentro de las cuales se incluye la vía Loja - Catamayo.

3.3. Ubicación del proyecto.

La vía en estudio Loja-Catamayo se encuentra ubicada al sur del Ecuador en el cantón y provincia de Loja. La Tabla 15 resume la ubicación georeferenciada, la Figura 4 muestra el trazado de la vía Loja- Catamayo, con la utilización del google earth.

Tabla 15. Ubicación geo referenciada de la vía Loja - Catamayo

UBICACIÓN	COORDENADAS	
	X	Y
INICIO	17 UTM 698 798,00 E	9 559 982,00 S
FINAL	17 UTM 683 231,42 E	9 559 224,20 S

Fuente: Datos tomados con GPS

Elaborado por: Autora

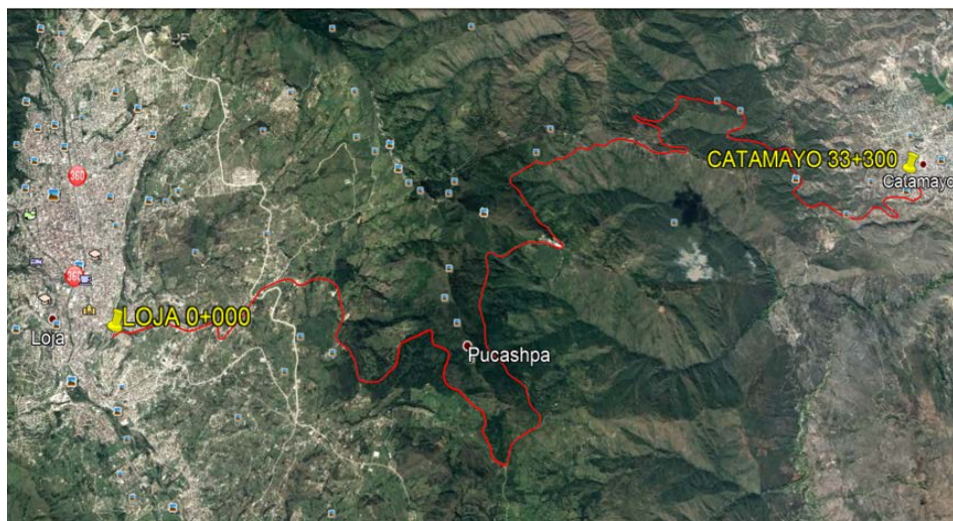


Figura 4. Vía Loja Catamayo

Fuente: Imagen tomada de google earth

Elaborado por: Autora

3.4. Características de la vía

3.4.1. Datos de las pendientes de la vía Loja – Catamayo.

La Tabla 16, presenta todas las pendientes del tramo 1: km 4+000 – km 11+300, de la vía Loja - Catamayo, obtenidas de la topografía proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2016), levantamiento realizado para la ampliación de la vía a cuatro carriles.

Tabla 16. Pendientes en tramo 1 Loja-Catamayo km4+000-km11+300

ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	PENDIENTE %	LONGITUD (m)	ELEVACIÓN LONG. * PEND.
4+000,00	4+800,00	-2,11%	800,00	-16,88
4+800,00	5+900,00	4,14%	1100,00	45,54
5+900,00	6+300,00	5,87%	400,00	23,48
6+300,00	6+750,00	7,65%	450,00	34,43
6+750,00	7+000,00	8,71%	250,00	21,78
7+000,00	7+600,00	7,96%	600,00	47,76
7+600,00	8+200,00	2,18%	600,00	13,08
8+200,00	9+100,00	6,30%	900,00	56,70
9+100,00	9+600,00	3,09%	500,00	15,45
9+600,00	10+350,00	6,70%	750,00	50,25
10+350,00	10+900,00	3,42%	550,00	18,81
10+900,00	11+150,00	7,90%	250,00	19,75
11+150,00	11+280,00	4,28%	130,00	5,56
11+280,00	11+300,00	1,17%	20,00	0,23
TOTAL:			7300,00	335,94
			PENDIENTE	4,6%
			LONGITUD	7,30KM

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2016)
Elaborado por: Autora

La Tabla 17 y Tabla 18 contienen las pendientes de los tramos 2: km 11+300 - km 22+000 y 3: km 22+000 - km 33+300 respectivamente.

Tabla 17. Pendientes en tramo 2 Loja-Catamayo km11+300-km22+000

ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	PENDIENTE %	LONGITUD (m)	ELEVACIÓN LONG. * PEND.
11+300,00	12+250,00	-6,87%	950,00	-65,27
12+250,00	12+800,00	-5,13%	550	-28,22
12+800,00	13+800,00	0,50%	1000	5,00
13+800,00	14+300,00	1,88%	500	9,40
14+300,00	14+500,00	-1,46%	200	-2,92
14+500,00	14+600,00	0,00%	100	0,00
14+600,00	14+800,00	1,17%	200	2,34
14+800,00	14+900,00	0,00%	100	0,00
14+900,00	15+200,00	-2,43%	300	-7,29
15+200,00	15+420,00	-0,52%	220	-1,14
15+420,00	15+700,00	-6,67%	280	-18,68
15+700,00	15+940,00	-0,88%	240	-2,11
15+940,00	16+420,00	-4,61%	480	-22,13
16+420,00	16+800,00	-8,50%	380	-32,30
16+800,00	17+200,00	-0,76%	400	-3,04
17+200,00	17+550,00	-5,43%	350	-19,01
17+550,00	17+900,00	-4,27%	350	-14,95
17+900,00	18+340,00	-6,70%	440	-29,48
18+340,00	19+100,00	-4,37%	760	-33,21
19+100,00	20+000,00	-7,55%	900	-67,95
20+000,00	20+800,00	-6,80%	800	-54,40
20+800,00	21+700,00	-7,85%	900	-70,65
21+700,00	22+000,00	-6,73%	300	-20,19
TOTAL:		-71,64%	10700,00	-476,18
			PENDIENTE	-4,5%
			LONGITUD	10,70KM

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2016)
Elaborado por: Autora

Tabla 18. Pendientes en tramo 3 Loja-Catamayo km22+000-km33+300

ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	PENDIENTE %	LONGITUD (m)	ELEVACIÓN LONG. * PEND.
22+000,00	22+100,00	0,00%	100	0,00
22+100,00	22+500,00	-6,90%	400	-27,60
22+500,00	22+700,00	-5,62%	200	-11,24
22+700,00	22+900,00	-4,66%	200	-9,32
22+900,00	23+400,00	-8,36%	500	-41,80
23+400,00	23+600,00	-5,17%	200	-10,34
23+600,00	24+100,00	-7,93%	500	-39,65
24+100,00	24+500,00	-8,62%	400	-34,48
24+500,00	26+600,00	-7,99%	2100	-167,79
26+600,00	26+900,00	-8,68%	300	-26,04
26+900,00	27+450,00	-5,08%	550	-27,94
27+450,00	29+000,00	-7,87%	1550	-121,99
29+000,00	29+500,00	-6,87%	500	-34,35
29+500,00	30+100,00	-5,62%	600	-33,72
30+100,00	30+500,00	-6,20%	400	-24,80
30+500,00	30+800,00	-4,89%	300	-14,67
30+800,00	31+950,00	-7,35%	1150	-84,53
31+950,00	33+000,00	-5,94%	1050	-62,37
33+000,00	33+300,00	-7,97%	300	-23,91
TOTAL:		-96,18%	11300,00	-796,53
PENDIENTE				-7,0%
LONGITUD				11,30KM

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2016)
Elaborado por: Autora

La Tabla 19 contiene el resumen de las principales características de la vía en estudio.

Tabla 19. Características geométricas de la vía Loja - Catamayo

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA			
DESCRIPCIÓN	Km 4+000 - km 11+300	Km 11+300 - km 22+000	Km 22+000 - km 33+300
LONGITUD TRAMO (km)	7,30	10,70	11,30
ANCHO DE CARRIL (m)	3,65	3,65	3,65
BERMA O ESPALDÓN (m)	1,20	1,20	1,20
PENDIENTE PROMEDIO EN (%)	4,60	4,50	7,00
PRESENCIA DE CURVAS EN (%)	32,37	26,23	42,00
ZONAS DE REBASE (km)	0,75	1,30	0,80
ZONAS DE NO REBASE (%)	89,73	87,85	92,92

Fuente: (Rojas, 2017) y datos proporcionados por Ministerio de Transporte y Obras Públicas(MTOP, 2016)
Elaborado por: Autora

3.5. Localización de estaciones de conteo

En los tramos definidos para el análisis de esta vía, se fijan las estaciones primarias de conteo. La Tabla 20 presenta la ubicación georeferenciada de las estaciones primarias, la Figura 5 muestra la ubicación de las estaciones en el trazado de la vía Loja – Catamayo.

Tabla 20. Ubicación georeferenciada de estaciones de conteo

UBICACIÓN	ABSCISA Km	COORDENADAS	
		X	Y
ESTACIÓN 1	7+100	17 UTM 693 883,00 E	9 561 450,00 S
ESTACIÓN 2	12+600	17 UTM 691 534,00 E	9 562 208,00 S
ESTACIÓN 3	30+300	17 UTM 684 565,39 E	9 559 849,13 S

Fuente: Datos tomado con GPS

Elaborado por: Autora



Figura 5. Estaciones de conteo en Vía Loja - Catamayo

Fuente: Imagen tomada de google earth

Elaborado por: Autora

3.5.1. Fijación de estación primaria tramo 1: km 4+000 – km. 11+300.

La estación primaria Nro.1 se localiza en el km. 7+100 de la vía Loja – Catamayo (figura 5), se instaló el equipo metrocount 5600 para el aforo por el período del 14 al 21 de octubre de 2017 (Figura 6 y Figura 7).



Figura 6. Colocación de sensor en estación primaria Nro.1, Km 7+100

Fuente: Imagen tomada por el autor

Elaborado por: Autora



Figura 7. Estación primaria Nro. 1 en km 7+100. vía Loja - Catamayo
Fuente: Imagen tomada por el autor
Elaborado por: Autora

3.5.2. Fijación de estación primaria tramo 2: km. 11+300 – km 22+000.

La estación primaria Nro. 2, se ubica en el Km. 12+600 de la vía Loja – Catamayo (figura 5); el equipo se lo instaló durante el período del 05 al 14 de octubre de 2017 (Figura 8 y Figura 9).



Figura 8. Estación primaria Nro. 2, Km. 12+600 vía Loja - Catamayo
Fuente: Imagen tomada por el autor
Elaborado por: Autora



Figura 9. Colocación de sensores en estación primaria Nro. 2:km 12+600
Fuente: Imagen tomada por el autor
Elaborado por: Autora

3.5.3. Fijación de estación primaria tramo 3: km. 22+000 – km 33+300.

La estación primaria Nro. 3, se localizó en el Km. 30+300 de la vía Loja-Catamayo; los datos fueron tomados en el período comprendido entre el 12 al 19 de agosto del 2017 (Figura 10).



Figura 10. Estación primaria Nro. 3, Km. 30+300 vía Loja - Catamayo
Fuente: Imagen tomada por el autor
Elaborado por: Autora

3.6. Procesamiento de datos

3.6.1. Variables de primer orden.

Con el aforo realizado se determinaron las variables de primer orden: intensidad (flujo vehicular), velocidad en los tramos 1, 2 y 3 de la vía Loja – Catamayo, procesando los datos del metrocount 5600 con el software MS Report, mientras que la densidad se obtuvo aplicando la Ecuación 17 del manual Highway Capacity Manual (2010), para el día de máxima demanda.

$$Densidad(veh/km) = \frac{Intensidad(veh/h)}{Velocidad(Km/h)} \quad [Ecuación 17]$$

3.6.1.1. Datos tramo 1: km. 4+000 – km. 11+300.

Los datos de Intensidad, velocidad y densidad del tramo 1 para el período de aforo: 14 al 21 de octubre de 2017 se presentan en la tabla 21 siendo la hora de máxima demanda: 15h30-16h30 del día domingo 15/10/2017 y la máxima intensidad: 259 veh/h.

Tabla 21. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Domingo, 15 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad k=Int./Vm (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	19	15	13	10	57	59,92	0,95
1:30	16	13	12	18	59	60,93	0,97
2:30	16	10	14	17	57	63,09	0,90
3:30	18	23	23	28	92	56,88	1,62
4:30	25	29	34	33	121	58,60	2,06
5:30	39	47	41	50	177	59,47	2,98
6:30	41	45	31	50	167	58,56	2,85
7:30	51	35	38	44	168	59,02	2,85
8:30	35	45	38	44	162	60,29	2,69
9:30	52	51	52	49	204	57,44	3,55
10:30	52	50	52	54	208	58,97	3,53
11:30	53	50	63	60	226	55,98	4,04
12:30	59	54	54	66	233	60,66	3,84
13:30	55	58	58	63	234	56,66	4,13
14:30	51	56	54	54	215	59,12	3,64
15:30	61	66	67	65	259	58,65	4,42
16:30	51	58	51	55	215	59,14	3,64
17:30	49	58	55	57	219	59,79	3,66
18:30	56	58	46	48	208	52,87	3,93
19:30	54	48	55	42	199	53,13	3,75
20:30	48	46	45	33	172	56,28	3,06
21:30	40	30	37	36	143	55,71	2,57
22:30	30	37	36	28	131	56,17	2,33
23:30	19	17	18	14	68	53,62	1,27
TOTAL	990	999	987	1018			
hora máx. demanda	15:30		intensidad Máx.		259		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600.

Elaborado por: Autora

3.6.1.2. Datos tramo 2: km. 11+300 – km 22+000.

La Tabla 22 resume los datos intensidad, velocidad y densidad para el período de aforo del 05 al 14 de octubre de 2017, siendo el día de máxima demanda: viernes 06/10/2017, durante la hora pico: 14h00-15h00, máxima intensidad: 255 veh/h.

Tabla 22. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2,

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Viernes, 06 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad $k=Int./Vm$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	11	15	9	11	46	65,60	0,70
1:00	7	8	6	6	27	66,70	0,40
2:00	5	13	9	8	35	62,60	0,56
3:00	13	14	16	16	59	58,70	1,01
4:00	13	20	25	21	79	63,20	1,25
5:00	35	24	42	45	146	63,30	2,31
6:00	48	51	50	57	206	66,80	3,08
7:00	45	57	62	49	213	63,00	3,38
8:00	50	45	48	50	193	62,70	3,08
9:00	40	53	51	50	194	61,90	3,13
10:00	55	49	55	54	213	63,00	3,38
11:00	50	43	47	36	176	64,10	2,75
12:00	48	51	50	41	190	63,10	3,01
13:00	55	54	51	48	208	65,00	3,20
14:00	70	64	65	56	255	64,50	3,95
15:00	51	61	60	56	228	63,20	3,61
16:00	54	59	54	58	225	63,80	3,53
17:00	56	51	59	65	231	59,00	3,92
18:00	55	56	56	58	225	58,20	3,87
19:00	52	65	57	59	233	60,30	3,86
20:00	52	47	51	50	200	61,40	3,26
21:00	40	40	41	32	153	63,40	2,41
22:00	33	37	34	31	135	61,70	2,19
23:00	24	30	29	18	101	61,30	1,65
TOTAL	962	1007	1027	975			
hora máx. demanda	14:00				intensidad Máx.	255	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

3.6.1.3. Datos tramo 3: km. 22+000 – km 33+300.

La Tabla 23 contiene datos de intensidad, velocidad y densidad recopilados durante el período comprendido 12 al 19 de agosto de 2017 en el tramo 3, siendo el día de máxima demanda: domingo 13/08/2017, durante la hora pico: 14h30-15h30, máxima intensidad: 294 veh/h.

Tabla 23. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
*Domingo, 13 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad $k=Int./Vm$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	28	34	26	29	117	55,19	2,12
1:30	16	21	29	26	92	56,79	1,62
2:30	26	21	26	19	92	50,54	1,82
3:30	21	31	31	30	113	51,73	2,18
4:30	29	29	32	40	130	51,41	2,53
5:30	44	48	45	43	180	55,52	3,24
6:30	48	63	53	52	216	60,15	3,59
7:30	49	51	44	43	187	55,53	3,37
8:30	47	56	46	58	207	57,19	3,62
9:30	56	64	64	48	232	54,00	4,30
10:30	54	62	65	70	251	55,56	4,52
11:30	76	78	62	68	284	52,54	5,40
12:30	62	59	65	62	248	53,81	4,61
13:30	73	61	61	71	266	52,92	5,03
14:30	60	77	81	76	294	53,55	5,49
15:30	59	57	76	68	260	52,71	4,93
16:30	70	61	55	62	248	49,06	5,05
17:30	54	63	52	65	234	49,62	4,72
18:30	55	57	62	63	237	48,80	4,86
19:30	64	69	70	62	265	51,75	5,12
20:30	58	60	61	59	238	54,21	4,39
21:30	60	63	48	58	229	55,05	4,16
22:30	53	52	37	49	191	56,22	3,40
23:30	33	39	25	23	120	54,91	2,19
TOTAL	1195	1276	1216	1244			
hora máx. demanda	14:30	intensidad Máx.			294		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Los datos de las variables de primer orden de menor intensidad para los tres tramos en los diversos períodos de conteo, se adjuntan en los anexos A, B y C.

3.7. Metodología para la obtención de las variables de segundo orden

3.7.1. Obtención del nivel de servicio y capacidad, mediante las relaciones intensidad, velocidad y densidad.

Las variables intensidad, velocidad y densidad se relacionan y grafican para cada tramo de análisis, en las que se puede determinar velocidad media, densidad crítica y máxima capacidad de acuerdo a las posiciones de los datos dentro de las gráficas, así como el nivel de servicio.

3.7.2. Obtención del nivel de servicio y capacidad mediante la aplicación del HCM (2010).

Al analizar niveles de servicio y capacidad por el método de pendientes específicas para vías de dos carriles clase I, se requiere contar con los datos de tráfico, velocidad media, factor de hora pico, porcentaje de vehículos pesados, número de vehículos de la máxima hora pico en las dos direcciones, características geométricas de la vía y zonas de no adelantamiento, con lo que se procede a obtener las siguientes variables:

1. Velocidad media
2. Factores de ajuste para vehículos pesados f_{HV} ATS para cada carril.
3. Demanda de flujo V_d o ATS para cada carril, con el que se podrá obtener el ATS aplicando la Ecuación 10 y Ecuación 11, dependiendo si la pendiente es ascendente o descendente. En caso de que la demanda V_d o V_o sean inferiores al valor de las tablas, se toma nuevamente los coeficientes hasta que el valor de la tabla este contenido.
4. Velocidad media ATS (Ecuación 12).
5. Factor de ajuste para vehículos pesados f_{HV} PTSF para cada carril (Ecuación 13).
6. Demanda de flujo V_d o PTSF para cada carril, (Ecuación 14).
7. Porcentaje base del tiempo de demora aplicando la Ecuación 15.
8. Obtención del porcentaje de demora en tiempo de seguimiento (Ecuación 16).
9. Nivel de servicio y capacidad
10. Comparación de niveles de servicio.

3.8. Resumen y conclusiones

Los niveles de servicio de la vía Loja - Catamayo se obtienen mediante dos análisis, el primero mediante el estudio de las gráficas obtenidas con las variables de primer orden y el segundo aplicando lo que indica el manual de carreteras por pendientes específicas, que para su obtención requiere entre otras características conocer las zonas de no rebase y las pendientes de los tramos analizados.

Las zonas de no rebase resultantes presentan los siguientes valores, tramo 1: 89.73%, tramo 2: 87.85% y tramo 3: 92.92%, porcentajes que resultan muy elevados e influyen en el nivel de servicio de la vía, el análisis de pendientes en los tramos de la vía Loja – Catamayo determinan un valor medio para el tramo 1: 4,60%, tramo 2: 4,5% y del tramo 3: 7,00%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Introducción

Los niveles de servicio de la vía Loja –Catamayo, se obtienen mediante la relación de las variables de primer orden en cada tramo analizado, así como mediante la aplicación del Highway Capacity Manual (HCM, 2010) por pendientes específicas, considerando que los tramos analizados de la vía presentan pendientes superiores al 3%. Se propone determinar la velocidad de flujo libre FFS, a partir de la velocidad media obtenida de los aforos realizados en campo y procesados estadísticamente.

4.2. Obtención de variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio mediante las relaciones intensidad-densidad, velocidad-densidad y velocidad intensidad.

4.2.1. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad–densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 1.

Los valores procesados de intensidad, densidad y velocidad del tramo 1: Km 4+00 – Km 11 +300 para el día de máxima demanda se relacionan en la Figura 11.

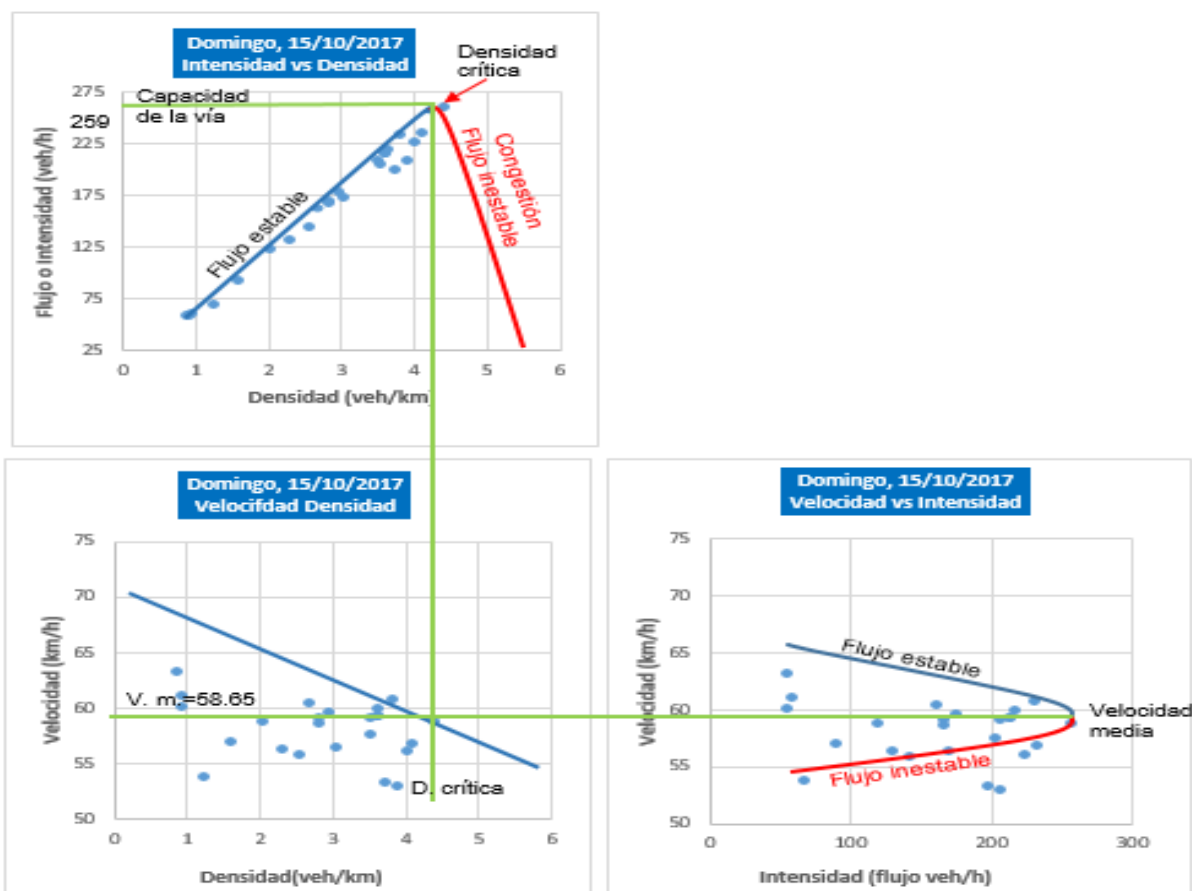


Figura 11. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo1
Fuente: Aforo equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Análisis gráficas tramo 1.

La relación **intensidad – densidad** presenta una tendencia lineal ascendente, se ajusta a una tendencia de flujo estable, el punto de máxima intensidad corresponde por definición a la capacidad de la vía, siendo esta **de 259 veh/h**. Considerando una capacidad de 3200 veh/h en ambos sentidos conforme a lo que establece para este tipo de vías el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), se determina para este tramo un porcentaje de ocupación del 8,09%.

La densidad crítica que define el límite entre flujo estable e inestable es la que se presenta al obtenerse la máxima intensidad, en este caso alcanza un valor de 4,42 veh/km; por lo tanto, el tramo 1 de la vía Loja – Catamayo presenta un flujo estable, todos los puntos presentan una tendencia lineal ascendente, los diagramas no presentan tendencia parabólica, es decir no existen puntos que sobrepase la densidad crítica, lo que se interpreta que existe un flujo vehicular estable, normal sin producirse congestionamiento.

De la relación velocidad – densidad, la densidad crítica obtenida en la relación intensidad - densidad le corresponde una velocidad, que representa la velocidad media (V_m) a la que circulan los vehículos en la vía, en este caso es de 58,65 km/h. No hay presencia de puntos que se ubiquen sobre la densidad crítica, esto indica que la vía cuenta con un flujo vehicular estable.

La **relación velocidad – intensidad**, muestra valores inferiores a la velocidad media, cuya interpretación no necesariamente significa que la vía presenta congestionamiento. Las velocidades inferiores a la media se deben también a que la velocidad es adoptada por conductores a flujo libre, al presentarse una vía libre, el automovilista tiene la posibilidad de imprimir las velocidades que desee.

Con la finalidad de obtener una mejor interpretación, es recomendable realizar el análisis de los diagramas de las relaciones de forma conjunta; en este contexto, el tramo 1 de la vía Loja – Catamayo tiene **un nivel de servicio C**, presenta un flujo estable y las condiciones de circulación son tolerables, siendo la velocidad media 58,65 km/h, lo cual nos indica que las velocidades están afectadas por las interacciones de los usuarios.

4.2.2. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad-densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 2.

La Figura 12 indica las relaciones intensidad-densidad, velocidad-densidad y velocidad-intensidad a partir de las variables de primer orden, para día de máxima intensidad.

