

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías
de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la
Red Vial Nacional”**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Zaira Yahaira Vega Cuevas

ASESOR:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú

2018

DEDICATORIA

A mi madre Luz, por haberme apoyado en todo momento, por su amor, su confianza, sus consejos, sus valores y hacer de mí una persona de bien.

A mi padre Leoncio, por su amor, su confianza, su ejemplo de perseverancia y constancia que me ha inculcado siempre para salir adelante.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su fortaleza y motivación durante mis años de estudio.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme permitido culminar mi carrera profesional a través de los docentes de la Facultad de Ingeniería.

A mi asesor, el Ing. Alejandro Cubas Becerra por su apoyo y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del jurado, por sus consejos y aportes para culminar con éxito esta investigación.

A Jhonatan, por su amor, fortaleza y apoyo incondicional en todo momento.

Y a todos aquellos que de una u otra manera me apoyaron para que pueda cumplir esta meta, gracias por su valiosa colaboración.

Zaira.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	5
2.2. CARRETERAS.....	6
2.2.1. Carreteras de Dos Carriles	6
2.2.2. Clasificación de Carreteras	7
2.3. CLASIFICACIÓN VEHICULAR.....	10
2.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	13
2.4.1. Ancho de Calzada	13
2.4.2. Bermas	13
2.4.3. Cunetas.....	13
2.4.4. Zonas de no-rebase	13
2.4.5. Puntos de acceso	14
2.4.6. Pendiente.....	14
2.5. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO VEHICULAR.....	14
2.5.1. Volumen o Intensidad de Tránsito (Q)	15
2.5.2. Velocidad	18
2.5.3. Densidad (D)	19
2.5.4. Relación entre los tres parámetros básicos	19
2.6. CAPACIDAD.....	21
2.6.1. Capacidad de una vía	21

2.6.2.	El radio v/c y su uso	21
2.6.3.	Condiciones prevaletientes del tránsito que afectan la capacidad	22
2.6.4.	Condiciones prevaletientes del control que afectan la capacidad.....	24
2.7.	NIVEL DE SERVICIO.....	24
2.7.1.	Medida de efectividad	25
2.7.2.	Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio	26
2.8.	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD	28
2.8.1.	Capacidad de vías de dos carriles	28
2.9.	CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO	31
2.9.1.	Determinación de la Velocidad a Flujo Libre (FFS)	32
2.9.2.	Determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (V_p).....	34
2.9.3.	Factor de Ajuste por Pendiente (f_G).....	34
2.9.4.	Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (f_{HV})	35
2.9.5.	Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS).....	37
2.9.6.	Determinación del Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTSF)	38
2.9.7.	Determinación de los Niveles de Servicio (LOS).....	40
2.9.8.	Otras medidas de Rendimiento	40
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		42
3.1.	GENERALIDADES	42
3.2.	CONDICIONES.....	43
3.3.	VÍAS EN ESTUDIO	43
3.3.1.	Ruta Nacional PE-3N (Ingreso Zona Noroeste y Sureste).....	45
3.3.2.	Ruta Nacional PE-08 (Ingreso Zona Sur).....	46
3.3.3.	Ruta Nacional PE-08B (Ingreso Zona Noreste).....	47
3.4.	ESTADO DEL ARTE	48
3.5.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS VÍAS	51
3.6.	CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO Y VELOCIDAD	52
3.6.1.	Aforo vehicular y Composición del tráfico	52
3.6.2.	Distribución del Tráfico por carril	72
3.6.3.	Factor de Hora Pico.....	77
3.6.4.	Medición de Velocidades en campo.....	78
3.7.	METODOLOGÍA HCM 2000	79
3.7.1.	Ruta PE-3N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	83
3.7.2.	Ruta PE-3N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos).....	88
3.7.3.	Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	91
3.7.4.	Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín).....	94

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	98
4.1.1. Ruta PE-3N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	98
4.1.2. Ruta PE-3N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	100
4.1.3. Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	101
4.1.4. Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	103
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	107
4.3. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	107
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
5.1. CONCLUSIONES	113
5.2. RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de Carreteras por Demanda	8
Tabla 2 Clasificación de Carreteras por Orografía	9
Tabla 3 Clasificación Vehicular (Categorías L y M)	11
Tabla 4 Clasificación Vehicular (Categorías N y O).....	12
Tabla 5 Niveles de Servicio	25
Tabla 6 Factores de corrección por ancho de carriles (f_C).....	28
Tabla 7 Factores de corrección por ancho de arcenes o bermas (f_A)	29
Tabla 8 Factores de corrección por composición del tráfico (f_P)	29
Tabla 9 Factores de corrección por reparto de circulación por sentidos (f_R)	30
Tabla 10 Índice de servicio (I/c) en carreteras de dos carriles	30
Tabla 11 Ajuste debido al ancho de carril y ancho de berma (f_{LS})	33
Tabla 12 Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A)	34
Tabla 13 Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y direccionales	35
Tabla 14 Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccionales.....	35
Tabla 15 Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar la velocidad en segmentos en dos sentidos y direccionales	36
Tabla 16 Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar el porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos de dos sentidos y direccionales	36
Tabla 17 Ajuste (f_{np}) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no-rebase en segmentos direccionales	37
Tabla 18 Ajuste ($f_{d/np}$) para el porcentaje de tiempo de seguimiento por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el porcentaje de zonas de no-rebase sobre segmentos en dos sentidos y direccionales	39
Tabla 19 Criterios de Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles Clase II	40
Tabla 20 Características Geométricas de las vías en estudio	51
Tabla 21 Ubicación de Estaciones de Conteo	52
Tabla 22 Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	53
Tabla 23 Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos – Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	54
Tabla 24 Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	58

Tabla 25 Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos – Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	59
Tabla 26 Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	63
Tabla 27 Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	64
Tabla 28 Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	68
Tabla 29 Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	69
Tabla 30 Distribución Direccional - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	73
Tabla 31 Distribución Direccional - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	74
Tabla 32 Distribución Direccional - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	75
Tabla 33 Distribución Direccional - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	76
Tabla 34 Factor de Hora Pico - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	77
Tabla 35 Factor de Hora Pico - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	77
Tabla 36 Factor de Hora Pico - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	77
Tabla 37 Factor de Hora Pico - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	78
Tabla 38 Velocidades Promedio de Rodaje - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	78
Tabla 39 Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	79
Tabla 40 Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	79
Tabla 41 Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	79
Tabla 42 Resumen de datos de entrada - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	83
Tabla 43 Resumen de datos de entrada - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos).....	88

Tabla 44 Resumen de datos de entrada - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	91
Tabla 45 Resumen de datos de entrada - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	94
Tabla 46 Resumen de Niveles de Servicio obtenidos	104
Tabla 47 Resumen de Capacidades y porcentajes de operación obtenidos	104
Tabla 48 Resumen de Factores de Máxima Demanda	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Vías de Acceso a la ciudad de Cajamarca	3
Fig. 2. Relación entre los tres parámetros básicos	20
Fig. 3. Nivel de servicio para flujo ininterrumpido	27
Fig. 4. Razón de Flujo vs Velocidad Promedio de Viaje	27
Fig. 5. Razón de Flujo vs Porcentaje de tiempo de seguimiento	27
Fig. 6. Vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Cajamarca	44
Fig. 7. Tramo en estudio - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	45
Fig. 8. Tramo en estudio - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	46
Fig. 9. Tramo en estudio - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	47
Fig. 10. Tramo en estudio - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	48
Fig. 11. Sección Transversal Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	49
Fig. 12. Sección Transversal Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca –San Marcos)	49
Fig. 13. Sección Transversal Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	50
Fig. 14. Sección Transversal Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	51
Fig. 15. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	55
Fig. 16. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día Lunes – Ruta PE- 3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	56
Fig. 17. Composición vehicular de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) en la hora de máxima demanda	57
Fig. 18. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos).....	60
Fig. 19. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día lunes en la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	61
Fig. 20. Composición vehicular de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos) en la hora de máxima demanda	62
Fig. 21. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	65
Fig. 22. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día viernes en la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	66

Fig. 23. Composición vehicular de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete) en la hora de máxima demanda.....	67
Fig. 24. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	70
Fig. 25. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda para el día sábado en la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	71
Fig. 26. Composición vehicular de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín) en la hora de máxima demanda.....	72
Fig. 27. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc).....	73
Fig. 28. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	74
Fig. 29. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	75
Fig. 30. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	76
Fig. 31. Flujograma para el Nivel de Servicio en vía de dos carriles.....	81
Fig. 32. Flujograma de la metodología para el cálculo del Nivel de Servicio	82
Fig. 33. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos).....	89
Fig. 34. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos).....	90
Fig. 35. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	91
Fig. 36. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	92
Fig. 37. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	93
Fig. 38. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete).....	94
Fig. 39. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	95
Fig. 40. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	96
Fig. 41. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín).....	97

Fig. 42. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	99
Fig. 43. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)	100
Fig. 44. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)	102
Fig. 45. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)	103
Fig. 46. Capacidades Máximas y Porcentajes de Operación de cada vía en estudio	105
Fig. 47. Esquema final de resultados obtenidos	106
Fig. 48. Croquis para la Ruta Alternativa de ingreso a la ciudad de Cajamarca por la zona sur	110
Fig. 49. Sección Transversal Propuesta para la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)	111

RESUMEN

El incremento del flujo vehicular debido a la alta demanda de transporte interprovincial e interdistrital y el crecimiento del parque automotor influyen seriamente en la serviciabilidad de las vías, por ello, la presente investigación pretende determinar la capacidad y el nivel de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional. Es así que, se tienen cuatro ingresos a la ciudad pertenecientes a las Rutas PE-3N (Zona Noroeste y Zona Sureste), PE-08 (Zona Sur) y PE-08B (Zona Noreste). Por ello, para su desarrollo se realizaron aforos manuales de las vías en estudio por el lapso de una semana completa, tomando en cuenta el volumen del tráfico, la velocidad promedio de viaje, las características geométricas de las vías y la composición vehicular como lo indica la metodología del HCM 2000. De modo que, la vía de ingreso PE-3N por la Zona Noroeste tiene un nivel de servicio D y está operando a un 58% de su capacidad máxima, mientras que el ingreso por Zona Sureste tiene un nivel de servicio B y opera a un 24% de su capacidad máxima; de igual manera, la vía de ingreso PE-08 por la Zona Sur tiene un nivel de servicio C y está operando a un 38% de su capacidad máxima; y finalmente, la vía de ingreso PE-08B por la Zona Noreste tiene un nivel de servicio A pues opera a un 17% de su capacidad máxima.

Palabras Clave: Capacidad, Velocidad Promedio de Viaje, Porcentaje de tiempo de seguimiento, Nivel de Servicio.

ABSTRACT

The increase in vehicular flow due to the high demand for interprovincial and interdistrict transport and the growth of the vehicle fleet seriously affect the serviceability of the roads, for that reason, this research pretends to determine the capacity and level of service by the entries routes to the city of Cajamarca belonging to the National Road Network. So, there are four entries to the city that belongs to the Routes PE-3N (Northwest Zone and Southeast Zone), PE-08 (South Zone) and PE-08B (Northeast Zone). Therefore, for its development manual gauging of the roads under study was carried out for the period of one full week, taking into account the volume of traffic, the average speed of travel, the geometric characteristics of the roads and the vehicle composition as indicated the methodology of the HCM 2000. Thus, the PE-3N roadway through the Northwest Zone has a level of service D and is operating at 58% of its maximum capacity, while the entry through the Southeast Zone has a level of service B and operates at 24% of its maximum capacity; at the same way, the PE-08 entry route through the Southern Zone has a service level C and is operating at 38% of its maximum capacity; and finally, the PE-08B entry route for the Northeast Zone has a level of service A because it operates at 17% of its maximum capacity.

Keywords: Capacity, Average Travel Speed, Percentage of time spent following, Level of Service.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La migración poblacional en la ciudad de Cajamarca y el tráfico vehicular en sus vías de acceso se han desarrollado conjuntamente, lo que ha llevado a la necesidad de tomar medidas para evaluar el desempeño operacional de las mismas, y con ello ofrecer alternativas de mejora además de contribuir a estudios posteriores.

Las principales medidas para determinar la funcionalidad de las vías son la capacidad y el nivel de servicio, ya que a través de un análisis se puede determinar el nivel de calidad que ofrecen las carreteras a los usuarios. Por ello, la presente investigación tiene como propósitos fundamentales determinar la capacidad y niveles de servicio de las vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Cajamarca. Para alcanzar el objetivo, se realizaron aforos manuales por el lapso de una semana completa durante 13 horas continuas, registrando los datos de acuerdo a la clasificación establecida por el MTC. Además, se realizó el levantamiento de la información geométrica de las vías y se determinaron en campo las velocidades promedio de rodaje. Recabada esta información, se siguió la metodología establecida en el HCM 2000 y mediante la interpolación de tablas se obtuvo como resultado el porcentaje de tiempo perdido por seguimiento y la velocidad promedio de viaje, lo que finalmente nos permite determinar el nivel de servicio de cada una de las vías.

1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El desmesurado crecimiento del parque automotor y la alta demanda de transporte interprovincial e interdistrital han ocasionado el aumento del flujo de tránsito influyendo seriamente en la serviciabilidad de las vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Cajamarca. De manera semejante, se puede ver claramente que se forman filas de vehículos en las vías de ingreso a la ciudad a distintas horas del día, ocasionando a veces congestionamientos y molestias no sólo para los conductores sino también en los pobladores aledaños a las vías. Además, el diseño y la falta de conservación de las vías contribuyen a este problema y a menos que se trate de solucionar con anticipación, las condiciones continuarán convirtiéndose cada vez más serias.

Para conocer el comportamiento de las corrientes de tránsito existentes en las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca, es necesario contar con información historizada y continua que sirva de base para realizar proyectos en el ámbito de la vialidad de la provincia referentes al diseño, planeación, mantenimiento, seguridad, entre otros. Del mismo modo, la falta de estudios acerca de la Capacidad y Nivel de Servicio de dichas vías dificulta la determinación de un diagnóstico que permita afrontar la problemática actual y futura.

Entonces y de acuerdo a lo antes mencionado, el problema se puede resumir haciendo la siguiente interrogante: ¿Cuál es la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional tienen un Nivel de Servicio C.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La ciudad de Cajamarca tiene una gran demanda de transporte interprovincial proveniente de otras regiones y de transporte interurbano hacia las localidades cercanas lo que incrementa el flujo vehicular en las vías de ingreso a la ciudad, además la falta de estudios y el constante aumento del parque automotor hacen necesario profundizar en la serviciabilidad que estas vías ofrecen a los usuarios. Por esto, es importante realizar un diagnóstico que permita obtener una óptica global de la calidad de servicio de las principales vías de ingreso a la ciudad con el fin de mejorar la circulación y el confort de los usuarios, además de contribuir a la planeación y diseño de posibles intervenciones en las vías analizadas.

1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con la presente investigación se pretende elaborar un diagnóstico de la capacidad y nivel de servicio de las vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Cajamarca, basándose en información recopilada en campo, utilizando el método establecido en el Highway Capacity Manual (HCM 2000), con miras a contribución de la planeación y diseño de posibles intervenciones en todas las vías analizadas.

El estudio se realizará en la ciudad de Cajamarca, especialmente en las vías pertenecientes a la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad, las cuales son:

- *Ruta Nacional PE-3N (Longitudinal de la Sierra en el norte del Perú)*
 - Ingreso y salida zona noroeste: Carretera Cajamarca – Hualgayoc.
 - Ingreso y salida zona sureste: Carretera Cajamarca – San Marcos.
- *Ruta Nacional PE-08 (Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca)*
 - Ingreso y salida zona sur: Carretera Cajamarca – Chilate.
- *Ruta Nacional PE-08B*
 - Ingreso y salida zona noreste: Carretera Cajamarca – Celendín.

A continuación, se muestran los puntos de análisis en las vías de acceso a la ciudad de Cajamarca.

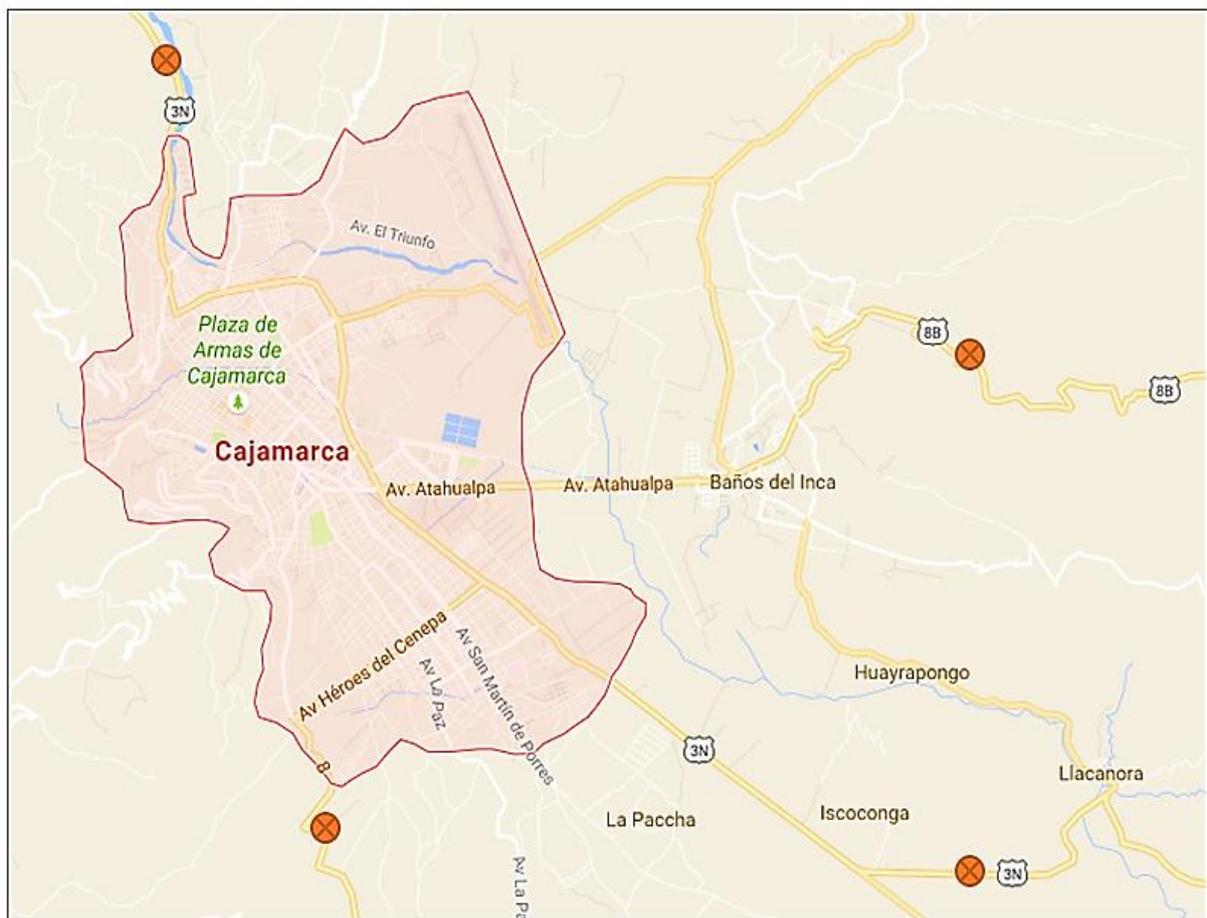


Fig. 1. Vías de Acceso a la ciudad de Cajamarca
Fuente: Google Maps, Adaptación Propia

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Analizar la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional.

Objetivos Específicos

- Determinar la composición del tráfico vehicular de las vías en estudio.
- Determinar la capacidad vial y niveles de servicio de las vías en los puntos de estudio.
- Plantear soluciones alternativas a los problemas encontrados.

Cabe señalar que el desarrollo de esta investigación está comprendido en 5 capítulos, los cuales se describen a continuación:

Capítulo I: Introducción, en la primera parte se presenta los antecedentes de la investigación, el problema a investigar, la hipótesis, los objetivos, alcances y justificación de la investigación a realizar.

Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo se describen los antecedentes teóricos y bases teóricas, además se especifican los conceptos y definiciones que ayudaran al desarrollo de la investigación, de igual manera, se detalla la metodología empleada para el desarrollo de la investigación de acuerdo al HCM 2000.

Capítulo III: Materiales y Métodos, en esta parte se dan a conocer las características de las vías en intervención, además se detalla el procedimiento a seguir para la obtención de los niveles de servicio en cada vía en estudio y finalmente se presentan los resultados obtenidos.

Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados, en este capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos en el capítulo anterior contrastándolos con las bases teóricas establecidas en el capítulo II; así mismo, se proponen algunas soluciones alternativas para los problemas encontrados.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones, finalmente en este capítulo se muestran las conclusiones a las que se ha llegado además de algunas recomendaciones a tomar en cuenta para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Existen investigaciones realizadas a nivel mundial, nacional y local que contribuyen a la presente investigación, además de proporcionar bases teóricas para su desarrollo.

▪ A NIVEL MUNDIAL

Molina J. y King L. (2014-2015) por ejemplo, determinan las características de tránsito enmarcadas en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), Espectro de Carga y Ancho de Vía, en 4 arterias viales que confluyen en la ciudad de Portoviejo – Manabí – Ecuador, recalcando que los datos de aforo y TPDA se ven afectados por el tráfico atraído que producen las vías secundarias y las ciudadelas y poblados que están alrededor de dichas vías arteriales y el recorrido de las mismas, ya que se pueden dar malas interpretaciones al mostrar los resultados en algunas vías con mayores volúmenes vehiculares incluso si se cuentan con peajes en alguna de ellas. Además, indican que las características del tránsito vehicular han sufrido grandes variantes, siendo ésta una de las razones por las cuales las estructuras viales no llegan a culminar en condiciones de trabajo con sus períodos de diseños estipulados ya que se utilizan tasas de crecimientos vehiculares que no cumplen con el crecimiento del parque automotor real.

De manera análoga, Arévalo D. (2015), realiza la caracterización del volumen de tránsito vehicular en las vías Loja – Catamayo y Loja Zamora en Ecuador mediante métodos estadísticos, realizando aforos a través de un dispositivo neumático durante una semana completa en cada sentido de las vías en estudio y por separado, concluyendo que el mayor tráfico en la semana puede darse en distintas horas y días en la misma vía tanto en el sentido de ingreso como en el de salida de la ciudad. Además, menciona que el uso de aforadores neumáticos facilita el conteo, pero puede registrar un solo vehículos si pasan dos vehículos al mismo tiempo con maniobras de adelantamiento o registrar vehículos de tres ruedas como motocicletas, por lo que recomienda instalar cámaras de video en la estación de conteo para solucionar estos inconvenientes.

▪ A NIVEL NACIONAL

En el Perú, Quiñonez E. (2011), realiza un Planeamiento y Diseño Preliminar de Carriles de Sobrepaso para Vías de Primer Orden en Zonas Accidentadas y de Altura con el fin de mejorar el flujo vehicular y el nivel de servicio, disminuir la frustración de los conductores, las demoras del recorrido y el riesgo de accidentes. Por ello, realiza aforos vehiculares para determinar el nivel de servicio utilizando el HCM, obteniendo un nivel de servicio E no sólo por las características de la zona y la carretera sino más bien por la alta presencia de vehículos pesados como producto de la llegada de los tráficos provenientes de las carreteras convergentes. Además, el tramo en que se plantean los carriles de Sobrepaso constituye el tramo más accidentado y sinuoso con fuertes pendientes, que no permite un tráfico fluido de los vehículos en ambos sentidos, produciendo demoras innecesarias y no teniendo oportunidades de paso de los vehículos de mayor velocidad, dando como resultado mayores tiempos de viaje lo cual traduce en mayores costos de operación.

▪ A NIVEL LOCAL

De igual manera, en Cajamarca, Angaspilco C. (2014) analiza el Nivel de Serviciabilidad en las Avenidas Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, De lo Héroes y San Martín de la ciudad de Cajamarca, para lo cual realizó aforos del tránsito vehicular para determinar las horas críticas y los volúmenes de tránsito, además de realizar estudios de velocidades de acuerdo a lo establecidos en el Capítulo 11 Arterias Urbanas y Suburbanas del HCM 2000. Según esto, los niveles de servicio obtenidos para estas vías son D, E y F, concluyendo en que estas vías presentan problemas de congestión vehicular más serios en las horas de máxima demanda con velocidades extremadamente bajas con tendencia a 0 km/h.

2.2. CARRETERAS

2.2.1. Carreteras de Dos Carriles

Palma R. (2006), define a una carretera de dos carriles como a una vía sin división con dos carriles, cada uno para el uso del tránsito en direcciones opuestas, donde rebasar a los vehículos requiere del uso del carril opuesto sólo si el tránsito opuesto lo permite y haya buena visibilidad, así como una buena distancia de rebase.

Si el volumen y las restricciones geométricas se incrementan, la habilidad para rebasar disminuye, formándose una fila en el tránsito. Los conductores dentro de la fila están sujetos a la demora, debido a no poder rebasar. La demanda por rebasar incrementa si el volumen de tránsito incrementa y la capacidad de rebase en el carril opuesto disminuye cuando el volumen aumenta, así el flujo de tránsito en una dirección influye en la otra dirección.

Como los sobrepasos a otros vehículos se efectúan en el carril del sentido opuesto, y las oportunidades de lograrlos dependen en gran medida de la magnitud del volumen de tránsito opuesto, la capacidad y los niveles de servicio de las carreteras de dos trochas, en general, se analizan para ambos sentidos.

Las medidas de efectividad que se utilizan para describir la calidad del servicio en una vía de dos carriles son:

- La velocidad promedio de viaje, también llamada velocidad media de viaje o velocidad media de circulación.
- El porcentaje de tiempo perdido por seguimiento, también llamado demora porcentual en seguimiento o porcentaje de tiempo que se ocupa en seguir otro vehículo.

Según esto, la velocidad promedio de viaje es la velocidad media en el espacio de los vehículos en el flujo vehicular, es decir que es una medida del grado para el cual la carretera cumple con su función de suministrar una movilidad eficiente. Y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo, es aquel porcentaje promedio de tiempo de viaje que un vehículo debe viajar en una fila detrás de un vehículo a velocidad lenta debido a no poder realizar maniobras de rebase.

2.2.2. Clasificación de Carreteras

De acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), establecidas en el artículo 8 del Reglamento de Jerarquización Vial, las carreteras en el Perú se jerarquizan en las tres siguientes redes viales:

- Red Vial Nacional: Corresponde a las carreteras de interés nacional conformada por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Sirve como elemento receptor de las carreteras Departamentales o Regionales y de las carreteras Vecinales o Rurales.
- Red Vial Departamental o Regional: Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un gobierno regional. Articula básicamente a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal o Rural.
- Red Vial Vecinal o Rural: Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, éstos entre sí, con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional.

Así mismo, la clasificación de las carreteras de acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2014), establece que éstas pueden clasificarse de acuerdo a su demanda y de acuerdo a su orografía, esto es tomando en cuenta el IMDA (Índice Medio Diario Anual) y otras características geométricas, así como las pendientes transversales y longitudinales de la vía tal como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1
Clasificación de Carreteras por Demanda

Tipo	IMDA (veh/día)	Separador Central		Carriles		Superficie de Rodadura
		si/no	Ancho mín. (m)	Nº	Ancho mín. (m)	
Autopistas de Primera Clase	> 6000	SI	6.00	2 o más	3.60	Pavimento
Autopistas de Segunda Clase	6000 - 4001	SI	6.00 - 1.00	2 o más	3.60	Pavimento
Carreteras de Primera Clase	4000 - 2001	NO	-	2	3.60	Pavimento
Carreteras de Segunda Clase	2000 - 400	NO	-	2	3.30	Pavimento
Carreteras de Tercera Clase	400 <	NO	-	2	3.00	Pavimento o Afirmado
Trochas Carrozables	200 <	NO	-	1	4.00	Afirmado o sin afirmar

Fuente: Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG-2014, Adaptación propia

Tabla 2
Clasificación de Carreteras por Orografía

Tipo	Descripción	Pendiente	
		Transversal	Longitudinal
1	Terreno Plano	≤ 10%	≤ 3%
2	Terreno Ondulado	11% - 50%	3% - 6%
3	Terreno Accidentado	51% - 100%	6% - 8%
4	Terreno Escarpado	≥ 100%	≥ 8%

Fuente: Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG-2014, Adaptación propia

Sin embargo, el Manual HCM 2000 clasifica a las carreteras de dos carriles de la siguiente manera:

A. Carreteras Clase I

Estas son carreteras en donde los conductores esperan viajar a una velocidad relativamente alta y son las principales arterias que conectan los mayores generadores de tránsito. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes largos, entre estas están las de tipo CA. Para el cálculo de los niveles de servicio en este tipo de carreteras se usa el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje.

B. Carreteras Clase II

Estas son carreteras en donde los conductores no necesariamente esperan viajar a una velocidad alta y funcionan como acceso a las carreteras de clase I, generalmente son rutas recreacionales que no son arterias primarias. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes cortos, entre estas están las rutas departamentales y rutas nacionales. Para el cálculo de los niveles de servicio en este tipo de carreteras se usa únicamente el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo, ya que la movilidad es menos crítica.

Para la presente investigación, y siguiendo las condiciones de análisis establecidas en el HCM 2000, se consideran las vías en estudio como Carreteras de Clase II, por lo que se seguirán los criterios para el análisis del Nivel de Servicio establecidos en el manual.

2.3. CLASIFICACIÓN VEHICULAR

En el diseño de carreteras es muy importante tener en cuenta cual es la clasificación de los vehículos que la ocupan, los cuales son diferente según tamaño y peso. La clasificación de los diversos tipos de vehículos consiste en dividirlos o seccionarlos por tamaño, número de ejes, peso entre otros.