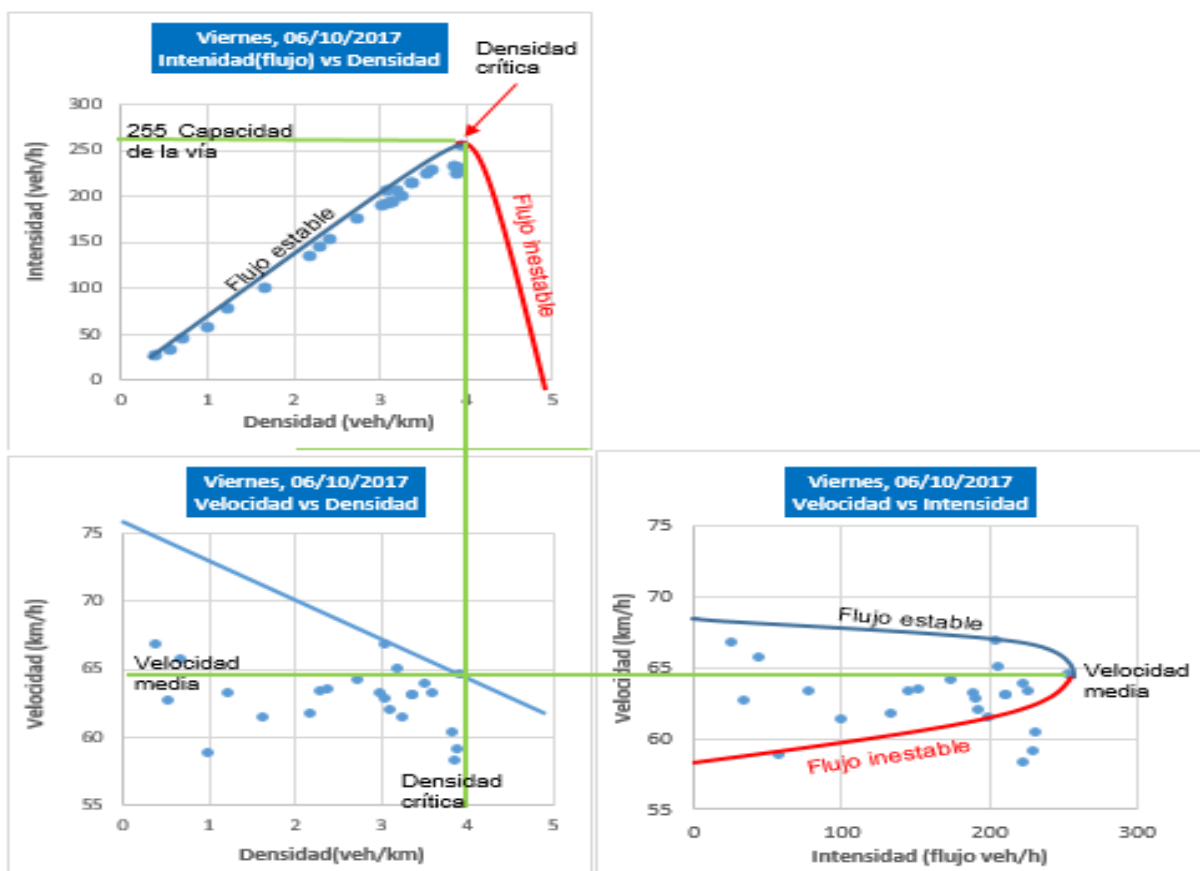


Figura 12. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo 2
Fuente: Aforo equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Análisis gráficas tramo 2.

El diagrama de la relación intensidad – densidad, muestra características similares al tramo 1, presenta una tendencia lineal con una intensidad máxima o **capacidad de la vía de 255 veh/h**, un porcentaje de ocupación del 8%.

La relación intensidad – densidad, muestra una densidad crítica de 3,95 veh/km, equivalente a un flujo estable. Todos los puntos de la gráfica tienen una tendencia lineal ascendente sin presentar valores superiores a la densidad crítica, no existen valores que produzcan tendencia parabólica; por lo tanto, no existe congestionamiento.

En la relación velocidad – densidad, se determina que a una densidad crítica de 3,95 veh/Km, la velocidad media (V_m) es de 64,50 km/h, en esta gráfica se aprecia que todas las velocidades del aforo están por debajo de la densidad crítica generándose un flujo estable sin llegar al congestionamiento.

El diagrama velocidad – intensidad (v/d), muestra valores que se enmarcan en la zona de flujo inestable; sin embargo, el que existan velocidades bajas inferiores a la media, puede deberse a dos opciones, la primera porque la vía se encuentre congestionada y la velocidad está restringida por la presencia de un gran número de pelotones, con pocas posibilidades de adelantar, o la segunda porque los conductores en zonas de circulación libre tienen libertad en imprimir velocidades, sean estas superiores o inferiores a la media, sin restricciones. En este caso los datos que se posicionan por debajo de la media se deben al flujo libre.

Del análisis de las relaciones y en base a lo que establece el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), el tramo 2 de la vía Loja – Catamayo, presenta **un nivel de servicio C**, con un flujo estable y condiciones de circulación tolerables, las velocidades de circulación están afectadas por la interacción de los usuarios.

4.2.3. Gráficas de las relaciones intensidad–densidad, velocidad–densidad, velocidad–intensidad y análisis, tramo 3.

A partir de las variables de primer orden, la Figura 13 presenta las relaciones intensidad–densidad, velocidad–densidad y velocidad–intensidad, para el día de máxima intensidad (Tabla 23).

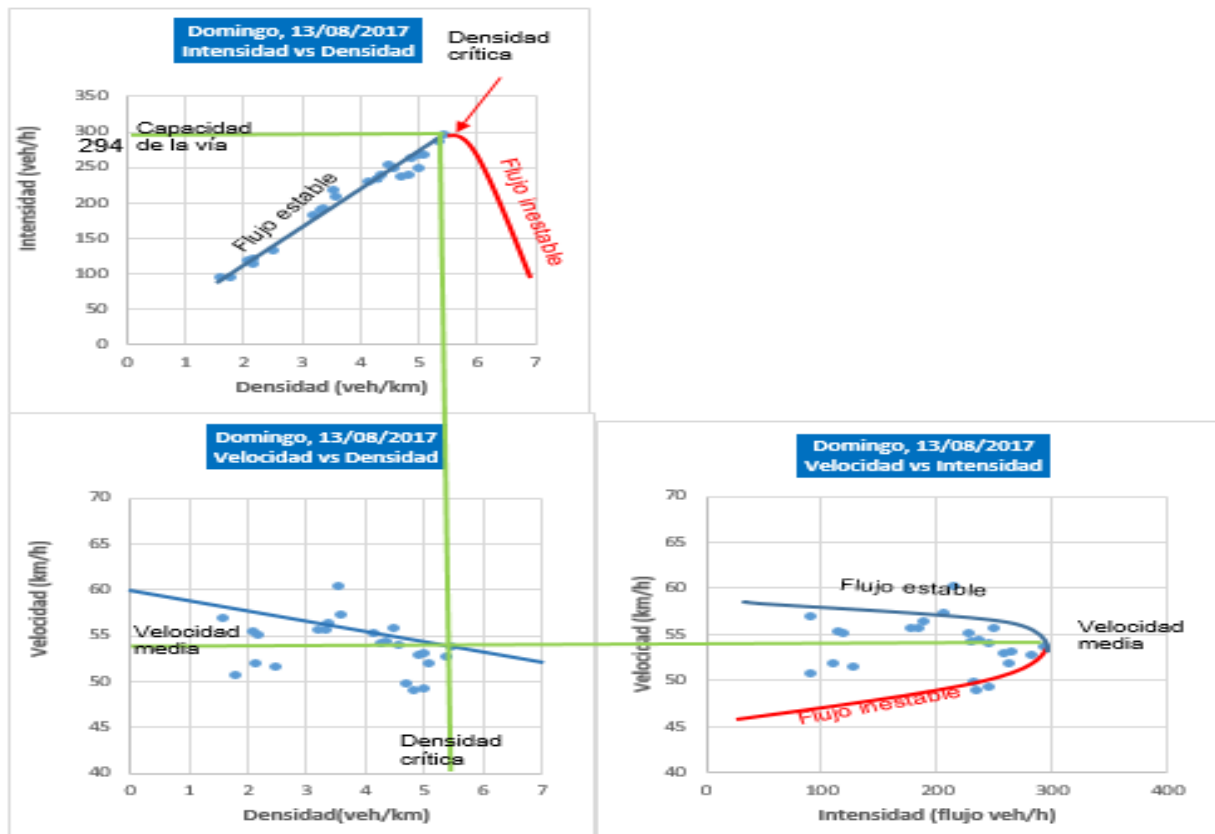


Figura 13. Gráfica Intensidad vs Densidad, Velocidad vs Densidad, y Velocidad vs Intensidad, tramo 3
Fuente: Aforo equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Análisis gráficas tramo 3.

El diagrama intensidad – densidad presenta una tendencia lineal, resultando una **capacidad de la vía de 294 veh/hora**, el porcentaje de ocupación para este tramo es de 9,19%.

La relación intensidad – densidad, muestra una densidad crítica de 5,49 veh/km, la gráfica mantiene la tendencia a presentar un flujo estable, concluyendo no hay congestionamiento.

El diagrama velocidad – densidad, establece una velocidad media de 53,55 km/h, de igual manera que en los otros tramos no presentan datos superiores a la densidad crítica manteniéndose un flujo estable.

Una vez establecida la relación velocidad -densidad, se analiza la relación velocidad – intensidad, las velocidades son inferiores a la media que se ubican sobre la densidad crítica, por lo tanto el flujo es estable, libre, en la que los conductores imprimen velocidades a gusto y conveniencia del usuario.

El tramo 3 presenta **un nivel de servicio C**, debido a que cuenta con un flujo estable y condiciones de circulación tolerables, las velocidades están afectadas por las interacciones de los usuarios.

Es necesario indicar que el nivel de servicio también está afectado por la geometría, estado de la vía e incluso el tipo de automotores. El caso de estudio por ser una vía de montaña su trazado no es el ideal como lo indica el Highway Capacity Manual (HCM, 2010) para carreteras de dos carriles y de sentidos opuestos, esta vía presenta tramos con pendiente máxima del 7%, zonas de no rebase en un 80% de la vía, lo que genera velocidades bajas que se evidencian en las gráficas, esto no significa que la vía presente congestionamiento.

4.3. Obtención de variables de segundo orden, capacidad y nivel de servicio a partir del HCM (2010)

Se obtiene el nivel de servicio y capacidad de acuerdo a lo que establece el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), método de pendientes específicas, considerando como vía de dos carriles clase I.

Las tablas 24, 25 y 26, contienen los resultados del procesamiento de datos obtenidos con el contador neumático Metrocount 5600, la pendiente media del tramo, así como los factores

necesarios para obtener los parámetros: velocidad media de viaje (ATS) y el porcentaje de demora en tiempo de seguimiento (PTSF) para el tramo 1, tramo 2 y tramo 3 respectivamente

Tabla 24. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 1: km4+000-km11+300

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 1: km 4+000 - km 11+300 LOJA - CATAMAYO							
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-DOMINGO 15 DE OCTUBRE DE 2017							
DESCRIPCIÓN				SIMBOLOGIA	DATOS	FUENTE	
HORA DE MÁXIMA DEMANDA				HMD	15H30-16H30	Metrocount 5600	
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA				Vf total	259 veh/hora	Metrocount 5600	
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS				Varr.	52,75 km/h	Metrocount 5600	
PENDIENTE %				G	4,60%	Tabla 16 (MTOP, 2016)	
LONGITUD PENDIENTE KM				L	7,3 Km	Tabla 16 (MTOP, 2016)	
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA				FHMD	0,97	Metrocount 5600	
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL				CARRIL AB D. ANAL.	CARRIL BA OPUESTO		
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE				LOJA-CAT.	CAT. - LOJA		
PENDIENTE				ASCENDENTE	DESCENDENTE		
VELOCIDAD MEDIA				SMF	55,95 km/h	61,49 km/h	Metrocount 5600
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				Vf (d,o)	113	146	No zonas recreativas
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				% Vf (d,o)	44%	56%	No zonas recreativas
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO (DECIMALES)				PTC	-	0,1233	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)				PT	0,1239	0,1233	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS				ET	14,6	1,70	Tabla 3, 5 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d				ER	1,00	1,00	Tabla 4 Y 5 (HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d				FG	0,84	1,00	Tabla 7 y 8 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d				ET C	-	4,60	TABLA 6 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d				fnp	3,4	2,8	Tabla 8 (HCM-2010)
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO							
PENDIENTE				ASCENDENTE	DESCENDENTE		
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0,00	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d				ET	3,43	1,1	Tabla 9 y 10(HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d				ER	1,0	1,0	Tabla 9 y 10(HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d				FG	1,0	1,0	Tabla 11 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d				fd/np	56,4	56,4	Tabla 8 (HCM2010)
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %					89,73	89,73	Tabla 19
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL				Vvvp	117	151	Vd/FHMD

Fuente: Datos obtenidos del contador Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOP(2016).
Elaborado por: Autora

Tabla 25. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 2: km11+300-km22+000

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 2: km 11+300 - km 22+000 LOJA - CATAMAYO						
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-VIERNES 06 DE OCTUBRE DE 2017						
DESCRIPCIÓN		SIMBOLOGIA	DATOS		FUENTE	
HORA DE MÁXIMA DEMANDA		HMD	14H00-15H00		Metrocount 5600	
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA		Vf total	255 veh/hora		Metrocount 5600	
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS		Varr.	64,68 km/h		Metrocount 5600	
PENDIENTE %		G	-4,50%		Tabla 17 (MTOP,2016)	
LONGITUD PENDIENTE KM		L	10,70KM		Tabla 17 (MTOP,2016)	
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA		FHMD	0,91		Metrocount 5600	
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL			CARRIL AB D. ANALIZ.	CARRIL BA D. OPUESTA		
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE			CAT. - LOJA	LOJA-CAT.		
PENDIENTE			ASCENDENTE	DESCENDENTE		
VELOCIDAD MEDIA			70,17 km/h	62,35 km/h	Metrocount 5600	
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)			Vf (d,o)	118	137	No zonas recreativas
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)			% Vf (d,o)	0,46	0,54	No zonas recreativas
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO (DECIMALES)			PTC	-	0,1606	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)			PT	0,3051	0,1606	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)			PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS			ET	11,30	1,40	Tabla 3, 5 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d			ER	1,00	1,00	Tabla 4 Y 5 (HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d			FG	0,95	1,00	Tabla 7 y 8 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d			ET C	-	4,39	TABLA 6 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d			fnp	3,81	1,88	Tabla 8 (HCM-2010)
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO						
PENDIENTE			ASCENDENTE	DESCENDENTE		
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)			PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d			ET	3,38	1,10	Tabla 9 y 10(HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d			ER	1,00	1,00	Tabla 9 y 10(HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d			FG	1,00	1,00	Tabla 11 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d			fd/np	59,26	59,26	Tabla 8 (HCM2000)
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %			%	87,85	87,85	Tabla 19
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL			Vvp	130	151	Vd/FHMD

Fuente: Datos obtenidos del contador Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOP(2016).
Elaborado por: Autora

Tabla 26. Datos para calcular el ATS y PTSF tramo 3: km22+000 – km33+300

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 3: km 22+000 - km 33+300 LOJA - CATAMAYO						
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-DOMINGO 13 DE AGOSTO DE 2017						
DESCRIPCIÓN			SIMBOLOGIA	DATOS		FUENTE
HORA DE MÁXIMA DEMANDA			HMD	14H30-15H30		Metrocount 5600
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA			Vf total	294 veh/hora		Metrocount 5600
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS			Varr.	43,74 km/h		Metrocount 5600
PENDIENTE %			G	-7,0%		Tabla 18 (MTOPI, 2016)
LONGITUD PENDIENTE KM			L	11,30 Km		Tabla 18 (MTOPI, 2016)
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA			FHMD	0,91		Metrocount 5600
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL				CARRIL BA DIRECC. AN	CARRIL AB OPUESTO	
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE				CAT.-LOJA	LOJA-CAT.	
PENDIENTE				ASCENDENTE	DESCENDENTE	
VELOCIDAD MEDIA				SMF	50,50 km/h	57,10 km/h
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				Vf (d,o)	167	127
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				% Vf (d,o)	57%	43%
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO(DECIMALES)				PTC	-	0,138
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)				PT	0,118	0,138
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS				ET	15,3	1,79
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d				ER	1,40	1,00
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d				FG	0,77	1,00
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d				ET C	-	4,5
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d				fnp	3,3	1,7
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO						
PENDIENTE				ASCENDENTE	DESCENDENTE	
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d				ET	4,40	1,10
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d				ER	1,00	1,00
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d				FG	1,00	1,00
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d				fd/np	55,80	55,80
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %,					92,92	92,92
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL				Vvvp	184	140

Fuente: Datos obtenidos del contador Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOPI(2016).
Elaborado por: Autora

4.3.1. Resultados obtenidos de los cálculos.

La Tabla 27 presentan los resultados de velocidad de la muestra de cada tramo en cada dirección de flujo, velocidad de flujo libre, factor de ajuste de vehículos pesados, caudal de demanda en cada dirección y velocidad de desplazamiento promedio. La Tabla 28 muestra los valores de factor de ajuste para vehículos pesados, caudal de demanda, porcentaje base de tiempo de demora, finalmente el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento, los cálculos se adjuntan en los anexos C y D.

Tabla 27. Resultados del calculo del nivel de servicio de los tres tramos de acuerdo al ATS.

DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE TRÁFICO DE SEGUNDO ORDEN NIVEL DE SERVICIO							
APLICACIÓN CARRETERA LOJA CATAMAYO		HCM 2010 CARRETERA CLASE I					
DESCRIPCIÓN	ECUACIONES PARA DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
		Km. 4+000 - Km. 11+300		Km. 11+300 - Km. 22+000		Km. 22+000 - Km. 22+300	
		dirección AB	dirección BA	dirección AB	dirección BA	dirección BA	dirección AB
VELOCIDAD MEDIA V_t	$V_t = \frac{\sum(fVi)}{\sum f}$	55,95 km/h	61,49 km/h	70,17 km/h	62,35 km/h	50,50 km/h	57,07 km/h
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum(fvi) - \frac{[\sum(fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}}$	14,73	15,50	11,21	13,82	13,53	13,58
VELOCIDAD MEDIA DE LA MUESTRA SMF	SMF	55,95 km/h	61,49 km/h	70,17 km/h	62,35 km/h	50,50 km/h	57,07 km/h
VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE FFS	$FFS = SFM + 0,0125 \left(\frac{Vf}{f_{HV}} \right)$	59,74 km/h	63,55 km/h	76,28 km/h	64,75 km/h	56,11 km/h	58,91 km/h
FACTOR DE AJUSTE DE VEHÍCULOS PESADOS PARA LA DIRECCIÓN EN ANÁLISIS Y OPUESTO (ATS)	$f_{dHVATS} = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)}$ $f_{oHVATS} = \frac{1}{1+PTC*PT(ETC-1)+(1-PTC)*PT*(ET-1)+PR(ER-1)}$	0,37	0,89	0,24	0,88	0,37	0,86
CAUDAL DE DEMANDA PARA (ATS)	$V(d/o)ATS = \frac{Vf d}{(FHMD)(f_{HV})(FG)}$	372	171	566	172	641	162
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (ATS)	$ATS = FFS - 0,0125(Vd + Vo) - fnp$	49,52 km/h	53,99 km/h	63,25 km/h	53,20 km/h	42,75 km/h	47,18 km/h
RESULTADOS	VELOCIDAD DE DESP. MEDIA (ATS)	49,52	53,99	63,25	53,20	42,75	47,18
	NIVEL DE SERVICIO	E	E	E	E	E	E

Fuente: aplicación de ecuaciones del Highway Capacity Manual(2010).

Elaborado por: Autora

Tabla 28. Resultados del calculo del nivel de servicio de los tres tramos de acuerdo al PTS.

DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE TRÁFICO DE SEGUNDO ORDEN NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD							
APLICACIÓN CARRETERA LOJA CATAMAYO		HCM 2010 CARRETERA CLASE I					
DESCRIPCIÓN	ECUACIONES PARA DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
		Km. 4+000 - Km. 11+300		Km. 11+300 - Km. 22+000		Km. 22+000 - Km. 22+300	
		direcc. AB	direcc. BA	direcc. AB	direcc. BA	direcc. BA	direcc. AB
FACTOR DE AJUSTE DE VEHÍCULOS PESADOS EN DIRECCIÓN DE ESTUDIO (SPTF)	$f(d/o)HV SPTF = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)}$	0,77	0,99	0,58	0,98	0,71	0,99
CAUDAL DE DEMANDA EN DIRECCIÓN DEL ESTUDIO PARA (SPTF)	$V(d/o)PTSF = \frac{Vf d}{(FHMD)(f_{HV})(FG)}$	152	152	224	154	258	141
PORCENTAJE BASE DEL TIEMPO DE DEMORA EN SEGUIMIENTO BPTSF	$BPTSF1 = 100(1 - e^{a*Vd^b})$	16,96	16,96	23,74	17,73	26,72	17,09
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO PTSF	$PTSF = BPTSF + fnp PTSF * \left(\frac{Vd PTSF}{Vd PTSF + Vo PTSF} \right)$	45,17%	45,17%	58,81%	41,84%	62,80%	36,81%
RESULTADOS	PORCENTAJE DE DEMORA (PTSF)	45,17%	45,17%	58,81%	41,84%	62,80%	36,81%
	NIVEL DE SERVICIO	B	B	C	B	C	B
	CAPACIDAD EN LA VÍA	419	343	287	351	419	315

Fuente: aplicación de ecuaciones del Highway Capacity Manual(2010).

Elaborado por: Autora

La Tabla 29 resume los resultados obtenidos por las dos metodologías propuestas en la investigación.

Tabla 29. Resumen de resultados de los métodos utilizados en la investigación

RESULTADOS MÉTODO DE PENDIENTES ESPECÍFICAS HCM(2010)			
DESCRIPCIÓN	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
	Km. 4+000 - Km. 11+300	Km. 11+300 - Km. 22+000	Km. 22+000 - Km. 22+300
NIVEL DE SERVICIO	B	C	C
CAPACIDAD	932 veh/h	638 veh/h	734 veh/h
% OCUPACIÓN	29,13%	19,94%	22,94%
RESULTADOS MÉTODO ANÁLISIS DE GRÁFICAS			
NIVEL DE SERVICIO	C	C	C
CAPACIDAD	259 veh/h	255 veh/h	294 veh/h
% OCUPACIÓN	8,09%	7,97%	9,19%

Fuente: Tabla 27, Tabla 28 y análisis de las gráficas de Figura 11, Figura 12 y Figura 13.
Elaborado por: Autora

4.4. Discusión de resultados

El nivel de servicio obtenido mediante las gráficas, en los tres tramos de la vía Loja- Catamayo demuestran que existe un flujo estable, presenta colas o pelotones al acercarse a la máxima intensidad, sin caer en la zona de inestabilidad a excepción de la relación velocidad - intensidad que presenta velocidades inferiores por flujo libre.

Tomando en consideración la definición de niveles de servicio, el nivel A corresponde a flujo libre, el nivel B a un flujo estable con presencia de unos pocos pelotones, y nivel C se presenta como un flujo estable aunque se incrementan los pelotones, con este antecedente los tramos 1, 2 y 3, se les atribuye un **nivel de servicio C**. En lo que respecta a las capacidades, éstas corresponden al mayor valor del flujo en máxima hora pico, se tiene para el tramo 1: 259veh/h, tramo 2: 255 veh/h y tramo 3: 294veh/h.

Al analizar los niveles de servicio obtenidos mediante el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), de acuerdo a la velocidad media de viaje (ATS) tanto para la dirección analizada como la opuesta se tienen los siguientes resultados tramo 1: 49,52km/h y 53,99km/h, tramo 2: 63,25km/h y 53,20km/h, y tramo 3: 42.75 km/h y 47,18km/h, por lo que se ubica a los tres tramos de la vía Loja – Catamayo con un **nivel de servicio E**.

Al analizar los valores del porcentaje de demora en tiempo de seguimiento (PTSF), se tiene para el tramo 1: 45,17% en las dos direcciones, tramo 2: 58,81% y 41,84%, tramo 3 del 62,80% y 36,81%, se clasifica a los tres tramos de la siguiente manera, **tramo 1 con un**

nivel de servicio B en las dos direcciones, tramo 2 con un nivel de servicio C para la dirección en análisis y B para la dirección opuesta, tramo 3 con los nivel de servicio C y B respectivamente.

Los resultados obtenidos con la velocidad media de viaje (ATS), indica que la vía opera con un nivel de servicio E, el mismo que se caracteriza por presentar una intensidad de tráfico próxima a la capacidad de la vía, cuyo valor de porcentaje de demora debería ser mayor al 80%, valor que no se cumple, debido a que las densidades máximas que presenta la vía son inferiores a la capacidad de ésta y los porcentajes de demora (PTSF) están entre el 36,81% y el 62,80%, en esta razón no procede calificar a la vía con un nivel de servicio E.

En lo referente a las capacidades, de acuerdo a las ecuaciones establecidas por el Highway Capacity Manual (HCM, 2010), el tramo 1 presenta una capacidad de 932 veh/h, tramo 2: 638 veh/h y tramo 3: 734 veh/h, en ambas direcciones.

Del análisis realizado por la red nacional de caminos de Argentina y presentado por la dirección nacional de vialidad de Argentina, las velocidades tomadas en pendientes de ascenso son menores a las tomada en terreno plano; es así que, para carreteras que presentan una pendiente del 4%, las velocidades se ven reducidas en un 11%, para vías con un 7% se ven reducidas hasta un 34%. De la misma forma para pendientes en descenso, se reducen las velocidades con respecto a las tomadas en terreno plano, para terrenos de hasta el 5% de pendiente son nulas las reducciones en la velocidad, para el 7% en descenso presenta una reducción de hasta el 38%, en pendientes de hasta del 4% en descenso las velocidades son mayores entre el 6% y 9% que la velocidad registrada en terreno plano (González & Vela, 2016). Información que resulta de mucha importancia a la hora de escoger el método a aplicar para obtener los niveles de servicio en carreteras de montaña.

La investigación realizada en Argentina titulado Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad (HCM, 2010), analiza las relaciones entre variables flujo, velocidad y porcentaje de tiempo en demora, mediante técnicas de regresión de resultados de las simulaciones microscópicas para diferentes condiciones de tránsito, además define nuevos factores de ajuste para determinar el tránsito equivalente, plantea una nueva ecuación que determina la velocidad media de viaje ATS, con dos variables independientes (flujo direccional y opuesto), y un modelo cóncavo utilizado en el manual de capacidad alemán. De esta forma se establece que las metodologías para obtener parámetros deben ajustarse a las características de la zona (Maldonado, M. O.;Herz y Galarraga, 2012).

La investigación Climbing Lane Level of Service Estimation in Spain, realiza la calibración del software Twopas para obtener el nivel de servicio en un carril ascendente a fin de comparar con el Highway Capacity Manual (2010), con lo que concluye que es necesario ajustar el procedimiento del (HCM, 2010) para condiciones españolas (Valencia, y Garcia, 2016).

Existen otros métodos como el propuesto en la investigación Assessment of Level-Of-Service for Freeway Segments Using HCM and Microsimulation Methods, en el que se determina el nivel de servicio con la ayuda de softwares que permiten modelar la operatividad con datos tomados en situ, aplicando programas como el Visim y Freeval; cuyos resultados al aplicar el análisis comparativo son calibrados y validados con el Highway Capacity Manual(2010) (Jolovic, Stevanovic, Sajjadi, y Martin, 2016), de esta manera muchos trabajos de investigación tienden a validar sus resultados considerando las condiciones y características de cada lugar.

En países como Colombia ya cuenta con su propia normativa, a través del manual de Invias para determinar los niveles de servicio y capacidad de las vías, considerando las características y el tránsito de la vía, con sus propias ecuaciones para determinar las velocidades medias, las cuales clasifican al nivel de servicio dependiendo del tipo de terreno, plano, ondulado, montañoso y escarpado, en cinco niveles del A, B, D, E y F (Cerquera, 2007).

4.5. Resumen y conclusión

La investigación sobre los niveles de servicio de la vía Loja – Catamayo, mediante la lectura de los diagramas o gráficas de las relaciones entre las variables de primer orden, intensidad-densidad, velocidad-densidad y velocidad – intensidad, se ha elaborado siguiendo los parámetros que indica las diferentes versiones del manuales de capacidad de carreteras (HCM), basados en ecuaciones, en las que se reemplazan una serie de datos; sin embargo, este método puede darse a interpretaciones erróneas como ocurre con la velocidad media de viaje ATS que clasifica a los tramos de la vía Loja - Catamayo con un nivel E, siendo el correcto un nivel C.

Existen muy pocos trabajos que determinen el nivel de servicio mediante las gráficas de las relaciones de primer orden, si bien el método propuesto por el Highway Capacity Manual (HCM, 2010) por pendientes específicas no es nuevo; sin embargo, no existe mucha información sobre otros trabajos que apliquen esta metodología, otros se fundamentan en la aplicación del (HCM, 2000) para terrenos planos y ondulados.

CONCLUSIONES

- ✓ La Capacidad de la vía Loja - Catamayo en sus tres tramos presenta una tasa de flujo vehicular menor a la capacidad de la Vía, con un porcentaje de ocupación para el tramo 1: 29.13%, tramo 2: 19.94% y tramo 3: 22.94%, con lo que la capacidad de la vía resulta suficiente para la demanda actual.
- ✓ El nivel de servicio obtenido por los dos métodos, establecen que la vía Loja – Catamayo presenta **un nivel de servicio C** en sus tres tramos, el cual nos indica que la circulación se ve afectada por la operación de los usuarios y su interacción con otros usuarios, lo que resulta que los adelantamientos y cambios de carril sean más difíciles generándose una circulación tolerable.
- ✓ Las gráficas de las relaciones intensidad – densidad, velocidad - densidad de los tramos 1, 2 y 3, presentan densidades menores a la crítica, determinándose que existe una circulación estable.
- ✓ Los tres tramos de análisis de la vía Loja – Catamayo presentan un alto porcentaje de zonas de no adelantamiento y pendientes muy pronunciadas llegando hasta el 7%, lo que no permite que los vehículos pesados y ciertos tipos de vehículos de condiciones limitadas, desarrollen velocidades óptimas en la circulación, lo que genera pelotones y disminuye el nivel de servicio de la vía.
- ✓ La vía Loja – Catamayo pertenece a la red vial estatal de la provincia de Loja, por tal razón se la clasifica como carretera de dos carriles clase I; sin embargo, considerando la velocidad promedio de flujo se ubica en un nivel de servicio E, lo que indica que la vía por presentar velocidades bajas no estaría enmarcada como vía clase I.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar posteriores estudios de las relaciones fundamentales de primer orden, manteniendo una secuencia cronológica, con la finalidad de calibrar los niveles de servicio y capacidad de las carreteras de dos carriles aplicando el manual Highway Capacity Manual (HCM, 2010) para las condiciones de operación y de circulación de nuestro país, tomando en consideración las características geométricas, topográficas, el estado de las vías y parque automotor.
- ✓ Se recomienda analizar la disminución de velocidad que se produce en carreteras similares con pendientes pronunciadas y radios de curvatura mínimos, a fin de determinar el porcentaje de disminución de las velocidades en pendientes en ascenso y descenso que influyen para determinar el nivel de servicio en terreno montañoso.

BIBLIOGRAFÍA

- Belda, E. (2011). *Modelización de los niveles de servicio en autopistas en tiempo presente para la gestión dinámica del tráfico* (tesis doctoral). Universidad politécnica de València, València, España.
- Bull, A. (2003). Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado. *Naciones Unidas*, 56, 5-50.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2013). *Ingeniería de Tránsito*. México D.F., México: Alfaomega S.A.
- Campos, M. (2017). Métodos de investigación académica. *Universidad de Costa Rica*, 1, 5-80.
- Cerquera, F. (2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
- García, P. (2016). *Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM), para la evaluación del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Santa Clara – Universidad* (tesis diplomado). Universidad Central “Marta Abreu” de las villas, Santa Clara, Cuba.
- Ghosh, I., Chandra, S., y Boora, A. (2013). Operational Performance Measures for Two-Lane Roads : An Assessment of Methodological Alternatives. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 440-448.
- González, D., y Vela, P. (2016). Nivel de Servicio de pendientes específicas en caminos de dos carriles indivisos. Estudio para su estimación a nivel planeamiento en la Red Nacional de Caminos. En G. Cabana (Presidencia), *Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito*, Simposio llevado a cabo en el XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Rosario, Santa Fe, Argentina. Recuperado de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Nivel+de+Servicio+de+pendientes+espec%C3%ADficas+en+caminos+de+dos+carriles+indivisos+Estudio+para+su+estimaci%C3%B3n+a+nivel+planeamiento+en+la+Red+Nacional+de+Caminos+Autores%3A&btnG.
- Jolovic, D., Stevanovic, A., Sajjadi, S., y Martin, P. T. (2016). Assessment of Level-Of-Service for Freeway Segments Using HCM and Microsimulation Methods. *Transportation Research Procedia*, 15, 403–416.
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., y Del Val, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras*. Madrid, España: McGraw-Hill.

- Maldonado, M., Herz, M., y Galarraga, J. (2012). *Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad HCM 2010*. Transportes, 20(3), 51–61.
- Molina, K., y Cerda, V. (2003). *Metodología para diseño de proyectos viales* (tesis de máster). Universidad Nacional de Ingeniería Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Naranjo, V. (2008). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales* (tesis de especialista). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Ocoró, M. (2014). *Análisis de capacidad y nivel de servicio del corredor vial Cali – Jamundí* (tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Ortiz, A. (2017). *Estudio y sistematización de diferentes variables de tráfico para la visualización a través de un geovisor en las vías de acceso a la ciudad: Loja- Catamayo y Loja - Cuenca* (tesis de maestría). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Palma, R. (2006). *Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2,000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Pineda, J. (2013). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio aplicando metodología de HCM-2000 (Highway Capacity Manual 2000) en la vía Loja Vilcabamba; tramo Malacatos – Vilcabamba* (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Rojas, P. (2017). *Estimación del factor de calibración del módulo de predicción de accidentes del HSM en carreteras principales del cantón Loja* (tesis de maestría). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Talamantes, L. (2016, June). *Estudio experimental de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales. Aplicación a la carretera CV-35(Valencia). Observaciones y análisis en condiciones diurnas y comparación con el manual de capacidad* (Tesis de máster). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway capacity manual* (2000). Recuperado de https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf
- Transportation Research Board. (2010). *Highway capacity manual* (2010). Recuperado de <http://hcm.trb.org/vol2/chapter-15?qr=1>.
- Valencia, V. (2016). *Elaboración de procedimientos para facilitar el adelantamiento en carreteras convencionales aplicando simulación* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Valencia, V., y Garcia, A. (2016). Climbing Lane Level of Service Estimation in Spain. *Transportation Research Procedia*, 18, 366–373.

Webster, A. (2001). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Bogotá, Colombia: Irwin Mc Graw Hill.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla 30. Intensidad, Velocidad y Densidad tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: sábado 14/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Sábado, 14 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
11:30			13	62	75	43,30	1,73
12:30	50	47	60	57	214	57,23	3,74
13:30	52	52	57	58	219	59,88	3,66
14:30	57	57	48	57	219	58,10	3,77
15:30	52	45	67	54	218	58,83	3,71
16:30	53	60	55	53	221	56,43	3,92
17:30	56	47	61	55	219	57,95	3,78
18:30	57	51	55	50	213	59,07	3,61
19:30	54	44	56	45	199	59,47	3,35
20:30	45	45	35	37	162	63,15	2,57
21:30	36	42	31	32	141	62,67	2,25
22:30	30	25	26	26	107	62,07	1,72
23:30	20	24	19	12	75	62,24	1,21
TOTAL	562	539	583	598			
hora máx. demanda	16:30		intensidad Máx.		221		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con la variables de primer orden del tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: sábado 14/10/2017.

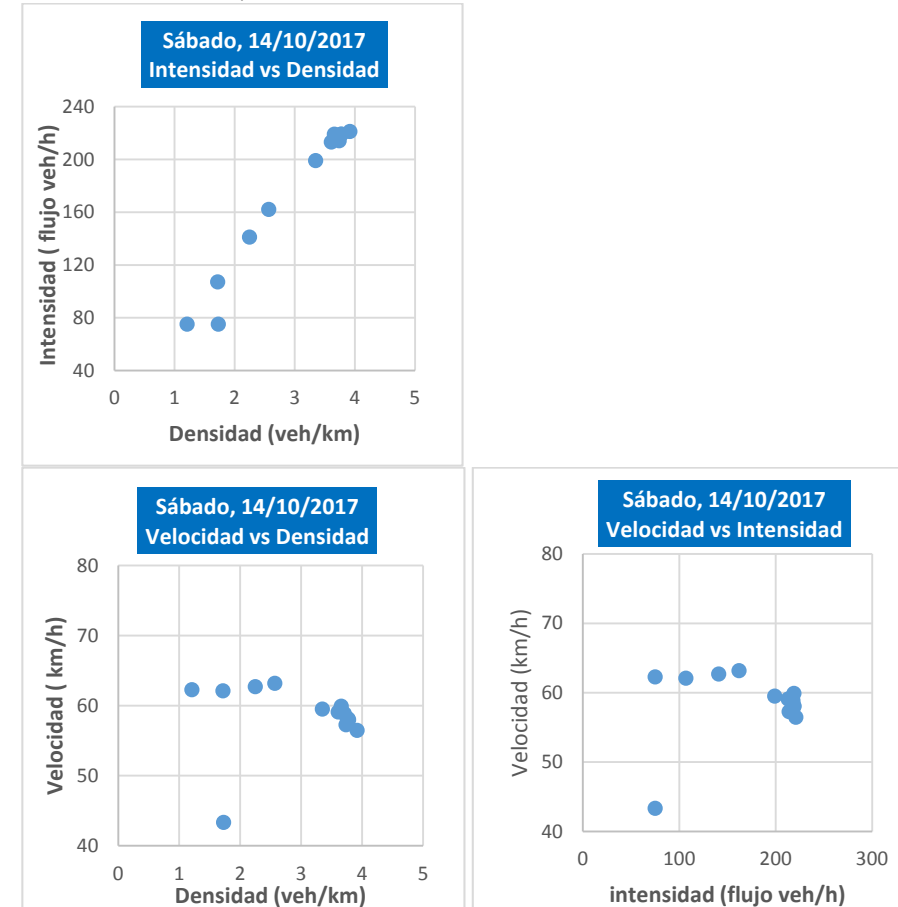


Figura 14. Gráficas tramo 1, aforo: sábado 14/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 31. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1: Km. 4+000 - Km.11+300, día de aforo: domingo 15/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Domingo, 15 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad $k=Int./Vm$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	19	15	13	10	57	59,92	0,95
1:30	16	13	12	18	59	60,93	0,97
2:30	16	10	14	17	57	63,09	0,90
3:30	18	23	23	28	92	56,88	1,62
4:30	25	29	34	33	121	58,60	2,06
5:30	39	47	41	50	177	59,47	2,98
6:30	41	45	31	50	167	58,56	2,85
7:30	51	35	38	44	168	59,02	2,85
8:30	35	45	38	44	162	60,29	2,69
9:30	52	51	52	49	204	57,44	3,55
10:30	52	50	52	54	208	58,97	3,53
11:30	53	50	63	60	226	55,98	4,04
12:30	59	54	54	66	233	60,66	3,84
13:30	55	58	58	63	234	56,66	4,13
14:30	51	56	54	54	215	59,12	3,64
15:30	61	66	67	65	259	58,65	4,42
16:30	51	58	51	55	215	59,14	3,64
17:30	49	58	55	57	219	59,79	3,66
18:30	56	58	46	48	208	52,87	3,93
19:30	54	48	55	42	199	53,13	3,75
20:30	48	46	45	33	172	56,28	3,06
21:30	40	30	37	36	143	55,71	2,57
22:30	30	37	36	28	131	56,17	2,33
23:30	19	17	18	14	68	53,62	1,27
TOTAL	990	999	987	1018			
hora máx. demanda	15:30				intensidad Máx.	259	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con la variables del primer orden, tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: domingo 15/10/2017.

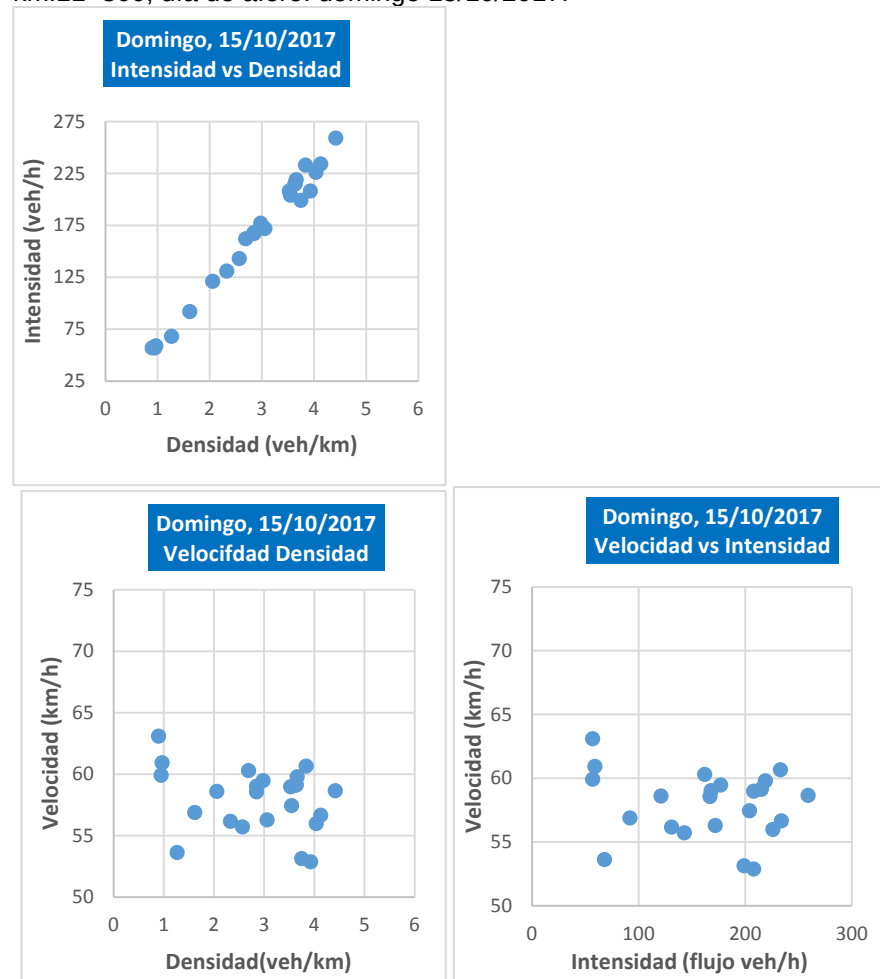


Figura 15. Gráficas tramo 1, aforo: domingo 15/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 32. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: lunes 16/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Lunes, 16 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad k=Int./V. M. (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	8	17	8	11	44	56,77	0,78
1:30	7	5	9	11	32	54,13	0,59
2:30	19	10	10	19	58	54,61	1,06
3:30	23	16	19	35	93	55,33	1,68
4:30	39	29	34	54	156	52,65	2,96
5:30	52	59	46	61	218	58,14	3,75
6:30	61	46	46	55	208	57,98	3,59
7:30	54	52	43	58	207	59,78	3,46
8:30	46	53	56	53	208	56,60	3,67
9:30	58	56	50	45	209	55,69	3,75
10:30	50	55	47	45	197	57,51	3,43
11:30	47	48	54	44	193	57,10	3,38
12:30	51	49	48	47	195	56,29	3,46
13:30	49	52	51	63	215	55,26	3,89
14:30	64	62	54	61	241	59,20	4,07
15:30	59	45	47	53	204	57,65	3,54
16:30	56	45	56	60	217	57,85	3,75
17:30	59	60	51	57	227	59,99	3,78
18:30	54	52	50	39	195	57,24	3,41
19:30	47	44	46	37	174	56,33	3,09
20:30	39	31	36	29	135	60,99	2,21
21:30	29	16	19	28	92	59,40	1,55
22:30	18	27	15	19	79	61,37	1,29
23:30	12	15	9	18	54	59,20	0,91
TOTAL	1001	944	904	1002			
hora máx. demanda		14:30	intensidad Máx.		241		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con la variables del primer orden, tramo 1: Km 4+000-km.11+300, día de aforo: lunes 16/10/2017.

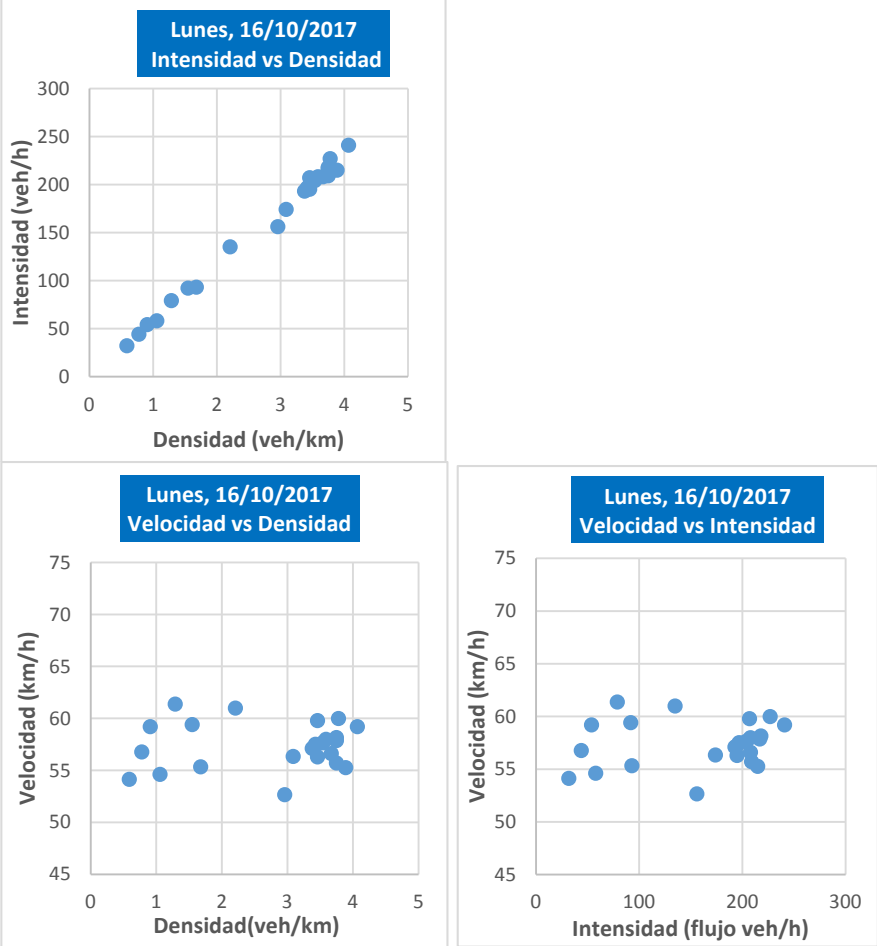


Figura 16. Gráficas tramo 1, aforo: lunes 16/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 33. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: martes 17/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Martes, 17 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	10	11	6	12	39	59,22	0,66
1:30	9	8	7	11	35	56,73	0,62
2:30	15	9	7	16	47	57,35	0,82
3:30	10	14	16	19	59	54,25	1,09
4:30	25	29	33	49	136	53,94	2,52
5:30	46	44	54	64	208	60,93	3,41
6:30	57	45	65	64	231	59,39	3,89
7:30	57	44	46	49	196	60,91	3,22
8:30	50	50	50	60	210	57,31	3,66
9:30	47	56	47	60	210	59,06	3,56
10:30	45	52	47	52	196	60,21	3,26
11:30	44	56	56	30	186	58,86	3,16
12:30	48	47	35	58	188	58,57	3,21
13:30	48	51	42	51	192	58,66	3,27
14:30	62	51	57	47	217	60,13	3,61
15:30	47	53	55	50	205	58,14	3,53
16:30	43	49	44	49	185	58,61	3,16
17:30	57	58	61	55	231	61,03	3,78
18:30	48	52	56	55	211	59,81	3,53
19:30	38	41	42	33	154	61,69	2,50
20:30	33	38	26	38	135	63,86	2,11
21:30	22	26	31	27	106	62,47	1,70
22:30	15	22	17	21	75	58,45	1,28
23:30	10	11	16	14	51	58,44	0,87
TOTAL	886	917	916	984			
hora máx. demanda	6:30				intensidad Máx.	231	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables del primer orden, día de aforo: martes 17/10/2017.

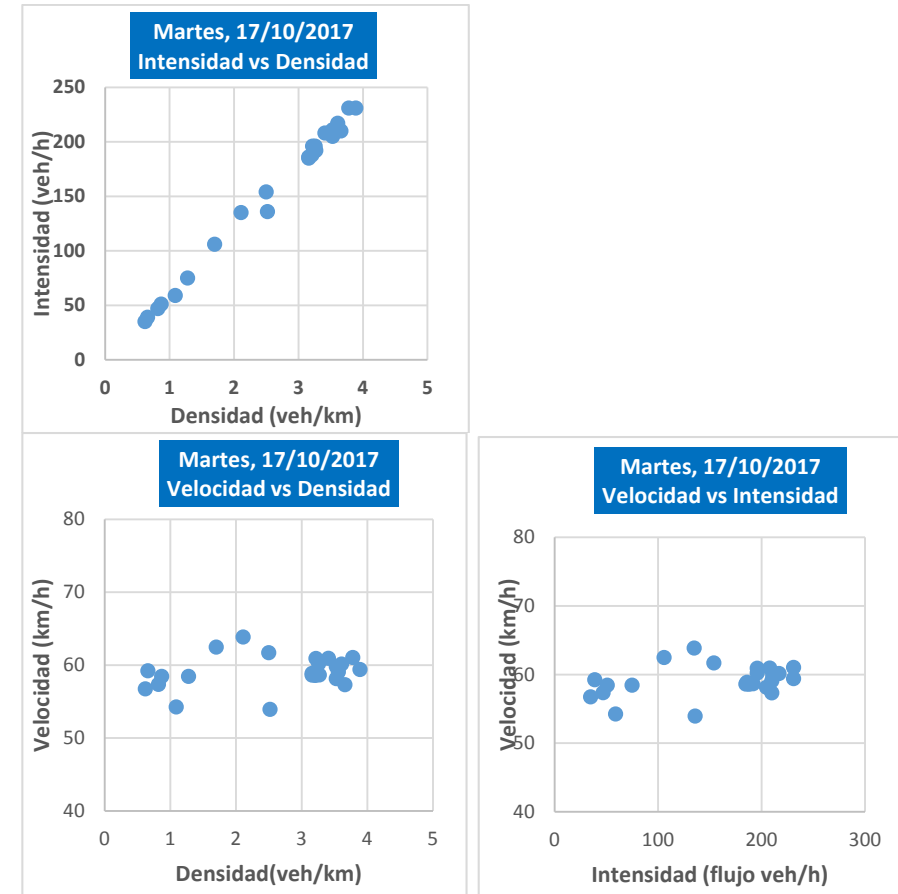


Figura 17. Gráficas tramo 1, aforo: martes 17/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 34 Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: miércoles 18/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Miércoles, 18 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	18	8	8	12	46	59,22	0,78
1:30	9	4	4	6	23	56,73	0,41
2:30	5	10	8	18	41	57,35	0,71
3:30	16	20	13	20	69	54,25	1,27
4:30	23	26	36	33	118	53,94	2,19
5:30	41	51	46	59	197	60,93	3,23
6:30	58	51	54	58	221	59,39	3,72
7:30	52	55	42	55	204	60,91	3,35
8:30	44	50	50	60	204	57,31	3,56
9:30	47	56	47	60	210	59,06	3,56
10:30	45	52	47	52	196	60,21	3,26
11:30	44	56	56	30	186	58,86	3,16
12:30	48	47	35	58	188	58,57	3,21
13:30	48	51	42	51	192	58,66	3,27
14:30	62	51	57	47	217	60,13	3,61
15:30	47	53	55	50	205	58,14	3,53
16:30	43	49	44	49	185	58,61	3,16
17:30	57	58	61	55	231	61,03	3,78
18:30	48	52	56	55	211	59,81	3,53
19:30	38	41	42	33	154	61,69	2,50
20:30	33	38	26	38	135	63,86	2,11
21:30	22	26	31	27	106	62,47	1,70
22:30	15	22	17	21	75	58,45	1,28
23:30	10	11	19	14	54	60,17	0,90
TOTAL	873	938	896	961			
hora máx. demanda	17:30				intensidad Máx.	231	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables del primer orden, tramo 1, día de aforo: miércoles 18/10/2017.