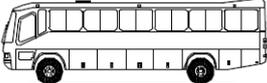
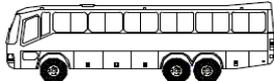
Para el Diseño Geométrico de una Carretera se toma en cuenta un vehículo de diseño, cuyo peso dimensiones y características de operación se usan para establecer los controles de diseño en la vía. De modo que, para el diseño de carreteras es necesario conocer el peso, la longitud, la altura y el ancho de los vehículos de diseño, los mismos que están establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2014) y aprobados por el Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC).

Conforme al Reglamento Nacional de Vehículos, se consideran como vehículos ligeros aquellos correspondientes a las categorías L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas) y M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Son considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1), N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

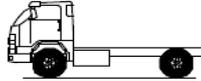
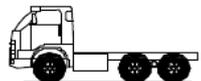
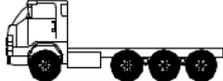
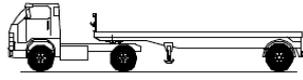
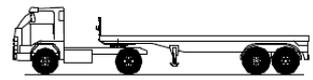
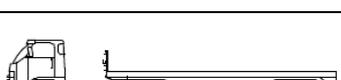
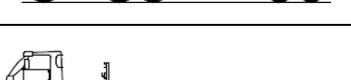
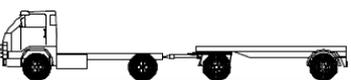
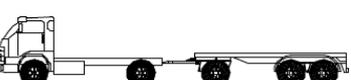
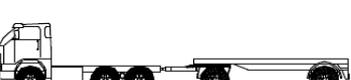
Sin embargo, tomando en cuenta el formato de Clasificación vehicular para Estudios de Trafico establecidos por el MTC, con el que se realizó esta investigación, y las características establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, las tablas 3 y 4 presentan las principales características de cada uno de ellos.

Tabla 3
Clasificación Vehicular (Categorías L y M)

CLASIFICACIÓN VEHICULAR			
TIPO	CÓDIGO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
MOTO	MTO, MTT	L1, L3	 Motocicleta de 2 ruedas
TRIMOTO	TRI	L2, L5	 Mototaxi de 3 ruedas
AUTO	SED, CPE, HBK, SWG	M1	 Auto de 2 ejes
CAMIONETA CERRADA	SUV	M1, M2	 Camioneta cerrada de 2 ejes
CAMIONETA TIPO PICKUP	MPO	N1, N2	 Camioneta abierta de 2 ejes
CAMIONETA TIPO PANEL	PAN	N1, N2	 Camioneta abierta de 2 ejes
CAMIONETA RURAL	MIN	N1, N2	 Camioneta Rural de 2 ejes
MICROBÚS	MIC	M2, M3	 Camioneta abierta de 2 ejes
BUS	B2	M3	 Bus de 2 ejes
	B3-1	M3	 Bus de 3 ejes
	B4-1	M3	 Bus de 4 ejes

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4
Clasificación Vehicular (Categorías N y O)

CLASIFICACIÓN VEHICULAR			
TIPO	CONFIGURACIÓN VEHICULAR	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
CAMIÓN	C2	N1, N2	 Camión de 2 ejes
	C3	N1, N2, N3	 Camión de 3 ejes
	C4	N1, N2, N4	 Camión de 2 ejes
SEMITRÁILER	T2S1	N1, N2, O1, O2	 Tracto Camión de 2 ejes y Semirremolque de 1 eje
	T2S2	N1, N2, N3, O1, O2, O3	 Tracto Camión de 2 ejes y Semirremolque de 2 ejes
	T2S3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4	 Tracto Camión de 2 ejes y Semirremolque de 3 ejes
	T3S1	N1, N2, N3, O1, O2, O3	 Tracto Camión de 3 ejes y Semirremolque de 1 eje
	T3S2	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4	 Tracto Camión de 3 ejes y Semirremolque de 2 ejes
	T3S3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4	 Tracto Camión de 3 ejes y Semirremolque de 3 ejes
TRÁILER	C2R2	N1, N2, N3, O1, O2, O3	 Camión Remolcador de 2 ejes y Remolque de 2 ejes
	C2R3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4	 Camión Remolcador de 2 ejes y Remolque de 3 ejes
	C3R2	N1, N2, N3, O1, O2, O3	 Camión Remolcador de 3 ejes y Remolque de 2 ejes
	C3R3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4	 Camión Remolcador de 3 ejes y Remolque de 3 ejes

Fuente: Elaboración Propia

2.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

2.4.1. Ancho de Calzada

El ancho de calzada o de vía, corresponde a la suma de las dimensiones de los carriles que la conforman y por donde circulan los vehículos. Cada vía en estudio tiene dos carriles de circulación con un bombeo transversal del 2%.

2.4.2. Bermas

Las bermas son la parte que se encuentra a continuación de la calzada, tienen por finalidad proveer soporte de borde a la calzada del pavimento, permitir asistencia a los vehículos en problemas ante emergencias o paradas técnicas, incrementar la seguridad y prevenir la erosión de las capas inferiores. Las bermas pueden ser de concreto, asfalto o granulares, además el ancho de la berma es variable y depende de la importancia de la carretera.

2.4.3. Cunetas

Las cunetas son canales o zanjas que se construyen adyacentes a los lados de la berma, cuya finalidad es recoger y conducir el agua de lluvia hacia lugares donde no se afecte la capacidad portante de la estructura de pavimento.

2.4.4. Zonas de no-rebase

Las zonas de no-rebase son los lugares donde los vehículos no pueden efectuar maniobras de adelantamiento, es decir cuando no se puedan ver a los otros autos en sentido contrario previo a realizar la acción. Para saber cuál es el porcentaje de zona de no-rebase se realizó la medición de las zonas de rebase y no-rebase teniendo en cuenta las marcas en el pavimento (líneas amarillas) y el kilometraje para un mejor registro; posteriormente se sumaron todas las longitudes obteniendo así la longitud total de zonas de rebase y no-rebase.

Para determinar el porcentaje de zonas de no-rebase se aplica la siguiente ecuación:

$$\%ZNR = \frac{(L_{TL} - L_R)}{L_{TL}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

%ZNR= Es el porcentaje de zonas de no rebasamiento, expresado en porcentaje
y es la longitud del tramo de estudio

L_R = Es la longitud de zonas de rebase (m)

L_{TL} = Es la longitud total de la vía (m)

2.4.5. Puntos de acceso

Son todos los lugares donde existe entrada a las zonas pobladas, y se encuentran en todo el trayecto de la vía. Cada punto de acceso por kilómetro disminuye la velocidad de flujo libre, de modo que es muy importante conocer todos los puntos de acceso que hay en todos los tramos en estudio, para lo cual se contabilizó cada uno de ellos en los recorridos.

2.4.6. Pendiente

La pendiente es una magnitud que indica la inclinación de la superficie de una carretera con relación a la horizontal, es decir la relación entre un desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos, expresada generalmente en porcentaje.

Para determinar la pendiente, se tomaron mediciones a lo largo de cada uno de los tramos en estudio especialmente en los sitios donde se producían cambios visuales de la gradiente longitudinal, para ello se empleó un eclímetro de 90° marca SERTOP.

Las mediciones de las características geométricas para cada vía en estudio se muestran en el Anexo A.

2.5. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO VEHICULAR

Las características y el diseño de una carretera deben basarse, explícitamente, en la consideración de los volúmenes de tránsito y de las condiciones necesarias para circular por ella, con seguridad vial ya que esto le será útil durante el desarrollo de carreteras y planes de transporte, en el análisis del comportamiento económico, en el establecimiento de criterios de definición geométrica, en la selección e implantación de medidas de control de tránsito y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transportes.¹

¹ Ministerio de Transportes y Comunicaciones/Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG-2014, p-95.

Entonces, las características básicas del flujo vehicular son el Flujo, la Velocidad y la Densidad, y mediante la deducción de relaciones entre ellas, se pueden determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables puede ayudar a indicar la calidad o Nivel de Servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial.

2.5.1. Volumen o Intensidad de Tránsito (Q)

El volumen o Intensidad de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto de la vía o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo de tiempo determinado. La unidad de medida para el volumen es simplemente “vehículos” o “vehículos por unidad de tiempo”.

Está expresado por:
$$Q = \frac{N}{T} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

- Q = volumen de tráfico
- N = número de vehículos
- T = tiempo

Según este período de tiempo se pueden determinar varios tipos de volúmenes de tránsito:

- Tránsito anual (TA): Es el número total de vehículos que pasan durante un año, en este caso $T = 1$ año.
- Tránsito mensual (TM): Es el número total de vehículos que pasa durante un mes, en este caso $T = 1$ mes.
- Tránsito semanal (TS): Es el número total de vehículos que pasan durante una semana, en este caso $T = 1$ Semana.
- Tránsito diario (TD): Es el número total de vehículos que pasan durante un día, en este caso $T = 1$ día.
- Tránsito horario (TH): Es el número total de vehículos que pasan durante una hora, en este caso $T = 1$ hora.

- Tasa de flujo o flujo (q): Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora, en este caso $T < 1$ hora.

Para los análisis operacionales, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante el curso de las 24 horas del día. La hora del día que tiene el volumen horario más alto es llamada “hora pico” (HP), u hora de máxima demanda (HMD). Los volúmenes de hora pico son usados como la base para el diseño de carreteras y para varios tipos de análisis operacionales.

Los volúmenes de tránsito deben ser considerados fluctuantes, en donde es fundamental conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de demanda, en las horas del día, en los días de la semana y meses del año. Las variaciones por lo general son rítmicas y repetitivas, entonces si conocemos sus características podemos relacionar los volúmenes de un tiempo y lugar con otros de otro tiempo y lugar.

En el Anexo B, se muestran los resúmenes vehiculares semanales por vehículos mixtos tanto en el carril de entrada como de salida para cada vía en estudio.

A. Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)

El volumen Horario de Máxima Demanda es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

B. Variación del Volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

Es importante conocer la variación del volumen en las horas de máxima demanda considerando la duración de los flujos máximos. Con este análisis se puede plantear soluciones para regular el tránsito en estos periodos de tiempo.

El factor de la hora de máxima demanda (FHMD), tiene relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD), y el volumen máximo ($q_{m\acute{a}x}$), expresado como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{q_{m\acute{a}x} * N} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

N = número de periodos durante la hora de máxima demanda, periodos que pueden ser de 5, 10 o 15 minutos.

C. Factor de Hora Pico (PHF)

El factor de la hora pico (PHF) o Peak Hour Factor, representa la variación en la circulación dentro de una hora. Las observaciones de la circulación indican constantemente que los volúmenes encontrados en el periodo de 15 minutos del pico dentro de una hora no se encuentran sostenidos a través de la hora completa. El uso del factor de la hora pico en la ecuación para determinar la tasa de flujo considera este fenómeno.

El factor de hora pico es la relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el flujo máximo ($q_{\text{máx}}$), que se presenta en un periodo dado dentro de dicha hora como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

PHF = Factor de Hora Pico

V = volumen en una hora (veh/h)

V_{15} = volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico (veh/15min)

El factor de la hora de pico es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Si este valor es igual a 1 significa uniformidad, en cambio valores muy pequeños indicarán concentraciones de flujos máximos. Según el HCM 2000, el valor de PHF para áreas rurales es de 0.88 y el valor para áreas urbanas es de 0.92. Regularmente para el análisis de carreteras se usa el valor de 0.90, cuando no se dispone de la información de campo para obtener el valor de PHF.

D. Uso de los Volúmenes de Trafico

Los volúmenes de tráfico se utilizan ampliamente en varios campos, en Ingeniería de Tránsito es utilizada para realizar estudios como:

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades.
- Caracterización de flujos vehiculares.
- Zonificación de velocidades
- Necesidades de dispositivos para el control de tránsito
- Estudio de estacionamientos.

2.5.2. Velocidad

La velocidad (S) o Speed es definida como una razón de movimiento en distancia por unidad de tiempo, generalmente en kilómetros por hora (km/h). El HCM 2000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables.

La velocidad se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, entonces la siguiente ecuación expresa el cálculo de la velocidad.

$$S = \frac{L}{t_a} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

S = Velocidad (km/h),

L = Longitud del segmento de carretera (km)

t_a = Tiempo promedio de viaje en el segmento (h)

Diferentes parámetros de velocidad pueden ser aplicados al tránsito, tales como:

A. Velocidad Promedio de Rodaje

La velocidad promedio de rodaje es aquella medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje de los vehículos pasando por una sección de la carretera en una longitud conocida. Calculada dividiendo la longitud del segmento entre el tiempo promedio de rodaje de los vehículos pasando por dicho segmento. El tiempo de rodaje es medido únicamente cuando los vehículos están en movimiento.

B. Velocidad Promedio de Viaje

La velocidad promedio de viaje es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de carretera. Se calcula como la longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demoras por paradas. Esta velocidad también es calculada para describir el nivel de servicio de una vía.

C. Velocidad a Flujo Libre

La velocidad de flujo libre (FFS por sus siglas en inglés, free flow speed) es la velocidad promedio de los vehículos en una carretera dada, medida bajo condiciones de un volumen bajo, cuando los conductores tienden a conducir a una velocidad alta sin restricciones de demoras.

2.5.3. Densidad (D)

La densidad es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km). La densidad es posiblemente el parámetro más importante en el tránsito, porque es la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito.

La densidad se puede calcular como se expresa en la siguiente ecuación:

$$D = \frac{v}{S} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

v = Razón de flujo (veh p/h)

S = Velocidad promedio de viaje (km/h)

D = Densidad (veh p/km/carril)

2.5.4. Relación entre los tres parámetros básicos

Existen tres gráficos que relacionan los principales parámetros, el gráfico de velocidad – densidad, el de velocidad – volumen y el de volumen – densidad.

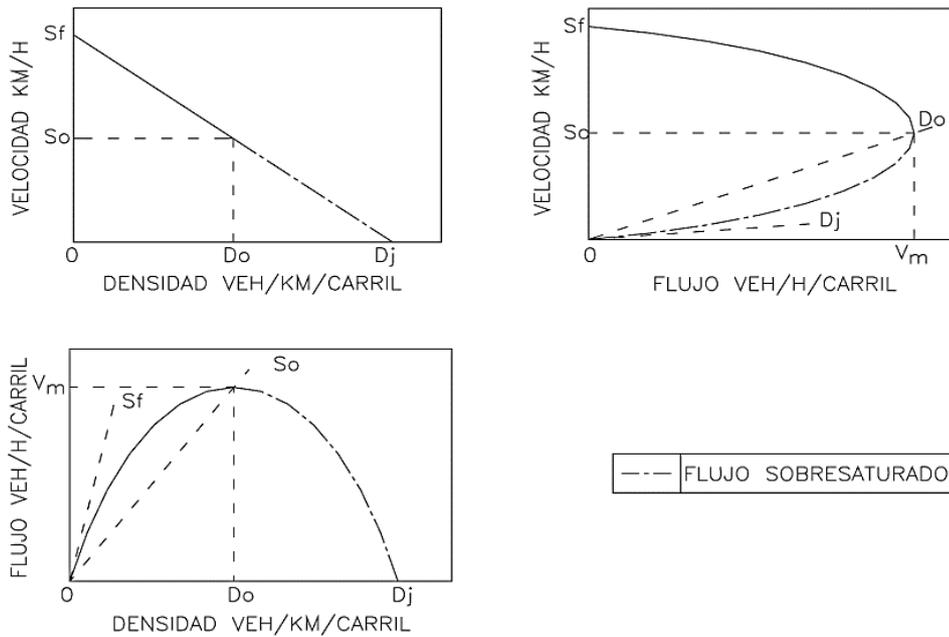


Fig. 2. Relación entre los tres parámetros básicos
Fuente: Highway Capacity Manual 2000

La forma de estos gráficos depende del tránsito prevaeciente y las condiciones de la carretera del segmento bajo estudio. Las curvas ilustran varios puntos significantes.

Primero, un volumen cero que ocurre en dos diferentes condiciones. Una es cuando no hay vehículos en la carretera, la densidad es cero y el volumen es cero. La velocidad es teórica para esta condición (S_f) y es seleccionada del primer conductor (presuntamente el valor más alto). La segunda es cuando la densidad llega a ser tan alta que los vehículos deben parar, la velocidad es cero y el volumen es cero. La densidad a la cual todo movimiento se detiene es llamada densidad de embotellamiento (D_j).

Entre estos dos puntos extremos, la dinámica del tránsito produce un efecto maximizado. Como el volumen incrementa de cero, la densidad también incrementa mientras más vehículos hay en la carretera. Cuando esto pasa, la velocidad declina por la interacción de vehículos. Esta declinación es insignificante en una densidad y un volumen bajo o medio. Como la densidad incrementa, la curva sugiere que la velocidad decrece significativamente antes que la capacidad sea alcanzada. La capacidad es alcanzada cuando el producto de la densidad y la velocidad resultan en el máximo volumen. Esta condición se muestra como velocidad óptima S_o (velocidad crítica), densidad óptima D_o (densidad crítica) y máximo volumen V_m . La gráfica de

velocidad – densidad es usada mayormente para trabajos teóricos, y las otras dos gráficas son usadas para definir el nivel de servicio. (Palma R., 2006)

2.6. CAPACIDAD

Un objetivo básico del análisis de capacidad es la estimación del máximo número de vehículos a los que una vía puede dar servicio con seguridad razonable dentro de un período de tiempo. Sin embargo, son pocas las carreteras que operan en el rango correcto de su capacidad o cerca de él. Debido a ello, el análisis de capacidad proporciona una forma de estimar la máxima cantidad de flujo vehicular a la que se puede dar servicio en una vía mientras mantiene su nivel de operación prescrito.

Para el estudio de Capacidad y nivel de servicio es necesario disponer de información de campo inherente al tráfico y a la configuración física de la carretera, así como las condiciones topográficas.

2.6.1. Capacidad de una vía

La capacidad es el número máximo de vehículos que pasan por un punto o una sección de una vía o camino durante un período de tiempo, de acuerdo a condiciones predominantes de la carretera y del tránsito, como las características geométricas. La capacidad vehicular se expresa en vehículos por hora. El flujo máximo del tránsito de una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica y el tránsito se mueve a la velocidad crítica.

Para un mejor resultado en la determinación de la capacidad de una vía se requiere disponer de aforos vehiculares que permitan establecer la velocidad, tipología vehicular, volumen vehicular entre otros, para ello se puede emplear personal aforador, dispositivos o sensores de diversa índole, entre los más utilizados se halla los sensores magnéticos y los de tubos neumáticos.

2.6.2. El radio v/c y su uso

Un factor crítico en cualquier análisis de capacidad, es la proporción de la capacidad de la carretera siendo utilizada como proyección del tránsito. Este valor es el radio de proporción de flujo para la capacidad de la carretera.

$$v/c = \text{razón de flujo} / \text{capacidad}$$

Este ratio es usado como una medida de la suficiencia de capacidad existente o propuesta. En concepto un ratio mayor a 1.00 puede existir cuando un flujo de demanda pronosticado es usado para comparar una capacidad existente o estimada. La razón de flujo nunca puede ser mayor que su capacidad. En la misma situación, el ratio v/c mayor a 1.00 predice que la carretera falló, siendo incapaz de descargar la demanda que llega a la sección en servicio. En otras palabras, un valor del ratio v/c mayor o igual a 1.00 implica congestión.

2.6.3. Condiciones preexistentes del tránsito que afectan la capacidad

Palma R. (2006, p-25), define algunas condiciones preexistentes en el tránsito que afectan la capacidad de una vía, tales como:

A. Distribución Direccional

En carreteras de dos carriles donde las maniobras de rebase en una dirección deben ocupar el carril en el flujo opuesto, el flujo de una dirección tiene impacto sobre el flujo en la dirección contraria. La capacidad ideal establecida en el HCM 2000, de 2,800 veh/h (en ambas direcciones) está basada sobre la distribución de 50%-50% del tránsito en las dos direcciones. Por lo tanto, para cualquier otra distribución direccional, la capacidad decrece, llegando a un valor de 2,000 veh/h cuando el tránsito está al 100% en una dirección.

B. Vehículos pesados en el tránsito

La característica más importante que afecta la capacidad y el nivel de servicio es la presencia de vehículos pesados dentro del tránsito. El efecto de estos vehículos es doble, porque:

- Los vehículos pesados son más largos que un vehículo normal.
- Los vehículos pesados tienen características de operación generalmente inferiores que los vehículos normales, especialmente en tramos inclinados de las carreteras.

Por ello, los vehículos pesados son colocados en cuatro categorías distintas, tales como:

a) Camiones

Son vehículos ocupados para transportar materiales, hacer fletes, trasladar maquinaria, etc. Existe una variedad de formas y longitudes, desde los camiones con dos ejes hasta los camiones de doble remolque. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 125-150 lb/hp hasta 300-400 lb/hp, para los camiones más pesados.

b) Vehículos Recreacionales

Los vehículos recreacionales son vehículos destinados a un uso específico para hacer viajes familiares o de turismo, tales como casas rodantes individuales o remolcadas por otro tipo de vehículo. El promedio de relación entre peso y caballaje para este tipo de vehículo está dentro del rango de 30-60 lb/hp. Estos vehículos regularmente no tienen prisa alguna en llegar a algún destino, ya que son conducidos por personas que únicamente buscan disfrutar del viaje como del paisaje que la carretera les brinda.

c) Buses extraurbanos

Son vehículos que transportan personas de un lugar a otro, pero que no hacen paradas seguidas dentro de la carretera para recoger o bajar pasajeros, generalmente se usan para realizar viajes largos entre provincias o departamentos. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 100-135 lb/hp.

d) Buses locales del área o Microbuses

Son vehículos diseñados para transportar numerosas personas mediante vías urbanas, generalmente son usados en los servicios de transporte público urbano e interurbano, y con trayecto fijo que hacen paradas continuas, parando en la orilla de la carretera para recoger o bajar pasajeros. Su capacidad puede variar entre 10 y 120 pasajeros. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 90-120 lb/hp. Este tipo de

vehículos añaden otro efecto a la capacidad, ya que cuando paran bloquean una porción del carril o de la carretera.

2.6.4. Condiciones prevalecientes del control que afectan la capacidad

Palma R. (2006, p-27), define además algunas condiciones prevalecientes del control que afectan la capacidad de una vía, tales como:

A. Límites de velocidad

Los límites de velocidad no afectan directamente la capacidad, la cual tiende a ocurrir velocidades relativamente bajas. Sin embargo, afectan la velocidad de flujo libre en una carretera y las características de flujo. Esto se hace cierto cuando los límites de velocidad son irrazonablemente bajos y estrictamente forzados. En estudios realizados muestra que los conductores no se ven afectados por los límites de velocidad al menos que sean forzosos.

B. Señales de tránsito

Las señales de tránsito dramáticamente afectan la capacidad y la calidad de flujo en las cercanías de una intersección con otra carretera. Una señal efectivamente regula que vehículo debe parar en la intersección.

2.7. NIVEL DE SERVICIO

El nivel de servicio es una medida cualitativa que se encarga de describir las condiciones operativas en lo concerniente a una corriente de tránsito y como lo vean los conductores, pasajeros o ambos. También se puede decir, que el nivel de servicio es una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Cuando se refiere a la calidad de la vía se habla de la velocidad que un vehículo puede circular por la misma con la suficiente comodidad y seguridad.

El HCM 2000 establece seis niveles de servicio, LOS (por sus siglas en inglés, Level of Service), identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía. (Ver Tabla 5)

Tabla 5
Niveles de Servicio

A	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad de los vehículos es la que elige libremente el conductor • Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarlos sin sufrir demoras • Condiciones de circulación libre y fluida 	
B	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos • Pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas • Circulación estable a alta velocidad 	
C	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad y la libertad de maniobra se hallan más reducidas, formándose grupos • Aumento de demoras de adelantamiento • Formación de colas poco consistentes • Nivel de circulación estable 	
D	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad reducida y regulada en función de la de los vehículos precedentes • Formación de colas en puntos localizados • Dificultad para efectuar adelantamientos • Condiciones inestables de circulación 	
E	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades de operación bajas y volúmenes próximos a la capacidad máxima • Formación de largas colas de vehículos • Imposible efectuar adelantamientos • Define la capacidad de una carretera 	
F	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de largas colas y velocidades de operación muy bajas • La intensidad sobrepasa la capacidad de la vía • Circulación intermitente mediante interrupciones y rupturas de flujo • La circulación se realiza de forma forzada 	

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación Propia

Bañón L. y Beviá J. (2000, p-178), indican que la intensidad de tráfico definida por el Nivel de Servicio E coincide con la Capacidad de la vía en estudio, por lo tanto, si se calcula la capacidad de una vía en este nivel de servicio, podremos determinar su capacidad máxima.

2.7.1. Medida de efectividad

Para cada tipo de carretera, los niveles de servicio son definidos en términos de una medida de efectividad MOE (por sus siglas en inglés, Measure of Effectiveness). Una

MOE es un parámetro que describe las operaciones de tránsito en términos discernibles para el conductor. El HCM 2000 utiliza tres medidas primarias que son: Velocidad y tiempo de viaje, densidad y demora.

- **Velocidad y tiempo de viaje**

Una de las más discernibles medidas de la calidad de servicio es la cantidad de tiempo perdido en el viaje. La velocidad y el tiempo de viaje son utilizados para definir el nivel de servicio de una carretera.

- **Densidad**

La densidad describe la proximidad de otros vehículos dentro del tránsito. Es una medida sustituta para el confort del conductor y para la habilidad de maniobrar dentro del tránsito.

- **Demora**

La demora es un término genérico que describe el exceso o el tiempo inesperado perdido en el viaje. La única medida de atraso utilizada para definir el nivel de servicio en una carretera de dos vías, es el porcentaje de tiempo de atraso.

Similarmente, el manual establece ciertas maneras de eficiencia para cada tipo de infraestructura vial; en este caso como se están analizando carreteras de dos carriles la eficiencia de éstas se medirá de acuerdo a la velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo de seguimiento.

2.7.2. Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio

La siguiente figura muestra los niveles de servicio para un segmento de carretera con flujo ininterrumpido, definida en términos de densidad. Cada nivel de servicio representa un rango distinto de condiciones de operación. También para carreteras de flujo ininterrumpido es posible definir la máxima razón de flujo que puede ser sostenida para cualquier nivel de servicio dado. Estos valores son mostrados en la figura anterior y son llamados razón de flujo de servicio (SF).

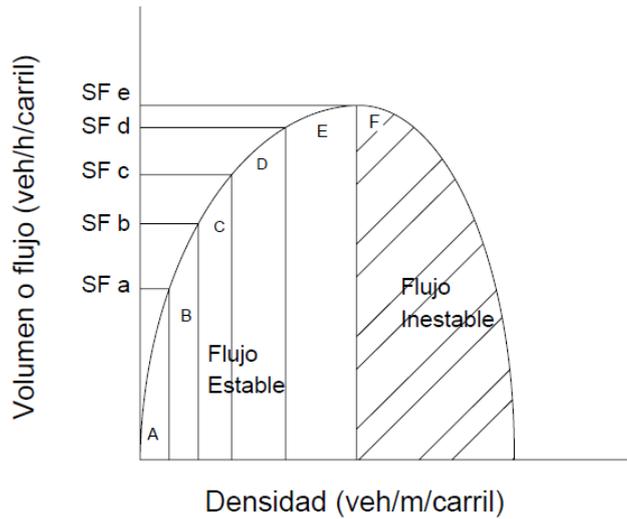


Fig. 3. Nivel de servicio para flujo ininterrumpido
Fuente: Highway Capacity Manual 2000

En la Fig. 4 y 5 se muestra la relación entre la razón de flujo, velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en condiciones ideales para una carretera de dos carriles en un tramo largo.

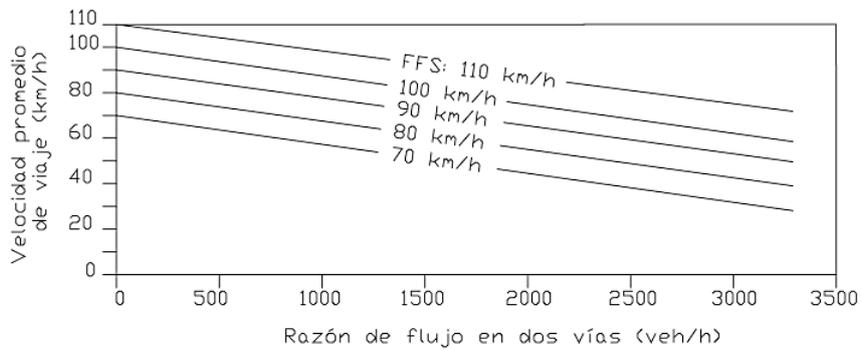


Fig. 4. Razón de Flujo vs Velocidad Promedio de Viaje
Fuente: Highway Capacity Manual 2000

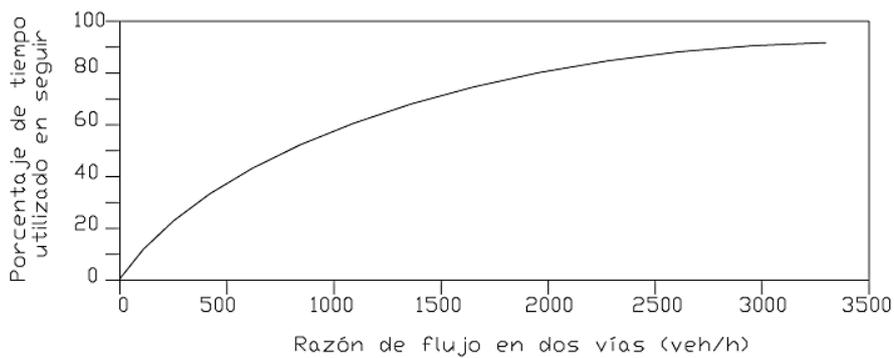


Fig. 5. Razón de Flujo vs Porcentaje de tiempo de seguimiento
Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.8. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD

2.8.1. Capacidad de vías de dos carriles

Bañón L. y Beviá J. (2000, p-180), basados en el HCM 2000 determinan una expresión empleada para el cálculo de las intensidades de servicio utilizando los factores de corrección en función del nivel de servicio que se desee obtener.