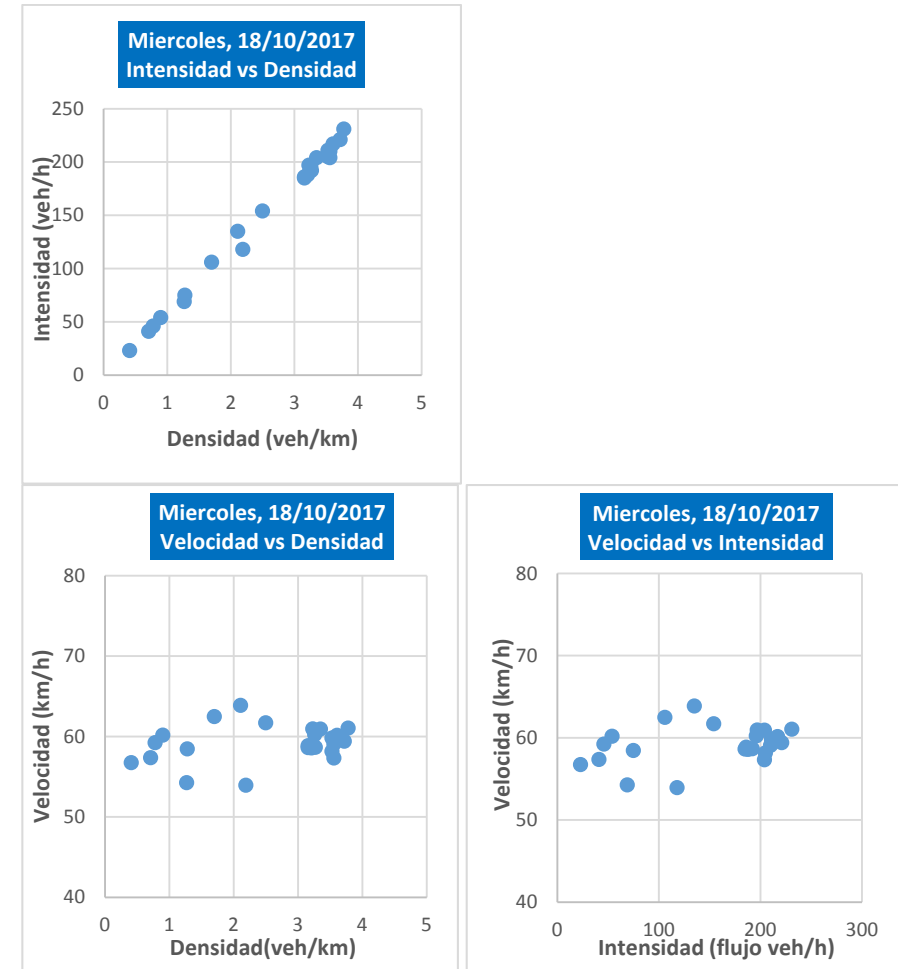


Figura 18. Gráficas tramo 1, aforo: miércoles 18/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600
Elaborado por: Autora

Tabla 35. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: jueves 19/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Jueves, 19 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V.M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	18	8	8	12	46	59,13	0,78
1:30	9	4	4	6	23	62,95	0,37
2:30	5	10	8	18	41	54,53	0,75
3:30	16	20	13	20	69	51,49	1,34
4:30	23	26	36	33	118	55,76	2,12
5:30	41	51	46	59	197	60,92	3,23
6:30	58	51	54	58	221	59,56	3,71
7:30	52	55	42	55	204	59,87	3,41
8:30	44	50	50	60	204	62,14	3,28
9:30	47	56	47	60	210	44,42	4,73
10:30	45	52	47	52	196	32,52	6,03
11:30	44	56	56	30	186	50,72	3,67
12:30	48	47	35	58	188	61,18	3,07
13:30	48	51	42	51	192	59,64	3,22
14:30	62	51	57	47	217	60,88	3,56
15:30	47	53	55	50	205	60,79	3,37
16:30	43	49	44	49	185	60,31	3,07
17:30	57	58	61	55	231	61,95	3,73
18:30	48	52	56	55	211	59,00	3,58
19:30	38	41	42	33	154	60,06	2,56
20:30	33	38	26	38	135	62,54	2,16
21:30	22	26	31	27	106	60,72	1,75
22:30	15	22	17	21	75	60,62	1,24
23:30	10	11	20	16	57	62,96	0,91
TOTAL	873	938	897	963			
hora máx. demanda	17:30				intensidad Máx.	231	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 1, día de aforo: jueves 19/10/2017.

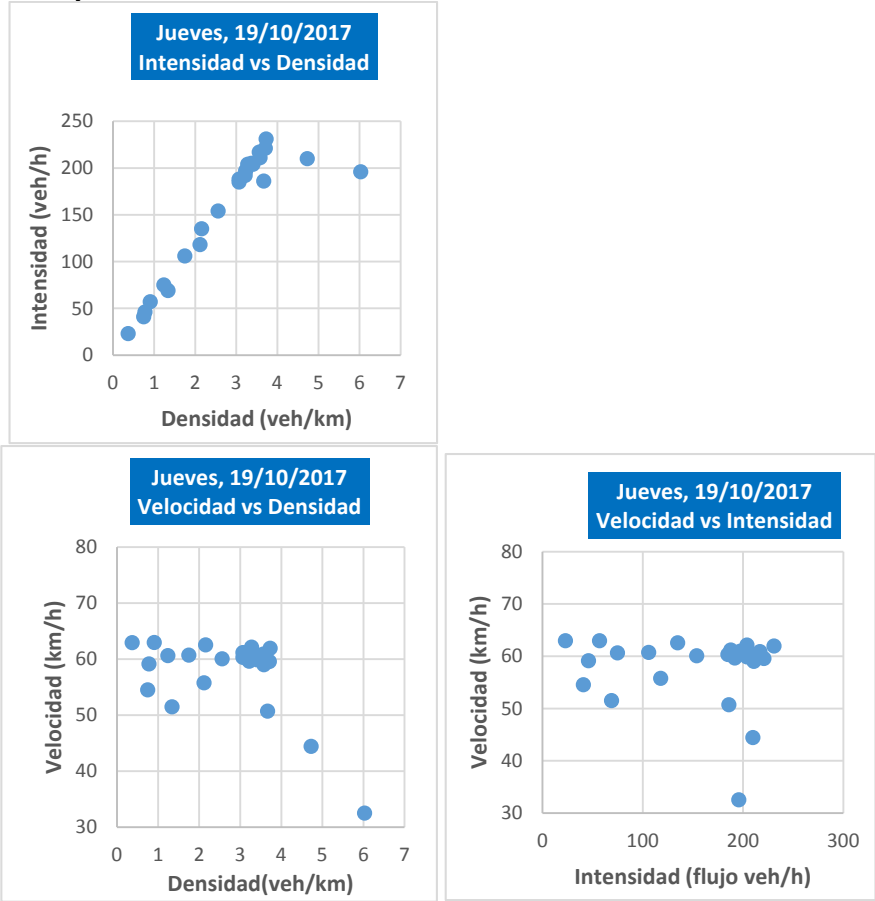


Figura 19. Gráficas tramo 1, aforo: jueves 19/10/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600
Elaborado por: Autora

Tabla 36. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, sentido AB Loja - Catamayo, día de aforo: viernes 20/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Viernes, 20 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	16	11	7	15	49	60,62	0,81
1:30	10	9	6	5	30	57,98	0,52
2:30	6	5	11	7	29	58,24	0,50
3:30	15	14	11	35	75	53,66	1,40
4:30	25	22	28	35	110	56,58	1,94
5:30	49	48	43	60	200	61,38	3,26
6:30	58	51	52	67	228	61,21	3,72
7:30	54	53	54	56	217	61,41	3,53
8:30	48	49	50	61	208	59,75	3,48
9:30	60	43	47	55	205	59,92	3,42
10:30	48	52	50	61	211	58,90	3,58
11:30	46	53	48	51	198	58,42	3,39
12:30	48	54	47	50	199	58,50	3,40
13:30	62	58	61	72	253	61,12	4,14
14:30	60	53	58	57	228	62,03	3,68
15:30	56	64	53	53	226	58,79	3,84
16:30	63	64	52	59	238	59,77	3,98
17:30	64	71	54	56	245	61,66	3,97
18:30	54	67	64	57	242	58,09	4,17
19:30	54	53	54	59	220	58,72	3,75
20:30	45	45	39	41	170	63,14	2,69
21:30	43	27	21	15	106	60,83	1,74
22:30	46	30	26	27	129	60,01	2,15
23:30	15	25	17	27	84	56,04	1,50
TOTAL	1045	1021	953	1081			
hora máx. demanda	13:30				intensidad Máx.	253	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 1, día de aforo: viernes 20/10/2017.

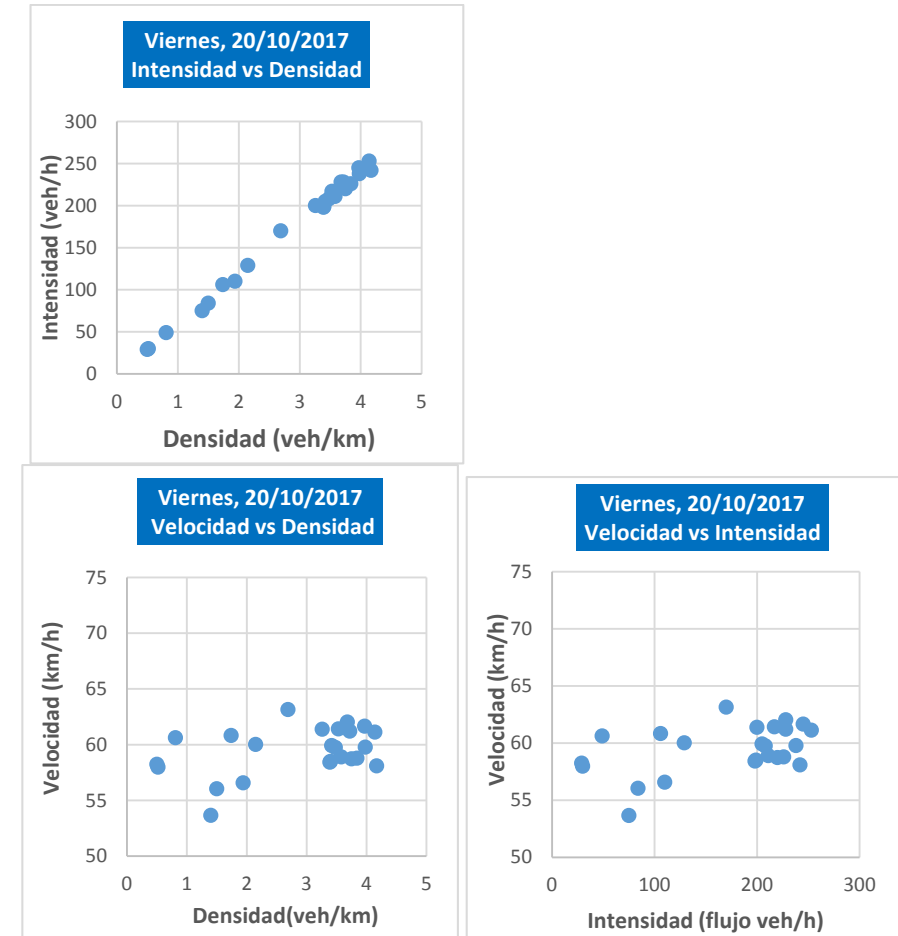


Figura 20. Gráficas tramo 1, aforo: viernes 20/10/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600
Elaborado por: Autora

Tabla 37. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 1, día de aforo: sábado 21/10/2017.

TRAMO 1: km. 4+000 - Km. 11+300							
* Sábado, 21 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	16	15	16	19	66	56,65	1,17
1:30	16	15	18	16	65	56,91	1,14
2:30	17	15	15	15	62	58,92	1,05
3:30	24	23	22	30	99	55,47	1,78
4:30	24	32	31	34	121	52,49	2,31
5:30	43	48	51	45	187	55,68	3,36
6:30	45	54	54	46	199	58,72	3,39
7:30	57				57	54,50	1,05
TOTAL	242	202	207	205			
hora máx. demanda	6:30				intensidad Máx.	199	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 1, día de aforo: sábado 21/10/2017.

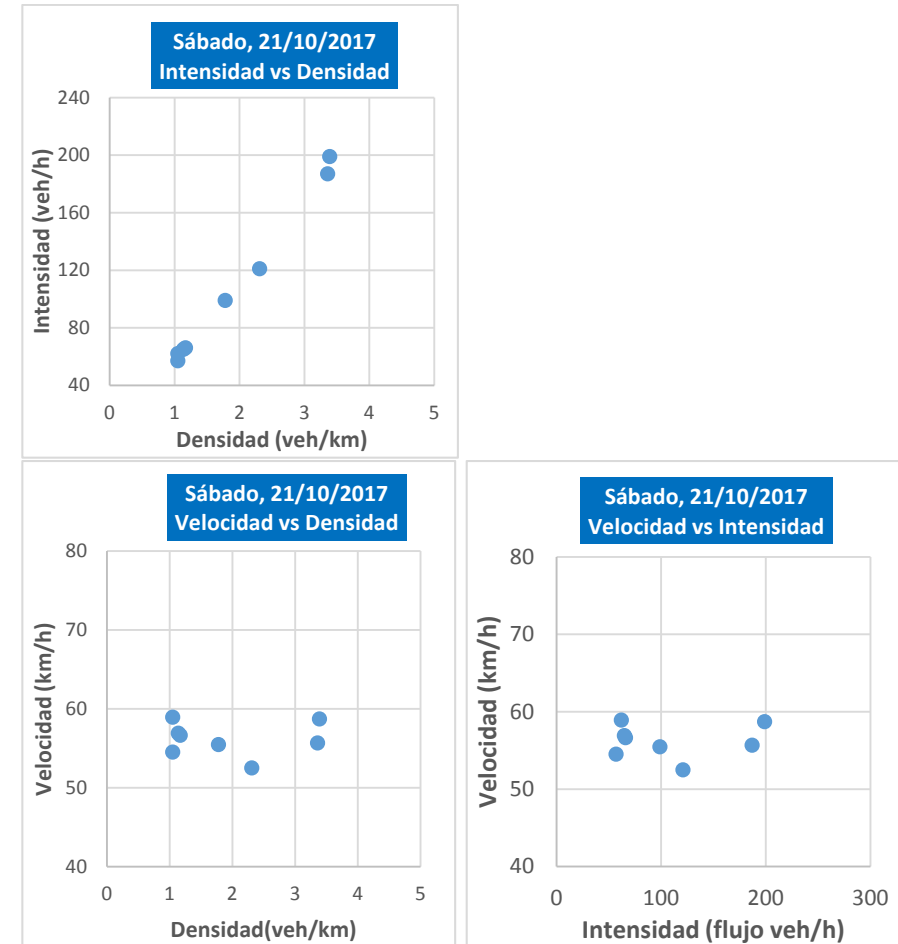


Figura 21. Gráficas tramo 1, aforo: sábado 21/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

ANEXO B

Tabla 38. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 05/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000

* Jueves, 05 de octubre de 2017

Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
14:00	0	0	0	41	41	54,10	0,76
15:00	62	50	53	55	220	62,70	3,51
16:00	54	54	54	45	207	64,30	3,22
17:00	57	50	56	60	223	59,80	3,73
18:00	53	41	47	46	187	62,90	2,97
19:00	48	41	44	30	163	62,60	2,60
20:00	37	43	30	27	137	62,30	2,20
21:00	42	31	21	32	126	62,20	2,03
22:00	27	22	27	23	99	61,60	1,61
23:00	22	15	13	12	62	67,30	0,92
TOTAL	402	347	345	371			
hora máx. demanda	17:00				intensidad Máx.	223	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: jueves 05/10/2017.

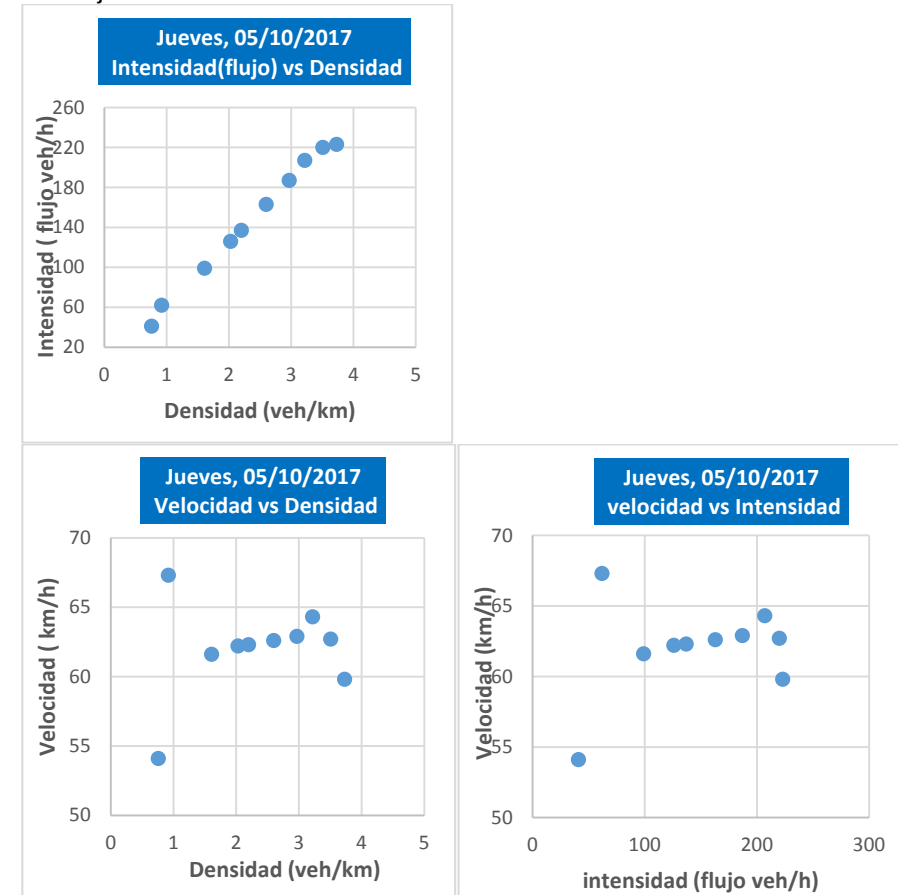


Figura 22. Gráficas tramo 2, aforo: jueves 05/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 39. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: viernes, 06/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Viernes, 06 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad $k=Int./Vm$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	11	15	9	11	46	65,60	0,70
1:00	7	8	6	6	27	66,70	0,40
2:00	5	13	9	8	35	62,60	0,56
3:00	13	14	16	16	59	58,70	1,01
4:00	13	20	25	21	79	63,20	1,25
5:00	35	24	42	45	146	63,30	2,31
6:00	48	51	50	57	206	66,80	3,08
7:00	45	57	62	49	213	63,00	3,38
8:00	50	45	48	50	193	62,70	3,08
9:00	40	53	51	50	194	61,90	3,13
10:00	55	49	55	54	213	63,00	3,38
11:00	50	43	47	36	176	64,10	2,75
12:00	48	51	50	41	190	63,10	3,01
13:00	55	54	51	48	208	65,00	3,20
14:00	70	64	65	56	255	64,50	3,95
15:00	51	61	60	56	228	63,20	3,61
16:00	54	59	54	58	225	63,80	3,53
17:00	56	51	59	65	231	59,00	3,92
18:00	55	56	56	58	225	58,20	3,87
19:00	52	65	57	59	233	60,30	3,86
20:00	52	47	51	50	200	61,40	3,26
21:00	40	40	41	32	153	63,40	2,41
22:00	33	37	34	31	135	61,70	2,19
23:00	24	30	29	18	101	61,30	1,65
TOTAL	962	1007	1027	975			
hora máx. demanda	14:00	intensidad Máx.		255			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: viernes 06/10/2017.

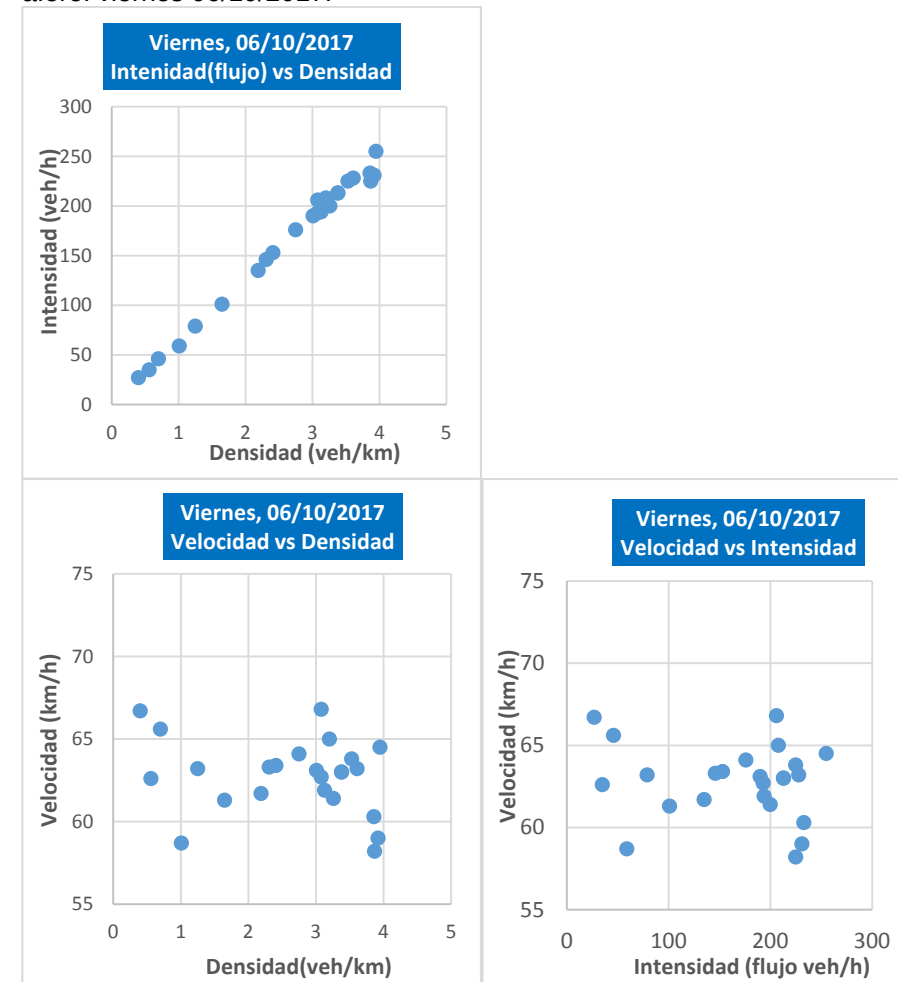


Figura 23. Gráficas tramo 2, aforo: viernes 06/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 40. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: sábado, 07/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Sábado, 07 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	27	23	14	20	84	61,80	1,36
1:00	20	23	20	10	73	59,60	1,22
2:00	12	20	12	14	58	61,80	0,94
3:00	14	18	11	26	69	66,10	1,04
4:00	28	27	36	37	128	63,50	2,02
5:00	33	46	50	47	176	62,90	2,80
6:00	46	43	55	50	194	64,60	3,00
7:00	45	67	50	46	208	59,80	3,48
8:00	47	50	45	42	184	62,10	2,96
9:00	59	54	65	47	225	61,50	3,66
10:00	54	53	59	55	221	62,30	3,55
11:00	50	59	46	60	215	59,80	3,60
12:00	53	48	52	56	209	61,70	3,39
13:00	60	50	57	54	221	63,00	3,51
14:00	56	56	52	58	222	62,50	3,55
15:00	65	52	55	47	219	63,90	3,43
16:00	58	50	64	55	227	64,20	3,54
17:00	54	54	47	57	212	61,30	3,46
18:00	52	63	42	56	213	60,80	3,50
19:00	53	59	42	43	197	59,20	3,33
20:00	51	41	49	42	183	59,20	3,09
21:00	41	38	37	28	144	60,20	2,39
22:00	27	25	30	26	108	61,30	1,76
23:00	28	24	26	28	106	62,50	1,70
TOTAL	1033	1043	1016	1004			
hora máx. demanda	16:00	intensidad Máx.		227			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: sábado 07/10/2017.

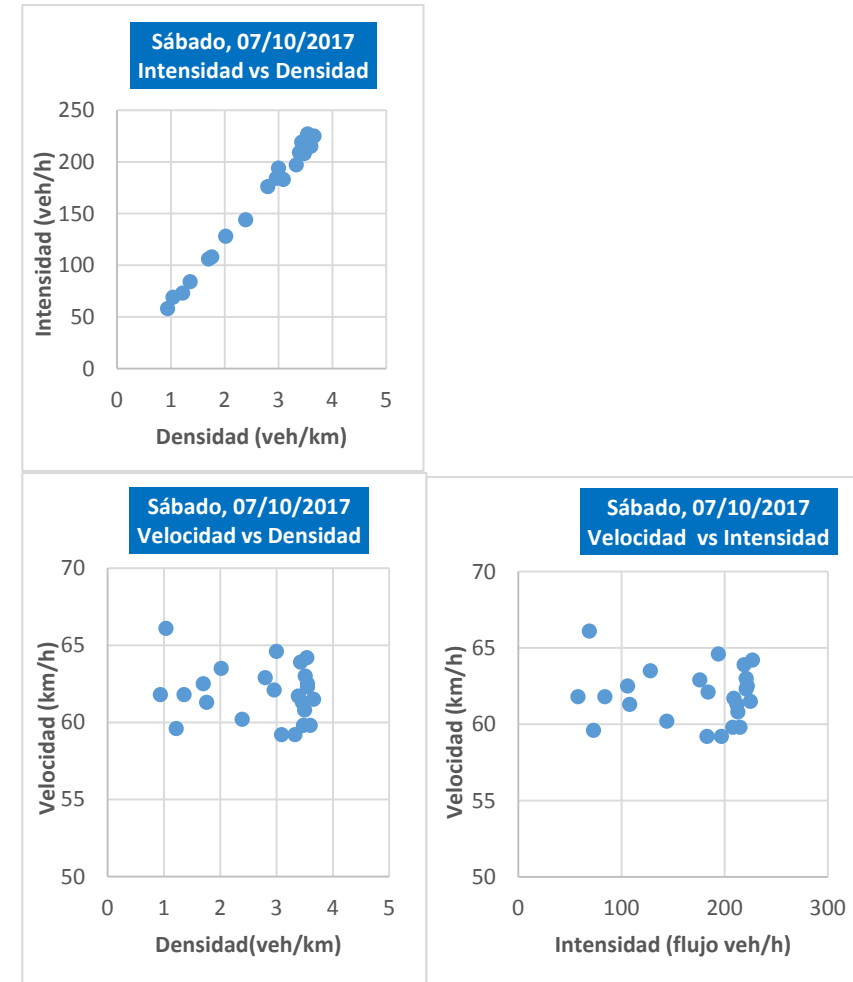


Figura 24. Gráficas tramo 2, aforo: sábado 07/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 41. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: domingo 08/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Domingo, 08 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	20	24	19	16	79	62,40	1,27
1:00	18	14	17	12	61	57,90	1,05
2:00	9	12	15	9	45	60,00	0,75
3:00	15	21	17	19	72	60,40	1,19
4:00	16	18	26	26	86	59,10	1,46
5:00	29	32	33	37	131	62,60	2,09
6:00	34	39	42	32	147	64,00	2,30
7:00	47	42	52	48	189	64,00	2,95
8:00	49	42	41	55	187	63,60	2,94
9:00	50	48	52	64	214	62,80	3,41
10:00	54	49	44	53	200	62,60	3,19
11:00	59	51	55	58	223	60,90	3,66
12:00	49	53	60	59	221	60,30	3,67
13:00	59	60	61	62	242	60,80	3,98
14:00	56	57	59	63	235	59,10	3,98
15:00	54	59	56	51	220	61,80	3,56
16:00	59	57	54	71	241	60,30	4,00
17:00	58	57	40	45	200	61,90	3,23
18:00	54	44	60	39	197	59,10	3,33
19:00	50	42	49	50	191	58,50	3,26
20:00	48	51	39	38	176	57,80	3,04
21:00	38	47	40	32	157	58,60	2,68
22:00	35	32	30	35	132	59,10	2,23
23:00	26	20	23	19	88	60,60	1,45
TOTAL	986	971	984	993			
hora máx. demanda		13:00	intensidad Máx.		242		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: domingo 08/10/2017.

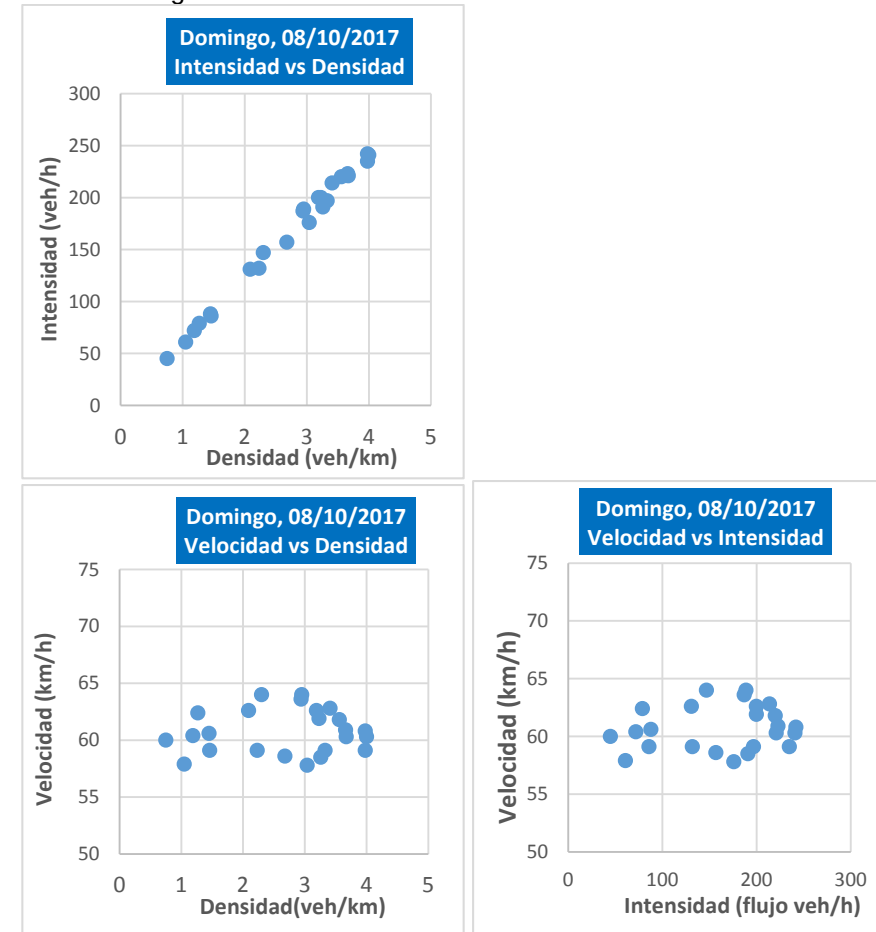


Figura 25. Gráficas tramo 2, aforo: domingo 08/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 42. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: lunes, 09/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Lunes, 09 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	14	16	13	13	56	60,40	0,93
1:00	10	9	10	9	38	65,00	0,58
2:00	6	7	8	6	27	67,40	0,40
3:00	8	13	13	14	48	61,40	0,78
4:00	18	24	24	35	101	61,80	1,63
5:00	35	34	35	38	142	62,40	2,28
6:00	44	46	43	41	174	63,60	2,74
7:00	48	51	47	47	193	62,50	3,09
8:00	46	44	42	59	191	60,80	3,14
9:00	51	56	49	42	198	62,20	3,18
10:00	56	55	57	49	217	64,60	3,36
11:00	49	50	57	52	208	62,10	3,35
12:00	52	54	46	67	219	63,20	3,47
13:00	61	42	62	51	216	62,00	3,48
14:00	44	55	56	67	222	61,00	3,64
15:00	53	57	51	65	226	59,60	3,79
16:00	55	61	51	54	221	60,40	3,66
17:00	56	63	53	60	232	60,50	3,83
18:00	63	56	60	56	235	58,00	4,05
19:00	50	50	58	59	217	58,30	3,72
20:00	47	51	44	46	188	60,40	3,11
21:00	42	50	37	31	160	62,80	2,55
22:00	34	32	33	21	120	59,30	2,02
23:00	27	26	24	24	101	60,70	1,66
TOTAL	969	1002	973	1006			
hora máx. demanda		18:00	intensidad Máx.		235		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: lunes 09/10/2017.

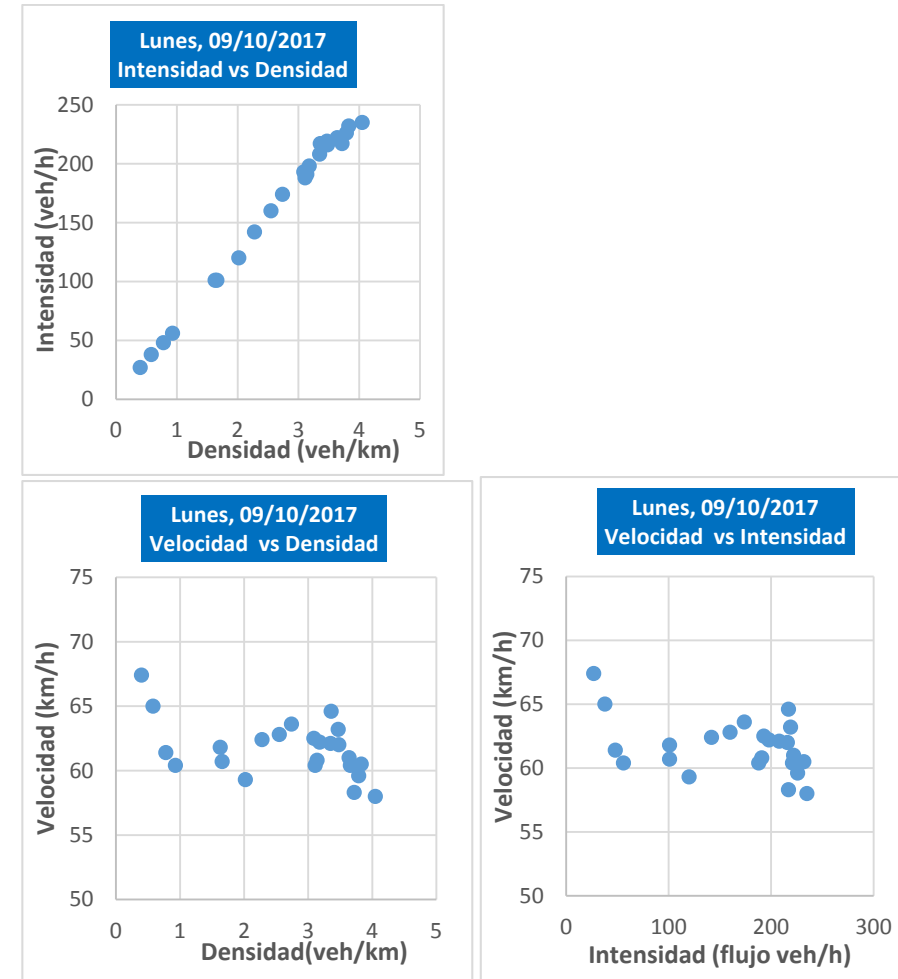


Figura 26. Gráficas tramo 2, aforo: lunes 09/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 43. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: martes, 10/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Martes, 10 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	20	12	15	7	54	62,40	0,87
1:00	9	9	11	8	37	65,60	0,56
2:00	6	9	13	7	35	55,10	0,64
3:00	12	22	20	16	70	61,80	1,13
4:00	19	23	24	24	90	64,10	1,40
5:00	30	44	45	51	170	65,00	2,62
6:00	44	67	57	52	220	66,70	3,30
7:00	52	62	52	56	222	64,00	3,47
8:00	42	62	55	46	205	64,70	3,17
9:00	54	43	50	39	186	63,70	2,92
10:00	46	61	51	57	215	62,90	3,42
11:00	44	51	46	49	190	64,80	2,93
12:00	44	42	45	46	177	64,50	2,74
13:00	54	39	44	48	185	65,60	2,82
14:00	47	49	60	52	208	66,20	3,14
15:00	58	55	47	52	212	63,70	3,33
16:00	49	42	47	63	201	65,70	3,06
17:00	50	60	49	44	203	65,00	3,12
18:00	51	58	49	46	204	61,40	3,32
19:00	51	48	35	41	175	63,10	2,77
20:00	34	40	32	33	139	62,00	2,24
21:00	23	30	43	24	120	59,80	2,01
22:00	18	20	22	18	78	59,50	1,31
23:00	20	20	10	12	62	65,60	0,95
TOTAL	877	968	922	891			
hora máx. demanda	7:00				intensidad Máx.	222	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: martes 10/10/2017.

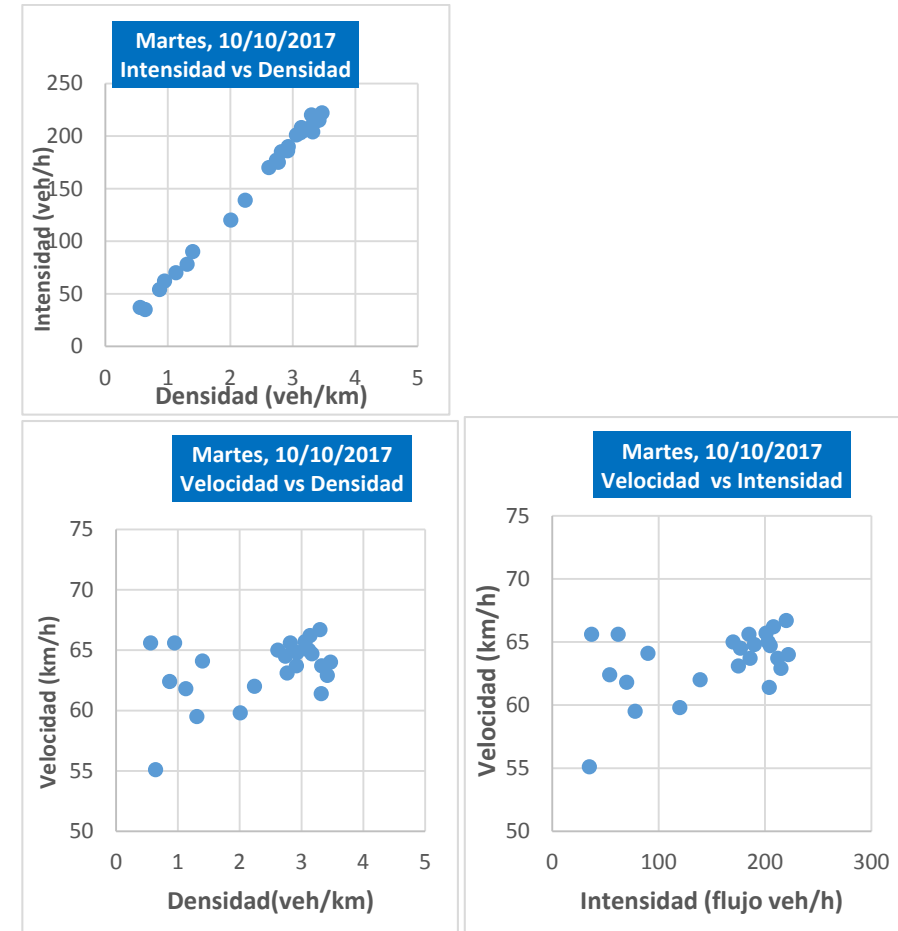


Figura 27. Gráficas tramo 2, aforo: martes 10/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 44. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: miércoles, 11/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Miércoles, 11 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V.M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	10	13	13	6	42	62,00	0,68
1:00	5	11	8	5	29	61,20	0,47
2:00	7	7	4	6	24	64,70	0,37
3:00	16	15	10	14	55	62,90	0,87
4:00	17	15	23	28	83	61,40	1,35
5:00	35	36	44	39	154	65,20	2,36
6:00	44	57	50	43	194	66,90	2,90
7:00	46	48	58	48	200	65,60	3,05
8:00	44	41	56	57	198	62,40	3,17
9:00	54	48	50	43	195	64,30	3,03
10:00	56	44	48	50	198	65,00	3,05
11:00	49	45	46	38	178	63,90	2,79
12:00	43	46	45	43	177	63,10	2,81
13:00	48	46	50	50	194	63,00	3,08
14:00	40	65	51	49	205	61,60	3,33
15:00	47	41	55	51	194	63,70	3,05
16:00	60	57	60	62	239	64,30	3,72
17:00	55	48	56	45	204	61,70	3,31
18:00	56	54	50	58	218	59,00	3,69
19:00	48	53	44	39	184	59,10	3,11
20:00	35	41	29	35	140	62,50	2,24
21:00	33	26	30	29	118	60,70	1,94
22:00	27	19	27	23	96	59,80	1,61
23:00	22	19	19	19	79	62,70	1,26
TOTAL	897	895	926	880			
hora máx. demanda		16:00	intensidad Máx.		239		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: miércoles 11/10/2017.

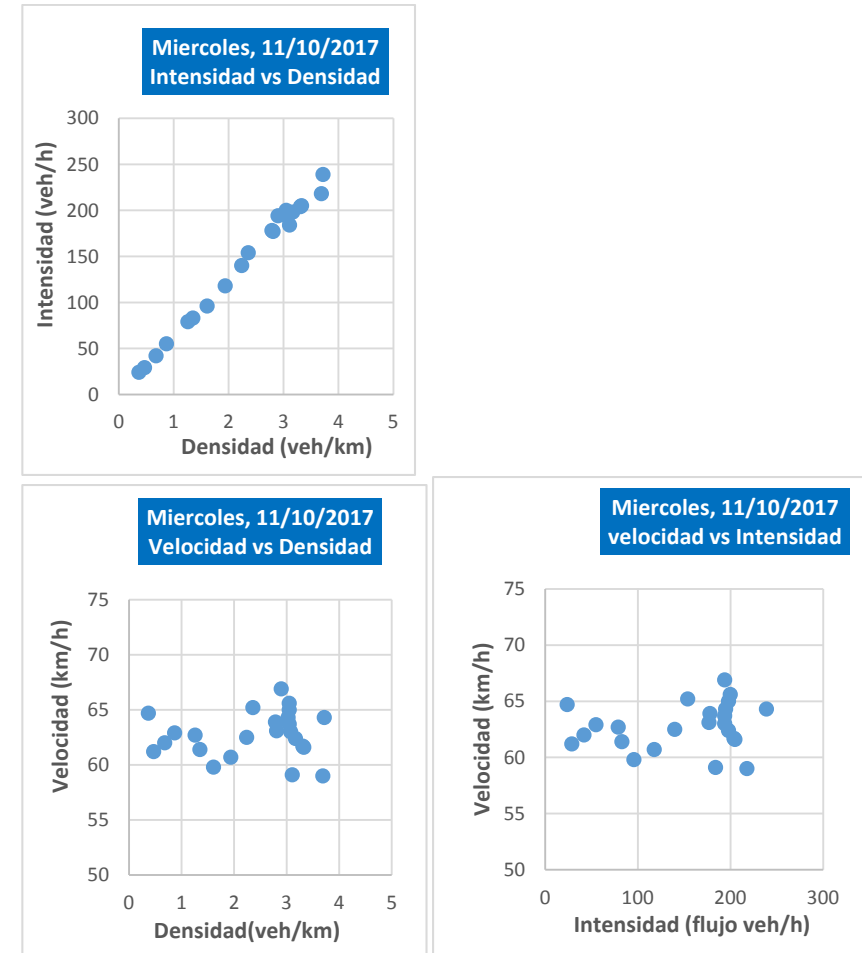


Figura 28. Gráficas tramo 2, aforo: miércoles 11/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 45. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 12/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Jueves, 12 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	13	12	14	7	46	57,90	0,79
1:00	7	8	11	8	34	57,80	0,59
2:00	5	7	5	6	23	59,40	0,39
3:00	5	11	16	9	41	57,20	0,72
4:00	13	21	23	24	81	61,50	1,32
5:00	30	34	41	40	145	64,00	2,27
6:00	50	53	64	62	229	65,30	3,51
7:00	49	59	54	55	217	65,90	3,29
8:00	53	42	45	49	189	64,40	2,93
9:00	61	53	42	51	207	62,70	3,30
10:00	43	47	51	46	187	62,70	2,98
11:00	53	44	54	42	193	62,00	3,11
12:00	40	43	42	43	168	62,70	2,68
13:00	43	44	50	48	185	64,00	2,89
14:00	47	50	45	59	201	63,00	3,19
15:00	49	55	53	58	215	62,30	3,45
16:00	66	46	48	61	221	60,60	3,65
17:00	54	48	59	54	215	64,70	3,32
18:00	59	50	49	56	214	60,30	3,55
19:00	56	46	48	34	184	57,90	3,18
20:00	38	39	41	33	151	60,40	2,50
21:00	29	34	31	30	124	60,10	2,06
22:00	28	27	32	22	109	61,60	1,77
23:00	18	27	17	20	82	63,30	1,30
TOTAL	909	900	935	917			
hora máx. demanda		6:00	intensidad Máx.		229		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: jueves 12/10/2017.

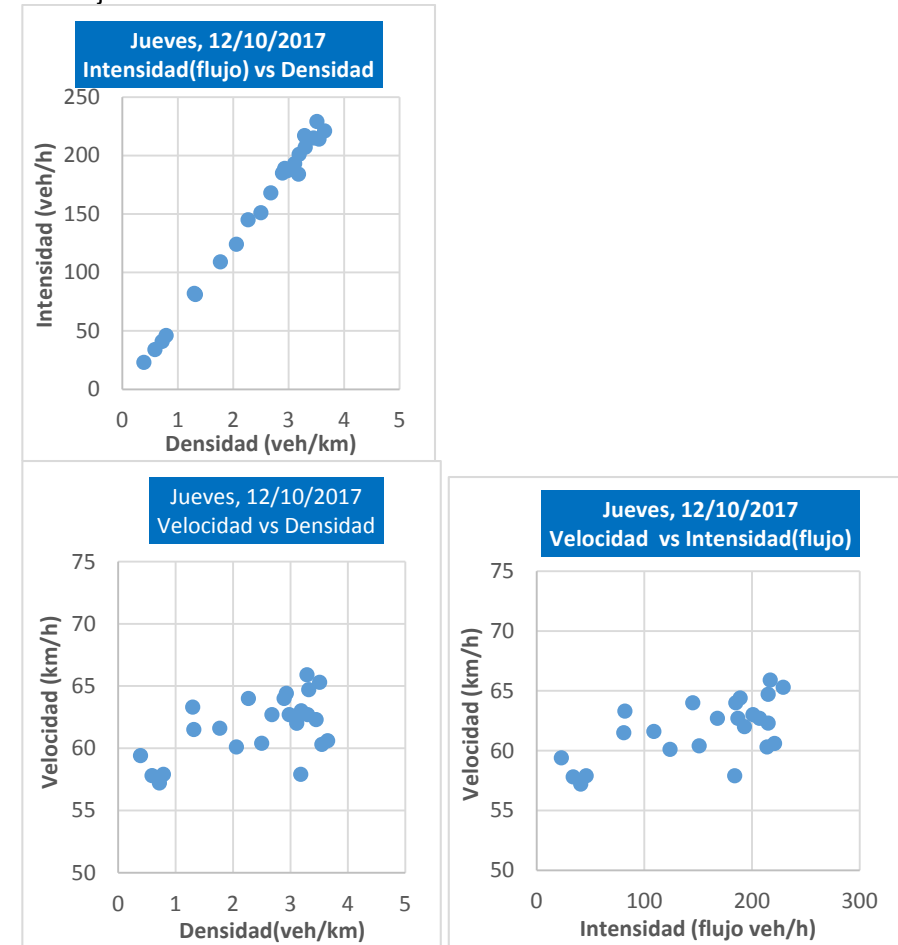


Figura 29. Gráficas tramo 2, aforo: jueves 12/10/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600

Elaborado por: Autora

Tabla 46. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, sentido BA Loja - Catamayo, día de aforo: viernes, 13/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Viernes, 13 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	10	9	9	8	36	64,60	0,56
1:00	8	3	5	7	23	63,00	0,37
2:00	5	6	5	13	29	65,70	0,44
3:00	7	14	20	13	54	57,40	0,94
4:00	15	24	22	31	92	59,30	1,55
5:00	29	51	51	46	177	62,30	2,84
6:00	41	59	56	49	205	66,50	3,08
7:00	50	51	58	51	210	63,60	3,30
8:00	46	41	50	53	190	64,30	2,95
9:00	47	47	51	50	195	61,20	3,19
10:00	52	61	43	43	199	62,80	3,17
11:00	48	40	43	54	185	63,50	2,91
12:00	51	41	47	50	189	63,40	2,98
13:00	68	43	44	52	207	63,70	3,25
14:00	59	55	54	51	219	65,10	3,36
15:00	58	48	56	53	215	64,10	3,35
16:00	60	62	55	53	230	63,50	3,62
17:00	58	60	62	51	231	62,00	3,73
18:00	61	62	59	56	238	59,50	4,00
19:00	58	49	51	50	208	60,10	3,46
20:00	52	47	39	44	182	59,00	3,08
21:00	39	47	36	40	162	61,30	2,64
22:00	31	33	29	26	119	62,10	1,92
23:00	26	18	26	20	90	64,20	1,40
TOTAL	979	971	971	964			
hora máx. demanda		18:00	intensidad Máx.		238		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2, día de aforo: viernes 13/10/2017.

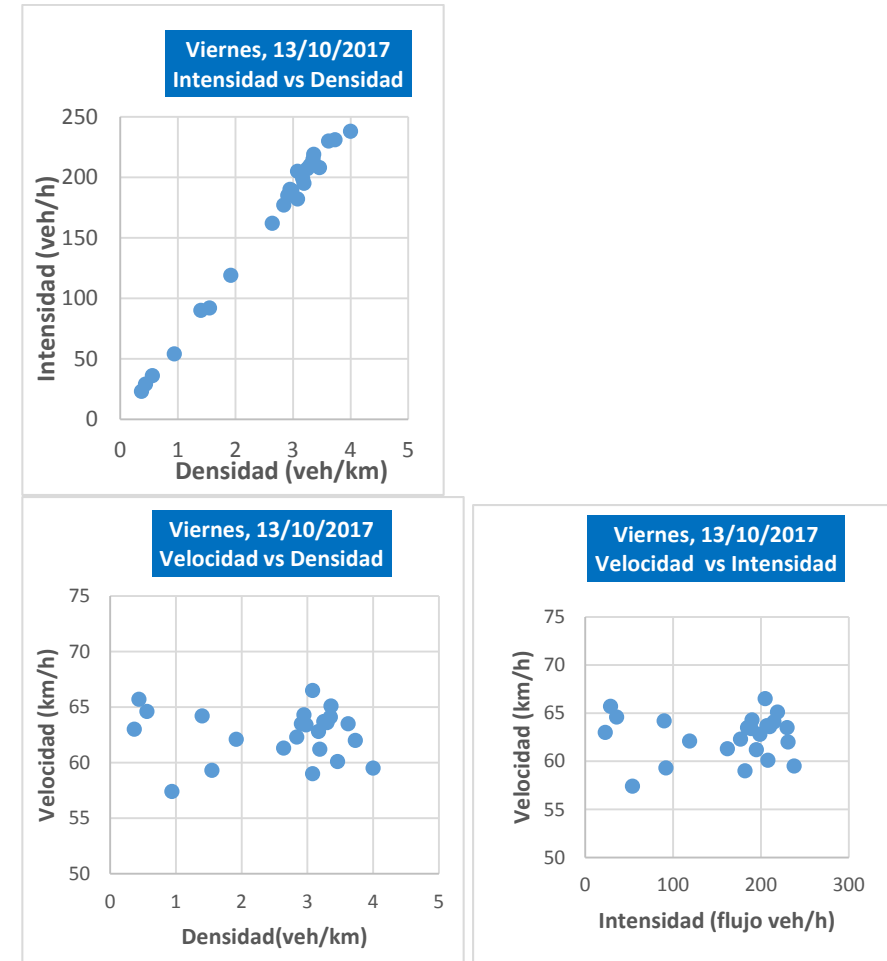


Figura 30. Gráficas tramo 2, aforo: viernes 13/10/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600
Elaborado por: Autora

Tabla 47. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: sábado, 14/10/2017.

TRAMO 2: Km. 11+300 - Km. 22+000							
* Sábado, 14 de octubre de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:00	18	30	17	22	87	59,20	1,47
1:00	17	10	17	10	54	56,70	0,95
2:00	13	17	16	9	55	63,80	0,86
3:00	14	20	14	19	67	56,20	1,19
4:00	22	18	29	31	100	59,20	1,69
5:00	36	42	50	45	173	63,80	2,71
6:00	42	45	47	52	186	63,40	2,93
7:00	53	50	50	48	201	60,00	3,35
8:00	42	52	47	41	182	62,30	2,92
9:00	54	53	46	62	215	61,20	3,51
10:00	61	53	23	0	137	58,20	2,35
TOTAL	372	390	356	339			
hora máx. demanda	9:00				intensidad Máx.	215	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 2 días de aforo: sábado 14/10/2017.