Según esto, si la Intensidad de tráfico definida por el nivel de servicio E siempre coincide con la capacidad de la vía en estudio, en vías que no cumplan las condiciones ideales se calculara la capacidad utilizando la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * f_C * f_A * f_P * f_R * (I/c)_E \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

C =Capacidad de la vía (veh/h)

f_C = factor de corrección por ancho de carriles, según Tabla 6

f_A = factor de corrección por ancho de arcenes o bermas, según Tabla 7

f_P = factor de corrección por composición del tráfico, utilizar Ec. (8)

f_R = factor de corrección por reparto de circulación por sentidos, según Tabla 9

$(I/c)_E$ = relación entre intensidad y capacidad ideal para el nivel de servicio E, según Tabla 10

A continuación, se muestran las tablas con los factores de corrección para carreteras de dos carriles.

Tabla 6

Factores de corrección por ancho de carriles (f_C)

Factor de Corrección por Carriles (f_C)		
Ancho (m)	NIVEL DE SERVICIO	
	A - D	E
3.60	1.00	1.00
3.30	0.93	0.94
3.00	0.84	0.87
2.70	0.70	0.76

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 7*Factores de corrección por ancho de arcenes o bermas (f_A)*

Factor de Corrección por Bermas (f_A)		
Ancho (m)	NIVEL DE SERVICIO	
	A - D	E
1.8	1	1
1.2	0.92	0.97
0.6	0.81	0.93
0	0.7	0.88

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

La ecuación 8, se utiliza para determinar el factor de corrección por composición del tráfico.

$$f_P = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

P_C = Proporción de camiones en el tráfico, expresado en decimal

P_R = Proporción de vehículos recreacionales en el tráfico, expresado en decimal

P_B = Proporción de autobuses en el tráfico, expresado en decimal

E_C = Equivalente del número de vehículos por camiones, según Tabla 8

E_R = Equivalente del número de vehículos por vehículos recreacionales, según Tabla 8

E_B = Equivalente del número de vehículos por autobuses, según Tabla 8

Tabla 8*Factores de corrección por composición del tráfico (f_P)*

Factor de Corrección por Composición del Tráfico (f_P)				
TIPO DE VEHÍCULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
		Llano	Ondulado	Montañoso
Camiones (E_C)	A	2.0	4.0	7.0
	B - C	2.2	5.0	10.0
	D - E	2.0	5.0	12.0
Vehículos Recreacionales (E_R)	A	2.2	3.2	5.0
	B - C	2.5	3.9	5.2
	D - E	1.6	3.3	5.2
Autobuses (E_B)	A	1.8	3.0	5.7
	B - C	2.0	3.4	6.0
	D - E	1.6	2.9	6.5

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 9

Factores de corrección por reparto de circulación por sentidos (f_R)

Factor de Corrección por Reparto de circulación por sentidos (f_R)						
REPARTO (%)	50 - 50	60 - 40	70 - 30	80 - 20	90 - 10	100 - 0
f_R	1	0.94	0.89	0.83	0.75	0.71

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

El HCM 2000 establece los valores de índice de servicio o relación entre intensidad capacidad que corresponden a distintos niveles de servicio para carreteras en condiciones ideales, con el que pueden obtenerse las intensidades de servicio correspondientes.

Este índice está en función del tipo de terreno, el porcentaje de zonas de no-rebase y el nivel de servicio deseado, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10

Índice de servicio (I/c) en carreteras de dos carriles

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES CIRCULACIÓN		TIPO DE TERRENO	% ZONAS NO-REBASE					
	Tipo	Vm		0	20	40	60	80	100
A	Libre	≥ 93	LL	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04
		≥ 91	O	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
		≥ 90	M	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	Estable a alta velocidad	≥ 88	LL	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
		≥ 86	O	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13
		≥ 86	M	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	Estable	≥ 83	LL	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32
		≥ 82	O	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28
		≥ 78	M	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	Casi inestable	≥ 80	LL	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57
		≥ 78	O	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43
		≥ 70	M	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	Inestable	≥ 72	LL	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		≥ 64	O	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90
		≥ 56	M	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	Forzada	< 72	LL	-	-	-	-	-	-
		< 64	O	-	-	-	-	-	-
		< 56	M	-	-	-	-	-	-

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9. CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Para carreteras de Clase II, como en este caso, el nivel de servicio se basa únicamente en el porcentaje del tiempo por seguimiento, sin embargo, se calcula la velocidad promedio de viaje como una medida de eficiencia adicional.

La metodología del HCM 2000 para el análisis bidireccional en carreteras de dos carriles, estima las medidas de operación de tránsito a lo largo de una sección de carretera, con base en el tipo de terreno, diseño geométrico y las condiciones del tránsito. El terreno se clasifica como llano y ondulado ya que el terreno montañoso se aborda mediante el análisis operacional en pendientes específicas en ascenso y descenso.

De acuerdo a lo mencionado, el proceso de cálculo del Nivel de Servicio es el siguiente:

- Primero se realiza la determinación de la velocidad de flujo libre, que es medida en el tránsito en condiciones de bajo volumen (hasta 200 automóviles/hora en ambos sentidos) y puede ser obtenida mediante la medición directa en campo o por estimación.
- Luego, para la determinación del flujo vehicular deben realizarse tres ajustes al volumen horario de demanda, con base en los conteos manuales de tránsito o en estimaciones, para así llegar al flujo horario expresado en vehículos equivalentes.
- La velocidad promedio de viaje se estima a partir de la velocidad a flujo libre, el flujo de demanda y un factor de ajuste por el porcentaje de zonas de no rebase.
- A continuación, se determina del porcentaje de tiempo perdido por seguimiento a partir del flujo de demanda, de la distribución direccional del tránsito y del porcentaje de zonas de no rebase.
- Llegados a este punto, el primer paso para determinar el nivel de servicio es comparar el flujo equivalente en automóviles, con la capacidad de 3.200 autos equivalentes/hora en ambos sentidos en condiciones ideales de la carretera. Si el valor del flujo equivalente es mayor que la capacidad, entonces la carretera

opera en sobresaturación y el nivel de servicio es F. Si el valor del flujo equivalente es menor que la capacidad, el nivel de servicio se determina localizando los rangos del porcentaje del tiempo empleado en seguimiento y la velocidad media de viaje, presentados en las tablas correspondientes para carreteras de Clase I o de Clase II.

- Finalmente, también se pueden determinar otras medidas de funcionamiento o rendimiento como la relación volumen a capacidad, los viajes totales durante un período de 15 minutos y durante la hora de máxima demanda y el tiempo total de viaje durante 15 minutos.

2.9.1. Determinación de la Velocidad a Flujo Libre (FFS)

La velocidad media de un vehículo se la denomina velocidad de flujo libre o Free Flow Speed (FFS), siempre y cuando no sea interrumpido por otro usuario. La velocidad de flujo libre se la puede determinar con mediciones de campo o estimándola a partir de la velocidad base de flujo libre o Base Free Flow Speed (BFFS).

A. Caso I – Medición en campo

La FFS puede ser calculada en campo según la ecuación 8, además el análisis se debe hacer cuando el flujo vehicular sea bajo, pero mayor que 200 veh/h.

$$FFS = S_{FM} + 0.0125 * \left(\frac{V_f}{f_{HV}} \right) \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

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

S_{FM} = Velocidad principal de tránsito medida en campo (km/h)

V_f = Observación del volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo (veh/h)

f_{HV} = Factor de ajuste de vehículos pesados, determinado como se muestra en la Ec. (12)

B. Caso II – Por Estimación

La FFS puede ser estimada indirectamente si la medida de campo no se puede realizar por cualquier circunstancia. Según el HCM 2000, la FFS para carreteras de dos vías tiene un rango entre 70 y 110 km/h en condiciones ideales.

Para estimar la FFS, el analista debe caracterizar las condiciones de operación de la carretera en términos de una velocidad base de flujo libre BFFS (por sus siglas en inglés, Base Free Flow Speed) que refleje el carácter del tránsito y el alineamiento de la carretera. La BFFS se puede estimar del conocimiento local de la operación de la carretera, de carreteras similares, de la velocidad de diseño de la carretera y de los límites de velocidad. La velocidad de flujo libre es estimada entonces a partir de la BFFS, pero modificada por varios factores para reflejar características del tráfico y geometría de la vía, tal como se muestra en la ecuación 10.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre estimada (km/h)

BFFS = Velocidad base de flujo libre (km/h)

f_{LS} = Ajuste del ancho de carril y el ancho de berma, según Tabla 11

f_A = Ajuste para puntos de acceso, según Tabla 12

Tabla 11

Ajuste debido al ancho de carril y ancho de berma (f_{LS})

Ancho de carril (m)	Reducción de la FFS (km/h)			
	Ancho de berma (m)			
	≤ 0.0 < 0.6	≤ 0.6 < 1.2	≤ 1.2 < 1.8	≥ 1.8
2.7 < 3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
≤ 3.0 < 3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
≤ 3.3 < 3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 12*Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A)*

Puntos de acceso por km	Reducción de la FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.2. Determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (v_p)

Para la determinación de la tasa de flujo se debe realizar tres ajustes a los volúmenes horarios, para lograr a convertirla en una tasa de flujo de vehículos equivalentes livianos, los mismos que puedan ser usados en los criterios para la determinación del nivel de servicio. Los ajustes son: el factor de hora pico, el factor de ajuste debido al porcentaje de pendiente del tramo en estudio y el factor de ajuste debido a los vehículos pesados, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

v_p = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el periodo pico de 15 min (veh/h)

V = Demanda de volumen para una hora pico completa (veh/H)

PHF = Factor hora pico

f_G = Factor de ajuste por pendiente, según Tabla 13 o Tabla 14

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados, según Ec. (12)

2.9.3. Factor de Ajuste por Pendiente (f_G)

Este factor indica el efecto del terreno sobre las velocidades de desplazamientos de los vehículos y el porcentaje de seguimiento de un vehículo a otro, inclusive si no existen vehículos pesados presentes. En la Tabla 13 se presentan los valores f_G de para estimar las velocidades promedio de viaje y en la Tabla 14 para estimar el porcentaje de tiempo de seguimiento.

Tabla 13

Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y direccionales

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.71
> 600 - 1200	> 300 - 600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 14

Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccionales

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.77
> 600 - 1200	> 300 - 600	1.00	0.94
> 1200	>600	1.00	1.00

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.4. Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (f_{HV})

La presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico disminuye la velocidad de flujo libre, para lo cual, el volumen de tráfico se debe ajustar a un caudal equivalente expresado en los vehículos livianos por hora, este ajuste se lleva a cabo utilizando el factor de f_{HV} .

El factor de ajuste para vehículos pesados se determina mediante la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

P_T = Proporción de vehículos pesados en el tráfico, expresado en decimal

P_R = Proporción de vehículos recreacionales en el tráfico, expresado en decimal

E_T = Equivalente del número de vehículos por vehículos pesados, obtenido de la Tabla 15 o Tabla 16

E_R = Equivalencia del número de vehículos por vehículos recreacionales, obtenido de la Tabla 15 o Tabla 16

Las tablas 15 y 16 muestran los factores de ajuste E_T y E_R , considerando el tipo de terreno de los segmentos bidireccionales, para determinar la velocidad y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo. En este concepto, los autobuses son incluidos como vehículos pesados.

Tabla 15

Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar la velocidad en segmentos en dos sentidos y direccionales

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	> 600 -1200	> 300 -600	1.2	1.9
	> 1200	>600	1.1	1.5
E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.1
	> 1200	>600	1.0	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 16

Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar el porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos de dos sentidos y direccionales

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_t	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600 -1200	> 300 -600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
E_r	0-600	0-300	1.0	1.0
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.0
	> 1200	> 600	1.0	1.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.5. Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)

Para la determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS) o Average Travel Speed, se estima tomando en cuenta la velocidad de flujo libre, la demanda de tasa de flujo, y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas de no rebase o no adelantamiento. La velocidad promedio de viaje se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido para ambas direcciones de trayecto combinado (km/h)

FFS = Velocidad de Flujo Libre (km/h)

v_p = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano para un periodo pico de 15min (veh/h)

f_{np} = Ajuste para porcentaje de zonas de no rebase, según Tabla 17

Tabla 17

Ajuste (f_{np}) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no-rebase en segmentos direccionales

Intensidad Horaria (Veh/h)	Reducción en la velocidad promedio de viaje (km/h)					
	Zonas de no-rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0	0	0	0	0
200	0.0	1	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2	2.6	3	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1	1	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.6. Determinación del Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTSF)

El porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS) o Percentage of Time Spent Following, se determina a partir de la demanda de razón de flujo, la distribución de tráfico direccional y el porcentaje de zonas de no-rebase.

Este porcentaje se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

$PTSF$ = Porcentaje de tiempo de seguimiento.

$BPTSF$ = Porcentaje Base de tiempo de seguimiento para ambas direcciones de recorrido combinado (utilizando la Ecuación 15)

$f_{d/np}$ = Ajuste para el porcentaje de efecto combinado de la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no-rebase, según la Tabla 18

Ahora, la siguiente ecuación determina el valor del BPTSF.

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p}) \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

v_p = tasa de flujo equivalente en vehículos liviano por periodo pico de 15 min.

El manual establece un ajuste representativo del efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no rebasamiento $f_{d/np}$ es representado en la Tabla 18 como se muestra a continuación.

Tabla 18

Ajuste ($f_{d/np}$) para el porcentaje de tiempo de seguimiento por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el porcentaje de zonas de no-rebase sobre segmentos en dos sentidos y direccionales

Intensidad Horaria (Veh/h)	Porcentaje de Tiempo de seguimiento (%)					
	Zonas de no-rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
Reparto por sentidos = 50/50						
≤ 200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Reparto por sentidos = 60/40						
≤ 200	0.0	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.0	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.5	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Reparto por sentidos = 70/30						
≤ 200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Reparto por sentidos = 80/20						
≤ 200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Reparto por sentidos = 90/10						
≤ 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥ 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.7. Determinación de los Niveles de Servicio (LOS)

El primer paso en la determinación de los niveles de servicio (Level Of Service) es comparar la tasa de flujo equivalente de vehículos livianos para la capacidad de la vía en dos sentidos. Si es mayor que la capacidad, entonces la calzada está sobresaturada y el nivel de servicio es F. De igual modo, si la demanda de la tasa de flujo en cualquier dirección de recorrido determinada a partir de la tasa de flujo de dos sentidos y por cada sentido es mayor que 1700 veh/h, entonces la carretera está sobresaturada y el nivel de servicio es F. En el nivel de servicio F, el PTSF está casi al 100 por ciento y las velocidades son muy variables y difíciles de estimar.

Cuando un segmento de clase II tiene una demanda menos que su capacidad, el nivel de servicio se determina mediante el porcentaje de tiempo de seguimiento especificado PTSF con el criterio de la Tabla 19. El análisis debe contener los niveles de servicio y los valores estimados del porcentaje de demora en tiempo (PTSF) y la velocidad promedio de recorrido (ATS). Aunque la velocidad de viaje promedio no se considera en la determinación de los niveles de servicio para la carretera de Clase II, la estimación puede ser útil para evaluar la calidad del servicio de las instalaciones de dos carriles, redes de carreteras o sistemas, incluyendo el segmento.

Tabla 19

Criterios de Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles Clase II

Nivel de Servicio	% de tiempo de seguimiento
A	≤ 40
B	>40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85

Nota: El nivel de servicio F no aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento.
Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.9.8. Otras medidas de Rendimiento

El ratio v/c para un segmento largo de dos vías puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$v/c = v_i / C \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

v/c = ratio volumen capacidad

C = Capacidad para el segmento de dos vías, normalmente 3,200 veh/h para segmentos de dos vías en condiciones ideales, pero en este caso se utiliza la capacidad real de la vía

v_i = Equivalente de vehículos livianos en el flujo para un periodo pico de 15 minutos (veh/h).

El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el periodo pico de 15 minutos puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$VkmT_{15} = 0.25 * \left(\frac{V}{PHF} \right) * L_T \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

$VkmT_{15}$ = Viaje total en el segmento en análisis durante un periodo pico de 15 minutos (veh-km)

L_T = Longitud total del segmento en análisis (km)

El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el periodo de una hora puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$VkmT_{60} = V * L_T \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde:

$VkmT_{60}$ = Viaje total en el segmento en análisis durante la hora pico (veh-km)

El tiempo total de viaje para todos los vehículos durante el período pico de 15 minutos puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$TT_{15} = VkmT_{15} / ATS \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde:

TT_{15} = Tiempo total de viaje para todos los vehículos en el segmento analizado durante un periodo pico de 15 minutos (veh-h)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES

Mediante el análisis del flujo vehicular se pueden determinar las características y componentes del tránsito, lo que servirá posteriormente para su evaluación y estudios futuros. El análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo que nos permite determinar el nivel de eficiencia y su funcionalidad.

Para la presente investigación se realizó un estudio de volumen de tráfico mediante métodos de aforo. El método utilizado es el método manual, el cual consiste en obtener datos de volúmenes de tránsito a través de conteos vehiculares realizados por personas en las vías en estudio, lo que permitió la clasificación directa de vehículos por tamaño, tipo y otras características. El personal en campo registró los datos en formatos de aforo vehicular en carreteras diseñados por el MTC.

Según el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, los periodos de aforo pueden ser menores a un año y mayores a un día. Sin embargo, para poder obtener un aforo vehicular para el diseño de una carretera cualquiera, se recomienda realizarlo en un periodo de un año, pero se recomiendan datos representativos del mismo obtenido en periodos de un mes o una semana.

Por tal motivo y tomando en consideración que cuanto más prolongado sea el periodo de aforo más elevados serán los costos del estudio de tránsito, para este estudio se efectuó un aforo con un período de realización de una semana o siete días continuos, en las horas de mayor circulación, los días comprendidos entre el 10 y 16 de octubre del 2016.

Además, para determinar las horas de mayor circulación vehicular se entrevistó a los residentes aledaños a las rutas, los que manifestaron que el flujo vehicular se da en distintas horas del día, por lo que se optó por realizar el aforo durante 13 horas continuas de 7:00 am a 8:00 pm.

El conteo vehicular se realizó en las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional tal como se muestra en la Fig. 1, con un aforador por vía durante el horario establecido.

Por lo tanto, en el presente capítulo se describirá el proceso para determinar las características físicas de la carretera y otros parámetros de la vía que influyen en el tema de estudio; además de describir el proceso de determinación de volúmenes vehiculares, velocidades promedio de rodaje, composición y distribución del tráfico; para finalmente desarrollar la metodología establecida por el HCM 2000.

3.2. CONDICIONES

En la presente investigación, dos situaciones surgen como condicionantes al diagnóstico planteado, la primera es la falta de conservación de las vías, así como la falta de múltiples datos referentes a la geometría de las vías en estudio y el estado de la superficie de rodadura, por lo que previamente es necesario realizar el levantamiento de dicha información.

La segunda situación condicionante es la falta de estudios de tráfico previos en cada vía en estudio, lo que nos conduce a realizar el aforo vehicular por el período de una semana durante 13 horas continuas con el apoyo de un grupo de aforadores previamente capacitados para esta tarea.

3.3. VÍAS EN ESTUDIO

El estudio se realizó en la ciudad de Cajamarca, en las vías de ingreso y salida a la ciudad y que pertenecen a la Red Vial Nacional, tal como se describen a continuación.

- *Ruta Nacional PE-3N (Longitudinal de la Sierra en el norte del Perú)*
 - Ingreso zona noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
 - Ingreso zona sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

- *Ruta Nacional PE-08 (Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca)*
 - Ingreso zona sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

- *Ruta Nacional PE-08B*
 - Ingreso zona noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)



Fig. 6. Vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Cajamarca
 Fuente: MTC, Adaptación propia

3.3.1. Ruta Nacional PE-3N (Ingreso Zona Noroeste y Sureste)

La Ruta Nacional PE-3N conocida como la Longitudinal de la Sierra Norte, pertenece al 2° eje longitudinal de la Sierra, tiene una longitud de 1.957,3 km parcialmente asfaltados y recorre los departamentos de Piura, Cajamarca, La Libertad, Áncash, Huánuco, Pasco y Junín.

Esta ruta atraviesa la ciudad de Cajamarca de Sureste a Noroeste, formando así dos ingresos a la ciudad, tal como se muestran en las Fig. 7 y Fig.8.

Para la realización del estudio se tomó como unidad de análisis un segmento de la vía con una longitud de 1km.



Fig. 7. Tramo en estudio - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
Fuente: Google Earth, Adaptación propia



Fig. 8. Tramo en estudio - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)
Fuente: Google Earth, Adaptación propia

3.3.2. Ruta Nacional PE-08 (Ingreso Zona Sur)

La Ruta Nacional PE-08 conocida como Carretera Ciudad de Dios - Cajamarca es una vía transversal de penetración en el Perú que comunica la ciudad de Cajamarca con la carretera Panamericana Norte, atravesando las regiones de Cajamarca y La Libertad.

El recorrido de esta ruta empieza en Emp. PE-1N (Ciudad de Dios) - Tembladera - Puente Yonán - Chilete - Puente Muyuna - Magdalena - San Juan - Abra El Gavilán y termina en el Emp. PE-3N en la ciudad de Cajamarca, atravesando en su recorrido gran parte del valle del río Jequetepeque.

Esta vía ingresa a la ciudad de Cajamarca por la zona Sur, por lo que el estudio se realizó en un segmento de la vía con una longitud de 1 km tal como se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9. Tramo en estudio - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilite)
Fuente: Google Earth, Adaptación propia

3.3.3. Ruta Nacional PE-08B (Ingreso Zona Noreste)

La Ruta nacional PE-08B, un ramal de la Ruta Nacional PE-08, es una vía transversal de penetración en el Perú que comunica las regiones de Cajamarca y Amazonas.

El recorrido de esta ruta empieza en Emp. PE-3N (Cajamarca) - Baños del Inca - Abra Puyllucana - La Encañada – Abra Comullca - Abra Loma del Indio - Celendín - Abra Gelig - Pte. Chacanto - Balzas - Abra Barro Negro - Dv. Leimebamba - Tingo (Dv. Kuelap) - Achamaqui - Chachapoyas - Dv. Molinopampa - Rodríguez de Mendoza - Omia - El Arenal - Nva. Galilea - Selva Alegre – San Marcos - Soritor y termina en el Emp. PE-5N (La Calzada) en la región de Amazonas.

En la ciudad de Cajamarca esta vía tiene un ingreso y salida por la zona Noreste, por lo que el estudio se realizó en un segmento de la vía con una longitud de 1 km tal como se muestra en la Fig. 10.

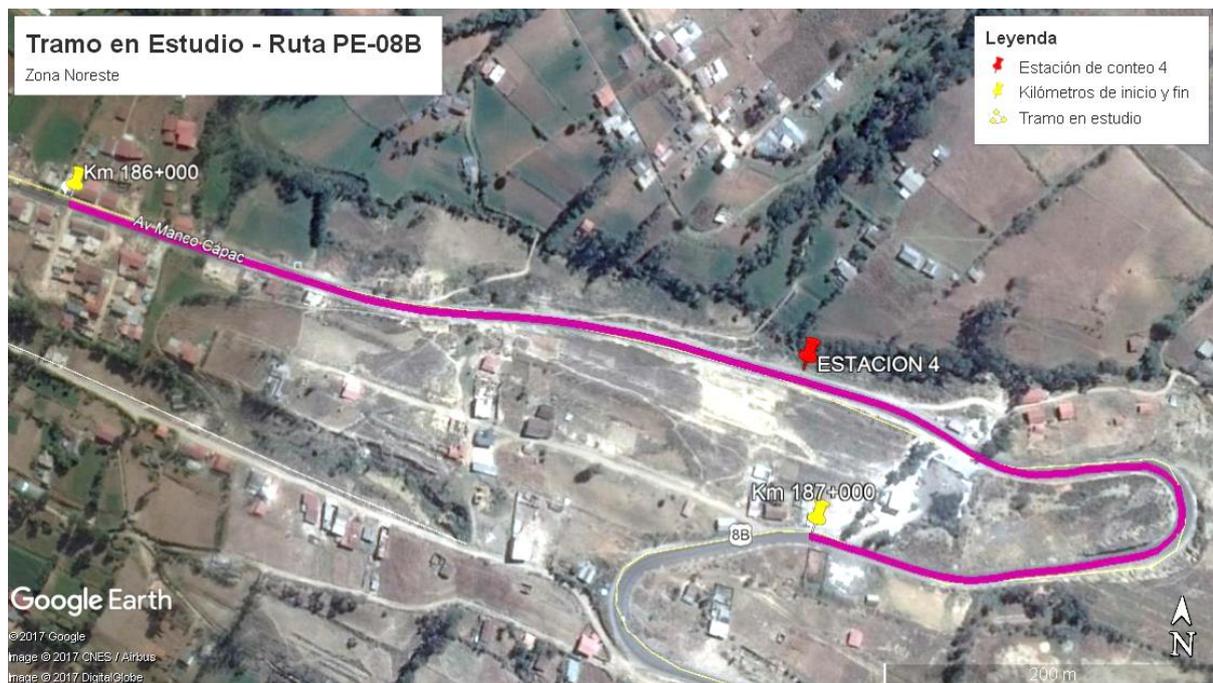


Fig. 10. Tramo en estudio - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
Fuente: Google Earth, Adaptación propia

3.4. ESTADO DEL ARTE

La ciudad de Cajamarca cuenta con cuatro carreteras de ingreso y salida pertenecientes a la Red Vial Nacional, de primera y segunda clase según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, que están habilitadas para el libre de tránsito vehicular.

A continuación, se describe el estado en que se encuentra cada una de ellas.

- **Ruta Nacional PE-3N, Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)**

Esta vía conecta la ciudad de Cajamarca con la Provincia de Hualgayoc, y está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en mal estado y con necesidad de mantenimiento.

De acuerdo al tramo en estudio desde el Km 05+000 al Km 06+000, el ancho promedio de la vía es de 7.58 m, tiene dos carriles con 3.79 m, con bermas de 0.55 m y 0.44 m en el carril de ingreso y de salida respectivamente, además de una cuneta en el carril de ingreso de 1.15 m con sección triangular.

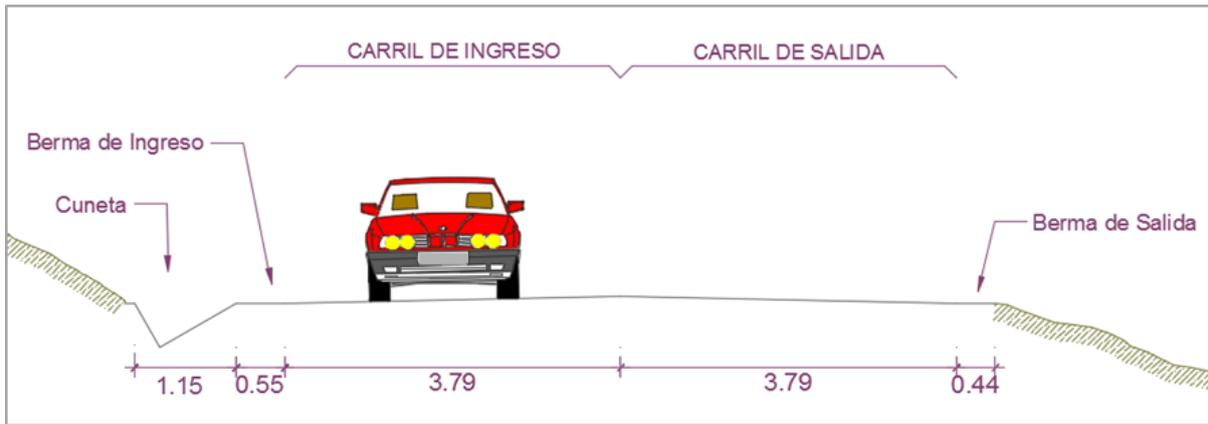


Fig. 11. Sección Transversal Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
Fuente: Elaboración propia

- **Ruta Nacional PE-3N, Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca –San Marcos)**

Esta vía conecta la ciudad de Cajamarca con la Provincia de San Marcos, y está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en buen estado, pero con necesidad de mantenimiento.

De acuerdo al tramo en estudio desde el Km 1260+000 al Km 1259+000, el ancho promedio de la vía es de 7.18 m, tiene dos carriles con 3.59 m, con bermas de 0.45 m y 2.16 m en el carril de ingreso y de salida respectivamente, además de una cuneta en el carril de ingreso de 1.25 m con sección triangular.

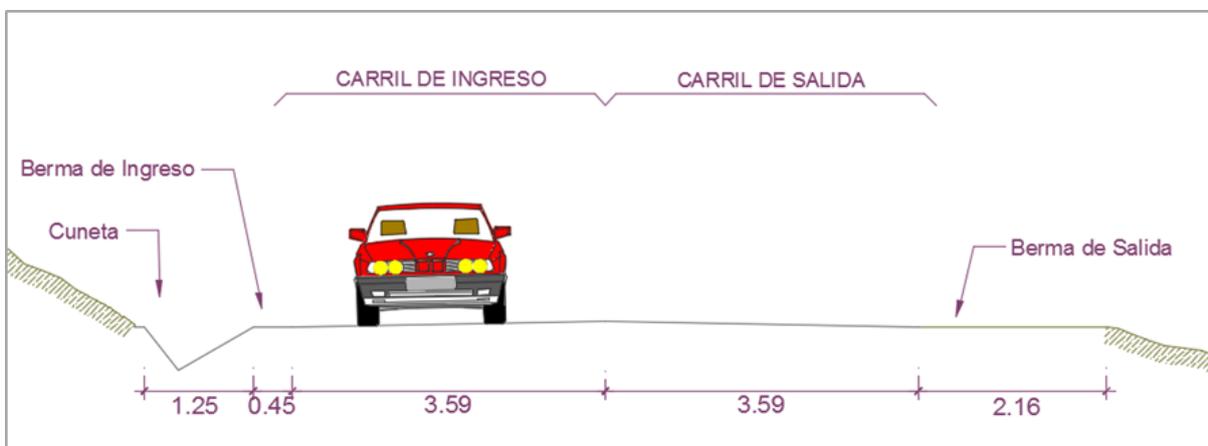


Fig. 12. Sección Transversal Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca –San Marcos)
Fuente: Elaboración propia

- **Ruta Nacional PE-08, Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)**

Esta vía conecta la ciudad de Cajamarca con la Provincia de Contumazá; está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en estado regular, pero con necesidad de mantenimiento.

De acuerdo al tramo en estudio desde el Km 173+000 al Km 172+000, el ancho promedio de la vía es de 6.36 m, tiene dos carriles con 3.18 m, con bermas de 1.77 m y 0.83 m en el carril de ingreso y de salida respectivamente, además de una cuneta en el carril de salida de 1.30 m con sección triangular.

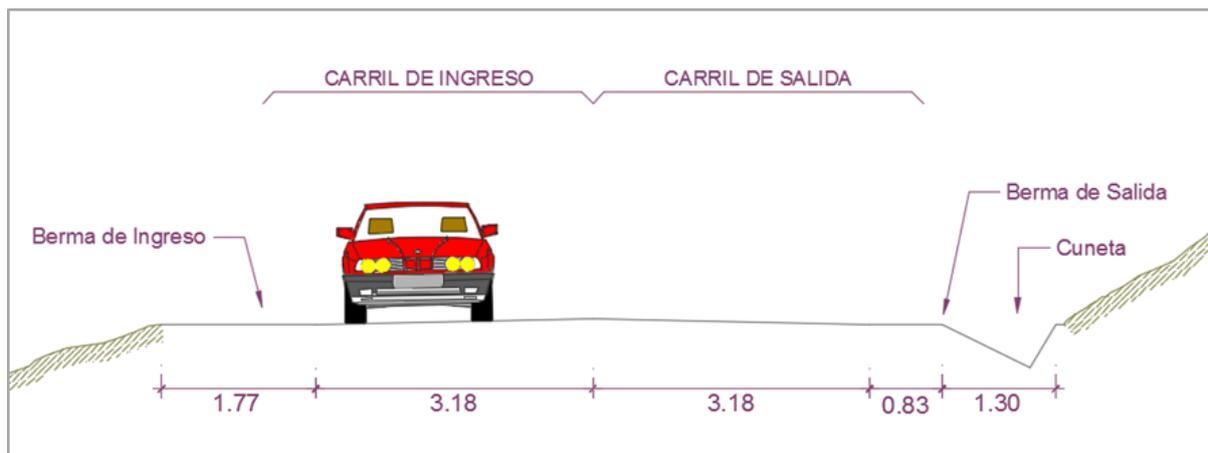


Fig. 13. Sección Transversal Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)
Fuente: Elaboración propia

- **Ruta Nacional PE-08B, Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)**

Esta vía conecta la ciudad de Cajamarca con la Provincia de Celendín, y está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en buen estado, pero con necesidad de mantenimiento.

De acuerdo al tramo en estudio desde el Km 186+000 al Km 187+000, el ancho promedio de la vía es de 6.32 m, tiene dos carriles con 3.16 m, con bermas de 1.75 m y 1.04 m en el carril de ingreso y de salida respectivamente, además de una cuneta en el carril de salida de 1.24 m con sección triangular.

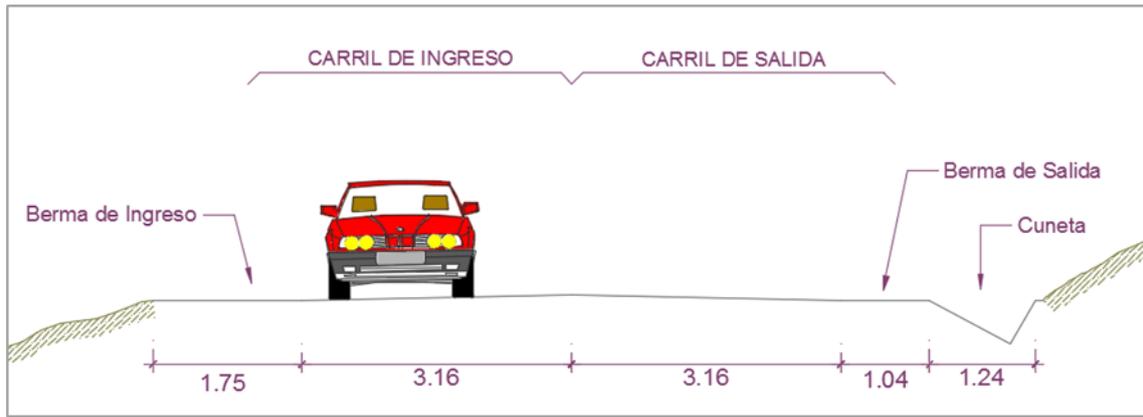


Fig. 14. Sección Transversal Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
Fuente: Elaboración propia

Estas vías recorren varios centros poblados y distritos, por lo que tiene gran afluencia vehicular de transporte interdistrital, interprovincial y departamental, además de permitir el transporte turístico dentro y fuera de la ciudad de Cajamarca.

3.5. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS VÍAS

A continuación, se describen las características geométricas de cada vía en estudio que formarán parte del desarrollo de la metodología.

Tabla 20
Características Geométricas de las vías en estudio

Características Geométricas	RUTA PE-3N		RUTA PE-08	RUTA PE-08B
	Zona Noroeste	Zona Sureste	Zona Sur	Zona Noreste
Ancho de Calzada	7.58 m	7.18 m	6.36 m	6.32 m
Ancho de Carril	3.79 m	3.59 m	3.18 m	3.16 m
Ancho de Berma Ingreso	0.55 m	0.45 m	1.77 m	1.75 m
Ancho de Berma Salida	0.44 m	2.16 m	0.83 m	1.04 m
Ancho de Cuneta	1.15 m	1.25 m	1.30 m	1.24 m
% Zonas de No-Rebase	90%	73.80%	50.70%	32.80%
Puntos de Acceso	2	2	3	2
Pendiente Promedio	3.47%	5.43%	4.93%	5.20%

Fuente: Elaboración propia

3.6. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO Y VELOCIDAD

3.6.1. Aforo vehicular y Composición del tráfico

Para realizar el estudio vehicular y determinar la intensidad se realizó un aforo manual de acuerdo a la clasificación vehicular establecida en las tablas 3 y 4, con el apoyo de un grupo de aforadores asignados para cada vía en estudio.

Las estaciones de conteo se ubicaron tal como se muestra en la Tabla 21, en ella se especifica las coordenadas de cada estación en los tramos de estudio. El conteo manual de cada uno de los vehículos se realizó siguiendo el formato de conteo vehicular del MTC, especificando el tipo de vehículo en intervalos de 15 minutos.

Tabla 21
Ubicación de Estaciones de Conteo

ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR						
VÍA	DIRECCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS		ELEVACIÓN (msnm)	DESCRIPCIÓN
			ESTE	NORTE		
PE - 3N	NOROESTE	Huambocancha	771767	9213801	2844	Estación 1 En Carril de Ingreso
PE - 3N	SURESTE	Llacanora	785068	9202961	2630	Estación 2 En Carril de Ingreso
PE - 08	SUR	Aylambo	785037	9203012	2900	Estación 3 En Carril de Ingreso
PE - 08B	NORESTE	Puylucana	782206	9209008	2824	Estación 4 En Carril de Ingreso

Nota: Datum WGS84

Fuente: Elaboración propia

La intensidad vehicular establece el número de vehículos que circula por la vía en un periodo de tiempo determinado; generalmente este periodo es de una hora, con registros de 15 minutos. De esta manera, se puede determinar la hora de mayor demanda, el día de mayor volumen y el volumen total semanal en cada vía en estudio, tal como se muestra a continuación:

a) Ruta PE-3N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

De acuerdo a los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 15 minutos. (Ver Anexo B-1)

Tabla 22

*Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-3N Zona Noroeste
(Carretera Cajamarca – Hualgayoc)*

VOLUMEN VEHICULAR HORARIO							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7:00 - 8:00	469	359	350	373	423	347	335
7:15 - 8:15	438	347	318	359	407	336	334
7:30 - 8:30	402	346	326	356	374	328	323
7:45 - 8:45	379	345	329	350	344	331	321
8:00 - 9:00	363	333	311	339	333	317	315
8:15 - 9:15	355	322	313	324	325	313	303
8:30 - 9:30	345	312	295	324	324	305	307
8:45 - 9:45	335	316	280	309	331	308	310
9:00 - 10:00	358	319	280	297	312	325	306
9:15 - 10:15	351	312	286	293	309	317	309
9:30 - 10:30	334	317	282	272	289	314	290
9:45 - 10:45	330	304	268	294	269	306	271
10:00 - 11:00	309	279	267	305	283	290	269
10:15 - 11:15	289	257	262	308	269	289	257
10:30 - 11:30	287	237	265	296	263	292	264
10:45 - 11:45	291	223	279	263	276	278	273
11:00 - 12:00	280	240	281	254	257	270	270
11:15 - 11:15	286	259	275	251	265	276	269
11:30 - 12:30	288	252	254	254	271	262	256
11:45 - 12:45	268	259	246	269	273	272	245
12:00 - 13:00	260	247	261	266	281	281	239
12:15 - 13:15	271	255	263	274	279	279	238
12:30 - 13:30	288	274	293	294	300	292	242
12:45 - 13:45	303	276	301	295	303	282	247
13:00 - 14:00	313	282	285	296	308	275	253
13:15 - 14:15	319	288	298	299	329	296	262
13:30 - 14:30	295	278	284	272	309	304	265
13:45 - 14:45	305	289	292	276	316	323	268
14:00 - 15:00	317	304	303	277	324	334	265
14:15 - 15:15	318	304	303	270	313	334	263
14:30 - 15:30	343	311	325	306	343	336	272
14:45 - 15:45	355	331	337	291	349	338	277
15:00 - 16:00	352	321	329	288	343	336	287
15:15 - 16:15	355	321	331	283	346	335	285
15:30 - 16:30	356	340	328	270	343	346	285
15:45 - 16:45	339	308	311	267	327	336	286
16:00 - 17:00	357	328	334	296	330	349	287
16:15 - 17:15	360	352	332	325	348	338	299
16:30 - 17:30	380	355	345	348	361	321	300
16:45 - 17:45	408	380	343	375	363	319	291
17:00 - 18:00	410	386	343	377	382	328	302
17:15 - 18:15	408	375	380	376	355	332	308
17:30 - 18:30	399	369	371	367	322	339	314
17:45 - 18:45	397	374	405	383	372	355	328
18:00 - 19:00	407	375	425	388	376	345	313
18:15 - 19:15	422	377	407	393	387	352	298
18:30 - 19:30	411	377	400	400	408	351	281
18:45 - 19:45	405	365	390	391	368	342	261
19:00 - 20:00	377	341	351	360	332	318	239

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la Tabla 22, presenta los volúmenes horarios por vehículos mixtos considerando ambos carriles, sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 15 minutos para cada día, con el fin de obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

Se puede apreciar en la tabla 23 el resumen vehicular semanal y el porcentaje de vehículos por día, según lo cual podemos determinar que la intensidad vehicular es constante y proporcional en toda la semana.

Tabla 23

Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos – Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

SENTIDO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL
E	2421	2155	2124	2126	2216	2136	1938	15116
S	2151	1959	1996	1990	2068	1979	1742	13885
Ambos	4572	4114	4120	4116	4284	4115	3680	29001
%	15.76%	14.19%	14.21%	14.19%	14.77%	14.19%	12.69%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la Fig. 15 presenta la variación vehicular horaria a lo largo del día en los días observados, con lo cual podemos determinar que los volúmenes vehiculares muestran un comportamiento similar a lo largo de la semana. En esta figura se observan mayores volúmenes vehiculares durante las primeras horas de la mañana, esto debido a que en este horario se realiza el mayor transporte dentro y fuera de la ciudad. Desde las 9:00 horas hasta las 15:00 horas aproximadamente, el tráfico es medianamente bajo a diferencia del tráfico urbano pues este se incrementa al mediodía, sin embargo, en este ingreso a partir de las 17:00 horas se puede apreciar un aumento en el volumen vehicular semanal pues se ve afectado por el retorno de vehículos hacia la ciudad proveniente de las minerías y del transporte interprovincial. Hay que mencionar además que esta figura nos muestra que el día con mayor intensidad vehicular es el lunes.

Mientras tanto, en la Fig. 16 se puede apreciar la variación horaria de máxima demanda para el día lunes, ya que el volumen horario de máxima demanda se encuentra en el rango de las 07:00 a 08:00 horas de la mañana con una intensidad de 469 vehículos mixtos por hora, y los 15 min máximos se presentan entre las 07:00 a las 07:15 horas.

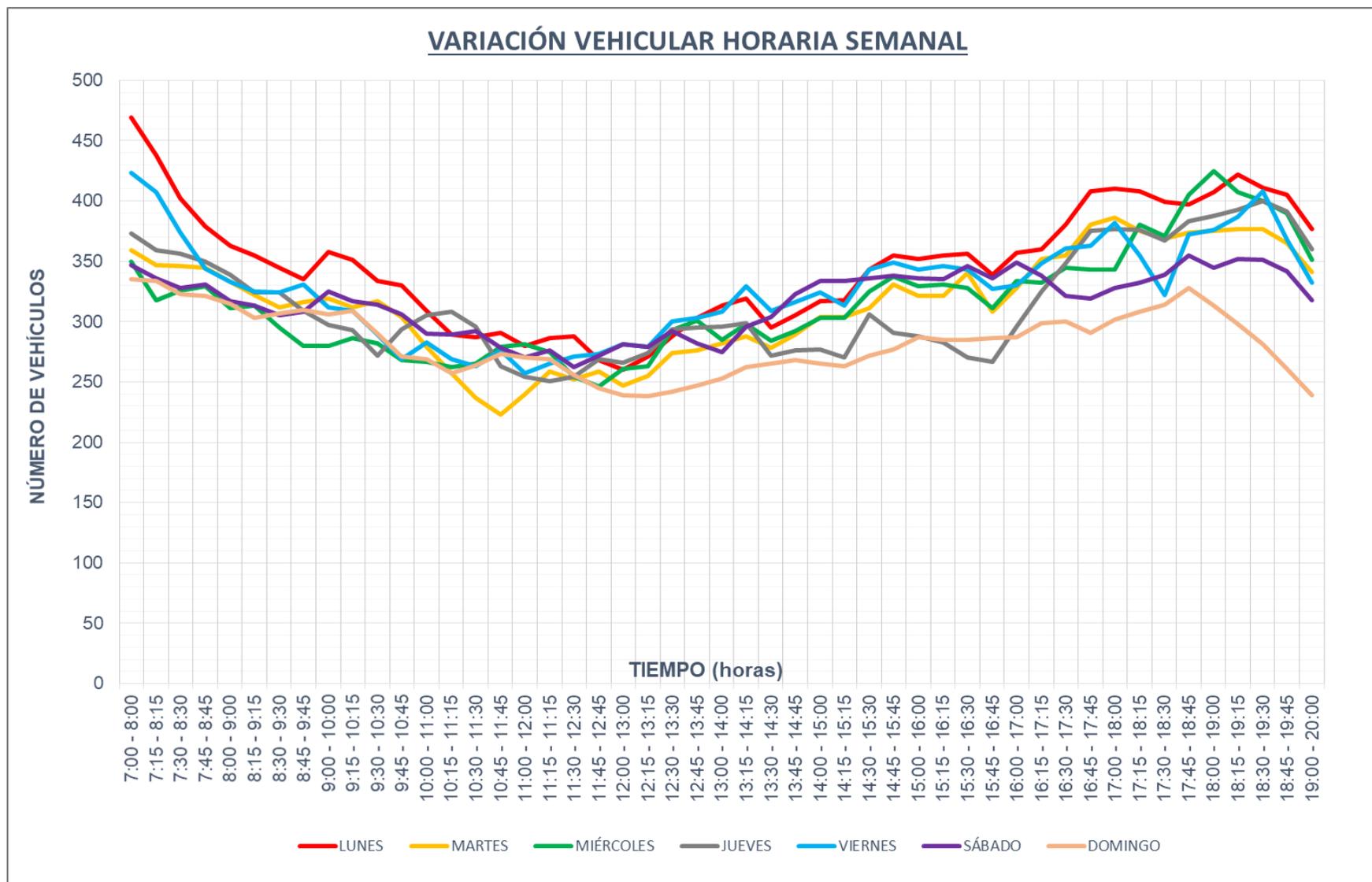


Fig. 15. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
 Fuente: Elaboración propia

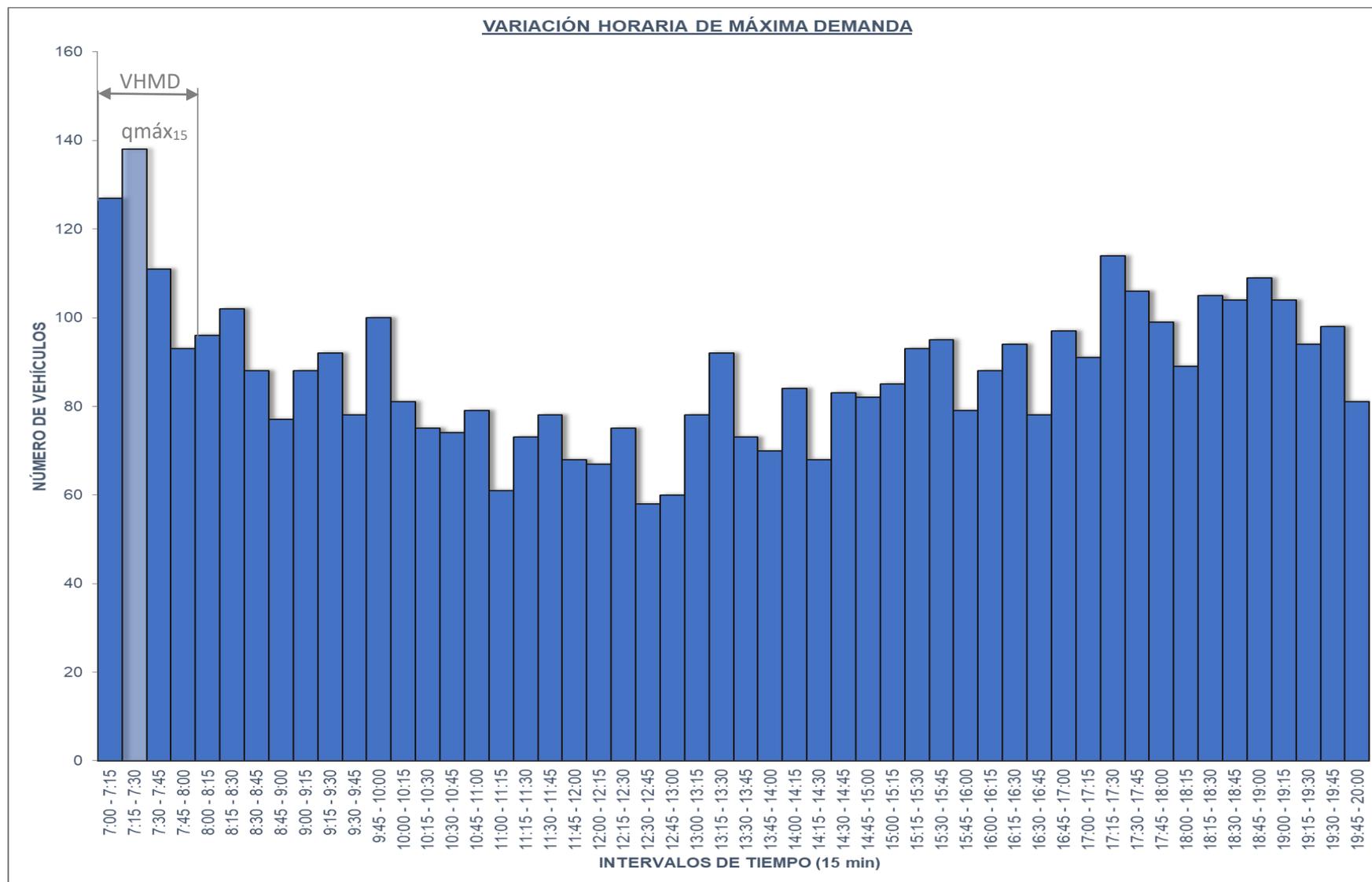


Fig. 16. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día lunes – Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
 Fuente: Elaboración propia

La figura 17, muestra la composición vehicular registrada en la hora de máxima demanda tomando en cuenta los dos carriles en función al formato establecido por el MTC.

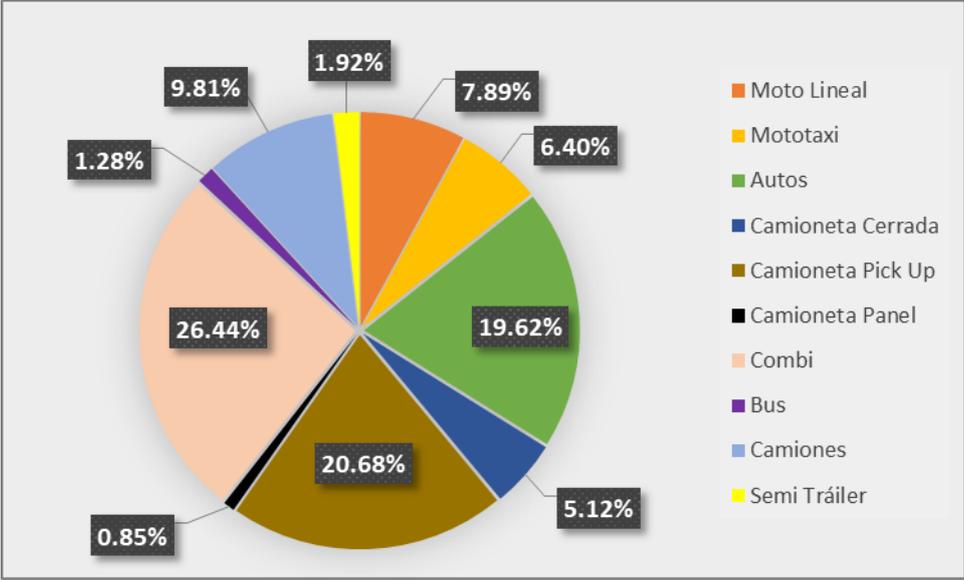


Fig. 17. Composición vehicular de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) en la hora de máxima demanda
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que, desde las 07:00 hasta las 08:00 horas, los tipos de vehículos predominantes son las combis (26.44%), las camionetas pick up (20.68%) y los autos (19.62%), esto debido a que a esta hora se realiza el mayor tránsito de las localidades cercanas hacia la ciudad de Cajamarca y hacia la Minera Yanacocha. Además, podemos apreciar que la clasificación de vehículos como micros y tráiler no se encuentra en el gráfico debido a que no existe volumen de éste tipo de vehículos en la hora señalada. Según ésta composición, el tráfico en la hora de máxima demanda está conformado por un 86.99% de vehículos livianos (motos, autos y camionetas) y un 13.01% de vehículos pesados (buses, camiones, tráiler y semi tráiler), sin embargo y de acuerdo a la definición de vehículos recreacionales establecidos en el capítulo II, ítem 2.6.3, el porcentaje de éstos es nulo, ya que en esta hora no existe este tipo de vehículos.

b) Ruta PE-3N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

De acuerdo a los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 15 minutos. (Ver Anexo B-2)

Tabla 24

*Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-3N Zona Sureste
(Carretera Cajamarca – San Marcos)*

VOLUMEN VEHICULAR HORARIO							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7:00 - 8:00	213	182	173	184	183	152	132
7:15 - 8:15	214	180	170	183	186	156	134
7:30 - 8:30	202	177	162	178	185	150	139
7:45 - 8:45	185	156	152	150	163	146	139
8:00 - 9:00	149	134	142	128	143	139	133
8:15 - 9:15	141	127	137	124	135	139	138
8:30 - 9:30	128	109	123	107	118	161	139
8:45 - 9:45	118	103	130	113	117	164	142
9:00 - 10:00	123	86	129	115	120	165	152
9:15 - 10:15	121	68	122	116	121	162	147
9:30 - 10:30	133	69	125	124	132	152	149
9:45 - 10:45	164	90	129	124	132	156	151
10:00 - 11:00	152	116	112	109	138	156	148
10:15 - 11:15	159	132	121	98	128	162	156
10:30 - 11:30	158	141	119	89	124	149	154
10:45 - 11:45	135	123	117	89	124	143	144
11:00 - 12:00	139	113	122	98	103	142	139
11:15 - 11:15	135	119	116	99	112	137	128
11:30 - 12:30	124	112	113	106	112	144	122
11:45 - 12:45	108	114	109	106	111	135	114
12:00 - 13:00	124	125	126	119	130	142	114
12:15 - 13:15	118	119	129	126	126	138	117
12:30 - 13:30	134	135	144	140	138	131	126
12:45 - 13:45	147	141	144	142	138	131	134
13:00 - 14:00	143	135	132	137	137	122	129
13:15 - 14:15	145	134	128	133	143	120	130
13:30 - 14:30	136	125	116	114	131	120	118
13:45 - 14:45	145	127	125	123	136	126	120
14:00 - 15:00	145	120	130	119	136	126	122
14:15 - 15:15	155	126	144	129	148	134	130
14:30 - 15:30	163	135	150	141	152	143	139
14:45 - 15:45	162	136	143	128	159	149	142
15:00 - 16:00	160	131	143	123	160	159	146
15:15 - 16:15	157	135	132	122	149	170	145
15:30 - 16:30	154	119	135	122	158	183	148
15:45 - 16:45	160	117	142	135	150	198	145
16:00 - 17:00	155	140	137	142	143	206	160
16:15 - 17:15	153	137	142	140	141	190	160
16:30 - 17:30	155	148	131	145	140	188	154
16:45 - 17:45	146	150	125	143	149	172	162
17:00 - 18:00	147	140	145	153	160	173	152
17:15 - 18:15	147	143	151	155	168	191	148
17:30 - 18:30	143	141	155	152	167	183	152
17:45 - 18:45	145	141	160	149	160	184	142
18:00 - 19:00	148	137	140	140	155	167	133
18:15 - 19:15	148	131	130	135	148	149	129
18:30 - 19:30	140	128	127	125	138	135	119
18:45 - 19:45	134	119	118	118	132	124	112
19:00 - 20:00	126	114	114	108	120	116	103

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 24, presenta los volúmenes horarios considerando ambos carriles, sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 15 minutos para cada día, con el fin de obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

A su vez, en la tabla 25 se muestran el resumen vehicular semanal y el porcentaje de vehículos por día, donde se puede determinar que la intensidad vehicular es constante y proporcional en toda la semana, pero con un ligero incremento de volumen vehicular los fines de semana.

Tabla 25

Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos – Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

SENTIDO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL
E	947	809	906	898	985	1040	933	6518
S	977	864	839	777	843	925	830	6055
Ambos	1924	1673	1745	1675	1828	1965	1763	12573
%	15.30%	13.31%	13.88%	13.32%	14.54%	15.63%	14.02%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Similarmente, la Fig. 18 presenta la variación vehicular horaria a lo largo del día durante los días observados, según lo cual se aprecia un comportamiento distinto a lo largo de la semana, pero con cierta tendencia a lo largo del día, pues existen intensidades vehiculares altas en las primeras horas de la mañana y medianamente bajas en el resto del día. No obstante, se destacan picos muy altos y a la vez muy bajos, lo que nos lleva a determinar que el día con mayor volumen vehicular es el sábado debido a que esta zona alberga gran cantidad de lugares turísticos que son de mayor afluencia los fines de semana. Así mismo, las intensidades vehiculares más bajas se dan el día martes en horarios de la mañana.

Sin embargo, a pesar que el sábado es el día con la mayor intensidad vehicular, la hora de máxima demanda se presenta el día lunes. Por ello, en la Fig. 19 se puede apreciar la variación vehicular horaria a lo largo de este día, ya que el volumen horario de máxima demanda se presenta en el rango de las 07:15 a 08:15 horas de la mañana con una intensidad de 214 vehículos mixtos por hora, estando los 15 min máximos entre las 07:45 a las 08:00 horas.