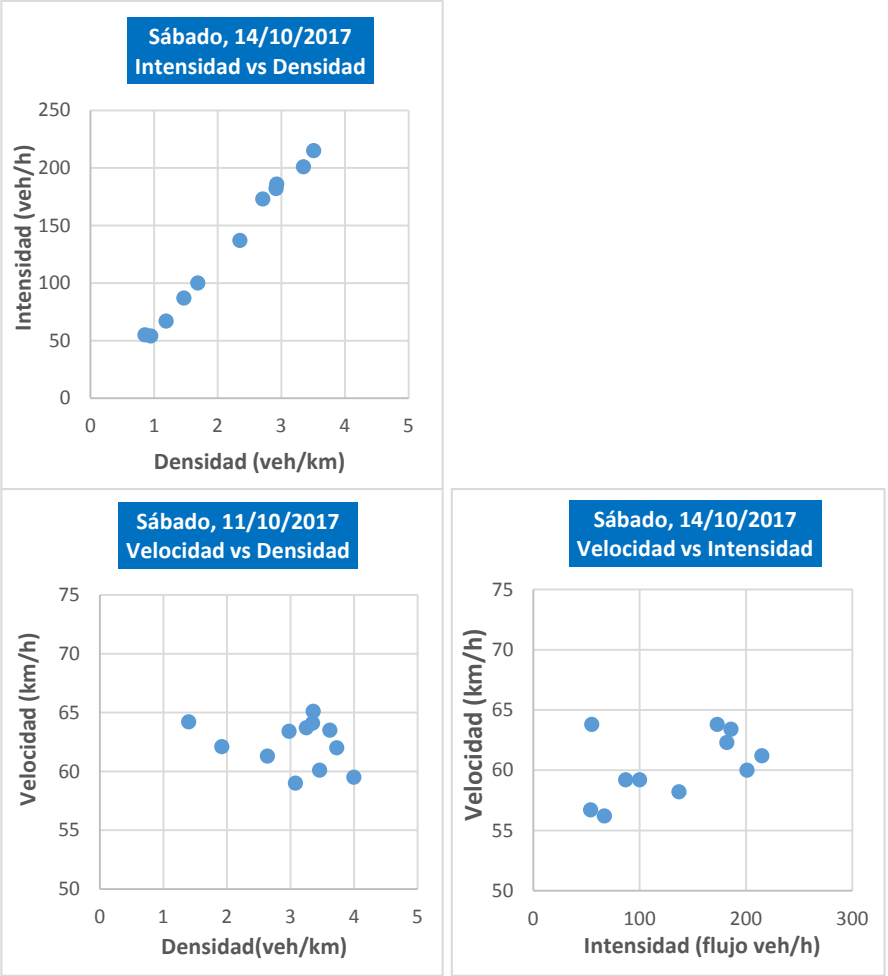


Figura 31. Gráficas tramo 2, aforo: sábado 14/10/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 600
Elaborado por: Autora

ANEXO C

Tabla 48. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: sábado, 12/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300

*Sábado, 12 de agosto de 2017

Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
16:30		27	70	64	161	44,97	3,58
17:30	73	61	77	72	283	50,57	5,60
18:30	71	61	51	52	235	51,26	4,58
19:30	49	67	71	62	249	52,35	4,76
20:30	56	56	58	48	218	52,51	4,15
21:30	51	48	50	38	187	55,37	3,38
22:30	43	43	36	35	157	54,08	2,90
23:30	31	35	41	34	141	55,86	2,52
total	374	398	454	405			
hora máx. demanda	17:30	intensidad Máx.				283	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo: sábado, 12/08/2017.

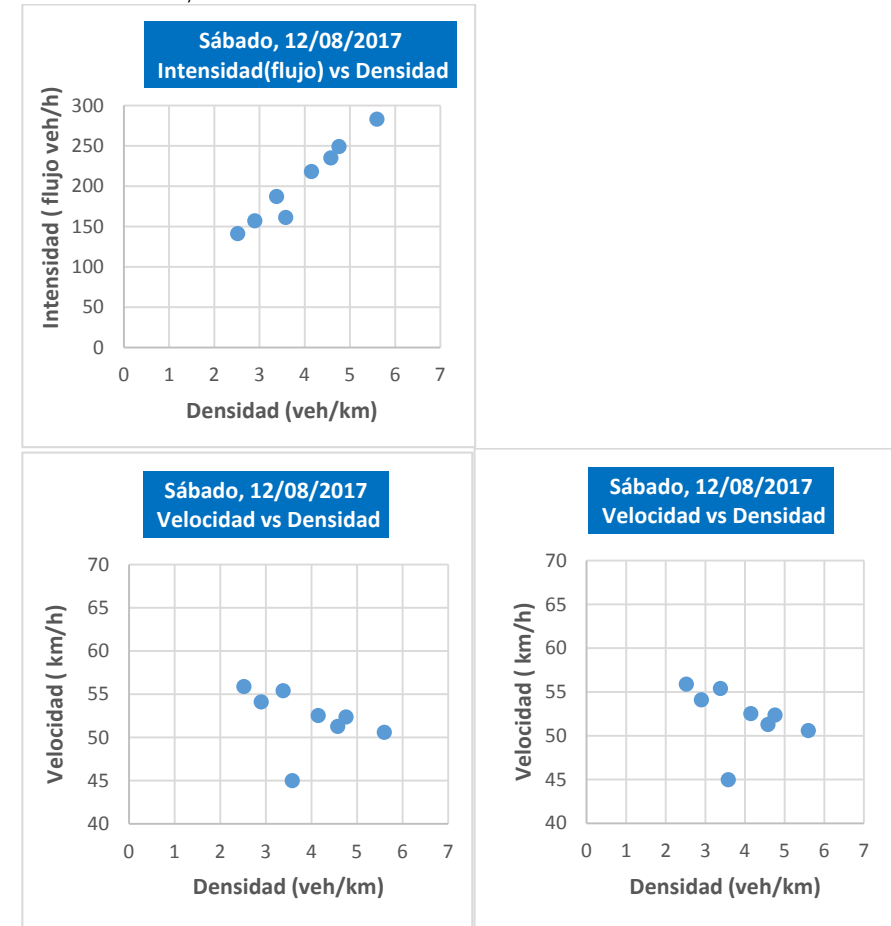


Figura 32. Gráficas tramo 3, aforo: sábado, 12/08/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 49. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: domingo 13/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
*Domingo, 13 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad media (km/h)	Densidad $k=Int./V_m$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	28	34	26	29	117	55,19	2,12
1:30	16	21	29	26	92	56,79	1,62
2:30	26	21	26	19	92	50,54	1,82
3:30	21	31	31	30	113	51,73	2,18
4:30	29	29	32	40	130	51,41	2,53
5:30	44	48	45	43	180	55,52	3,24
6:30	48	63	53	52	216	60,15	3,59
7:30	49	51	44	43	187	55,53	3,37
8:30	47	56	46	58	207	57,19	3,62
9:30	56	64	64	48	232	54,00	4,30
10:30	54	62	65	70	251	55,56	4,52
11:30	76	78	62	68	284	52,54	5,40
12:30	62	59	65	62	248	53,81	4,61
13:30	73	61	61	71	266	52,92	5,03
14:30	60	77	81	76	294	53,55	5,49
15:30	59	57	76	68	260	52,71	4,93
16:30	70	61	55	62	248	49,06	5,05
17:30	54	63	52	65	234	49,62	4,72
18:30	55	57	62	63	237	48,80	4,86
19:30	64	69	70	62	265	51,75	5,12
20:30	58	60	61	59	238	54,21	4,39
21:30	60	63	48	58	229	55,05	4,16
22:30	53	52	37	49	191	56,22	3,40
23:30	33	39	25	23	120	54,91	2,19
TOTAL	1195	1276	1216	1244			
hora máx. demanda	14:30	intensidad Máx.		294			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo: domingo 13/08/2017.

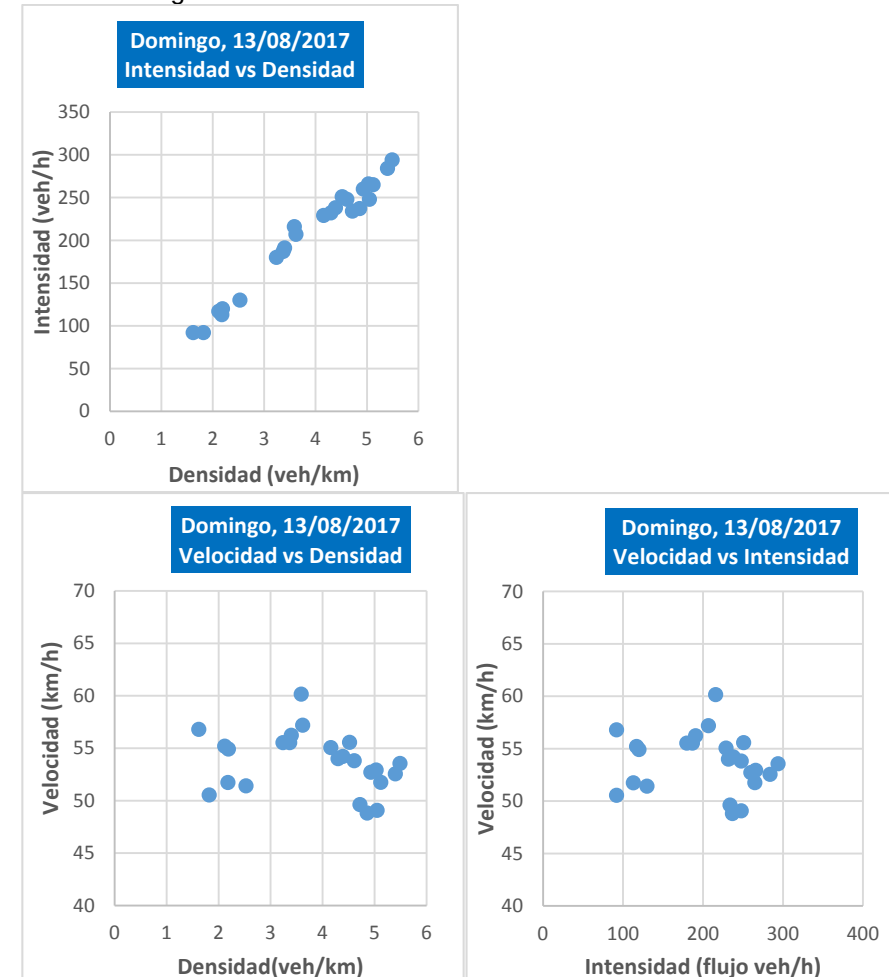


Figura 33. Gráficas tramo 3, aforo: domingo 13/08/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 50. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: lunes 14/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
*Lunes, 14 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V.M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	24	23	22	22	91	54,65	1,67
1:30	19	26	17	15	77	55,52	1,39
2:30	18	16	23	19	76	56,28	1,35
3:30	22	31	31	31	115	57,28	2,01
4:30	43	43	45	42	173	54,80	3,16
5:30	44	51	53	55	203	56,53	3,59
6:30	63	62	63	62	250	58,41	4,28
7:30	68	68	65	59	260	58,14	4,47
8:30	60	60	59	65	244	58,33	4,18
9:30	69	55	71	69	264	53,38	4,95
10:30	65	64	56	70	255	53,18	4,80
11:30	66	69	54	55	244	53,61	4,55
12:30	66	58	62	77	263	53,78	4,89
13:30	62	57	60	63	242	53,25	4,54
14:30	66	76	66	66	274	53,56	5,12
15:30	59	71	67	62	259	53,10	4,88
16:30	65	68	65	65	263	53,75	4,89
17:30	64	60	71	73	268	54,57	4,91
18:30	63	58	56	65	242	53,59	4,52
19:30	45	53	59	49	206	50,98	4,04
20:30	45	43	43	46	177	51,95	3,41
21:30	36	28	41	30	135	53,15	2,54
22:30	42	26	29	31	128	55,60	2,30
23:30	19	25	24	17	85	51,51	1,65
TOTAL	1193	1191	1202	1208			
hora máx. demanda		14:30	intensidad Máx.		274		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo: lunes 14/08/2017.

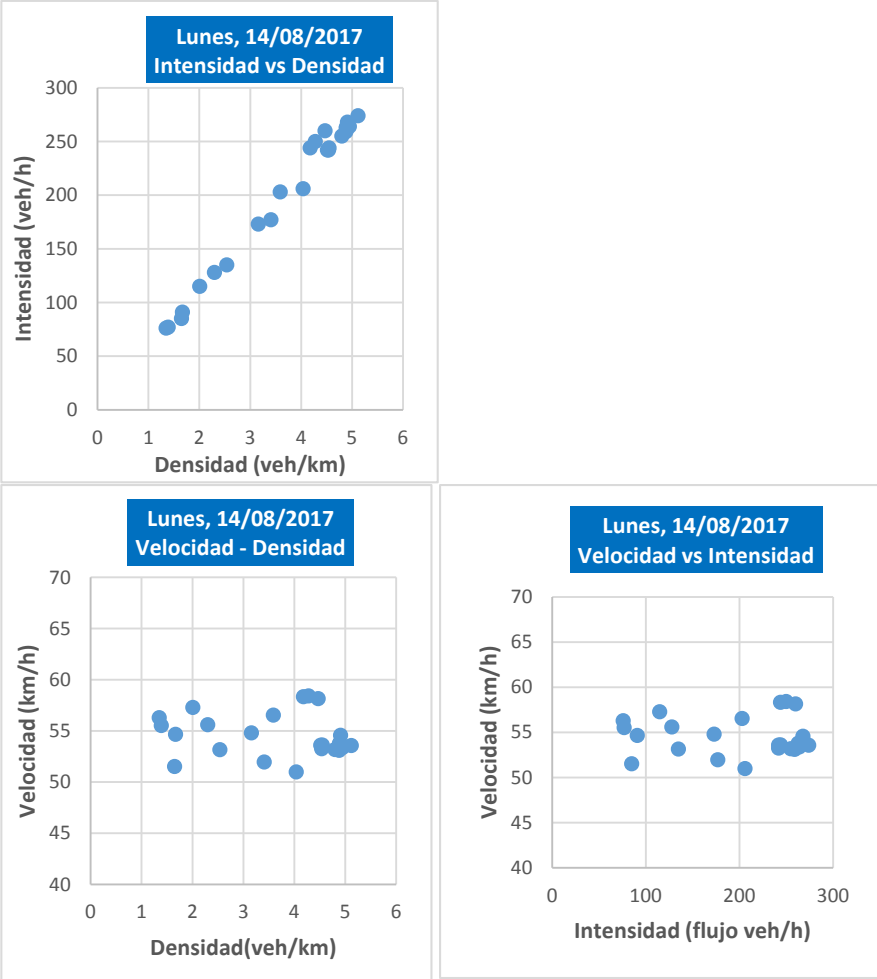


Figura 34. Gráficas tramo 3, aforo: lunes 14/08/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Tabla 51. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: martes, 15/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
Martes, 15 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	23	20	22	22	87	53,94	1,61
1:30	16	15	9	20	60	52,51	1,14
2:30	11	11	21	11	54	58,18	0,93
3:30	23	20	32	32	107	51,30	2,09
4:30	27	33	36	34	130	54,74	2,37
5:30	49	48	55	59	211	55,66	3,79
6:30	60	60	62	60	242	55,97	4,32
7:30	58	59	61	64	242	58,25	4,15
8:30	55	54	65	61	235	55,41	4,24
9:30	54	63	52	57	226	51,38	4,40
10:30	54	62	63	57	236	51,40	4,59
11:30	60	62	67	50	239	51,14	4,67
12:30	57	56	64	62	239	53,07	4,50
13:30	57	67	69	66	259	52,03	4,98
14:30	57	68	61	65	251	50,16	5,00
15:30	68	65	68	61	262	51,14	5,12
16:30	60	61	74	64	259	51,53	5,03
17:30	59	59	58	75	251	53,16	4,72
18:30	53	58	64	68	243	51,57	4,71
19:30	51	54	58	51	214	51,70	4,14
20:30	42	49	43	42	176	52,50	3,35
21:30	43	36	44	31	154	54,61	2,82
22:30	21	35	33	24	113	54,56	2,07
23:30	25	18	12	21	76	53,35	1,42
TOTAL	1083	1133	1193	1157			
hora máx. demanda	15:30	intensidad Máx.			262		

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo: lunes 15/08/2017.

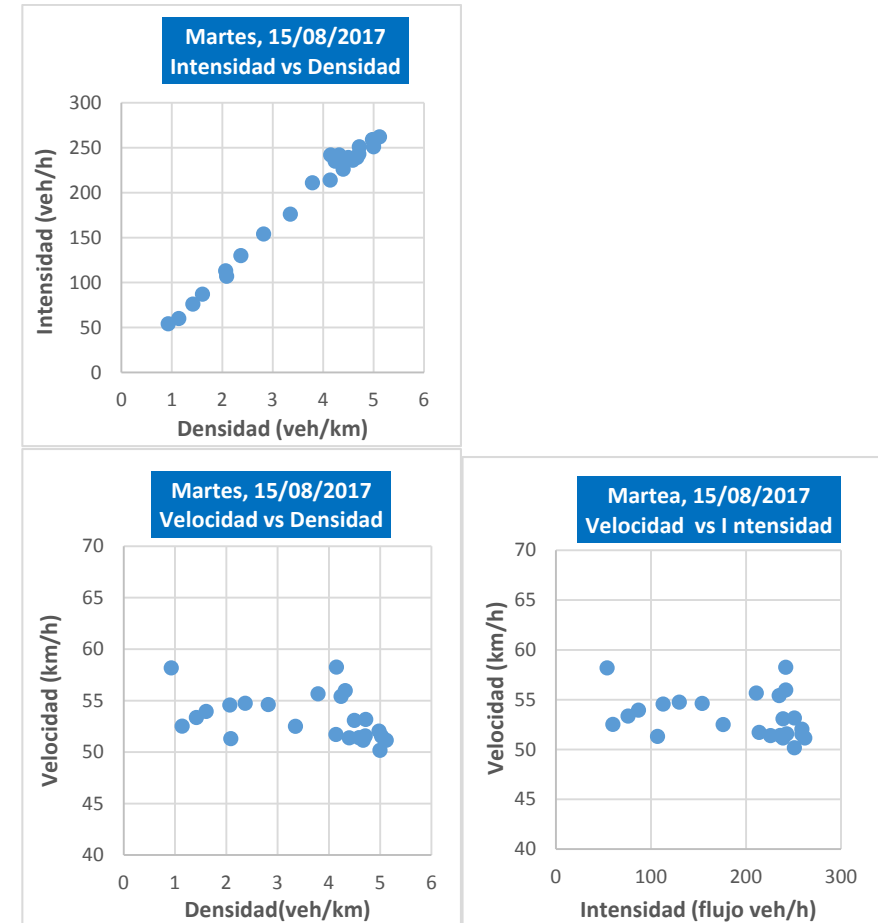


Figura 35. Gráficas tramo 3, aforo: lunes 15/08/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 52. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: miércoles 16/08//2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
Miercoles, 16 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	25	21	14	9	69	54,96	1,26
1:30	5	5	8	13	31	60,34	0,51
2:30	15	10	15	16	56	52,27	1,07
3:30	13	23	26	20	82	50,30	1,63
4:30	30	35	34	37	136	54,88	2,48
5:30	35	47	53	48	183	57,90	3,16
6:30	60	48	65	67	240	54,78	4,38
7:30	56	56	50	51	213	56,84	3,75
8:30	43	63	51	66	223	56,16	3,97
9:30	66	62	59	54	241	51,06	4,72
10:30	60	65	62	61	248	52,22	4,75
11:30	63	57	57	56	233	53,43	4,36
12:30	55	65	64	57	241	53,72	4,49
13:30	67	65	58	67	257	54,23	4,74
14:30	59	55	63	63	240	51,97	4,62
15:30	61	68	62	69	260	49,99	5,20
16:30	70	59	74	73	276	52,04	5,30
17:30	65	75	60	60	260	53,51	4,86
18:30	66	54	56	55	231	50,94	4,53
19:30	64	56	57	64	241	51,22	4,71
20:30	55	53	54	60	222	52,92	4,20
21:30	49	45	42	50	186	53,05	3,51
22:30	40	45	41	36	162	54,38	2,98
23:30	32	39	37	36	144	53,15	2,71
TOTAL	1154	1171	1162	1188			
hora máx. demanda	16:30		intensidad Máx.	276			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo: miércoles 16/08//2017.

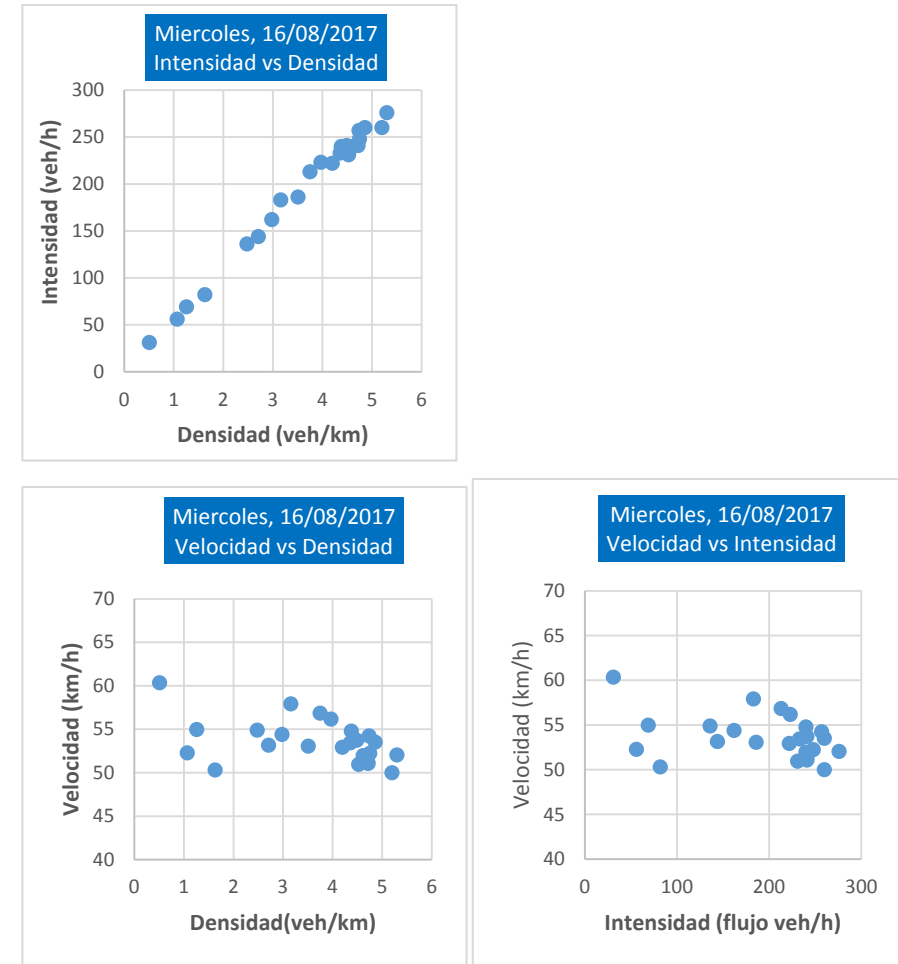


Figura 36. Gráficas tramo 3, aforo: miércoles 16/08//2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Tabla 53. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 2, día de aforo: jueves, 17/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
Jueves, 17 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	27	32	23	23	105	54,64	1,92
1:30	20	26	24	12	82	55,59	1,47
2:30	12	16	15	22	65	55,51	1,17
3:30	25	28	29	31	113	51,87	2,18
4:30	29	34	40	39	142	54,73	2,59
5:30	46	47	59	46	198	56,08	3,53
6:30	53	60	65	59	237	54,31	4,36
7:30	55	56	59	46	216	58,87	3,67
8:30	57	68	65	55	245	54,81	4,47
9:30	57	61	57	69	244	51,85	4,71
10:30	60	55	53	66	234	53,18	4,40
11:30	65	59	62	61	247	53,56	4,61
12:30	61	65	53	52	231	53,31	4,33
13:30	60	55	64	59	238	54,76	4,35
14:30	66	66	60	58	250	53,40	4,68
15:30	51	69	63	64	247	50,47	4,89
16:30	75	61	62	61	259	53,13	4,87
17:30	63	57	56	61	237	49,26	4,81
18:30	62	68	57	55	242	52,53	4,61
19:30	54	66	60	59	239	51,13	4,67
20:30	55	64	60	49	228	54,88	4,15
21:30	55	59	57	50	221	55,47	3,98
22:30	46	55	60	39	200	53,11	3,77
23:30	49	51	36	37	173	55,51	3,12
TOTAL	1203	1278	1239	1173			
hora máx. demanda	16:30		intensidad Máx.	259			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo, jueves, 17/08/2017.

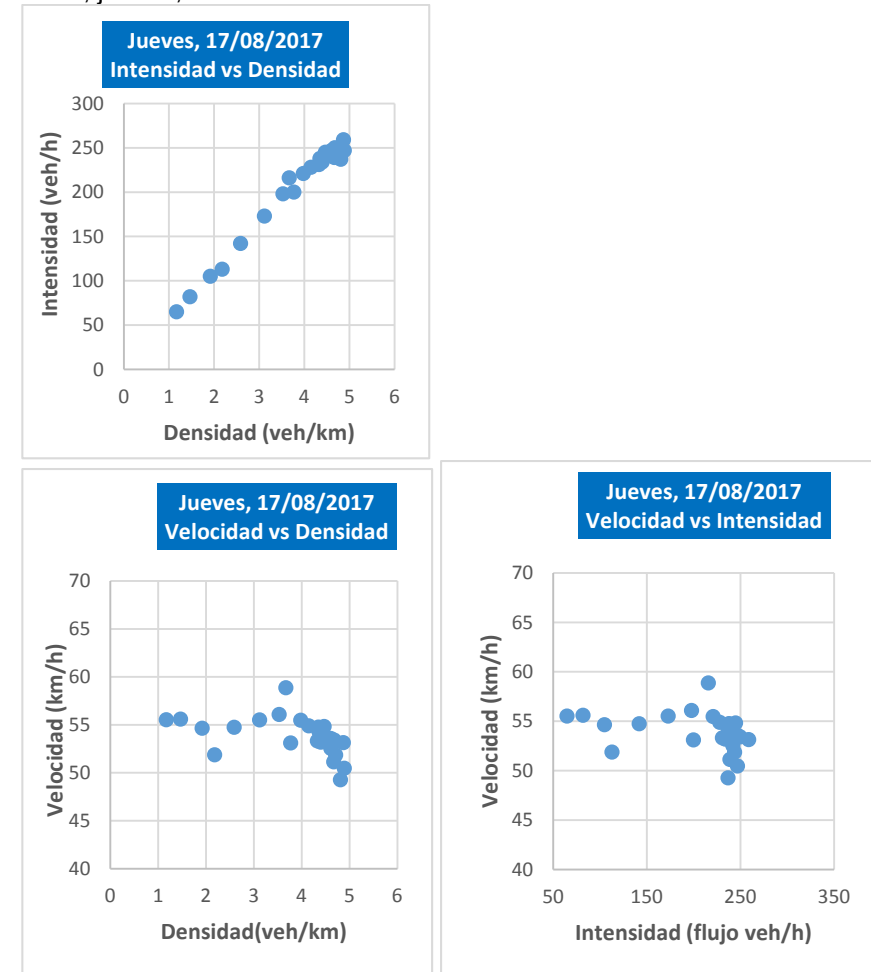


Figura 37. Gráficas tramo 3, aforo, jueves, 17/08/2017

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 54. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: viernes, 18/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
Viernes, 18 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad $k=Int./V. M.$ (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	36	35	27	26	124	53,03	2,34
1:30	30	20	29	30	109	54,55	2,00
2:30	25	26	21	24	96	58,81	1,63
3:30	22	22	19	19	82	54,04	1,52
4:30	22	36	33	41	132	55,03	2,40
5:30	47	40	45	60	192	54,66	3,51
6:30	54	56	61	53	224	58,34	3,84
7:30	59	63	56	54	232	58,86	3,94
8:30	44	48	58	55	205	55,89	3,67
9:30	62	62	58	55	237	52,93	4,48
10:30	62	72	65	63	262	52,51	4,99
11:30	55	54	59	66	234	50,13	4,67
12:30	53	68	54	61	236	52,09	4,53
13:30	71	69	65	71	276	50,91	5,42
14:30	62	65	58	62	247	50,59	4,88
15:30	72	69	62	72	275	48,02	5,73
16:30	66	56	69	68	259	50,51	5,13
17:30	66	73	69	62	270	52,53	5,14
18:30	67	69	65	63	264	50,22	5,26
19:30	49	57	56	52	214	53,42	4,01
20:30	67	46	51	53	217	54,31	4,00
21:30	51	48	62	51	212	55,04	3,85
22:30	55	63	47	44	209	54,14	3,86
23:30	56	47	56	47	206	53,36	3,86
TOTAL	1253	1264	1245	1252			
hora máx. demanda	13:30		intensidad Máx.	276			

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo, viernes 18/08/2017.