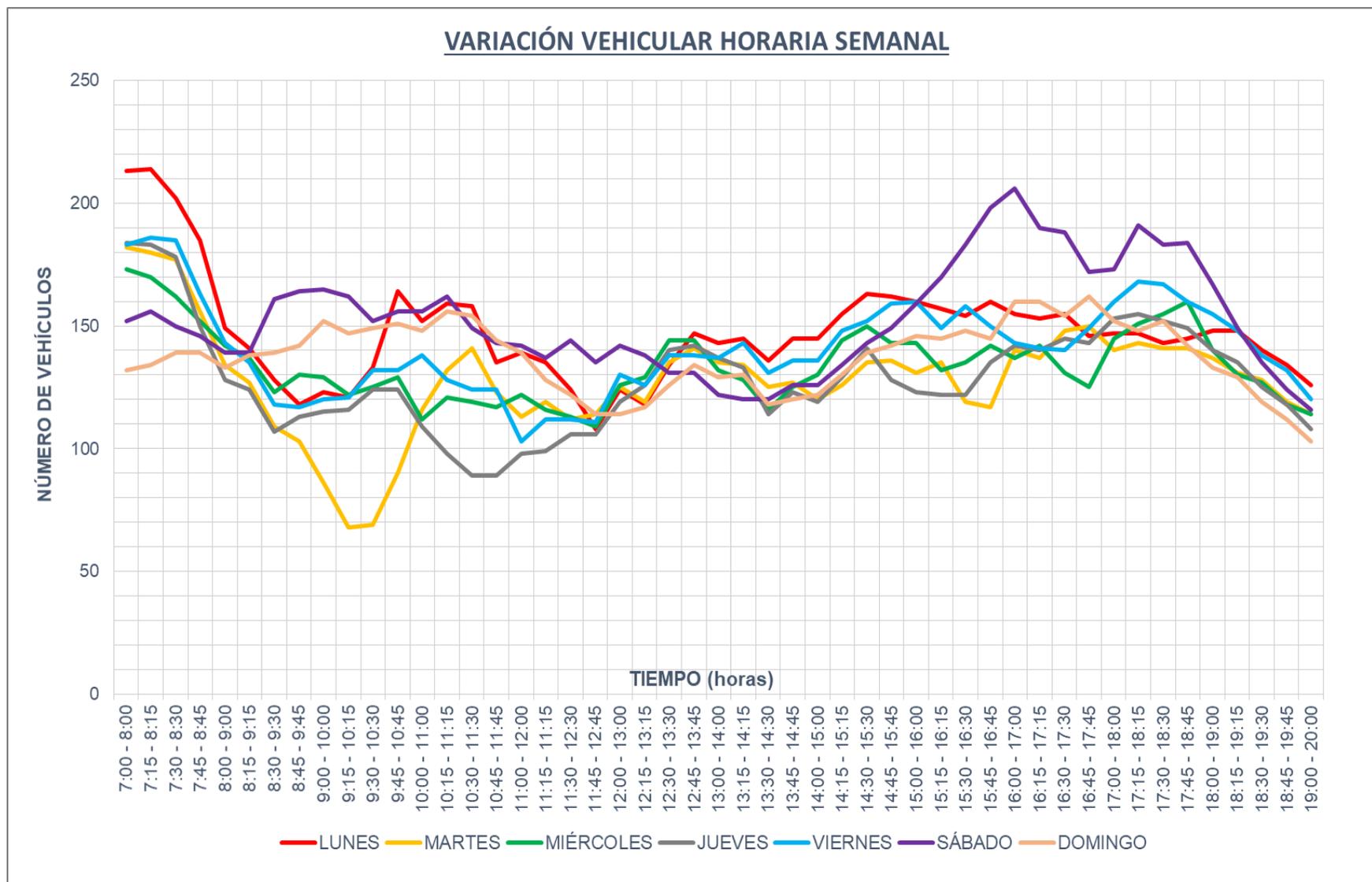


Fig. 18. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)
 Fuente: Elaboración propia

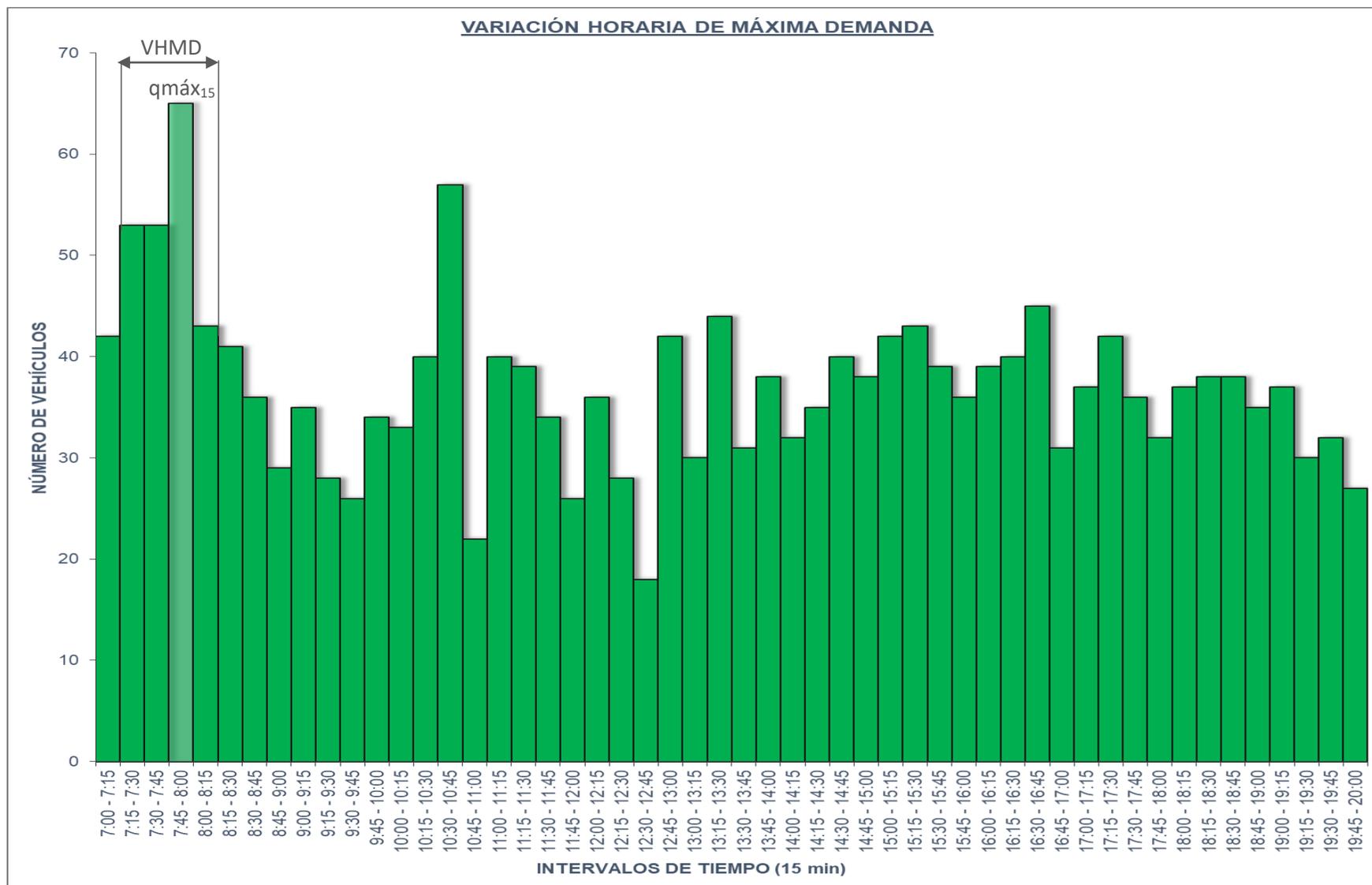


Fig. 19. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día lunes en la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)
 Fuente: Elaboración propia

La composición vehicular registrada en la hora de máxima demanda para esta vía tomando en cuenta los dos carriles se puede apreciar en la siguiente figura.

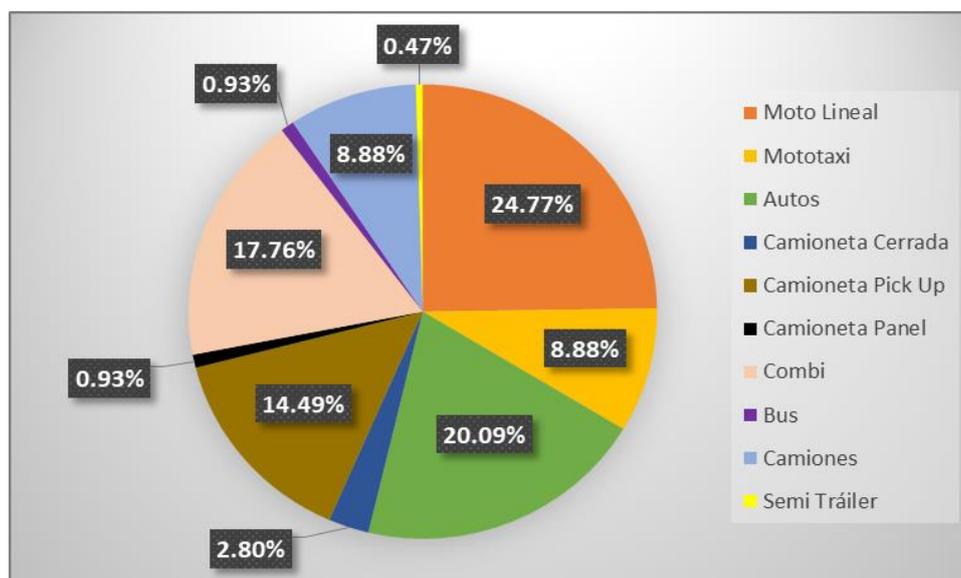


Fig. 20. Composición vehicular de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos) en la hora de máxima demanda
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que, desde las 07:15 hasta las 08:15, los tipos de vehículos predominantes son las motos lineales (24.77%), los autos (20.09%), las camionetas rurales o combis (17.76%) y pick up (14.49%), esto debido a que a esta hora se realiza el mayor tránsito de las localidades cercanas hacia la ciudad de Cajamarca. Del mismo modo, igual que en la Fig. 17 podemos notar que la clasificación de vehículos como Micros y tráiler no se encuentra en el grafico debido a que no existe volumen de éste tipo de vehículos en la hora señalada. Según ésta composición, el tráfico en la hora de máxima demanda está conformado por un 89.72% de vehículos livianos (motos, autos y camionetas) y un 10.28% de vehículos pesados (buses, camiones, tráiler y semi tráiler), sin embargo y de acuerdo a la definición de vehículos recreacionales establecidos en el capítulo II, ítem 2.6.3, nuevamente el porcentaje de éstos es nulo, ya que no existe este tipo de vehículos en la hora señalada.

c) Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilote)

Según los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 15 minutos. (Ver Anexo B-3)

Tabla 26

Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

VOLUMEN VEHICULAR HORARIO							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7:00 - 8:00	204	191	191	190	196	176	164
7:15 - 8:15	195	184	182	179	190	170	162
7:30 - 8:30	181	178	179	171	175	166	157
7:45 - 8:45	170	166	158	153	155	148	142
8:00 - 9:00	157	155	149	144	151	138	135
8:15 - 9:15	148	148	137	143	154	135	130
8:30 - 9:30	150	147	144	139	151	132	131
8:45 - 9:45	146	140	149	141	153	150	140
9:00 - 10:00	140	143	141	144	155	151	147
9:15 - 10:15	150	140	164	145	143	159	153
9:30 - 10:30	150	138	149	152	161	165	157
9:45 - 10:45	157	146	170	150	157	162	157
10:00 - 11:00	170	140	168	157	159	180	161
10:15 - 11:15	173	144	145	151	171	169	161
10:30 - 11:30	178	145	147	142	166	157	158
10:45 - 11:45	177	137	117	145	179	146	151
11:00 - 12:00	171	143	125	133	167	138	142
11:15 - 11:15	169	150	132	141	176	156	140
11:30 - 12:30	160	151	138	150	182	173	142
11:45 - 12:45	152	155	143	151	182	176	150
12:00 - 13:00	158	155	148	156	181	163	154
12:15 - 13:15	156	155	154	155	171	157	157
12:30 - 13:30	163	158	152	155	168	152	158
12:45 - 13:45	174	165	160	160	175	154	158
13:00 - 14:00	168	164	157	159	182	158	161
13:15 - 14:15	165	158	154	158	176	148	156
13:30 - 14:30	163	157	154	150	166	143	153
13:45 - 14:45	156	149	147	141	152	141	147
14:00 - 15:00	158	146	151	149	153	153	144
14:15 - 15:15	158	147	153	147	155	165	145
14:30 - 15:30	157	151	154	151	156	170	146
14:45 - 15:45	163	161	163	178	168	171	154
15:00 - 16:00	169	164	166	190	169	172	163
15:15 - 16:15	172	172	169	189	172	183	179
15:30 - 16:30	180	178	176	198	182	205	193
15:45 - 16:45	180	175	180	184	181	215	197
16:00 - 17:00	184	176	181	175	189	205	193
16:15 - 17:15	205	179	195	175	204	195	190
16:30 - 17:30	227	175	201	177	210	181	187
16:45 - 17:45	238	183	201	182	235	180	187
17:00 - 18:00	257	195	197	183	246	191	188
17:15 - 18:15	253	204	204	203	248	191	185
17:30 - 18:30	256	215	202	208	257	191	179
17:45 - 18:45	256	223	228	218	269	196	186
18:00 - 19:00	252	229	241	228	293	198	192
18:15 - 19:15	247	232	245	235	315	209	201
18:30 - 19:30	241	223	238	232	328	214	207
18:45 - 19:45	241	217	215	222	305	207	202
19:00 - 20:00	218	194	201	200	262	191	185

Fuente: Elaboración propia

Es así que, la Tabla 26, presenta los volúmenes horarios considerando ambos carriles, sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 15 minutos para cada día, con el fin de obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

El resumen vehicular semanal y el porcentaje de vehículos por día se pueden observar en la tabla 27, donde podemos determinar que los volúmenes vehiculares a lo largo de la semana son constantes y proporcionales, aunque con un incremento el lunes y viernes.

Tabla 27

Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

SENTIDO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL
E	1170	1064	1078	1065	1146	1027	1035	7585
S	1236	1131	1138	1143	1357	1187	1094	8286
Ambos	2406	2195	2216	2208	2503	2214	2129	15871
%	15.16%	13.83%	13.96%	13.91%	15.77%	13.95%	13.41%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, la Fig. 21 presenta la variación vehicular horaria semanal a lo largo del día, con lo cual podemos determinar que los volúmenes vehiculares muestran un comportamiento similar a lo largo de la semana y siguiendo una cierta tendencia. Según esto podemos ver que los volúmenes vehiculares son ligeramente altos en las primeras horas de la mañana, pero luego se muestran constantes hasta las 17:00 horas aproximadamente, donde se aprecia un incremento al llegar la noche debido a la llegada de tránsito interprovincial proveniente de la costa, además este volumen se ve incrementado por el retorno de pobladores a sus hogares luego de realizar sus labores en la ciudad de Cajamarca. Es así, que se tiene un volumen resaltante en horas de la noche en el día viernes, lo que nos indica que es el día con mayor afluencia vehicular y que en este horario se presenta la hora de máxima demanda.

En contraste con lo anterior, la Fig. 22 exhibe la variación vehicular horaria para el día viernes, pues el volumen horario de máxima demanda se presenta en el rango de las 18:30 a 19:30 por la noche llegando a un volumen de 328 vehículos mixtos por hora, estando además los 15 min máximos en el rango de 18:45 a las 19:00 horas.

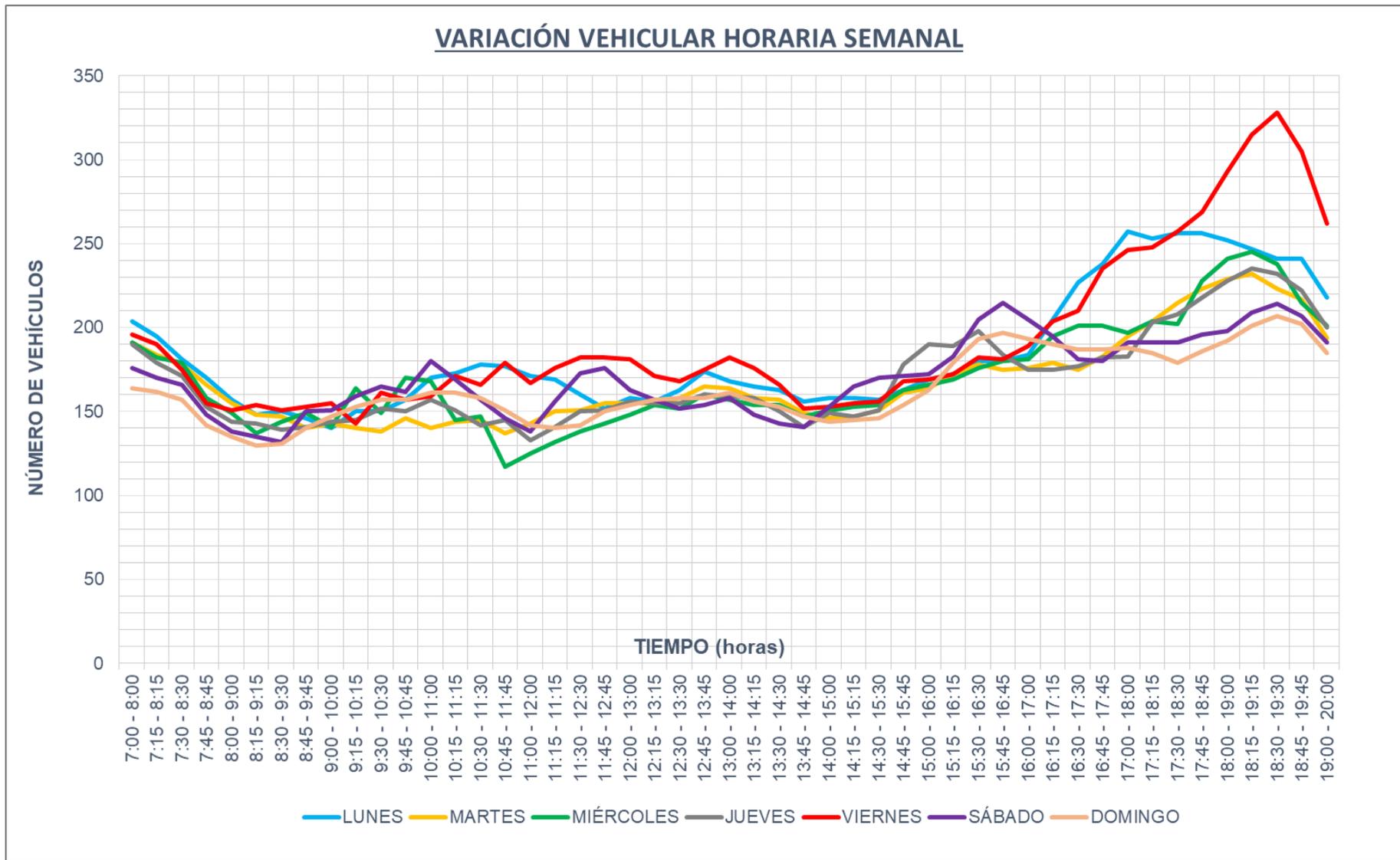


Fig. 21. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilite)
 Fuente: Elaboración propia

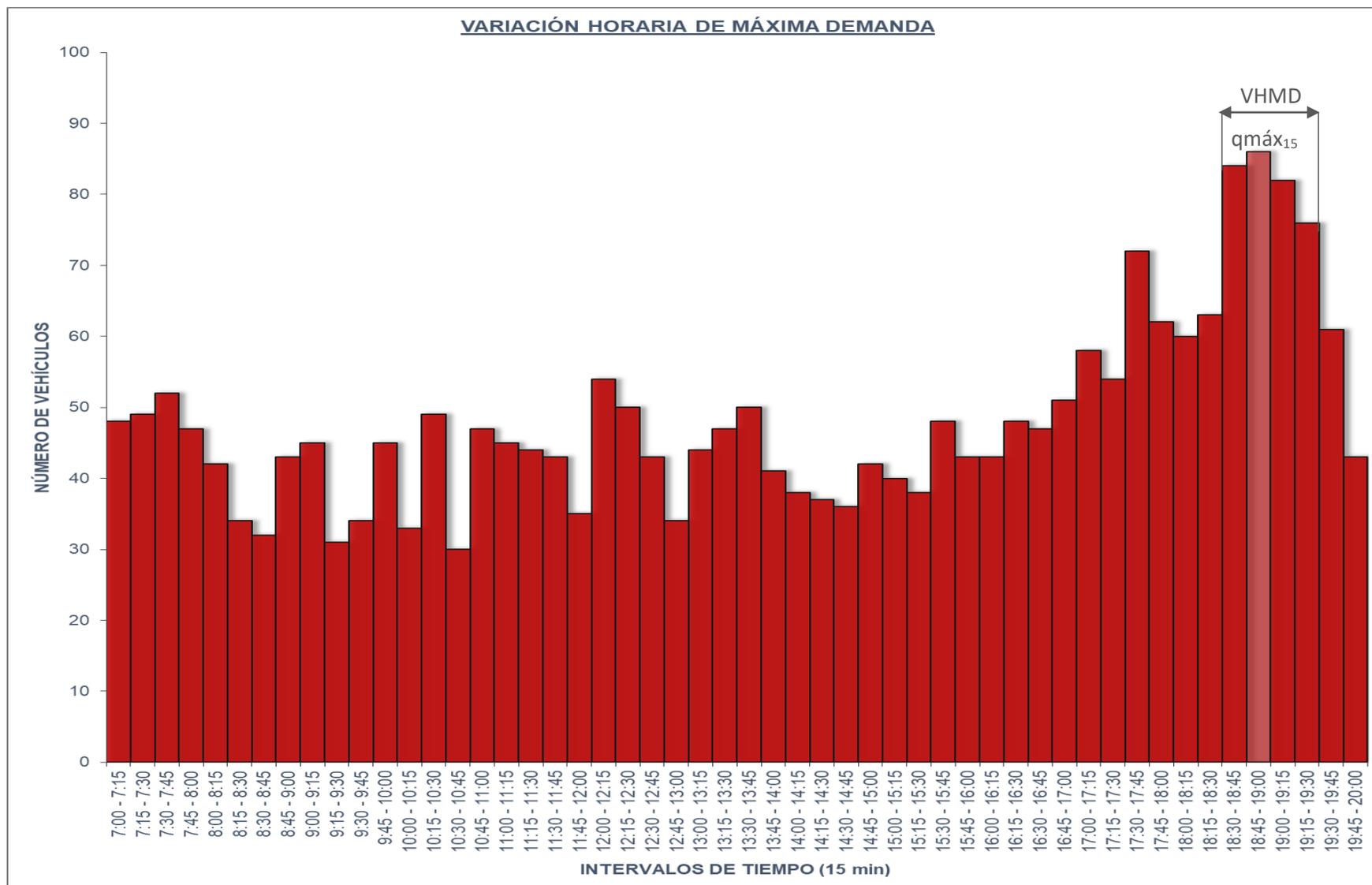


Fig. 22. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda del día viernes en la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilite)
 Fuente: Elaboración propia

La composición vehicular registrada en la hora de máxima demanda tomando en cuenta los dos carriles se puede apreciar en la Fig. 23 como se muestra a continuación.

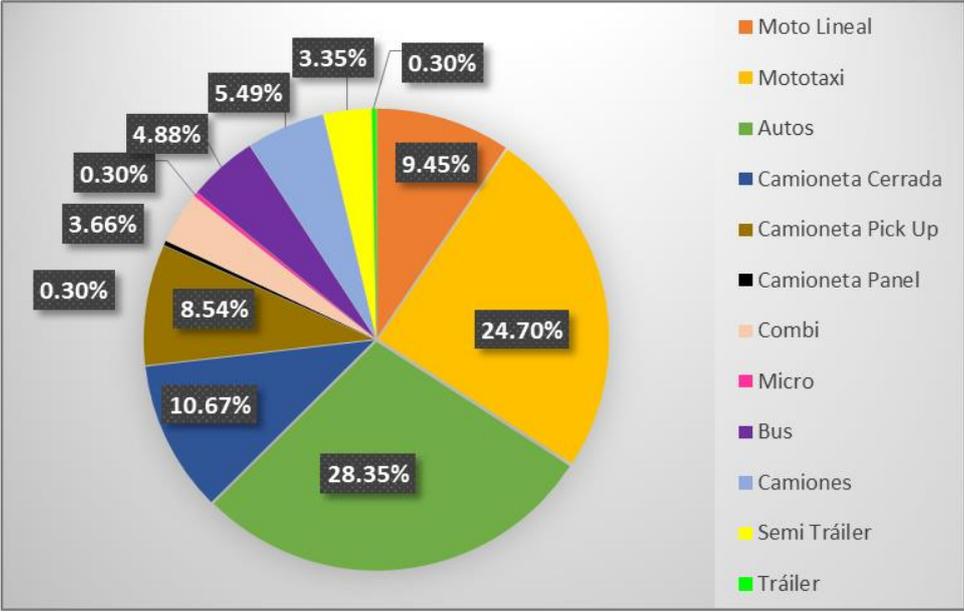


Fig. 23. Composición vehicular de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete) en la hora de máxima demanda
 Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que, desde las 07:15 hasta las 08:15, los tipos de vehículos predominantes son los autos (28.35%) y las mototaxis (24.70%), esto debido a que a esta hora se realiza el mayor tránsito desde la ciudad de Cajamarca hacia las localidades cercanas. Cabe notar que, en esta vía sí se presentaron todos los tipos de vehículos establecidos en la clasificación, aunque con menor intensidad. Según esta composición, el tráfico en la hora de máxima demanda está conformado por un 85.67% de vehículos livianos (motos, autos y camionetas) y un 14.33% de vehículos pesados (buses, camiones, tráiler y semi tráiler), sin embargo y de acuerdo a la definición de vehículos recreacionales establecidos en el capítulo II, ítem 2.6.3, nuevamente el porcentaje de éstos es nulo, ya que no existe este tipo de vehículos en la hora señalada.

d) Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

De acuerdo con los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 15 minutos. (Anexo B-4)

Tabla 28

*Volumen Vehicular Horario por vehículos mixtos - Ruta PE-08B Zona Noreste
(Carretera Cajamarca – Celendín)*

VARIACIÓN VEHICULAR HORARIA							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7:00 - 8:00	98	82	83	89	98	95	79
7:15 - 8:15	105	83	84	90	98	97	81
7:30 - 8:30	115	74	85	82	92	107	74
7:45 - 8:45	134	67	79	74	87	101	67
8:00 - 9:00	117	63	76	72	78	104	63
8:15 - 9:15	110	63	85	70	71	118	65
8:30 - 9:30	97	67	83	93	76	109	78
8:45 - 9:45	96	79	92	98	69	118	86
9:00 - 10:00	104	81	109	103	70	111	96
9:15 - 10:15	120	82	117	103	64	105	101
9:30 - 10:30	119	90	115	91	67	108	105
9:45 - 10:45	111	94	112	99	88	120	97
10:00 - 11:00	104	97	103	95	102	127	99
10:15 - 11:15	95	101	92	99	121	131	92
10:30 - 11:30	98	97	91	91	121	135	88
10:45 - 11:45	103	87	96	80	114	128	98
11:00 - 12:00	114	94	95	82	112	127	97
11:15 - 11:15	109	93	92	84	110	113	99
11:30 - 12:30	109	90	96	82	109	107	96
11:45 - 12:45	109	99	97	93	110	106	96
12:00 - 13:00	95	95	95	94	96	96	87
12:15 - 13:15	96	96	98	93	94	100	105
12:30 - 13:30	109	108	103	107	106	101	103
12:45 - 13:45	107	107	97	100	105	104	101
13:00 - 14:00	100	101	98	95	103	101	103
13:15 - 14:15	99	96	98	87	105	105	91
13:30 - 14:30	91	95	99	90	98	104	99
13:45 - 14:45	90	96	102	102	98	96	95
14:00 - 15:00	104	102	104	100	106	105	99
14:15 - 15:15	105	104	105	112	110	96	91
14:30 - 15:30	112	95	98	99	103	89	78
14:45 - 15:45	108	88	97	89	99	114	80
15:00 - 16:00	105	88	105	106	107	130	81
15:15 - 16:15	113	92	114	116	116	156	90
15:30 - 16:30	123	102	135	123	124	187	95
15:45 - 16:45	127	103	138	127	125	184	94
16:00 - 17:00	125	112	123	126	120	178	87
16:15 - 17:15	134	110	117	114	110	171	77
16:30 - 17:30	107	112	119	117	109	165	71
16:45 - 17:45	100	112	115	116	114	162	70
17:00 - 18:00	116	106	121	110	122	165	71
17:15 - 18:15	100	117	134	118	125	149	70
17:30 - 18:30	106	109	113	127	118	125	68
17:45 - 18:45	115	123	126	130	110	115	70
18:00 - 19:00	137	125	128	135	94	101	83
18:15 - 19:15	144	124	119	140	96	99	86
18:30 - 19:30	148	125	120	122	97	106	107
18:45 - 19:45	139	107	104	111	97	100	105
19:00 - 20:00	97	95	98	97	94	92	120

Fuente: Elaboración propia

Acorde con la Tabla 28, los volúmenes horarios considerando ambos carriles, se obtuvieron sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 15 minutos para cada día, lo que además permitió obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

De ahí que, la tabla 29 nos muestra el resumen vehicular semanal por vehículos mixtos y el porcentaje de vehículos por día, según lo cual podemos determinar que la intensidad vehicular es constante y proporcional en toda la semana, pero con mayor proporción de vehículos el día sábado.

Tabla 29

Resumen Vehicular Semanal por vehículos mixtos - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

SENTIDO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL
E	696	623	686	644	653	728	586	4616
S	720	618	652	660	649	804	579	4682
Ambos	1416	1241	1338	1304	1302	1532	1165	9298
%	15.23%	13.35%	14.39%	14.02%	14.00%	16.48%	12.53%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, la Fig. 24 presenta la variación vehicular horaria a lo largo del día en los días observados, lo que nos muestra un comportamiento un tanto distinto en la semana, aunque con intensidades vehiculares medianamente bajas. Se observan, además, volúmenes vehiculares más resaltantes en el día sábado en horas de la tarde debido tanto al ingreso como salida del transporte interprovincial y turístico hacia las localidades cercanas. En la mayoría de los días de la semana, las intensidades disminuyen en horarios de la mañana, pero se incrementan por la tarde, sin embargo, los volúmenes vehiculares son constantes todos los días desde las 11:30 hasta las 15:30 horas. Finalmente, podemos determinar que el día con mayor intensidad vehicular es el sábado.

Por ello, la Fig. 25 exhibe la variación vehicular horaria para el día sábado, pues el volumen horario de máxima demanda se presenta en el rango de las 15:30 a 16:30 con una intensidad de 187 vehículos mixtos por hora, estando los 15 min máximos en el rango de 16:15 a las 16:30 horas.

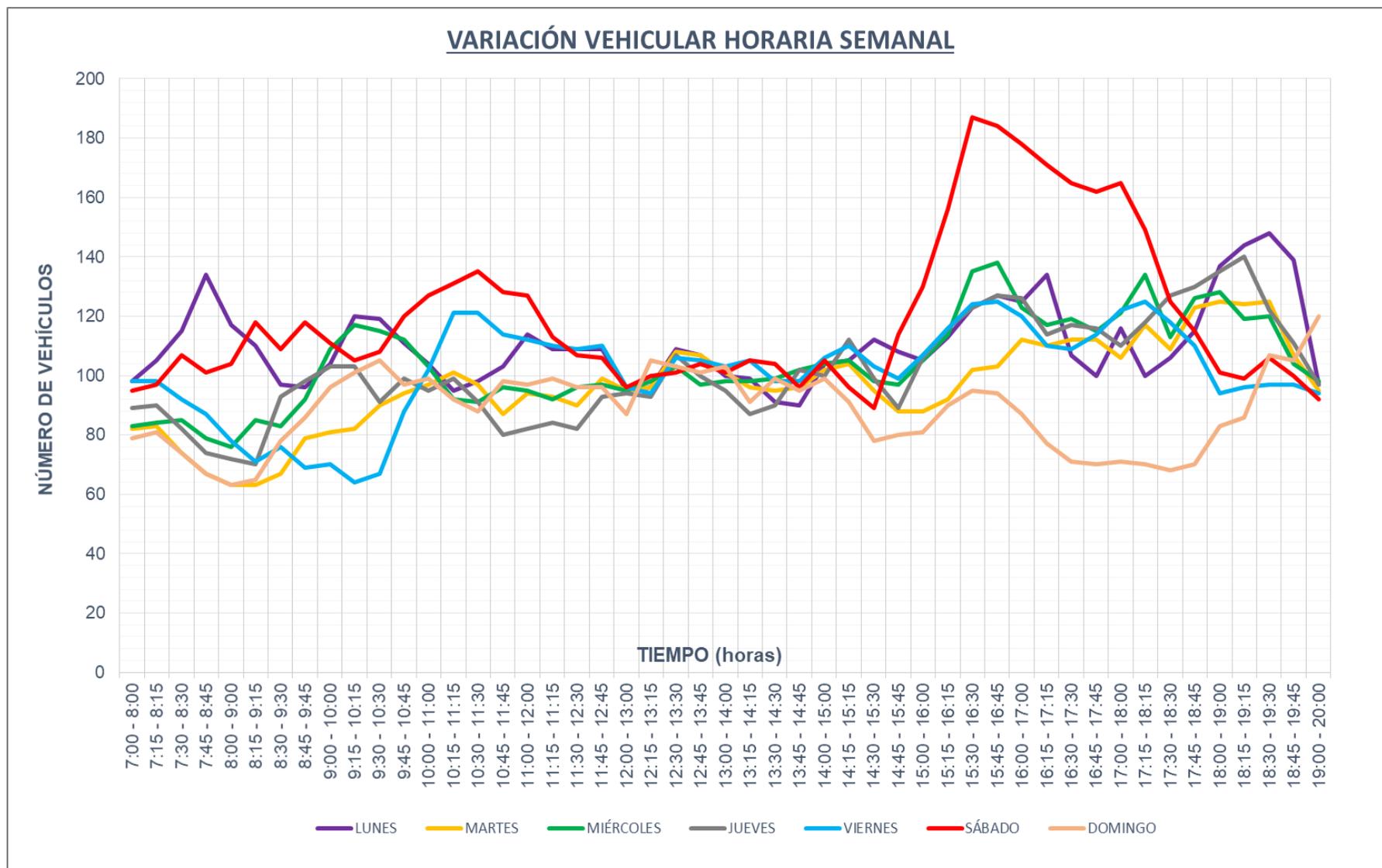


Fig. 24. Variación Vehicular Horaria Semanal de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
 Fuente: Elaboración propia

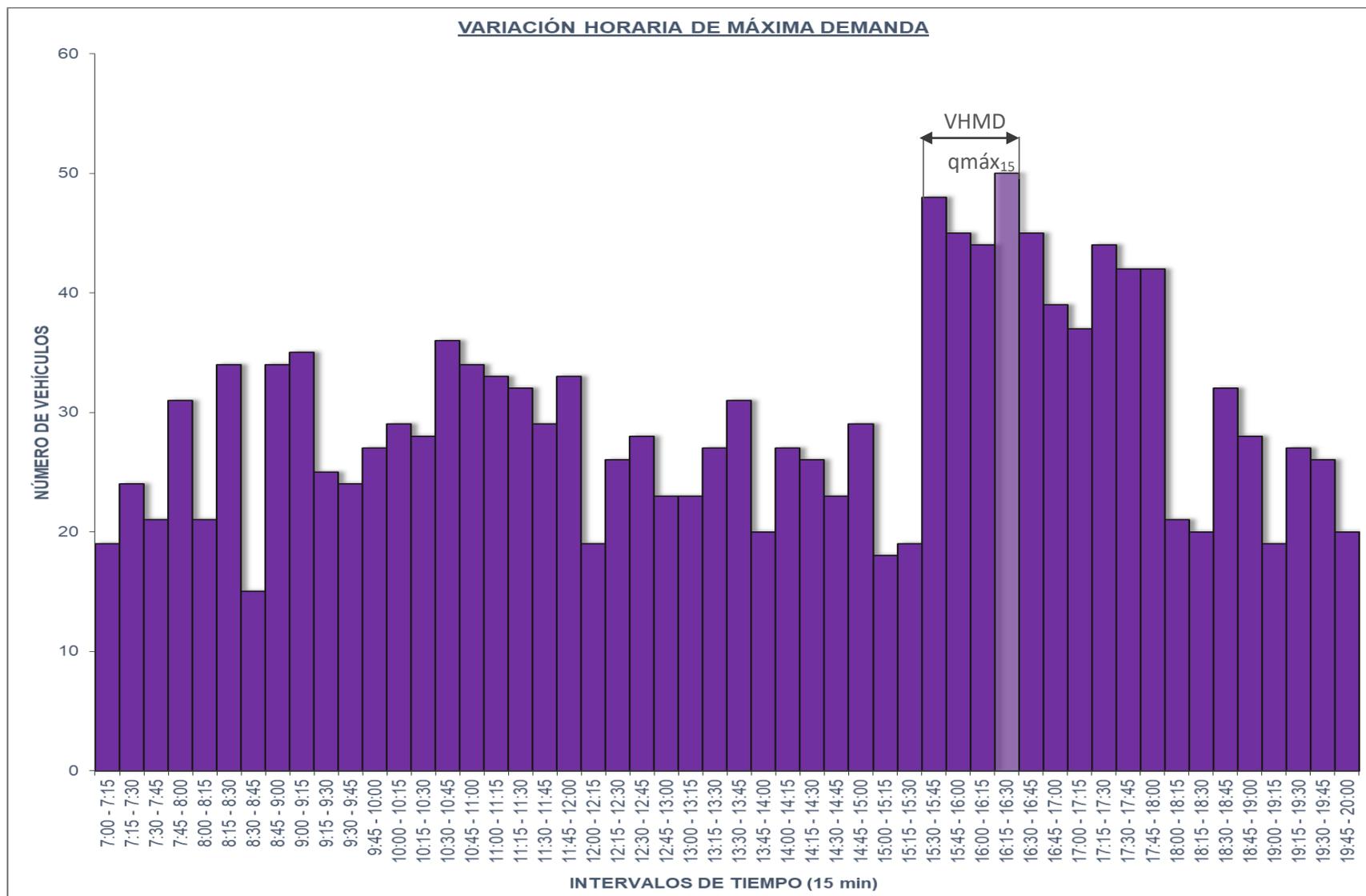


Fig. 25. Histograma de la Variación Horaria de Máxima Demanda para el día sábado en la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
 Fuente: Elaboración propia

La figura 26, muestra la composición vehicular registrada en la hora de máxima demanda tomando en cuenta los dos carriles en función al formato establecido por el MTC.

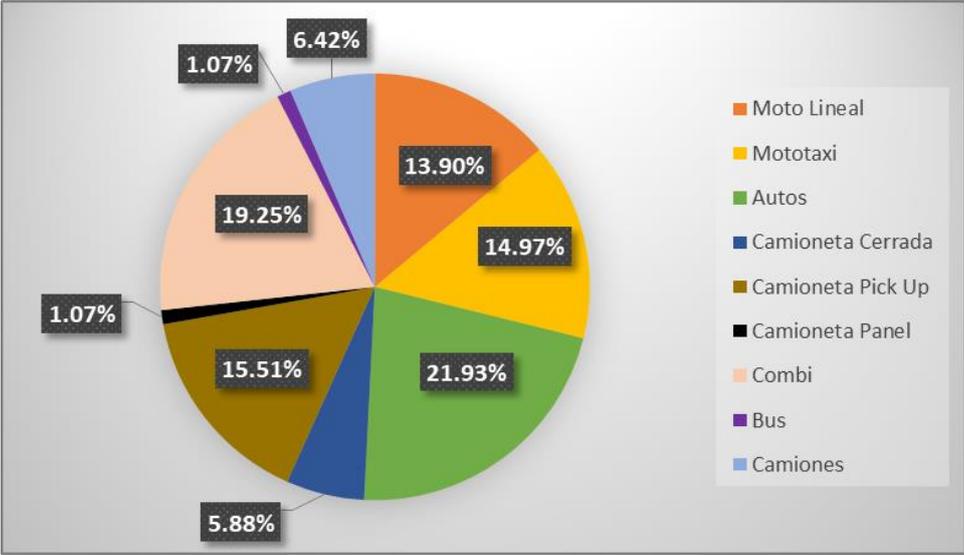


Fig. 26. Composición vehicular de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín) en la hora de máxima demanda
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar entonces, que desde 15:30 hasta las 16:30, los tipos de vehículos predominantes son los autos (21.93%), las camionetas pick up (15.51%) y las mototaxis (14.97%), esto debido a que a esta hora se realiza el mayor tránsito desde y hacia la ciudad de Cajamarca hacia las localidades cercanas. Del mismo modo, podemos notar que la clasificación de vehículos como Micros, semi tráiler y tráiler no se encuentra en el grafico debido a que no existe volumen de éste tipo de vehículos en la hora señalada. Según ésta composición, el tráfico en la hora de máxima demanda está conformado por un 92.51% de vehículos livianos (motos, autos y camionetas) y un 7.49% de vehículos pesados (buses, camiones, tráiler y semi tráiler), sin embargo y de acuerdo a la definición de vehículos recreacionales establecidos en el capítulo II, ítem 2.6.3, nuevamente el porcentaje de éstos es nulo, ya que no existe este tipo de vehículos en la hora señalada.

3.6.2. Distribución del Tráfico por carril

De acuerdo con la metodología establecida en el HCM 2000, para el cálculo del nivel de servicio se debe tomar en cuenta la distribución del tráfico por cada carril. Esta distribución se obtiene de los aforos vehiculares semanales y permiten la comparación

del volumen vehicular por cada carril. Sin embargo, el HCM ha establecido distribuciones de tráfico en el orden de 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10.

a) Ruta PE-03N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

Una vez obtenidos los volúmenes vehiculares totales para esta vía, se calcularon los porcentajes de vehículos por cada carril, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30
Distribución Direccional - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

CARRIL	L	M	M	J	V	S	D	Total x carril	TOTAL	%	Asumido
INGRESO	2421	2155	2124	2126	2216	2136	1938	15116	29001	52.12%	50%
SALIDA	2151	1959	1996	1990	2068	1979	1742	13885		47.88%	50%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 30, el carril de ingreso tiene el 52.12% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 47.88% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

De igual manera, la Fig. 27 nos permite establecer que existe mayor flujo de vehículos ingresando a la ciudad de Cajamarca por la zona Noroeste, sin embargo, las proporciones de vehículos que ingresan y salen por esta zona son similares durante toda la semana.

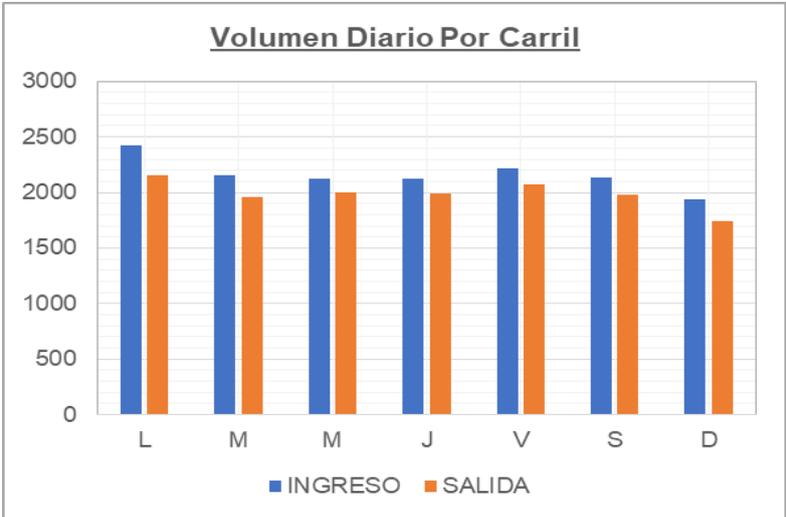


Fig. 27. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
Fuente: Elaboración propia

b) Ruta PE-03N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

De igual manera, una vez obtenidos los volúmenes vehiculares totales para esta vía, se calcularon los porcentajes de vehículos por cada carril, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31

Distribución Direccional - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

CARRIL	L	M	M	J	V	S	D	Total x carril	TOTAL	%	Asumido
INGRESO	947	809	906	898	985	1040	933	6518	12573	51.84%	50%
SALIDA	977	864	839	777	843	925	830	6055		48.16%	50%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 31 se observa que el carril de ingreso tiene el 51.84% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 48.16% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

Es así que, la Fig. 28 nos permite establecer que existe mayor flujo de vehículos ingresando a la ciudad de Cajamarca por la zona Sureste, sin embargo, las proporciones de vehículos que ingresan y salen por esta zona son similares durante toda la semana.

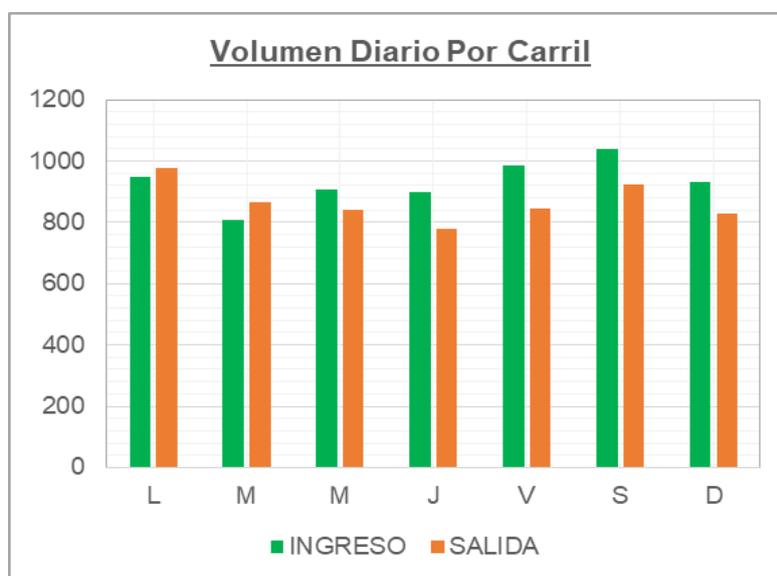


Fig. 28. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

Fuente: Elaboración propia

c) Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Entonces, una vez obtenidos los volúmenes vehiculares totales para esta vía, se calcularon los porcentajes de vehículos por cada carril, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32

Distribución Direccional - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

CARRIL	L	M	M	J	V	S	D	Total x carril	TOTAL	%	Asumido
INGRESO	1170	1064	1078	1065	1146	1027	1035	7585	15871	47.79%	50%
SALIDA	1236	1131	1138	1143	1357	1187	1094	8286		52.21%	50%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 32 se observa que el carril de ingreso tiene el 47.79% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 52.21% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

Acorde con la Fig. 29, podemos establecer que existe mayor flujo de vehículos saliendo de la ciudad de Cajamarca por la zona Sur, sin embargo, las proporciones de vehículos que ingresan y salen por esta zona son similares durante toda la semana.

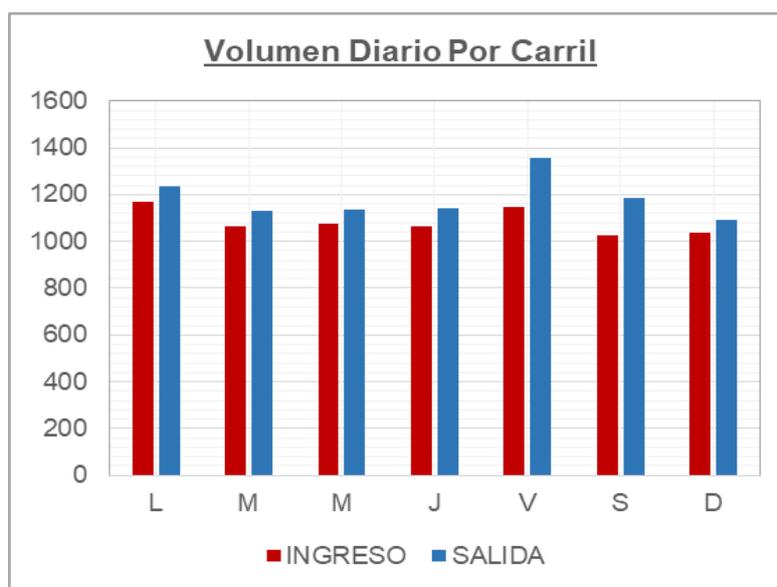


Fig. 29. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Fuente: Elaboración propia

d) Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

De la misma forma, una vez obtenidos los volúmenes vehiculares totales para esta vía, se calcularon los porcentajes de vehículos por cada carril, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33

Distribución Direccional - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

CARRIL	L	M	M	J	V	S	D	Total x carril	TOTAL	%	Asumido
INGRESO	696	623	686	644	653	728	586	4616	9298	49.65%	50%
SALIDA	720	618	652	660	649	804	579	4682		50.35%	50%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 33, el carril de ingreso tiene el 49.65% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 50.35% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

Es así que, la Fig. 30 nos permite establecer que existen similares flujos de vehículos que ingresan y salen de la ciudad de Cajamarca por la zona Noreste durante toda la semana.

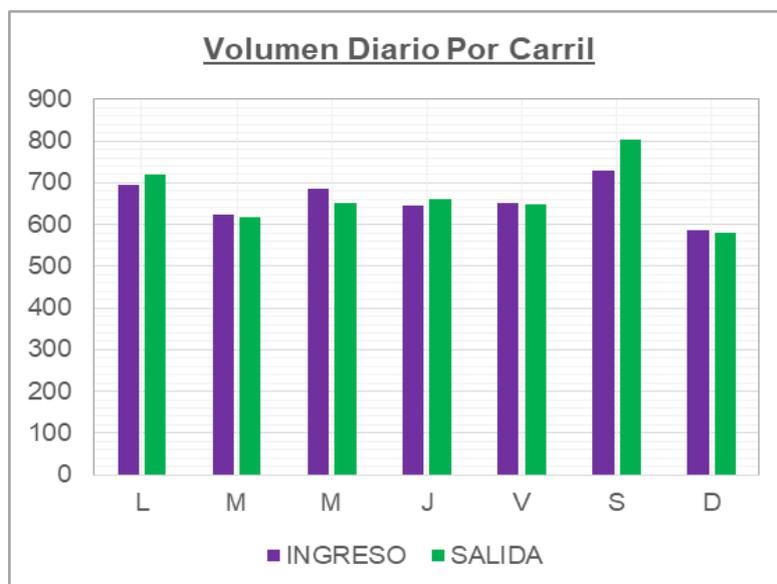


Fig. 30. Volumen Diario por carril de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Factor de Hora Pico

Las vías en estudio presentan distintas variaciones de intensidad vehicular y están sujetas a fluctuaciones de tráfico a lo largo del día que pueden saturar el tránsito en horas de mayor afluencia. Por ello, para determinar las variaciones de volumen vehicular a corto plazo, se calcula el Factor de Hora Pico (PHF), el mismo que representa la variación en la circulación vehicular durante la hora de máxima demanda. Entonces, la obtención de un PHF mayor a 1 representara un tráfico homogéneo, pero si el PHF es menor a 1, el trafico será mucho más variable.

Para determinar el PHF en cada tramo se aplicó la Ec. (4), de acuerdo al volumen de máxima demanda determinado en el Ítem 3.6.1, tal como se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 34

Factor de Hora Pico - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

Día máx. Demanda	Hora Pico	Tiempo/15min				TOTAL x hora	15 min máx.	PHF
		00-15	15-30	30-45	45-60			
LUNES	07:00 - 08:00	127	138	111	93	469	138	0.850

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Factor de Hora Pico - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

Día máx. Demanda	Hora Pico	Tiempo/15min				TOTAL x hora	15 min máx.	PHF
		00-15	15-30	30-45	45-60			
LUNES	07:15 - 08:15	53	53	65	43	214	65	0.823

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36

Factor de Hora Pico - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Día máx. Demanda	Hora Pico	Tiempo/15min				TOTAL x hora	15 min máx.	PHF
		00-15	15-30	30-45	45-60			
VIERNES	18:30 - 19:30	84	86	82	76	328	86	0.953

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37*Factor de Hora Pico - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)*

Día máx. Demanda	Hora Pico	Tiempo/15min				TOTAL x hora	15 min máx.	PHF
		00-15	15-30	30-45	45-60			
SÁBADO	15:30 - 16:30	48	45	44	50	187	50	0.935

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Medición de Velocidades en campo

Para el presente estudio se realizó una medición de velocidades promedio de rodaje en campo a partir de la medición de tiempo en que los vehículos tardan en atravesar cierta longitud de valor conocido.

En este caso se utilizó una distancia de 100 m de un tramo recto en cada vía en estudio, en la cual se realizó la medición del tiempo de los diferentes tipos de vehículos que circulaban por cada carril tomando una muestra de 90 vehículos para cada vía y en un horario en el que el volumen vehicular es bajo.

Una vez realizada la medición de tiempos se procedió a calcular las velocidades promedio de rodaje para cada uno de los diferentes vehículos en ambos carriles las cuales se muestran en el Anexo C.

A continuación, las tablas 38, 39, 40 y 41 nos muestran el resumen de las velocidades promedio de rodaje para cada uno de los tipos de vehículos en cada vía en estudio para cada carril.

Tabla 38*Velocidades Promedio de Rodaje - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)*

VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE (Km/h)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E	54.63	43.84	47.91	51.20	29.41	34.40	33.29	33.54	28.96
S	38.97	20.43	47.25	41.01	36.89	26.43	29.18	27.31	24.62
Promedio	46.80	32.13	47.58	46.11	33.15	30.41	31.24	30.42	26.79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39

Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE (Km/h)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E	60.03	39.12	73.08	67.30	71.55	44.47	35.79	35.42	32.41
S	55.70	26.83	57.36	62.13	57.44	40.14	32.97	36.72	30.09
Promedio	57.86	32.97	65.22	64.72	64.49	42.30	34.38	36.07	31.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE (Km/h)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E	44.37	37.86	49.14	54.84	46.31	42.98	23.95	32.45	26.67
S	41.58	24.31	51.69	60.28	39.61	33.73	33.11	31.51	25.83
Promedio	42.98	31.09	50.42	57.56	42.96	38.35	28.53	31.98	26.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41

Velocidad Promedio de Rodaje - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE (Km/h)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E	65.31	40.89	54.69	50.40	46.14	47.39	50.49	29.35	28.63
S	42.04	25.47	49.47	49.56	43.86	50.15	43.60	27.11	27.91
Promedio	53.68	33.18	52.08	49.98	45.00	48.77	47.04	28.23	28.27

Fuente: Elaboración propia

3.7. METODOLOGÍA HCM 2000

Para la presente investigación se utilizó el HCM 2000, que tiene el método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado. En su metodología trabaja con condiciones ideales de servicio para una vía de dos carriles, de modo que se modifiquen los parámetros dependiendo de las características que tenga el estudio.

Las condiciones de servicio del HCM son para una capacidad de 3200 veh/hora en carreteras bidireccionales, y de 1700 veh/hora en cada carril en carreteras unidireccionales. Entonces, las condiciones ideales que establece el HCM 2000 para obtener estas capacidades son:

- ✓ Carriles de 3.60m
- ✓ Espaldones o Bermas de 1.80m
- ✓ Sin puntos de accesos
- ✓ Terreno llano
- ✓ Tráfico formado exclusivamente por autos
- ✓ Sin prohibiciones de adelantamiento
- ✓ Porcentaje de tráfico total en cada sentido de 50/50 %

De acuerdo a ello, se requieren ciertos parámetros de entrada para el desarrollo de la metodología, tales como:

- Ancho de Carril
- Ancho de Berma
- Tipo de terreno
- Longitud total de tramo de estudio
- Volumen bidireccional
- Porcentaje de distribución de volumen por cada carril
- Factor de hora pico
- Porcentaje de buses y camiones
- Porcentaje de vehículos de recreación
- Porcentaje de zonas de no-rebase
- Densidad de puntos de accesos por kilómetro
- Velocidad de flujo libre

El resumen del proceso a seguir para la obtención del nivel de servicio de una vía de dos carriles, de acuerdo a la metodología del HCM 2000, se muestra en la Fig. 31.

Además, en la Fig. 32 se presenta un Flujograma de la metodología utilizada para el cálculo del nivel de servicio y las medidas de rendimiento que se realizó.