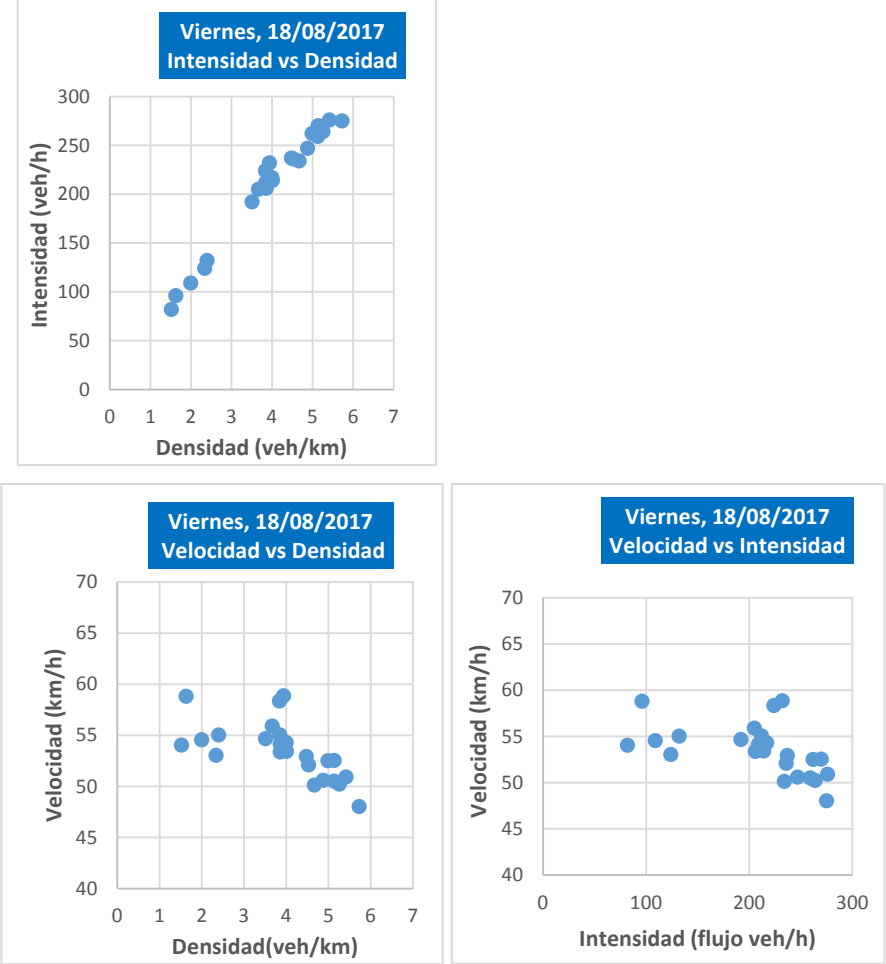


Figura 38. Gráficas tramo 3, aforo, viernes 18/08/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Tabla 55. Intensidad, Velocidad y Densidad en tramo 3, día de aforo: sábado, 19/08/2017.

TRAMO 3: Km. 22+000 - Km. 33+300							
Sábado, 19 de agosto de 2017							
Hora	Intensidades por periodos de tiempo				Intensidad (flujo) veh/h	Velocidad Media (km/h)	Densidad k=Int./V. M. (veh/km)
	0	15	30	45			
0:30	27	35	26	28	116	54,26	2,14
1:30	26	19	25	28	98	52,94	1,85
2:30	25	30	33	23	111	50,47	2,20
3:30	29	33	28	34	124	52,19	2,38
4:30	41	34	37	44	156	52,47	2,97
5:30	48	55	46	61	210	54,32	3,87
6:30	47	48	53	53	201	57,26	3,51
7:30	62	59	57	63	241	57,93	4,16
8:30	61	63	52	71	247	57,19	4,32
9:30	18				18	55,27	0,33
TOTAL	384	376	357	405			
hora máx. demanda	8:30				intensidad Máx.	247	

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

Gráficas de las relaciones Intensidad-Densidad, Velocidad-Densidad y Velocidad-Intensidad con las variables de primer orden, tramo 3, día de aforo, sábado, 19/08/2017.

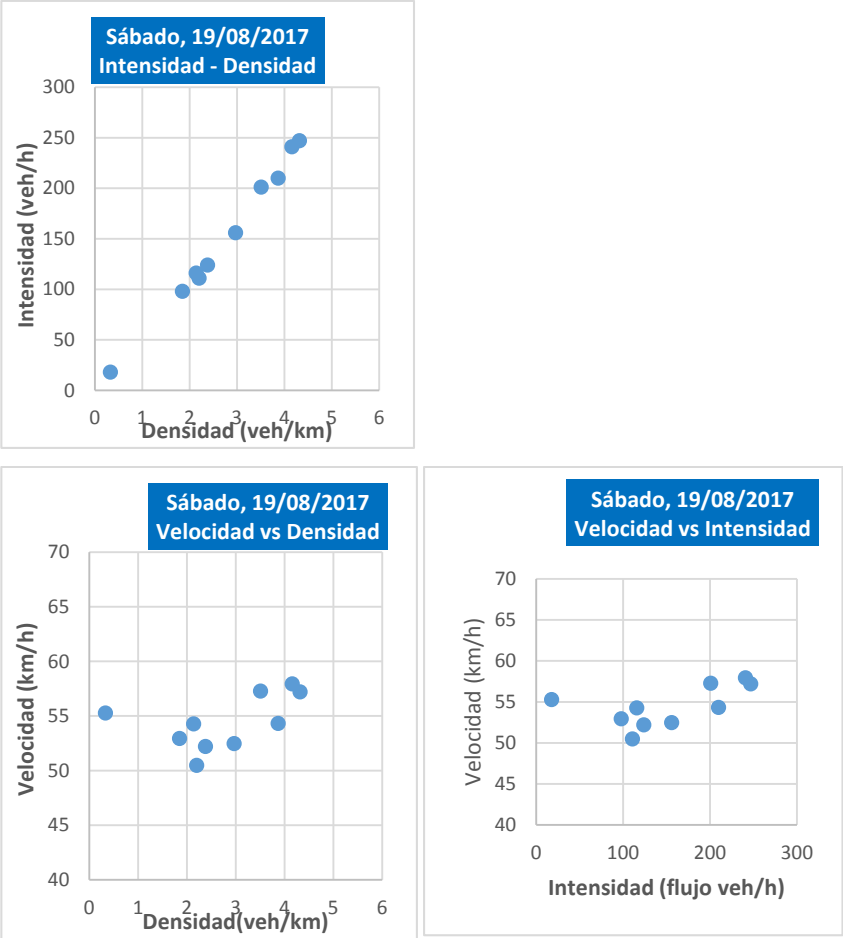


Figura 39. Gráficas tramo 3, aforo, sábado, 19/08/2017
Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600
Elaborado por: Autora

ANEXO D

Tramo 1: km 4+000 – km. 11+200.

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección AB Loja – Catamayo.

Para determinar la velocidad medida en campo se obtiene la velocidad de punto mediante los datos descargados del metrocount 5600 (tabla 56 y 57).

Tabla 56. Velocidad de Punto en el tramo 1 dirección AB, semana del 14/10/2017 al 21/10/2017

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 1: KM4+00-KM11+300										
DIRECCIÓN AB LOJA - CATAMAYO										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)		Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi
					Abs. f	Relat. f (%)	Abs. f acum.	Relat. facum(%)		
10,40	-	18,19	14,30		78	0,6	78	0,58	204,49	1 115,40
18,20	-	25,99	22,10		217	1,60	295	2,18	488,41	4 795,70
26,00	-	33,79	29,90		723	5,33	1018	7,51	894,01	21 617,70
33,80	-	41,59	37,70		1188	8,76	2206	16,27	1 421,29	44 787,60
41,60	-	49,39	45,50		2035	15,01	4241	31,27	2 070,25	92 592,50
49,40	-	57,19	53,30		2814	20,75	7055	52,02	2 840,89	149 986,20
57,20	-	64,99	61,10		2931	21,61	9986	73,63	3 733,21	179 084,10
65,00	-	72,79	68,90		1992	14,69	11978	88,32	4 747,21	137 248,80
72,80	-	80,59	76,70		1018	7,51	12996	95,83	5 882,89	78 080,60
80,60	-	88,39	84,50		397	2,93	13393	98,75	7 140,25	33 546,50
88,40	-	96,19	92,30		124	0,91	13517	99,67	8 519,29	11 445,20
96,20	-	103,99	100,10		40	0,29	13557	99,96	10 020,01	4 004,00
104,00	-	111,79	107,90		3	0,02	13560	99,99	11 642,41	323,70
111,80	-	119,59	115,70		2	0,01	13562	100,00	13 386,49	231,40
TOTALES Σ =					13562	100			72 991,10	758 859,40
										45 404 854,82

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 57. Resumen sumatoria tabla 56

RESUMEN	
Σ(Vi²)=	72 991,10
Σ(fVi)=	758 859,40
Σ(fVi²)=	45 404 854,82
n=	13 562

Fuente: datos obtenidos de la tabla 56

Elaborado por: Autora

a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 109,10 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^k \geq n$$

$$2^{14} = 16\,384 \geq 13\,562$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k}$$

[Ecuación 3]

$$\text{Intervalo de clase} = 7,79$$

b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$V_t = \frac{\sum(fVi)}{\sum f}$$

[Ecuación 4]

$$V_t = 55,95 \text{ km/h}$$

Representación gráfica.

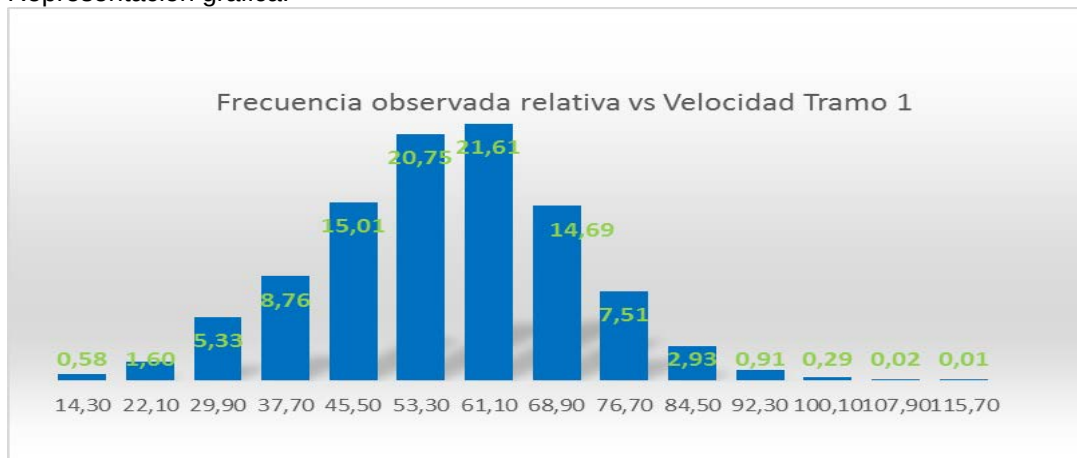


Figura 40. Gráfica frecuencia observada

Fuente: gráfica obtenida con datos frecuencia vs velocidad de la tabla 56

Elaborado por: Autora

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fVi) - \frac{[\sum(fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}}$$

[Ecuación 5]

$$S = 14,73$$

Características de la distribución normal

Tabla 58. Características de la distribución normal.

CARACTERÍSTICAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL	
VELOCIDAD	FRECUENCIA
Vt - 3S	11,76
Vt - 2S	26,49
Vt - 1S	41,22
Vt	55,95
Vt + 1S	70,69
Vt + 2S	85,42
Vt + 3S	100,15

Fuente: Datos obtenidos con la desviación estándar

Elaborado por: Autora

Curva frecuencia – velocidad.

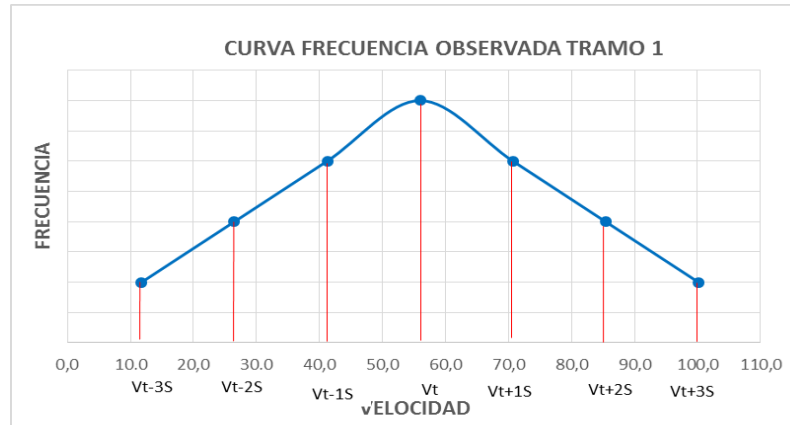


Figura 41. Curva frecuencia observada

Fuente: figura obtenida con datos frecuencia vs velocidad, tabla 58

Elaborado por: Autora

De acuerdo a la tabla 2, con una constante $K = 2$, el nivel de confianza es del 95,5%, lo que determina que con un 95,5% de confiabilidad, la velocidad media está comprendida entre el rango de 26,49 km/h y 85,52 km/h.

d) Confiabilidad de la muestra.

$$Vt - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < Vt + \frac{KS}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$E = 0,13$$

Una vez obtenido el error estándar se lo reemplaza en la ecuación 6 a fin de determinar el intervalo que define la velocidad media óptima.

$$Vt - KE < \mu < Vt + KE$$

Coeficiente $K = 2$ para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,25$$

f) Reemplazando tenemos la velocidad.

$$55,95 - 0,25 < u < 55,95 + 0,25$$

$$55,71 < u < 56,20$$

Velocidad a utilizar = 55,95 km/h para el tramo 1 dirección AB (Loja Catamayo)

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección BA Catamayo - Loja.

Tabla 59. Velocidad de Punto en el tramo 1, sentido BA semana del 14/10/2017 al 21/10/2017.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 1 DIRECCIÓN BA CATAMAYO - LOJA										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi	f Vi²
				Abs. f	Relat. f (%)	Abs. f acum.	Relat. facum(%)			
10,60	-	17,86	14,23	75	0,6	75	0,59	202,49	1 067,25	15 186,97
17,87	-	25,13	21,50	230	1,81	305	2,41	462,25	4.945,00	106.317,50
25,14	-	32,40	28,77	348	2,75	653	5,15	827,71	10 011,96	288 044,09
32,41	-	39,67	36,04	519	4,09	1172	9,25	1 298,88	18 704,76	674 119,55
39,68	-	46,94	43,31	830	6,55	2002	15,79	1 875,76	35 947,30	1 556 877,56
46,95	-	54,21	50,58	1570	12,39	3572	28,18	2 558,34	79 410,60	4 016 588,15
54,22	-	61,48	57,85	2233	17,62	5805	45,80	3 346,62	129 179,05	7 473 008,04
61,49	-	68,75	65,12	2647	20,88	8452	66,68	4 240,61	172 372,64	11 224 906,32
68,76	-	76,02	72,39	2176	17,17	10628	83,85	5 240,31	157 520,64	11 402 919,13
76,03	-	83,29	79,66	1296	10,22	11924	94,07	6 345,72	103 239,36	8 224 047,42
83,30	-	90,56	86,93	573	4,52	12497	98,60	7 556,82	49 810,89	4 330 060,67
90,57	-	97,83	94,20	134	1,06	12631	99,65	8 873,64	12 622,80	1 189 067,76
97,84	-	105,10	101,47	35	0,28	12666	99,93	10 296,16	3 551,45	360 365,63
105,11	-	112,37	108,74	9	0,07	12675	100,00	11 824,39	978,66	106 419,49
TOTALES $\Sigma =$				12675	100			64 949,71	779 362,36	50 967 928,27

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 60. Resumen sumatoria tabla 59

RESUMEN	
$\Sigma(Vi^2)=$	64 949,71
$\Sigma(fVi)=$	779 362,36
$\Sigma(fVi^2)=$	50 967 928,27
n=	12 675

Fuente: Datos obtenidos tabla 59

Elaborado por: Autora

- a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 101,60$$

$$2^k \geq n \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^{14} = 16\,384 \geq 12\,675$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\text{Intervalo de clase} = 7,26$$

- b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$V_t = \frac{\Sigma(fVi)}{\Sigma f} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$V_t = 61,49 \text{ km/h}$$

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(f v_i^2) - \frac{[\sum(f v_i)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}}$$

[Ecuación 5]

$$S = 15,50$$

Características de la distribución normal

Tabla 61. Características de la distribución normal.

CARACTERÍSTICAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL	
VELOCIDAD	FRECUENCIA
Vt - 3S	14,98
Vt - 2S	30,48
Vt - 1S	45,98
Vt	61,49
Vt + 1S	76,99
Vt + 2S	92,50
Vt + 3S	108,00

Fuente: Datos obtenidos con la desviación estándar
Elaborado por: Autora

d) Confiabilidad de la muestra.

$$Vt - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < Vt + \frac{KS}{\sqrt{n}}$$

[Ecuación 6]

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

[Ecuación 7]

$$E = 0,14$$

Una vez obtenido el error estándar se lo reemplaza en la ecuación 6 a fin de determinar el intervalo que define la velocidad media óptima.

$$Vt - KE < \mu < Vt + KE$$

Coeficiente K= 2 para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,27$$

f) Reemplazando se obtiene la velocidad:

$$61,49 - 0,27 < \mu < 61,49 + 0,27$$

$$61,22 < 61,76$$

Velocidad a utilizar = 61,49 km/h para el tramo 1 dirección BA (Catamayo - Loja)

En la tabla 62 contiene todos los datos, factores y coeficientes obtenidos de tablas, datos de campo y cálculos necesarios para determinar los parámetros, velocidad de flujo media y porcentaje de demora en seguimiento.

Tabla 62. Datos para encontrar la capacidad y nivel de servicio del tramo 1: Km. 4+000 – Km. 11+300.

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 1: km 4+000 - km 11+300 LOJA - CATAMAYO							
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-DOMINGO 15 DE OCTUBRE DE 2017							
DESCRIPCIÓN				SIMBOLOGIA	DATOS		FUENTE
HORA DE MÁXIMA DEMANDA				HMD	15H30-16H30		Metrocount 5600
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA				Vf total	259 veh/hora		Metrocount 5600
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS				Varr.	52,75 km/h		Metrocount 5600
PENDIENTE %				G	4,60%		Tabla 16 (MTOPI, 2016)
LONGITUD PENDIENTE KM				L	7,3 Km		Tabla 16 (MTOPI, 2016)
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA				FHMD	0,97		Metrocount 5600
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL					CARRIL AB D. ANAL.	CARRIL BA OPUESTO	
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE					LOJA-CAT.	CAT. - LOJA	
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDENTE	
VELOCIDAD MEDIA				SMF	55,95 km/h	61,49 km/h	Metrocount 5600
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				Vf (d,o)	113	146	No zonas recreativas
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				% Vf (d,o)	44%	56%	No zonas recreativas
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO (DECIMALES)				PTC	-	0,1233	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)				PT	0,1239	0,1233	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS				ET	14,6	1,70	Tabla 3, 5 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d				ER	1,00	1,00	Tabla 4 Y 5 (HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d				FG	0,84	1,00	Tabla 7 y 8 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d				ET C	-	4,60	TABLA 6 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d				fnp	3,4	2,8	Tabla 8 (HCM-2010)
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO							
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDENTE	
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0,00	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d				ET	3,43	1,1	Tabla 9 y 10(HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d				ER	1,0	1,0	Tabla 9 y 10(HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d				FG	1,0	1,0	Tabla 11 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d				fd/np	56,4	56,4	Tabla 8 (HCM2010)
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %,					89,73	89,73	Tabla 19
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL				Vvvp	117	151	Vd/FHMD

Fuente: Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOPI(2016).

Elaborado por: Autora

Determinación de la velocidad de flujo libre (ATS)

- a) Determinación de la velocidad de flujo libre (FFS).

$$FFS = SFM + 0,0125 \left(\frac{V_f}{f_{HV}} \right)$$

[Ecuación 8]

$$FFS = 59,74$$

$$FFS = 63,55$$

- b) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV) para ATS

$$f_{HVd} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)}$$

[Ecuación 9]

$$f_{HVdATS} = 0,37$$

- c) Determinación de la demanda de la tasa de flujo libre (Vd).

$$V_d = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 11]$$

$$V_d \text{ ATS} = 372,00 \text{ veh. liv./hora./en un sentido}$$

- d) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV) para ATS

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PTC * PT(ETC - 1) + (1 - PTC) * PT * (ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 10]$$

$$f_{HV} \text{ ATS} = 0,89$$

- e) Determinación de la velocidad de flujo libre (ATS).

$$V_o = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 11]$$

$$V_o \text{ ATS} = 171 \text{ veh/h}$$

- f) Determinar la velocidad media de viaje (ATS).

$$ATS \text{ d } / o = FFS - 0,0125(V_d + V_o) - f_{np} \quad [Ecuación 12]$$

$$ATS \text{ d} = 49,52 \text{ km/h.}$$

$$ATS \text{ o} = 53.99 \text{ km/h.}$$

Determinar del porcentaje de demora en tiempo (PTSF).

- a) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV} \text{ d } PTSF = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 13]$$

$$f_{HV} \text{ d } PTSF = 0,77$$

- b) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (Vd), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_d \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 14]$$

$$V_d \text{ SPTF} = 152,00 \text{ veh. liv./hora./en un sentido}$$

- c) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV \text{ o } PTSF} = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

$$f_{HV \text{ o } PTSF} = 0,99$$

- d) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (Vo), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_o \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

$$V_o \text{ SPTF} = 152,00 \text{ veh. liv./hora./en un sentido}$$

- e) El porcentaje base de tiempo empleado en seguimiento (BPTSF).

$$BPTSF \text{ d / o} = 100(1 - e^{-a V_d^b}) \quad [\text{Ecuación 15}]$$

$$BTSF \text{ d} = 16.96$$

$$BTSF \text{ o} = 16.96$$

- f) Cálculo del porcentaje de tiempo empleado en seguimiento (PTSF).

$$PTSF = BPTSF + f_{np} PTSF * \left(\frac{V_d PTSF}{V_d PTSF + V_o PTSF} \right) \quad [\text{Ecuación 16}]$$

$$PTSF \text{ d} = 45.17$$

$$PTSF \text{ o} = 45.17$$

- g) Determinación del nivel de Servicio

$$ATS \text{ d} = 49,52 \text{ km/h} \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO E}$$

$$PTSF \text{ d} = 45,17\% \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO B}$$

$$ATS \text{ o} = 53.99 \text{ km/h} \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO E}$$

$$PTSF \text{ o} = 45,17\% \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO B}$$

- h) Determinación de la Capacidad.

$$CATS = 1700 \times F_g \times f_{HV} = 1700 \times 0.68 \times 0.36$$

$$C \text{ ATS} = 419 \text{ veh/h en un solo sentido}$$

$$\text{Capacidad} = 419 / 0.45 = 932 \text{ veh/h en ambas direcciones}$$

Tramo 2: Km. 11+300 – km. 22+000.

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección AB Catamayo - Loja.

Para determinar la velocidad medida en campo se obtiene la velocidad de punto mediante los datos descargados del metrocount 5600 (tabla 63 y 64).