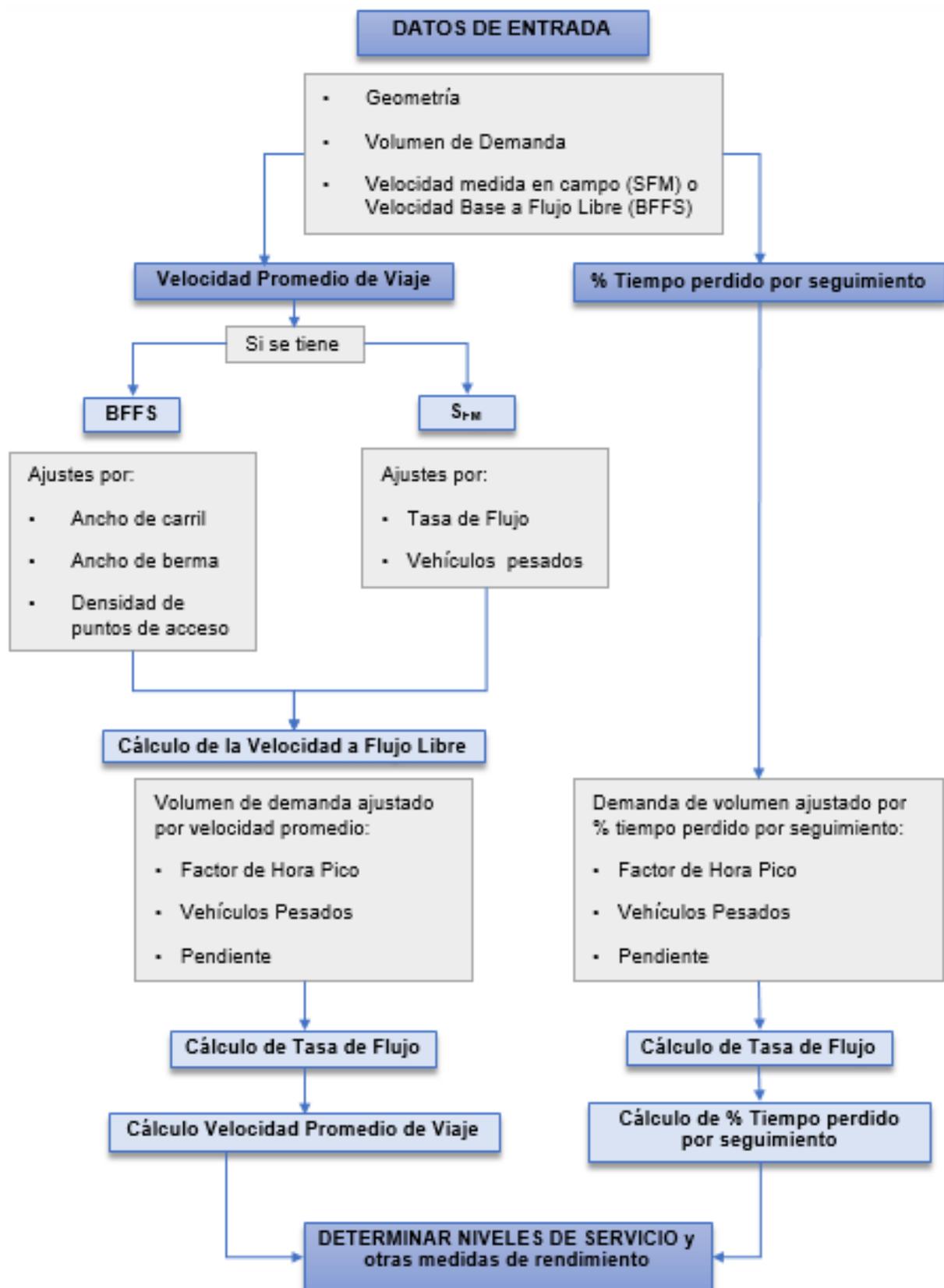


Fig. 31. Flujograma para el Nivel de Servicio en vía de dos carriles
Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

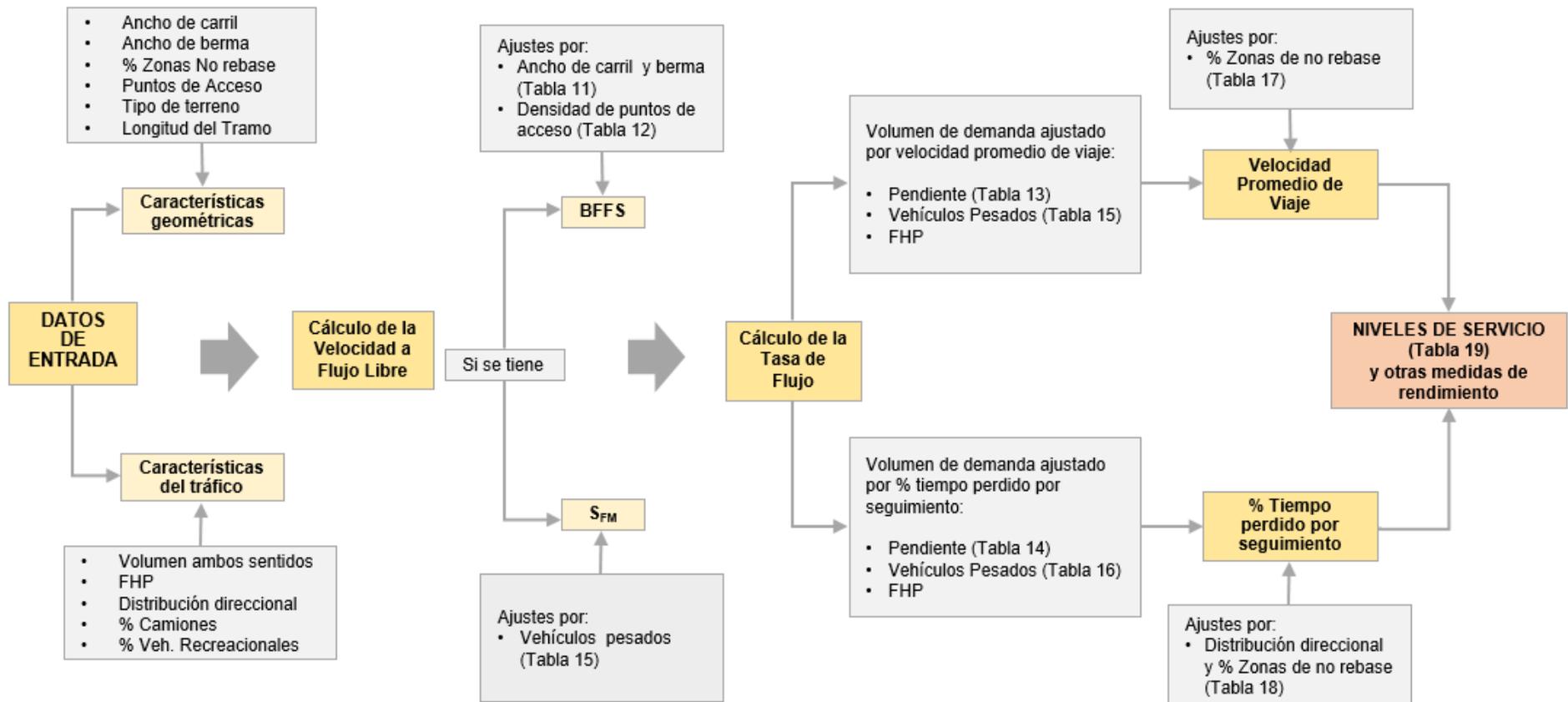


Fig. 32. Flujo de la metodología para el cálculo del Nivel de Servicio
Fuente: Elaboración propia

Para una mejor apreciación, a continuación, se aplicará la metodología establecida (Fig. 32) en el manual paso a paso para la Ruta PE-3N Zona Noroeste y se adjuntarán las hojas de cálculo para las demás vías en estudio.

3.7.1. Ruta PE-3N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

De acuerdo a los datos obtenidos previamente, la siguiente tabla presenta el resumen de los datos de entrada necesarios para la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de esta vía.

Tabla 42

Resumen de datos de entrada - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

DATOS DE ENTRADA	
Ancho de Carril	3.79 m
Ancho de berma	0.50 m
Tipo de Terreno	Ondulado
Longitud Total del tramo	1.00 km
Volumen Bidireccional	469 veh/h
% Distribución de Volumen por Carril	50%
Factor de Hora Pico	0.85
% Buses y Camiones	13.01%
% Vehículos Recreacionales	0%
% Zonas de No-Rebase	90%
Densidad de puntos de accesos por km	2 acc/km

Fuente: Elaboración propia

A. Cálculo de la Capacidad

Para determinar la Capacidad de una vía, calcularemos la intensidad de tráfico definida por el nivel de servicio E de acuerdo a lo establecido en el capítulo II ítem 2.8.1.

Para ello, primero se determinará el factor de corrección por composición de tráfico utilizando la Ec. (7), de modo que:

$$P_C = 0.1173$$

$$P_R = 0$$

$$P_B = 0.0128$$

$$E_C = 5.00 \text{ (según Tabla 8)}$$

$$E_R = 3.30 \text{ (según Tabla 8)}$$

$$E_B = 2.90 \text{ (según Tabla 8)}$$

$$f_P = \frac{1}{1 + 0.1173(5.00 - 1) + 0(3.30 - 1) + 0.0128(2.90 - 1)}$$

$$f_P = 0.67$$

Entonces, aplicando la Ec. (6), la capacidad de la vía se determina por:

$$f_C = 1.04 \text{ (según Tabla 6)}$$

$$f_A = 0.92 \text{ (según Tabla 7)}$$

$$f_R = 1.00 \text{ (según Tabla 9)}$$

$$(I/c)_E = 0.90 \text{ (según Tabla 10)}$$

$$C = 2800 * 1.04 * 0.92 * 0.67 * 1.00 * 0.90$$

$$C = 1615 \text{ autos/h}$$

B. Cálculo del Nivel de Servicio

Para el cálculo del nivel de servicio, primero se determinará la velocidad Promedio de Viaje y luego el Porcentaje de Tiempo Perdido por Seguimiento, entonces:

a) Cálculo de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)

i. Determinación de la Velocidad de Flujo Libre (FFS)

La FFS puede ser determinada mediante las ecuaciones 9 y 10, en este caso se calculan ambas, pero se escogerá el menor valor obtenido por ser el más conservador.

- Caso I (Medición en Campo):

Como la velocidad promedio de rodaje se obtuvo en campo, ésta es utilizada para determinar la FFS. Aplicando la Ec. (12), primero obtenemos el factor de ajuste por vehículos pesados, de modo que:

$$P_T = 0.1301$$

$$P_R = 0$$

$$E_T = 2.5 \text{ (según Tabla 15)}$$

$$E_R = 1.1 \text{ (según Tabla 15)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.1301(2.5 - 1) + 0(1.1 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.84$$

Entonces, utilizando la Ec. (9), tenemos:

$$FFS = 43.16 \text{ km/h} + 0.0125 * (90/0.84)$$

$$FFS = 45 \text{ km/h}$$

- Caso II (Estimación):

Para la estimación de la FFS a partir de una velocidad de flujo base, se utiliza la velocidad de diseño de la vía de acuerdo a las consideraciones de las DG-2014, entonces aplicando la Ec. (10), tenemos:

$$BFFS = 60 \text{ km/h (Velocidad de Diseño)}$$

$$f_{LS} = 6.8 \text{ (según Tabla 11)}$$

$$f_A = 1.3 \text{ (según Tabla 12)}$$

$$FFS = 60 \text{ km/h} - 6.8 - 1.3$$

$$FFS = 52 \text{ km/h}$$

Acorde con lo expresado anteriormente, el valor de la FFS más conservador es 45 km/h.

ii. Determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (V_p)

Para la determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (V_p) se aplica la Ec. (11), donde:

$$V = 469 \text{ veh/h}$$

$$PHF = 0.85$$

$$f_G = 0.71 \text{ (según Tabla 13)}$$

$$f_{HV} = 0.84$$

Entonces, el volumen en autos equivalentes en ambos sentidos es:

$$v_p = \frac{469}{0.85 * 0.71 * 0.84}$$

$$v_p = 929 \text{ autos/h}$$

iii. Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)

Luego, para determinar la Velocidad Promedio de Viaje, utilizamos la Ec. (13), y obteniendo el factor de ajuste para porcentaje de zonas de no-rebase según la Tabla 17 ($f_{np} = 6.47$), tenemos:

$$ATS = 45 \text{ km/h} - 0.0125 * 929 - 6.47$$

$$ATS = 26 \text{ km/h}$$

Cabe señalar que, esta velocidad sirve como un indicador de la serviciabilidad que brinda esta vía.

b) Cálculo del Porcentaje de Tiempo Perdido por Seguimiento (PTSF)

i. Determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (V_p)

Luego, para el cálculo del Tiempo Perdido por Seguimiento se determina la demanda de tasa de flujo (V_p) pero esta vez utilizando la Ec. (11), según lo cual obtenemos nuevamente el factor de ajuste por vehículos pesados, de modo que:

$$E_T = 1.8 \text{ (según Tabla 16)}$$

$$E_R = 1.0 \text{ (según Tabla 16)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.1301(1.8 - 1) + 0(1.0 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.91$$

Aplicando una vez más la Ec. (11), para $f_G = 0.77$ (según Tabla 14), el volumen en vehículos equivalentes en ambos sentidos es:

$$v_p = \frac{469}{0.85 * 0.77 * 0.91}$$

$$v_p = 791 \text{ autos/h}$$

ii. Determinación del Porcentaje de Tiempo Perdido por Seguimiento (PTSF)

Para determinar el Porcentaje de Tiempo Perdido por Seguimiento, primero debemos calcular el Porcentaje Base de tiempo de seguimiento para ambas

direcciones de recorrido combinado utilizando la Ec. (15), de modo que $v_p = 791$ autos/h, entonces:

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879*791})$$

$$BPTSF = 50.13\%$$

Ahora utilizamos la Ec. (14) y obtenemos el factor de ajuste para el porcentaje de efecto combinado de la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no-rebase según la Tabla 18 ($f_{d/np}=22.85$), de manera que:

$$PTSF = 50.13\% + 22.85$$

$$PTSF = 72.98\%$$

c) **Determinación del Nivel de Servicio y otras medidas de rendimiento**

Finalmente, utilizamos la Tabla 19 ingresando con el valor del PTSF y obtenemos que el nivel de servicio ofrecido por la vía PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) es **Nivel D**.

C. Otras Medidas de Rendimiento

Las medidas de rendimiento que podemos calcular son:

- Relación Volumen/Capacidad: tomando los datos obtenidos anteriormente y utilizando la Ec. 16, tenemos que:

$$v/C = \frac{v_p}{C_{real}} = \frac{929}{1615} = 58\%$$

- Vehículos-km (pico 15min): aplicando la Ec. 17, tenemos:

$$VkmT_{15} = 0.25 * \left(\frac{V}{PHF} \right) * L_T$$

$$VkmT_{15} = 0.25 * \left(\frac{469}{0.85} \right) * 1$$

$$VkmT_{15} = 138 \text{ veh} - \text{km}$$

- Vehículos-km (hora pico): de igual manera aplicando la Ec. 18, se tiene:

$$VkmT_{60} = V * L_T$$

$$VkmT_{60} = 469 \text{ veh} - km$$

- Tiempo Total de viaje (pico 15min): y de acuerdo con la Ec. 19, se obtiene:

$$TT_{15} = VkmT_{15}/ATS$$

$$TT_{15} = \frac{138}{26}$$

$$TT_{15} = 5 \text{ veh} - h$$

3.7.2. Ruta PE-3N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

De acuerdo a los datos obtenidos previamente, la siguiente tabla presenta el resumen de los datos de entrada para esta vía en estudio.

Tabla 43

Resumen de datos de entrada - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

DATOS DE ENTRADA	
Ancho de Carril	3.59 m
Ancho de berma	1.30 m
Tipo de Terreno	Ondulado
Longitud Total del tramo	1.00 km
Volumen Bidireccional	214 veh/h
% Distribución de Volumen por Carril	50%
Factor de Hora Pico	0.82
% Buses y Camiones	10.28%
% Vehículos Recreacionales	0%
% Zonas de No-Rebase	73.8%
Densidad de puntos de accesos por km	2 acc/km

Fuente: Elaboración propia

A. Cálculo de la Capacidad

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II ítem 2.8.1., la capacidad de la vía se determina utilizando la siguiente hoja de cálculo.

Cabe señalar que, los datos de entrada se ingresaron en las celdas de color amarillo, los resultados de las interpolaciones de las tablas se ingresaron en las celdas de color verde y los resultados finales se muestran en las celdas de color rosado.

Capacidad			
Ruta:		PE-3N	
Zona:		Sureste	
Estación:		2	Llacanora
Datos de entrada			
S	←	ancho de berma	2.16 m
		ancho de carril	3.59 m
E	→	ancho de carril	3.59 m
		ancho de berma	0.45 m
Distribución direccional			50%
% Camiones			P _C 9.35%
% Veh. Recreacionales			P _R 0.00%
% Buses			P _B 0.93%
% zonas de no rebase			P _{ZNR} 73.8%
Tipo de Terreno			Ondulado
La capacidad de una Carretera se calcula utilizando la siguiente ecuación:			
$C = 2800 * f_C * f_A * f_P * f_R * (I/C)_E$			
Factor de corrección por anchura de carriles	f _C	1.00	Tabla 6
Factor de corrección por anchura de bermas	f _A	0.98	Tabla 7
Factor de corrección por composición del tráfico	f _P	0.72	
$f_P = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)}$			
Porcentaje de Camiones	P _C	9.35%	
Equivalente en autos p/camiones	E _C	5.00	Tabla 8
Porcentaje de Vehículos Recreacionales	P _R	0%	
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	3.30	Tabla 8
Porcentaje de Autobuses	P _B	0.93%	
Equivalente en autos para autobuses	E _B	2.90	Tabla 8
Factor de corrección por reparto de circulación por sentidos	f _R	1.00	Tabla 9
Relación intensidad y capacidad ideal para el nivel de servicio E	(I/C) _E	0.90	Tabla 10
Capacidad de la vía	C	1775	autos/h

Fig. 33. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

Fuente: Elaboración propia

B. Calculo del Nivel de Servicio

De igual manera, para la determinación del nivel de servicio en esta vía se utiliza la siguiente hoja de cálculo ingresando los datos de entrada en las celdas de color amarillo y los resultados de las interpolaciones de las tablas en las celdas de color verde.

Información General			
		Ruta:	PE-3N
		Zona:	Sureste
		Estación:	2 Llacanora
Datos de Entrada			
S ← E →	ancho de berma	2.16 m	Volumen ambos sentidos V
	ancho de carril	3.59 m	Distribución direccional
	ancho de carril	3.59 m	Factor de hora pico PHF
	ancho de berma	0.45 m	% Camiones P _C
			% Veh. Recreacionales P _R
Promedio Ancho de bermas		1.30	% zonas de no rebase P _{ZNR}
Longitud del tramo L _T		1.00 km	Pendiente
			Tipo de Terreno
			214 veh/h
			50%
			0.823
			10.28%
			0%
			73.8%
			5.43%
			Ondulado
Velocidad media de viaje			
1.00 Determinación de la Velocidad de Flujo Libre (FFS)			
CASO 1 (Medición en Campo)		CASO 2 (Estimada)	
Velocidad según medición de campo	S _{FM}	55.19 km/h	Vel. Flujo Libre de referen BFFS
Volumen observado	V _f	90 veh/h	Ajuste por ancho de carril f _{LS}
Velocidad de Flujo Libre	FFS	56 km/h	Ajuste por cantidad de ax f _A
FFS = S _{FM} + 0,0125 (V _f / f _{HV})			Velocidad de Flujo Libre FFS
Por lo tanto, FFS = 56 km/h			60 km/h
			2.8 Tabla 11
			1.33 Tabla 12
			56 km/h
2.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v _p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.71 Tabla 13	$v_p = \frac{v}{PHF + f_G + f_{HV}}$
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.87	
Equivalente en autos para camiones	E _C	2.5 Tabla 15	$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.1 Tabla 15	
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	423 autos/h	
3.00 Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)			
Ajuste por zonas de no rebase	f _{np}	4.22 Tabla 17	$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$
Velocidad media de viaje	ATS	46 km/h	
Porcentaje de tiempo perdido por seguimiento			
1.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v _p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.77 Tabla 14	$v_p = \frac{v}{PHF + f_G + f_{HV}}$
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.92	
Equivalente en autos para camiones	E _C	1.8 Tabla 16	$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.0 Tabla 16	
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	365 autos/h	
2.00 Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)			
Ajuste p/distr.Traf. y zonas no rebase	f _{d/NP}	20.94 Tabla 18	$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$
% tiempo perdido de seguimiento ref.	BPTSF	27.5%	
Porcentaje tiempo de seguimiento	PTSF	48.4%	$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$
Nivel de Servicio			
Se determina el Nivel de Servicio de la vía de acuerdo a la Tabla 19			
Nivel de Servicio	NDS	B	Tabla 19

Fig. 34. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

C. Otras Medidas de Rendimiento

Las medidas de rendimiento también se pueden calcular usando la siguiente hoja de cálculo:

Medidas de Rendimiento		
Relación volumen / capacidad $v / C = v_p / C_{real}$	v / C	24%
Vehículos-km (pico 15') $V_{kmT_{15}} = 0,25 L_T (V / PHF)$	$VKMT_{15}$	65 veh-km
Vehículos-km (Hora pico) $V_{kmT_{60}} = L_T * V$	$VKMT_{60}$	214 veh-km
Tiempo total de viaje (pico 15') $TT_{15} = V_{kmT_{15}} / ATS$	TT_{15}	1 veh-h

Fig. 35. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)
Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

3.7.3. Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Según a los datos obtenidos anteriormente, la siguiente tabla presenta el resumen de los datos de entrada para esta vía en estudio.

Tabla 44

Resumen de datos de entrada - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

DATOS DE ENTRADA	
Ancho de Carril	3.18 m
Ancho de berma	1.30 m
Tipo de Terreno	Ondulado
Longitud Total del tramo	1.00 km
Volumen Bidireccional	328 veh/h
% Distribución de Volumen por Carril	50%
Factor de Hora Pico	0.95
% Buses y Camiones	14.33%
% Vehículos Recreacionales	0%
% Zonas de No-Rebase	50.7%
Densidad de puntos de accesos por km	3 acc/km

Fuente: Elaboración propia

A. Cálculo de la Capacidad

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II ítem 2.8.1., la capacidad de la vía se determina utilizando la siguiente hoja de cálculo.

Capacidad					
Ruta:		PE-08			
Zona:		Sur			
Estación:		3	Aylambo		
Datos de entrada					
S ← E →	ancho de berma	0.83	m	Distribución direccional	50%
	ancho de carril	3.18	m	% Camiones	P _C 9.15%
	ancho de carril	3.18	m	% Veh. Recreacionales	P _R 0.00%
	ancho de berma	1.77	m	% Buses	P _B 5.18%
				% zonas de no rebase	P _{ZNR} 50.7%
				Tipo de Terreno	Ondulado
La capacidad de una Carretera se calcula utilizando la siguiente ecuación:					
$C = 2800 * f_C * f_A * f_P * f_R * (I/c)_E$					
Factor de corrección por anchura de carriles	f _C	0.91	Tabla 6		
Factor de corrección por anchura de bermas	f _B	0.98	Tabla 7		
Factor de corrección por composición del tráfico	f _P	0.68			
$f_P = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)}$					
Porcentaje de Camiones	P _C	9.15%	Tabla 8		
Equivalente en autos p/camiones	E _C	5.00			
Porcentaje de Vehículos Recreacionales	P _R	0%	Tabla 8		
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	3.30			
Porcentaje de Autobuses	P _B	5.18%	Tabla 8		
Equivalente en autos para autobuses	E _B	2.90			
Tabla 9					
Factor de corrección por reparto de circulación por sentidos	f _R	1.00	Tabla 10		
Relación intensidad y capacidad ideal para el nivel de servicio E	(I/c) _E	0.91			
autos/h					
Capacidad de la vía	C	1552			

Fig. 36. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)
Fuente: Elaboración propia

B. Calculo del Nivel de Servicio

Similarmente, para la determinación del nivel de servicio en esta vía se utiliza la siguiente hoja de cálculo.

Información General			
Ruta:	PE-08		
Zona:	Sur		
Estación:	3	Aylambo	
Datos de Entrada			
S E	ancho de berma	0.83	m
	ancho de carril	3.18	m
	ancho de carril	3.18	m
	ancho de berma	1.77	m
	Promedio Ancho de bermas	1.30	
	Longitud del tramo	L _T	1.00 km
	Volumen ambos sentidos	V	328 veh/h
	Distribución direccional		50%
	Factor de hora pico	PHF	0.95
	% Camiones	P _C	14.33%
	% Veh. Recreacionales	P _R	0%
	% zonas de no rebase	P _{ZNR}	50.7%
	Pendiente		4.93%
	Tipo de Terreno		Ondulado
Velocidad media de viaje			
1.00 Determinación de la Velocidad de Flujo Libre (FFS)			
CASO 1 (Medición en Campo)		CASO 2 (Estimada)	
Velocidad según medición de campo	S _{FM}	45.51	km/h
Volumen observado	V _f	90	veh/h
Velocidad de Flujo Libre	FFS	47	km/h
FFS = S _{FM} + 0,0125 (V _f / f _{HV})			
Por lo tanto, FFS = 47 km/h			
2.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v_p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.71	Tabla 13
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.82	
$v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}}$			
Equivalente en autos para camiones	E _C	2.50	Tabla 15
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.10	Tabla 15
$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	589	autos/h
3.00 Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)			
Ajuste por zonas de no rebase	f _{np}	4.35	Tabla 17
Velocidad media de viaje	ATS	35	km/h
$ATS = FFS - 0.0125 v_p - f_{np}$			
Porcentaje de tiempo perdido por seguimiento			
1.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v_p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.77	Tabla 14
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.90	
$v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}}$			
Equivalente en autos para camiones	E _C	1.8	Tabla 16
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.0	Tabla 16
$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	498	autos/h
2.00 Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)			
Ajuste p/distr.Traf. y zonas no rebase	f _{d/NP}	20.20	Tabla 18
% tiempo perdido de seguimiento ref.	BPTSF	35.4%	
$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879 v_p})$			
Porcentaje tiempo de seguimiento	PTSF	55.6%	
$PTSF = BPTSF + f_{d/NP}$			
Nivel de Servicio			
Se determina el Nivel de Servicio de la vía de acuerdo a la Tabla 19			
Nivel de Servicio	NDS	C	Tabla 19

Fig. 37. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

C. Otras Medidas de Rendimiento

Las medidas de rendimiento en esta vía también se pueden calcular usando la siguiente hoja de cálculo:

Medidas de Rendimiento		
Relación volumen / capacidad $v / C = v_p / C_{real}$	v / C	38%
Vehículos-km (pico 15') $VkmT_{15} = 0,25 L_T (V / PHF)$	$VKMT_{15}$	86 veh-km
Vehículos-km (Hora pico) $VkmT_{60} = L_T * V$	$VKMT_{60}$	328 veh-km
Tiempo total de viaje (pico 15') $TT_{15} = VkmT_{15} / ATS$	TT_{15}	2 veh-h

Fig. 38. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

3.7.4. Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, la siguiente tabla presenta el resumen de los datos de entrada para esta vía en estudio.

Tabla 45

Resumen de datos de entrada - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

DATOS DE ENTRADA	
Ancho de Carril	3.16 m
Ancho de berma	1.39 m
Tipo de Terreno	Ondulado
Longitud Total del tramo	1.00 km
Volumen Bidireccional	187 veh/h
% Distribución de Volumen por Carril	50%
Factor de Hora Pico	0.94
% Buses y Camiones	7.49%
% Vehículos Recreacionales	0%
% Zonas de No-Rebase	32.8%
Densidad de puntos de accesos por km	2 acc/km

Fuente: Elaboración propia

A. Cálculo de la Capacidad

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II ítem 2.8.1., la capacidad de la vía se determina utilizando la siguiente hoja de cálculo.

Capacidad					
Ruta:		PE-08B			
Zona:		Noreste			
Estación:		4	Puyllucana		
Datos de entrada					
S ← E →	ancho de berma	0.00	m	Distribución direccional	50%
	ancho de carril	1.04	m	% Camiones	P _C 6.42%
	ancho de carril	1.04	m	% Veh. Recreacionales	P _R 0.00%
	ancho de berma	3.16	m	% Buses	P _B 1.07%
				% zonas de no rebase	P _{ZNR} 0.0%
				Tipo de Terreno	Ondulado
La capacidad de una Carretera se calcula utilizando la siguiente ecuación:					
$C = 2800 * f_C * f_A * f_P * f_R * (I/C)_E$					
Factor de corrección por anchura de carriles	f _C	0.91	Tabla 6		
Factor de corrección por anchura de bermas	f _B	0.98	Tabla 7		
Factor de corrección por composición del tráfico	f _P	0.78			
$f_P = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)}$					
Porcentaje de Camiones	P _C	6.42%			
Equivalente en autos p/camiones	E _C	5.00	Tabla 8		
Porcentaje de Vehículos Recreacionales	P _R	0%			
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	3.30	Tabla 8		
Porcentaje de Autobuses	P _B	1.07%			
Equivalente en autos para autobuses	E _B	2.90	Tabla 8		
Factor de corrección por reparto de circulación por sentidos	f _R	1.00	Tabla 9		
Relación intensidad y capacidad ideal para el nivel de servicio E	(I/C) _E	0.93	Tabla 10		
Capacidad de la vía	C	1819	autos/h		

Fig. 39. Hoja de cálculo para la Capacidad - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

Fuente: Elaboración propia

B. Calculo del Nivel de Servicio

De igual manera, para la determinación del nivel de servicio se utiliza la siguiente hoja de cálculo.

Información General			
Ruta:		PE-08B	
Zona:		Noreste	
Estación:		4	Puyllucana
Datos de Entrada			
S E	ancho de berma	1.04	m
	← ancho de carril	3.16	m
	→ ancho de carril	3.16	m
	ancho de berma	1.75	m
	Promedio Ancho de bermas	1.39	
Longitud del tramo		L _T	1.00 km
Volumen ambos sentidos		V	187 veh/h
Distribución direccional			50%
Factor de hora pico		PHF	0.935
% Camiones		P _C	7.49%
% Veh. Recreacionales		P _R	0%
% zonas de no rebase		P _{ZNR}	32.8%
Pendiente			5.20%
Tipo de Terreno			Ondulado
Velocidad media de viaje			
1.00 Determinación de la Velocidad de Flujo Libre (FFS)			
CASO 1 (Medición en Campo)		CASO 2 (Estimada)	
Velocidad según medición de campo	S _{FM}	47.23	km/h
Volumen observado	V _f	90	veh/h
Velocidad de Flujo Libre	FFS	48	km/h
FFS = S _{FM} + 0,0125 (V _f / f _{HV})			
Por lo tanto, FFS = 48 km/h			
2.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v _p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.71	Tabla 13
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.90	
$v_p = \frac{v}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$			
Equivalente en autos para camiones	E _C	2.50	Tabla 15
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.10	Tabla 15
$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	313	autos/h
3.00 Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)			
Ajuste por zonas de no rebase	f _{np}	1.71	Tabla 17
Velocidad media de viaje	ATS	43	km/h
$ATS = FFS - 0.0125 v_p - f_{np}$			
Porcentaje de tiempo perdido por seguimiento			
1.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v _p)			
Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.77	Tabla 14
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.94	
$v_p = \frac{v}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$			
Equivalente en autos para camiones	E _C	1.8	Tabla 16
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.0	Tabla 16
$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	275	autos/h
2.00 Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)			
Ajuste p/distr.Traf. y zonas no rebase	f _{d/NP}	14.64	Tabla 18
% tiempo perdido de seguimiento ref.	BPTSF	21.5%	
$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879 v_p})$			
Porcentaje tiempo de seguimiento	PTSF	36.1%	
$PTSF = BPTSF + f_{d/NP}$			
Nivel de Servicio			
Se determina el Nivel de Servicio de la vía de acuerdo a la Tabla 19			
Nivel de Servicio	NDS	A	Tabla 19

Fig. 40. Hoja de cálculo para el Nivel de Servicio - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

C. Otras Medidas de Rendimiento

Las medidas de rendimiento también se pueden calcular usando la siguiente hoja de cálculo:

Medidas de Rendimiento		
Relación volumen / capacidad $v / C = v_p / C_{real}$	v / C	17%
Vehículos-km (pico 15') $VkmT_{15} = 0,25 L_T (V / PHF)$	$VKMT_{15}$	50 veh-km
Vehículos-km (Hora pico) $VkmT_{60} = L_T * V$	$VKMT_{60}$	187 veh-km
Tiempo total de viaje (pico 15') $TT_{15} = VkmT_{15} / ATS$	TT_{15}	1 veh-h

Fig. 41. Hoja de cálculo para Medidas de Rendimiento - Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Adaptación propia

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los estudios sobre volumen de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, lo que hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios.

A continuación, se realizará un análisis de los resultados obtenidos en el capítulo III con el fin de plantear soluciones óptimas para los problemas que se encuentren en las vías en estudio.

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Ruta PE-3N Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

En esta vía el mayor volumen vehicular se presentó el día lunes en el rango de las 07:00 a 08:00 horas por la mañana, dando como resultado un nivel de servicio D. Este nivel de servicio muestra condiciones inestables de circulación debido a que está sujeto a diversos parámetros como el ancho de carril, ancho de bermas, la pendiente y el porcentaje de zonas de no rebase.