Tabla 63. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección AB semana del 05/10/2017 al 14/10/2017.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 2: DIRECCIÓN AB CATAMAYO - LOJA - KM22+00-KM11+300										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi	f Vi²
				Abs. f	Relat. f (%)	Abs. f acum.	Relat. facum(%)			
10,90	-	18,78	14,84	8	0,05	8	0,05	220,23	118,72	1 761,80
18,79	-	26,67	22,73	21	0,13	29	0,18	516,65	477,33	10.849,71
26,68	-	34,56	30,62	101	0,62	130	0,79	937,58	3 092,62	94 696,02
34,57	-	42,45	38,51	326	1,99	456	2,78	1 483,02	12 554,26	483 464,55
42,46	-	50,34	46,40	875	5,33	1331	8,11	2 152,96	40 600,00	1 883 840,00
50,35	-	58,23	54,29	1713	10,44	3044	18,56	2 947,40	92 998,77	5 048 903,22
58,24	-	66,12	62,18	2909	17,73	5953	36,29	3 866,35	180 881,62	11 247 219,13
66,13	-	74,01	70,07	3832	23,36	9785	59,65	4 909,80	268 508,24	18 814 372,38
74,02	-	81,90	77,96	3485	21,25	13270	80,90	6 077,76	271 690,60	21 180 999,18
81,91	-	89,79	85,85	2031	12,38	15301	93,28	7 370,22	174 361,35	14 968 921,90
89,80	-	97,68	93,74	839	5,11	16140	98,40	8 787,19	78 647,86	7 372 450,40
97,69	-	105,57	101,63	227	1,38	16367	99,78	10 328,66	23 070,01	2 344 605,12
105,58	-	113,46	109,52	30	0,18	16397	99,96	11 994,63	3 285,60	359 838,91
113,47	-	121,35	117,41	3	0,02	16400	99,98	13 785,11	352,23	41 355,32
121,36	-	129,24	125,30	3	0,02	16403	100,00	15 700,09	375,90	47 100,27
TOTALES Σ =				16403	100			91 077,66	1 151 015,11	83 900 377,92

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 64. Resumen sumatoria tabla 63

RESUMEN	
Σ(Vi²)=	91 077,66
Σ(fVi)=	1 151 015,11
Σ(fVi²)=	83 900 377,92
n=	16 403

Fuente: Datos obtenidos de la tabla 63

Elaboración: Autor

a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 118,20 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^k \geq n$$

$$2^{15} = 32768 \geq 16403 \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k}$$

$$\text{Intervalo de clase} = 7,88$$

b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$Vt = \frac{\sum(fVi)}{\sum f} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$Vt = 70,17 \text{ km/h}$$

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fVi) - \frac{[\sum(fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

$$S = 13,82$$

d) Confiabilidad de la muestra.

$$Vt - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < Vt + \frac{KS}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$E = 0,11$$

$$Vt - KE < \mu < Vt + KE$$

Coeficiente K= 2 para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,21$$

f) Reemplazando se obtiene la velocidad.

$$70,17 - 0,21 < u < 70,17 + 0,21$$

$$69,96 < u < 70,38$$

Velocidad a utilizar = 70,17 km/h para el tramo 2 dirección AB (Catamayo- Loja)

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección BA Loja - Catamayo.

Tabla 65. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección BA, semana del 05/10/2017 al 14/10/2017

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 2										
DIRECCIÓN BA LOJA - CATAMAYO, KM11+300 - KM22+000										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi	f Vi²
				Abs. f	Relat. f (%)	Abs. f acum.	Relat. facum(%)			
11,40	-	17,90	14,65	9	0,1	9	0,05	214,62	131,85	1 931,60
17,91	-	24,41	21,16	17	0,10	26	0,15	447,75	359,72	7.611,68
24,42	-	30,92	27,67	64	0,37	90	0,52	765,63	1 770,88	49 000,25
30,93	-	37,43	34,18	212	1,23	302	1,75	1 168,27	7 246,16	247 673,75
37,44	-	43,94	40,69	574	3,32	876	5,07	1 655,68	23 356,06	950 358,08
43,95	-	50,45	47,20	1469	8,51	2345	13,58	2 227,84	69 336,80	3 272 696,96
50,46	-	56,96	53,71	2852	16,51	5197	30,09	2 884,76	153 180,92	8 227 347,21
56,97	-	63,47	60,22	3947	22,85	9144	52,94	3 626,45	237 688,34	14 313 591,83
63,48	-	69,98	66,73	3973	23,00	13117	75,94	4 452,89	265 118,29	17 691 343,49
69,99	-	76,49	73,24	2548	14,75	15665	90,70	5 364,10	186 615,52	13 667 720,68
76,50	-	83,00	79,75	1117	6,47	16782	97,16	6 360,06	89 080,75	7 104 189,81
83,01	-	89,51	86,26	389	2,25	17171	99,42	7 440,79	33 555,14	2 894 466,38
89,52	-	96,02	92,77	86	0,50	17257	99,91	8 606,27	7 978,22	740 139,47
96,03	-	102,53	99,28	13	0,08	17270	99,99	9 856,52	1 290,64	128 134,74
102,54	-	109,04	105,79	2	0,01	17272	100,00	11 191,52	211,58	22 383,05
TOTALES $\Sigma =$				17272	100			66 263,15	1 076 920,87	69 318 588,99

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 66. Resumen sumatoria tabla 65.

RESUMEN	
$\Sigma(Vi^2)=$	66 263,15
$\Sigma(fVi)=$	1 076 920,87
$\Sigma(fVi^2)=$	69 318 588,99
n=	17 272

Fuente: Datos obtenidos de la tabla 65

Elaborado por: Autora

a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 97.50$$

$$2^k \geq n \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^{15} = 32768 \geq 17272$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\text{Intervalo de clase} = 6,50$$

b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$V_t = \frac{\sum(fVi)}{\sum f} \quad [Ecuación 4]$$

$$V_t = 62,35 \text{ km/h}$$

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fVi) - \frac{[\sum(fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}} \quad [Ecuación 5]$$

$$S = 11,21$$

d) Confiabilidad de la muestra.

[Ecuación 6]

$$V_t - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < V_t + \frac{KS}{\sqrt{n}}$$

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad [Ecuación 7]$$

$$E = 0,09$$

$$V_t - KE < \mu < V_t + KE$$

Coeficiente K= 2 para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,17$$

f) Reemplazando se obtiene la velocidad:

$$62,35 - 0,17 < u < 62,35 + 0,17$$

$$62,18 < u < 62,52$$

Velocidad a utilizar = 62,35 km/h para el tramo 2 dirección BA (Loja – Catamayo)

En la tabla 67 contiene todos los datos, factores y coeficientes obtenidos de tablas, datos de campo y cálculos necesarios para determinar los parametros, velocidad de flujo media y porcentaje de demora en seguimiento.

Tabla 67. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 2: km11+300-km22+000

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 2: km 11+300 - km 22+000 LOJA - CATAMAYO						
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-VIERNES 06 DE OCTUBRE DE 2017						
DESCRIPCIÓN				SIMBOLOGIA	DATOS	FUENTE
HORA DE MÁXIMA DEMANDA				HMD	14H00-15H00	Metrocount 5600
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA				Vf total	255 veh/hora	Metrocount 5600
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS				Varr.	64,68 km/h	Metrocount 5600
PENDIENTE %				G	-4,50%	Tabla 17 (MTOP,2016)
LONGITUD PENDIENTE KM				L	10,70KM	Tabla 17 (MTOP,2016)
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA				FHMD	0,91	Metrocount 5600
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL					CARRIL AB D. ANALIZ.	CARRIL B.A.D. OPUESTA
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE					CAT. - LOJA	LOJA-CAT.
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDIENTE
VELOCIDAD MEDIA				SMF	70,17 km/h	62,35 km/h
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				Vf (d,o)	118	137
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				% Vf (d,o)	0,46	0,54
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO (DECIMALES)				PTC	-	0,1606
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)				PT	0,3051	0,1606
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS				ET	11,30	1,40
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d				ER	1,00	1,00
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d				FG	0,95	1,00
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d				ET C	-	4,39
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d				fnp	3,81	1,88
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO						
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDIENTE
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d				ET	3,38	1,10
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d				ER	1,00	1,00
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d				FG	1,00	1,00
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d				fd/np	59,26	59,26
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %,				%	87,85	87,85
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL				Vvp	130	151
					Vd/FHMD	

Fuente: Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOP(2016).

Elaboración: Autor

Determinación de la velocidad de flujo media (ATS)

- a) Determinación de la velocidad de flujo libre (FFS).

$$FFS = SFM + 0,0125 \left(\frac{Vf}{f_{HV}} \right) \quad [Ecuación 8]$$

$$FFS d = 76,28$$

$$FFS o = 64,75$$

- b) Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para ATS

$$f_{HV} d = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 9]$$

$$f_{HV} d \text{ ATS} = 0,24$$

- c) Determinación de la demanda de la tasa de flujo libre (Vd).

$$Vd = \frac{Vf}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 11]$$

$$Vd = 566 \text{ veh/hora en dirección analizada}$$

- d) Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para ATS

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PTC * PT(ETC - 1) + (1 - PTC) * PT * (ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 10]$$

$$f_{HV \text{ o } ATS} = 0,88$$

e) Determinación de la velocidad de flujo libre (ATS).

$$V_o = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 9]$$

$$V_o = 172 \text{ veh/hora en sentido opuesto}$$

f) Determinar la velocidad media de viaje (ATS).

$$ATS = FFS - 0,0125(V_d + V_o) - f_{np} \quad [Ecuación 12]$$

$$ATS_d = 63,25 \text{ km/h.}$$

$$ATS_o = 53,20 \text{ km/h.}$$

Determinar del porcentaje de demora en tiempo (PTSF).

a) Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV \text{ d } PTSF} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 13]$$

$$f_{HV \text{ d } PTSF} = 0,58$$

b) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (V_d), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_d \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 14]$$

$$V_d \text{ SPTF} = 224 \text{ veh/hora en dirección en análisis}$$

c) Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV \text{ o } PTSF} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 13]$$

$$f_{HV \text{ o } PTSF} = 0,98$$

- d) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (V_o), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_o \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(fHV)(FG)} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

$V_o \text{ SPTF} = 154 \text{ veh/hora en sentido opuesto}$

- e) El porcentaje base de tiempo empleado en seguimiento (BPTSF).

$$BPTSF \text{ d / o} = 100(1 - e^{-a V d^b}) \quad [\text{Ecuación 15}]$$

BTSF d = 23,74

BTSF d = 17,73

- f) Cálculo del porcentaje de tiempo empleado en seguimiento (PTSF).

$$PTSF = BPTSF + fnp \text{ PTSF} * \left(\frac{V_d \text{ PTSF}}{V_d \text{ PTSF} + V_o \text{ PTSF}} \right) \quad [\text{Ecuación 16}]$$

PTSF d = 58,81

PTSF o = 41,84

- g) Determinación del nivel de Servicio

ATS d = 63,25 km/h  NIVEL DE SERVICIO E

PTSF d = 58,81%  NIVEL DE SERVICIO C

ATS o = 53.20 km/h  NIVEL DE SERVICIO E

PTSF o = 41,84%  NIVEL DE SERVICIO B

- h) Determinación de la Capacidad.

$CATS = 1700 \times F_g \times f_{HV} = 1700 \times 0.20 \times 0.85$

C ATS = 287 veh/h en un solo sentido

Capacidad = $287 / 0.45 = 638 \text{ veh/h en ambas direcciones}$

Tramo 3: Km. 22+000 – km. 33+300.

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección BA Catamayo – Loja.

Para determinar la velocidad medida en campo se obtiene la velocidad de punto mediante los datos descargados del metrocount 5600 (tabla 68 y 69).

Tabla 68. Velocidad de Punto en el tramo 3, dirección BA, semana del 12/08/2017 al 19/08/2017

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 3: DIRECCIÓN BA CATAMAYO - LOJA, KM33+300 - KM22+000										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi	f Vi²
				Abs.	Relat.	Abs.	Relat.			
				f	f (%)	f acum.	facum(%)			
10,50	-	16,95	13,73	93	0,5	93	0,54	188,51	1 276,89	17 531,70
16,96	-	23,41	20,19	371	2,15	464	2,70	407,64	7.490,49	151.232,99
23,42	-	29,87	26,65	725	4,21	1189	6,91	710,22	19 321,25	514 911,31
29,88	-	36,33	33,11	1354	7,86	2543	14,77	1 096,27	44 830,94	1 484 352,42
36,34	-	42,79	39,57	2220	12,89	4763	27,67	1 565,78	87 845,40	3 476 042,48
42,80	-	49,25	46,03	3031	17,61	7794	45,27	2 118,76	139 516,93	6 421 964,29
49,26	-	55,71	52,49	3385	19,66	11179	64,93	2 755,20	177 678,65	9 326 352,34
55,72	-	62,17	58,95	2780	16,15	13959	81,08	3 475,10	163 881,00	9 660 784,95
62,18	-	68,63	65,41	1794	10,42	15753	91,50	4 278,47	117 345,54	7 675 571,77
68,64	-	75,09	71,87	931	5,41	16684	96,91	5 165,30	66 910,97	4 808 891,41
75,10	-	81,55	78,33	356	2,07	17040	98,98	6 135,59	27 885,48	2 184 269,65
81,56	-	88,01	84,79	121	0,70	17161	99,68	7 189,34	10 259,59	869 910,64
88,02	-	94,47	91,25	35	0,20	17196	99,88	8 326,56	3 193,75	291 429,69
94,48	-	100,93	97,71	12	0,07	17208	99,95	9 547,24	1 172,52	114 566,93
100,94	-	107,39	104,17	8	0,05	17216	100,00	10 851,39	833,36	86 811,11
TOTALES Σ =				17216	100			63 811,39	869 442,76	47 084 623,68

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 69. Resumen sumatoria tabla 68

RESUMEN	
Σ(Vi²)=	63 811,39
Σ(fVi)=	869 442,76
Σ(fVi²)=	47 084 623,68
n=	17 216

Fuente: Datos obtenidos de la tabla 68

Elaborado: Autora

a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 96,80$$

$$2^k \geq n \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^{15} = 32768 \geq 17216$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\text{Intervalo de clase} = 7,31$$

b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$V_t = \frac{\sum(fVi)}{\sum f}$$

[Ecuación 4]

$$V_t = 50,50 \text{ km/h}$$

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fVi) - \frac{[\sum(fVi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}}$$

[Ecuación 5]

$$S = 13.58$$

d) Confiabilidad de la muestra.

$$V_t - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < V_t + \frac{KS}{\sqrt{n}}$$

[Ecuación 6]

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

[Ecuación 7]

$$E = 0.10$$

$$V_t - KE < \mu < V_t + KE$$

Coeficiente K= 2 para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,20$$

f) Reemplazando se obtiene la velocidad:

$$50,50 - 0,20 < u < 50,50 + 0,20$$

$$50,530 < u < 50,70$$

Velocidad a utilizar = 50,50 km/h para el tramo 2 dirección BA (Loja – Catamayo)

Determinación de la Velocidad medida temporal en la dirección AB Loja – Catamayo.

Tabla 70. Velocidad de Punto en el tramo 2, dirección AB, semana del 05/10/2017 al 14/10/2017

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE PUNTO TRAMO 3 DIRECCIÓN AB LOJA - CATAMAYO, KM22+000 - KM33+300										
Clase Velocidad km/h			Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia		Frecuencia Acumulada		Vi²	f Vi	f Vi²
				Abs. f	Relat. f (%)	Abs. f acum.	Relat. facum(%)			
10,30	-	18,13	14,22	44	0,3	44	0,30	202,21	625,68	8 897,17
18,14	-	25,97	22,06	158	1,07	202	1,37	486,64	3.485,48	76.889,69
25,98	-	33,81	29,90	432	2,92	634	4,29	894,01	12 916,80	386 212,32
33,82	-	41,65	37,74	1122	7,59	1756	11,87	1 424,31	42 344,28	1 598 073,13
41,66	-	49,49	45,58	2248	15,20	4004	27,08	2 077,54	102 463,84	4 670 301,83
49,50	-	57,33	53,42	3563	24,09	7567	51,17	2 853,70	190 335,46	10 167 720,27
57,34	-	65,17	61,26	3297	22,30	10864	73,46	3 752,79	201 974,22	12 372 940,72
65,18	-	73,01	69,10	2321	15,70	13185	89,16	4 774,81	160 381,10	11 082 334,01
73,02	-	80,85	76,94	1054	7,13	14239	96,29	5 919,76	81 094,76	6 239 430,83
80,86	-	88,69	84,78	387	2,62	14626	98,90	7 187,65	32 809,86	2 781 619,93
88,70	-	96,53	92,62	112	0,76	14738	99,66	8 578,46	10 373,44	960 788,01
96,54	-	104,37	100,46	41	0,28	14779	99,94	10 092,21	4 118,86	413 780,68
104,38	-	112,21	108,30	6	0,04	14785	99,98	11 728,89	649,80	70 373,34
112,22	-	120,05	116,14	3	0,02	14788	100,00	13 488,50	348,42	40 465,50
TOTALES Σ =				14788	100			73 461,48	843 922,00	50 869 827,43

Fuente: Datos obtenidos por el equipo Metrocount 5600

Elaborado por: Autora

Tabla 71. Resumen sumatoria tabla 70

RESUMEN	
Σ(Vi²)=	73 461,48
Σ(fVi)=	843 922,00
Σ(fVi²)=	50 869 827,43
n=	14 788

Fuente: Datos obtenidos tabla 70

Elaborado por: Autora

a) Mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 se determina el intervalo de clase.

$$R = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$R = 109,60$$

$$2^k \geq n \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$2^{14} = 36384 \geq 14788$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{R}{2^k} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\text{Intervalo de clase} = 7,83$$

b) Obtención de la velocidad media temporal.

$$V_t = \frac{\sum(fvi)}{\sum f} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$V_t = 57,07 \text{ km/h}$$

c) Desviación estándar (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fvi) - \frac{[\sum(fvi)]^2}{\sum f}}{\sum f - 1}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

$$S = 13,53$$

d) Confiabilidad de la muestra.

$$V_t - \frac{KS}{\sqrt{n}} < \mu < V_t + \frac{KS}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

e) Error estándar de la medida E

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$E = 0,11$$

$$V_t - KE < \mu < V_t + KE$$

Coeficiente K= 2 para un nivel de confianza del 95.5%.

Donde,

$$KE = 0,22$$

f) Reemplazando se obtienen la velocidad:

$$57,07 - 0,22 < u < 57,07 + 0,22$$

$$57,29 < u < 56,85$$

Velocidad a utilizar = 57,10 km/h para el tramo 2 dirección BA (Loja – Catamayo)

En la tabla 72 contiene todos los datos, factores y coeficientes obtenidos de tablas, datos de campo y cálculos necesarios para determinar los parametros, velocidad de flujo media y porcentaje de demora en seguimiento.

Tabla 72. Datos para calcular el ATS y PTSF en tramo 3: km 22+000 – km 33+300

DATOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO EN TRAMO 3: km 22+000 - km 33+300 LOJA - CAT AMAYO							
DÍA DE AFORO: DÍA DE MÁXIMA DEMANDA-DOMINGO 13 DE AGOSTO DE 2017							
DESCRIPCIÓN				SIMBOLOGIA	DATOS	FUENTE	
HORA DE MÁXIMA DEMANDA				HMD	14H30-15H30	Metrocount 5600	
INTENSIDAD DE MÁX.DEMANDA				Vf total	294 veh/hora	Metrocount 5600	
VELOCIDAD DE ARRASTRE VEH. PESADOS				Varr.	43,74 km/h	Metrocount 5600	
PENDIENTE %				G	-7,0%	Tabla 18 (MTOP,2016)	
LONGITUD PENDIENTE KM				L	11,30 Km	Tabla 18 (MTOP,2016)	
FACTOR DE HORA DE MÁXIMA DEMANDA				FHMD	0,91	Metrocount 5600	
SENTIDO O DIRECCIÓN DEL CARRIL					CARRIL BA DIRECC. AN	CARRIL AB OPUESTO	
VELOCIDAD MEDÍA DE VIAJE					CAT.-LOJA	LOJA-CAT.	
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDENTE	
VELOCIDAD MEDIA				SMF	50,50 km/h	57,10 km/h	Metrocount 5600
VOLUMEN DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				Vf (d,o)	167	127	No zonas recreativas
PORCENTAJE DE FLUJO (EN DIRECC. EN ESTUDIO Y OPUESTA)				% Vf (d,o)	57%	43%	No zonas recreativas
PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS VEL. RASTREO(DECIMALES)				PTC	-	0,138	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS (DECIMALES)				PT	0,118	0,138	Metrocount 5600
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA ATS				ET	15,3	1,79	Tabla 3, 5 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA ATS d				ER	1,40	1,00	Tabla 4 Y 5 (HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA ATS d				FG	0,77	1,00	Tabla 7 y 8 (HCM2010)
AUTOMOV. EQUIV. A VEH. PESADOS EN DESCENSO ATS d				ET C	-	4,5	TABLA 6 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA ATS d				fnp	3,3	1,7	Tabla 8 (HCM-2010)
PORCENTAJE DE TIEMPO EMPLEADO EN SEGUIMIENTO							
PENDIENTE					ASCENDENTE	DESCENDENTE	
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS RECREATIVOS (DECIMALES)				PR	0	0	No zonas recreativas
AUTOMOV. EQUIVALENTES A VEH. PESADOS PARA PTSF d				ET	4,40	1,10	Tabla 9 y 10(HCM2010)
AUTOMOV. EQUIVA. A VEH. RECREATIVOS PARA PTSF d				ER	1,00	1,00	Tabla 9 y 10(HCM2010)
FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE PARA DETERMINAR PTSF d				FG	1,00	1,00	Tabla 11 (HCM2010)
AJUSTE EN % DE ZONAS DE NO ADELANTAR PARA PTSF d				fd/np	55,80	55,80	Tabla 8 (HCM2000)
ZONAS DE NO ADELANTAR EN %,					92,92	92,92	Tabla 19
FLUJO DEMANDA DIRECCIONAL				Vvvp	184	140	Vd/FHMD

Fuente: Metrocount 5600, tablas del Highway Capacity Manual(2010) y MTOP(2016).

Elaborado por: Autora

Determinación de la velocidad de flujo media (ATS)

- a) Determinación de la velocidad de flujo libre (FFS).

$$FFS = SFM + 0,0125 \left(\frac{V_f}{f_{HV}} \right) \quad [Ecuación 8]$$

$$FFS d = 56,11$$

$$FFS o = 58,91$$

- b) Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}) para ATS

$$f_{HV} d = \frac{1}{1+PT(ET-1)+PR(ER-1)} \quad [Ecuación 9]$$

$$f_{HV} d \text{ ATS} = 0,37$$

- c) Determinación de la demanda de la tasa de flujo libre (Vd).

$$Vd = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 11]$$

$$Vd = 641 \text{ veh/hora en dirección analizada}$$

- d) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV) para ATS

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PTC * PT(ETC - 1) + (1 - PTC) * PT * (ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 10]$$

$$f_{HV \text{ o ATS}} = 0,86$$

- e) Determinación de la velocidad de flujo libre (ATS).

$$V_o = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 11]$$

$$V_o = 162 \text{ veh/hora en sentido opuesto}$$

- f) Determinar la velocidad media de viaje (ATS).

$$ATS = FFS - 0,0125(V_d + V_o) - f_{np} \quad [Ecuación 12]$$

$$ATS_d = 42,75 \text{ km/h.}$$

$$ATS_o = 47,18 \text{ km/h.}$$

Determinar del porcentaje de demora en tiempo (PTSF).

- a) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV \text{ d PTSF}} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 13]$$

$$f_{HV \text{ d PTSF}} = 0,71$$

- b) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (Vd), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_d \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(f_{HV})(FG)} \quad [Ecuación 14]$$

$$V_d \text{ SPTF} = 258 \text{ veh/hora en dirección en análisis}$$

- c) Factor de ajuste para vehículos pesados (f HV), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$f_{HV \text{ o PTSF}} = \frac{1}{1 + PT(ET - 1) + PR(ER - 1)} \quad [Ecuación 13]$$

$$f_{HV \text{ o PTSF}} = 0,99$$

- d) Determinación de la Demanda de la tasa de flujo libre (V_o), para estimar el % de tiempo empleado en seguimiento. PTSF

$$V_o \text{ PSTF} = \frac{V_f}{(FHMD)(fHV)(FG)} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

$$V_o \text{ SPTF} = 141 \text{ veh/hora en sentido opuesto}$$

- e) El porcentaje base de tiempo empleado en seguimiento (BPTSF).

$$BPTSF \text{ d / o} = 100(1 - e^{-a V_d^b}) \quad [\text{Ecuación 15}]$$

$$BTSF \text{ d} = 26,72$$

$$BTSF \text{ o} = 17,09$$

- f) Cálculo del porcentaje de tiempo empleado en seguimiento (PTSF).

$$PTSF = BPTSF + f_{np} PTSF * \left(\frac{V_d PTSF}{V_d PTSF + V_o PTSF} \right) \quad [\text{Ecuación 16}]$$

$$PTSF \text{ d} = 62,80$$

$$PTSF \text{ o} = 36,81$$

- g) Determinación del nivel de Servicio

$$ATS \text{ d} = 42,75 \text{ km/h} \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO E}$$

$$PTSF \text{ d} = 62,80\% \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO C}$$

$$ATS \text{ o} = 47,18 \text{ km/h} \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO E}$$

$$PTSF \text{ o} = 36,81\% \longrightarrow \text{NIVEL DE SERVICIO B}$$

- h) Determinación de la Capacidad.

$$CATS = 1700 \times F_g \times f_{HV} = 1700 \times 0.37 \times 0.75$$

$$C \text{ ATS} = 472 \text{ veh/h en un solo sentido}$$

$$\text{Capacidad} = 472 / 0.60 = 787 \text{ veh/h en ambas direcciones}$$

ANEXO E

Tabla 73. Clasificación Vehicular ARX

EJES	GRUPOS	DESCRIPCIÓN	CLASE		PARÁMETROS	TIPO
2	1 o 2	Bicicleta o motocicleta	MC	1	$d(1) < 1.7m$ & ejes=2	
2	1 o 2	Automóvil sedan 4WD	SV	2	$d(1) \geq 1.7m$, $d(1) \leq 3.2m$ & ejes=2	
3,4 o 5	3	Automóvil Sedán, Wagon, 4WD, Utilidad, Luz V	SVT	3	grupos=3, $d(1) \geq 2.1m$, $d(1) \leq 3.2m$, $d(2) \geq 2.1m$ & ejes= 3,4,5	
2	2	Camión de dos ejes o bus	TB2	4	$d(1) > 3.2m$ & eje = 2	
3	2	Camión de tres ejes o bus	TB3	5	ejes=3 & grupos= 2	
>3	2	Camión de cuatro ejes	T4	6	ejes>3 & grupos= 2	
3	3	Vehículo articulado de tres ejes o vehículo rígido y remolque	ART3	7	$d(1) > 3.2m$, ejes=3 & grupos=3	
4	>2	Vehículo articulado de cuatro ejes o vehículo rígido y remolque	ART4	8	$d(2) < 2.1m$ o $d(1) < 2.1m$ o $d(1) > 3.2m$ ejes = 4 & grupos > 2	
5	>2	Vehículo articulado de cinco ejes o vehículo rígido y remolque	ART5	9	$d(2) < 2.1m$ o $d(1) < 2.1m$ o $d(1) > 3.2m$ ejes = 5 & grupos > 2	
≥ 6	>2	Vehículo articulado de seis ejes o vehículo rígido y remolque	ART 6	10	ejes = 6 y grupos > 2 o ejes > 6 & grupo = 3	
>6	4	Camión B-doble o pesado y remolque	BD	11	grupo=4 & ejes>6	
>6	≥ 5	Camión con doble o triple tren de carga o camión pesado y dos (o más) remolques	DRT	12	grupo ≥ 5 & ejes>6	

Fuente: (Ortiz, 2017)

Elaborado por: Autora