La velocidad promedio de viaje en esta vía es de 26 km/h, es decir una velocidad reducida y regulada en función de la de los vehículos precedentes además de la dificultad para efectuar adelantamientos, ya que en esta ruta los porcentajes de zonas de no rebase son muy elevados, pues el ingreso a la ciudad de Cajamarca por la zona Noroeste se da en forma descendente sobre terreno ondulado, formando colas en puntos localizados.

Del mismo modo, la capacidad de esta vía también se ve afectada por el ancho de la sección, la visibilidad, pendientes, porcentaje de vehículos pesados y obstrucciones laterales, según lo cual esta vía puede soportar una capacidad de 1615 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 58% de su capacidad máxima.

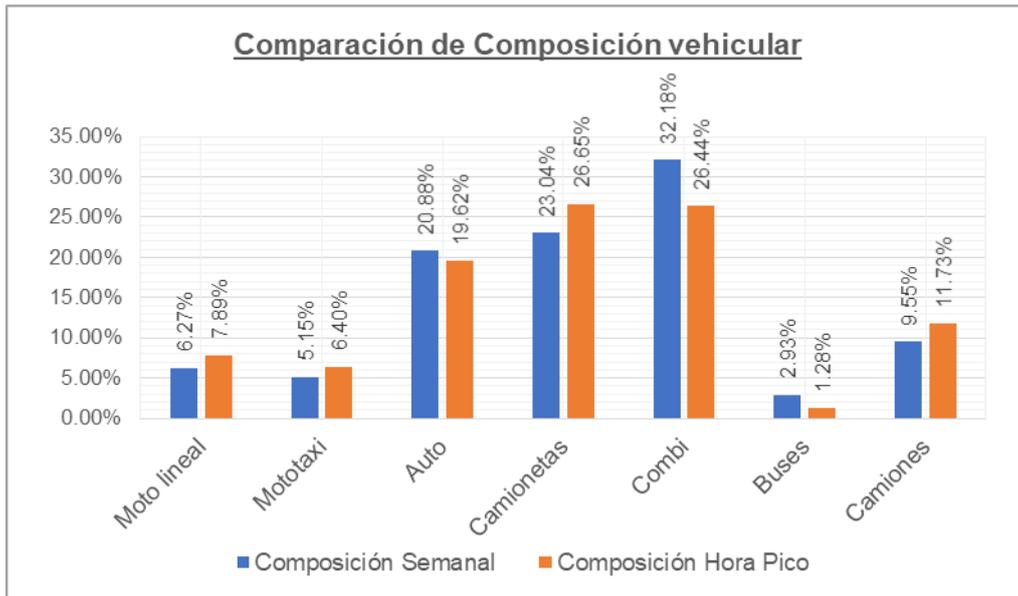


Fig. 42. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)
Fuente: Elaboración propia

La Fig. 42 muestra que la composición vehicular en la hora pico tiene semejanza con la composición vehicular semanal, pues las proporciones de la mayoría de los vehículos son similares. Sin embargo, durante la hora pico se observa un mayor porcentaje de vehículos pesados y camionetas, debido a que a esta hora se realiza el mayor transporte hacia las mineras y éstas utilizan mayormente este tipo de vehículos para transporte de personal, de materiales y maquinarias. Cabe señalar que, la ubicación de la estación de conteo se encuentra en una zona interurbana, es decir que alberga localidades en constante comunicación con la ciudad de Cajamarca. Dicho lo anterior, el porcentaje de combis durante la semana se incrementa pues estas permiten tanto el transporte interurbano como turístico los fines de semana.

El Nivel de servicio encontrado en la hora pico se presenta el primer día de la semana al iniciar el mañana, influenciado por el inicio de labores de la población dentro y fuera de la ciudad incrementando de esta forma su intensidad vehicular.

En la Fig. 15 se aprecia que los volúmenes vehiculares durante toda la semana tienen un comportamiento parecido, lo que nos indica que el servicio prestado por la vía será similar a lo largo de la semana; entonces, si se plantean soluciones para mejorar la serviciabilidad en esta hora, ésta mejorará a su vez en los demás días.

4.1.2. Ruta PE-3N Ingreso Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)

El mayor volumen vehicular en esta vía se presentó el día lunes en el rango de las 07:15 a 08:15 horas por la mañana, dando como resultado un nivel de servicio B. Este nivel de servicio muestra que la circulación es estable a alta velocidad debido a que los parámetros condicionantes como el ancho de carril, ancho de bermas, pendientes y el porcentaje de zonas de no rebase facilitan una mejor circulación.

La velocidad promedio de viaje es de 46 km/h, es decir una velocidad más rápida pero que se ve influenciada por la de otros vehículos en el recorrido, por lo que solo se presentan pequeñas demoras en ciertos tramos, pero sin llegar a formarse colas; a pesar de que el porcentaje de zonas de no rebase es elevado, las altas velocidades y la mediana intensidad vehicular permiten efectuar maniobras de adelantamiento y comodidad durante el recorrido.

La capacidad de esta vía también se ve afectada por el ancho de la sección, la visibilidad, la pendiente, el porcentaje de vehículos pesados y algunas obstrucciones laterales, por tanto, ésta vía puede soportar una capacidad de 1775 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 24% de su capacidad máxima.

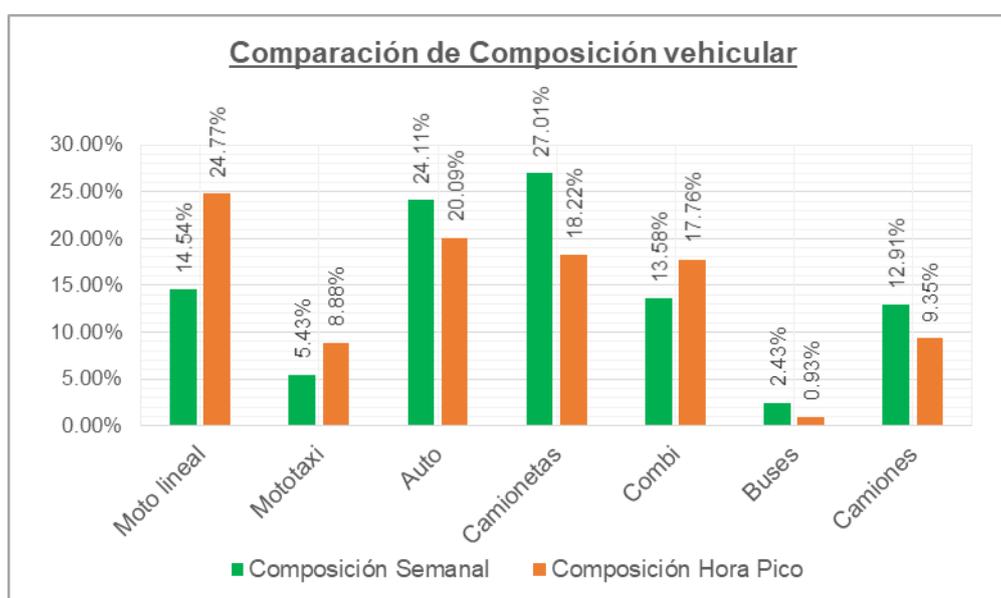


Fig. 43. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos)
Fuente: Elaboración propia

La composición vehicular en la hora pico expresada en la Fig. 43 presenta mayor proporción de vehículos livianos, especialmente motos lineales debido a que éstas permiten el transporte de manera más rápida hacia Cajamarca y a las localidades cercanas en este horario. No obstante, durante la semana, este tipo de vehículos disminuye, pero se incrementan las proporciones de autos y camionetas pues este ingreso por la zona Sur alberga gran cantidad de lugares turísticos que son visitados por la población cajamarquina mayormente los fines de semana. De igual manera, el transporte pesado se incrementa durante la semana pues cabe mencionar que la estación de conteo está ubicada en una zona de explotación de materiales de construcción y esto contribuye a un permanente flujo de vehículos tipo C3 y C4 a lo largo de la semana.

Por lo tanto, como el nivel de servicio encontrado durante esta hora pico permite una buena circulación y la intensidad vehicular es medianamente baja a lo largo de los días de la semana como se aprecia en la Fig.18, por ello, no se plantean soluciones en esta vía pues no se ha encontrado un problema serio en su serviciabilidad.

4.1.3. Ruta PE-08 Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilite)

En esta vía el mayor volumen vehicular se presentó el día viernes en el rango de las 18:30 a 19:30 horas por la noche, dando como resultado un nivel de servicio C. Este nivel de servicio muestra una circulación estable pero condicionada por algunas características del tránsito, como la distribución direccional y el porcentaje de zonas de no rebase.

En este caso, la velocidad promedio de viaje es de 35 km/h, es decir una velocidad media, sin embargo, tanto la velocidad como la libertad de maniobra se encuentran más reducidas formándose grupos, pero con pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas. El porcentaje de zonas de no rebase es medio lo que permite efectuar maniobras de adelantamiento y comodidad durante el recorrido.

Del mismo modo, la capacidad de esta vía también se ve afectada por la geometría de la vía, el porcentaje de vehículos pesados y las obstrucciones laterales, por lo que esta vía puede soportar una capacidad de 1552 vehículos equivalentes por hora, es decir que esta vía opera a un 38% de su capacidad máxima.

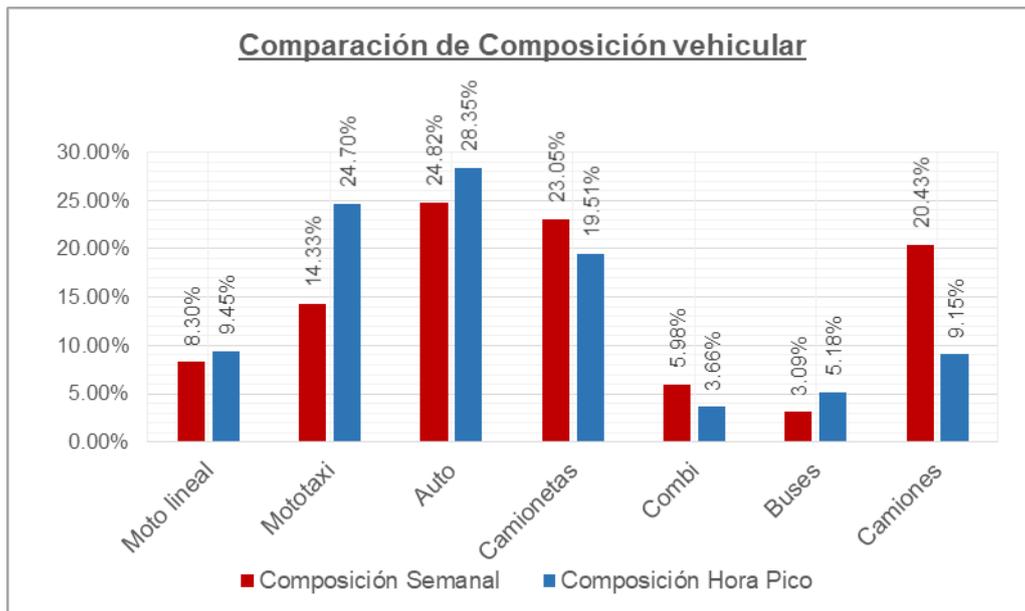


Fig. 44. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

Fuente: Elaboración propia

La Fig. 44 muestra que la composición vehicular en la hora pico tiene una diferencia más marcada que la composición vehicular semanal en las proporciones de mototaxis y camiones, pues sus intensidades varían tanto a lo largo del día como durante la semana. La proporción de mototaxis es mayor durante la hora pico debido a que la gran mayoría de pobladores de las localidades cercanas retornan a sus hogares después de brindar el servicio de moto taxi en la ciudad de Cajamarca. Por otro lado, la proporción de camiones es mayor durante la semana debido a que esta ruta es el ingreso principal de transporte pesado proveniente de la costa. Cabe mencionar además, que la ubicación de la estación de conteo para esta vía se encuentra inmersa en una zona de explotación de materiales de construcción lo que contribuye al incremento de transporte pesado especialmente camiones tipo C2, C3 y C4.

En contraste con lo anterior, el nivel de servicio encontrado durante la hora pico se ve influenciado aparentemente por un volumen máximo extraordinario según la Fig. 21, lo que nos indica que el nivel de servicio en los demás días debería ser menor dependiendo de la proporción de vehículos pesados y las mototaxis, ya que éstos vehículos tienen mayor incidencia durante la semana como se muestra en la Fig. 23, por lo tanto, apuntamos a solucionar esta hora pico en estudio.

4.1.4. Ruta PE-08B Ingreso Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)

El mayor volumen vehicular en esta vía se presentó el día sábado en el rango de las 15:30 a 16:30 horas por la tarde, dando como resultado un nivel de servicio A. Es decir que, este nivel de servicio muestra que la circulación es libre y fluida con altas velocidades elegidas por los conductores, ya que tanto las características de la vía como del tránsito contribuyen a la circulación y comodidad durante el recorrido.

La velocidad promedio de viaje es de 43 km/h, es decir que cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarse incrementando su velocidad sin sufrir demoras, además el porcentaje de zonas de no rebase es bajo, lo que permite efectuar maniobras de adelantamiento.

De manera semejante, la capacidad de esta vía también se ve condicionada por la geometría de la vía, el porcentaje de vehículos pesados y las obstrucciones laterales, de modo que esta vía puede soportar una capacidad de 1819 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 17% de su capacidad máxima, pues su intensidad vehicular es baja.

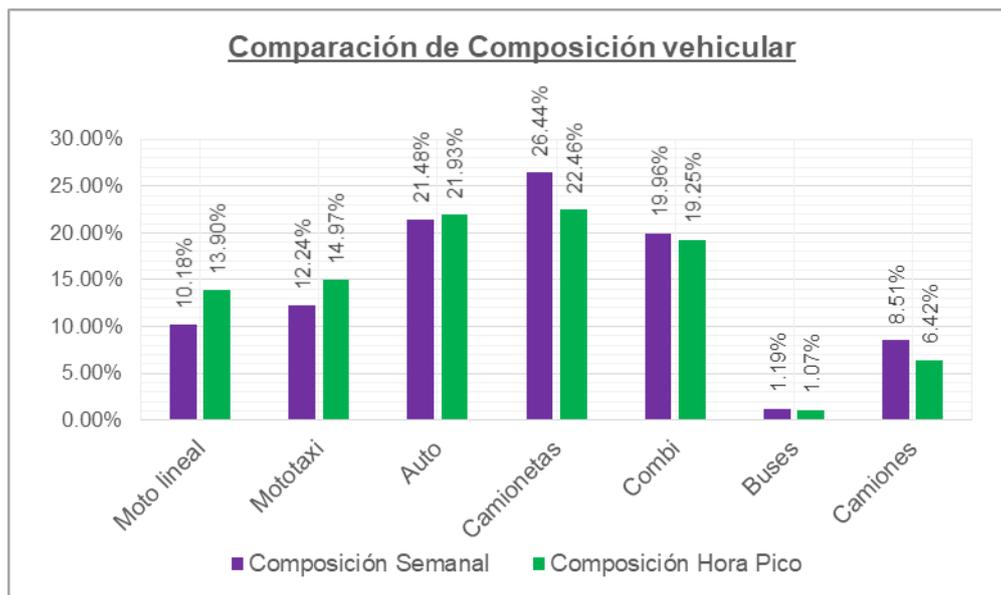


Fig. 45. Comparación de la Composición Vehicular de la Ruta PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín)
Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, la Fig. 45 indica que la composición vehicular en la hora pico es similar a la composición vehicular semanal, es decir que la proporción de vehículos livianos y

pesados es constante en toda la semana, por tal razón, y basándonos en la Fig. 24 podemos asegurar que el nivel de servicio durante la semana es cómodo y confortable para los conductores debido a la baja intensidad vehicular que se presenta, de ahí que no se han encontrado problemas que solucionar en la serviciabilidad de esta vía.

En resumen, la tabla 46 presenta los niveles de servicio de todas las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional con los parámetros más importantes necesarios para su determinación.

Tabla 46
Resumen de Niveles de Servicio obtenidos

VÍAS DE INGRESO	Mayor Demanda			% Seguimiento	Nivel de Servicio
	Día	Hora	VHMD		
PE-3N, Zona Noroeste Carretera Cajamarca - Hualgayoc	Lunes	07:00 - 08:00	469	72.98%	D
PE-3N, Zona Sureste Carretera Cajamarca - San Marcos	Lunes	07:15 - 08:15	214	48.40%	B
PE-08, Zona Sur Carretera Cajamarca - Chilete	Viernes	18:30 - 19:30	328	55.60%	C
PE-08B, Zona Noreste Carretera Cajamarca - Celendín	Sábado	15:30 - 16:30	187	36.10%	A

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la capacidad de cada una de estas vías expresada en autos equivalentes es:

Tabla 47
Resumen de Capacidades y porcentajes de operación obtenidos

VÍAS DE INGRESO	Capacidad	% operación
PE-3N, Zona Noroeste Carretera Cajamarca - Hualgayoc	1615 veh/h	58%
PE-3N, Zona Sureste Carretera Cajamarca - San Marcos	1775 veh/h	24%
PE-08, Zona Sur Carretera Cajamarca - Chilete	1552 veh/h	38%
PE-08B, Zona Noreste Carretera Cajamarca - Celendín	1819 veh/h	17%

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor apreciación, la Fig. 46 nos permite apreciar las capacidades máximas en vehículos equivalentes y el porcentaje de operación para cada una de las vías en estudio.

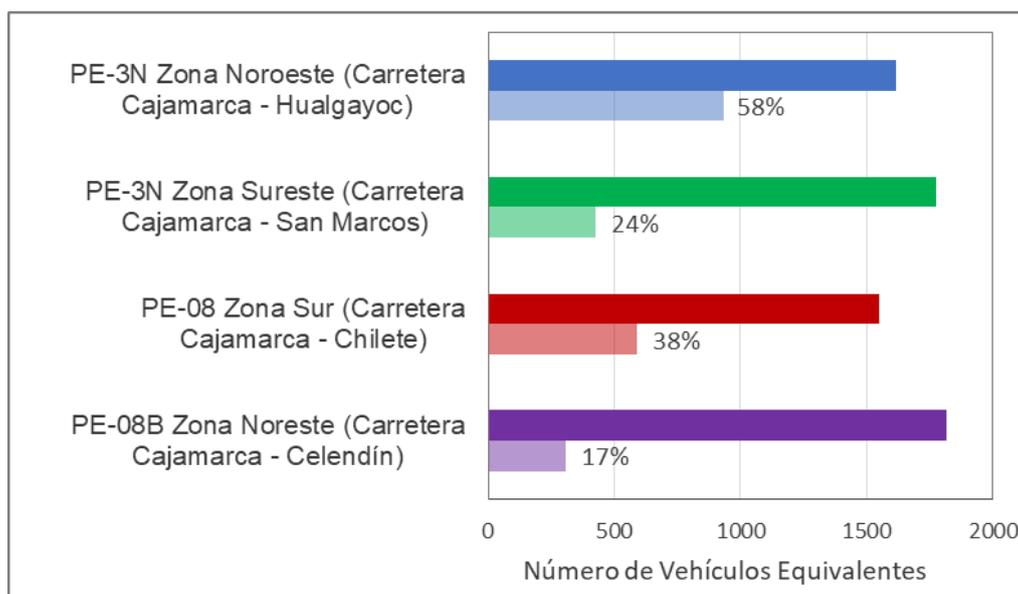


Fig. 46. Capacidades Máximas y Porcentajes de Operación de cada vía en estudio
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, los factores de máxima demanda encontrados para las vías de ingreso PE-08 por la zona Sur y PE-08B por la zona Noreste son cercanos a la unidad lo que indica una distribución uniforme de flujos durante la hora pico. Pero los factores obtenidos para la vía de ingreso PE-3N tanto por la zona Noroeste como por la Sureste representan una distribución más desigual durante la hora pico, lo que se ve reflejado en las Fig. 16 y 19.

Tabla 48
Resumen de Factores de Máxima Demanda

VÍAS DE INGRESO	VHMD	$q_{máx15}$	PHF	Hora Máx. Demanda
PE-3N, Zona Noroeste Carretera Cajamarca - Hualgayoc	469	138	0.850	07:00 - 08:00
PE-3N, Zona Sureste Carretera Cajamarca - San Marcos	214	65	0.823	07:15 - 08:15
PE-08, Zona Sur Carretera Cajamarca - Chilete	328	86	0.953	18:30 - 19:30
PE-08B, Zona Noreste Carretera Cajamarca - Celendín	187	50	0.935	15:30 - 16:30

Fuente: Elaboración propia

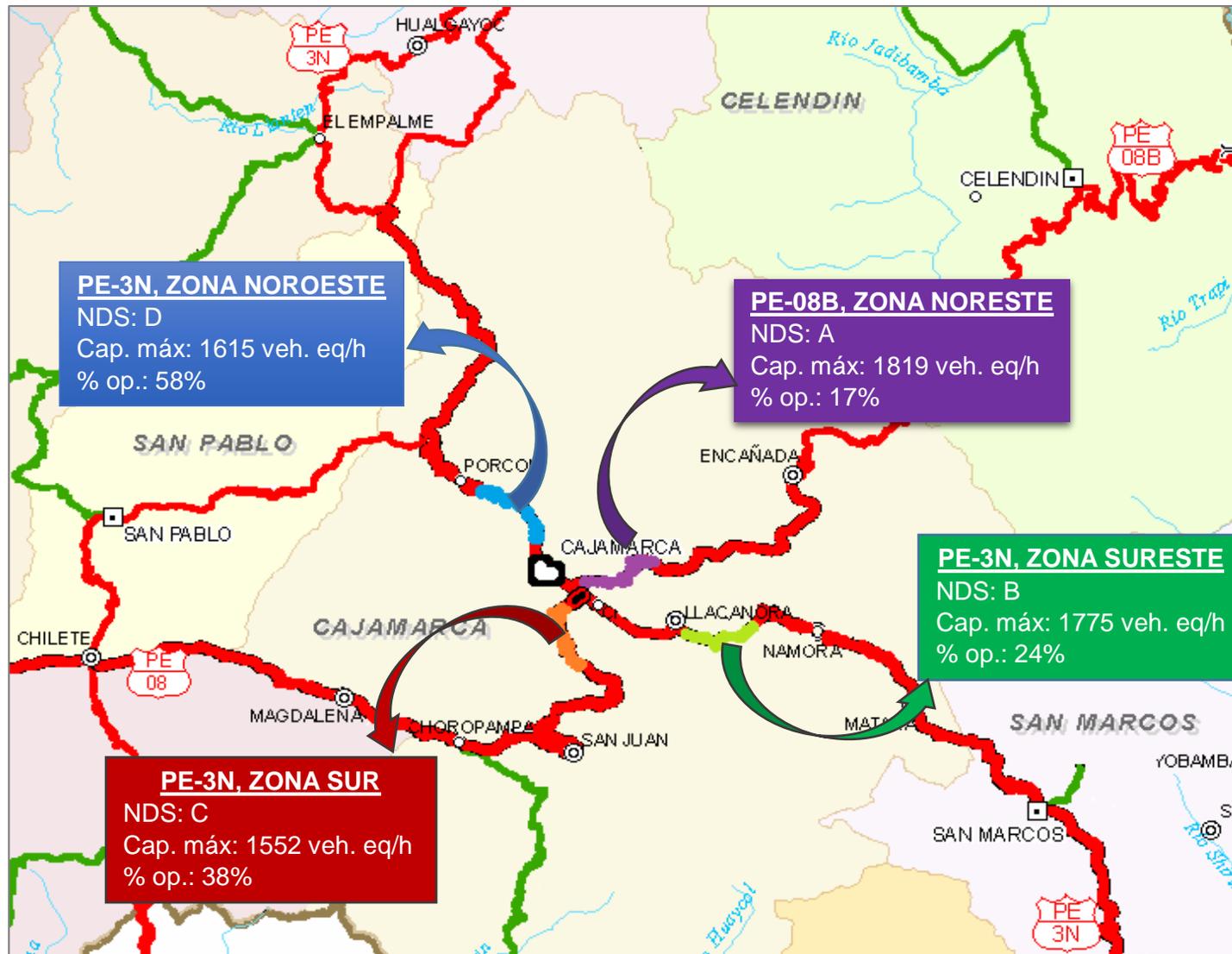


Fig. 47. Esquema final de resultados obtenidos
Fuente: Elaboración propia

En resumen, podemos establecer que existen ciertos factores que influyen en la capacidad y la serviciabilidad de las vías como:

- La geometría de las vías, pues el ancho de carril, el ancho de bermas, el porcentaje de zonas de no rebase y la pendiente longitudinal de la vía condicionan la libertad de maniobras de adelantamiento y por ende la velocidad promedio con que viajan los vehículos.
- La distribución direccional, pues para permitir los adelantamientos entre vehículos y realizar las maniobras de rebase en una dirección se debe ocupar el carril contrario, afectando directamente el flujo opuesto.
- El porcentaje de vehículos pesados, ya que las dimensiones y las velocidades de recorrido para este tipo de vehículos son distintas a las de los vehículos livianos, lo que incrementa el tiempo de seguimiento y limita las maniobras de rebase.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En relación con los resultados obtenidos en la presente investigación y contrastando éstos con la hipótesis planteada, se constató que sólo es verdadera para la vía de ingreso PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete), pues se esperaba obtener un nivel de servicio C para todas las vías en estudio, es así que la vía PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc), la vía PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos) y la vía PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín) tienen niveles de servicio D, B y A respectivamente.

4.3. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

De acuerdo a los problemas encontrados de las vías en estudio, se plantean algunas propuestas de solución a corto, mediano y largo plazo. Cabe señalar que las soluciones propuestas serán aplicadas a los niveles de servicio más desfavorables, pues las rutas PE-3N Zona Sureste y PE-08B Zona Noreste ofrecen un nivel de servicio que favorece la circulación estable y fluida por lo que no necesitan una intervención inmediata.

a) A corto plazo

La propuesta de una solución a corto plazo es una medida que se pueden tomar usando las características físicas y componentes actuales que se tienen en el estudio, con la facilidad que se pueden llevar a cabo medidas retroactivas si es que no se obtienen los resultados esperados. Entonces, si sólo se pueden modificar los componentes del tráfico actuales, podemos plantear lo siguiente:

- Ruta Nacional PE-3N, Ingreso Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

En esta vía tenemos un alto volumen de vehículos pesados durante la hora pico, por lo que podemos tomar la medida de restringir el tráfico de camiones (tipo C3, C4), tráiler (tipo C2R2, C2R3, C3R2, C3R3) y semi tráiler (tipo T2S1, T2S2, T2S3, T3S1), para disminuir el porcentaje de vehículos pesados y mejorar el servicio a un nivel C, logrando con esto una circulación más estable y confortable para los usuarios.

Cabe mencionar que, el artículo 3 de la Ley N° 27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre, prescribe que la acción estatal en materia de transporte y tránsito terrestre se orienta a la satisfacción de las necesidades de los usuarios y al resguardo de sus condiciones de seguridad y salud, así como a la protección del ambiente y la comunidad en su conjunto. A su vez, el artículo 16 de esta Ley, señala que el MTC, es el órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, con facultad para dictar los Reglamentos Nacionales establecidos en la Ley, así como aquellos que sean necesarios para el desarrollo del transporte y el ordenamiento del tránsito. Así mismo, en el artículo 18 del Reglamento de Jerarquización Vial, se establece que corresponde a las autoridades competentes imponer las restricciones de acceso al tránsito y/o transporte en este tipo de áreas o vías, que pueden ser aplicadas en forma permanente, temporal o periódica.

Es así que, mediante una Resolución Directoral emitida por el MTC y una coordinación con las empresas mineras, se pueda reajustar los horarios de llegada y salida de transporte pesado de modo que estos vehículos no generen conflictos con el flujo vehicular interurbano en esta vía especialmente en la hora pico encontrada. Por lo tanto, se plantea una restricción inicial de 7:00 a 8:00 am mediante la disposición de señalizaciones verticales restrictivas y con el apoyo de inspectores de tránsito

municipales y la policía nacional. Así mismo, se debe fomentar la utilización de la ruta alterna Kuntur Wasi (Sub Tramo Dv. Chilete – Emp. PE-3N) para ingreso exclusivo de transporte pesado hacia las empresas mineras.

En el Anexo D, se presenta la hoja de cálculo de la solución planteada.

- Ruta Nacional PE-08, Ingreso Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete)

En el caso de esta vía el problema es distinto, pues la hora pico se manifiesta al terminar el día y con un alto porcentaje tanto de mototaxis como de vehículos pesados, por lo que se plantea que los vehículos pesados utilicen la ruta alterna de ingreso a la ciudad de Cajamarca por la zona del Desvío a Pariamarca – Shudal – Av. Alfonso Ugarte que se une a la Av. Héroes del Cenepa en la parte baja de la ciudad, logrando que su porcentaje disminuya en esta hora y mejorando el servicio en un nivel B, con una circulación más estable a altas velocidades.

Es necesario recalcar que, la Municipalidad Provincial de Cajamarca, a través de la gerencia de Infraestructura ha planteado la utilización de esta vía alterna como la nueva vía de ingreso a Cajamarca para el tránsito pesado, con el fin de evitar accidentes de tránsito de la Av. Héroes del Cenepa y frente al rechazo de algunos vecinos de la zona paralela a la quebrada Los Chilcos por donde inicialmente se pensaba hacer esta vía alterna. Entonces, a través de una Ordenanza Municipal se puede restringir el ingreso de vehículos pesados a la ciudad por la vía PE-08 bajo la inspección de efectivos policiales.

La Fig. 48 presenta la ruta alterna de ingreso a la ciudad de Cajamarca por la zona Sur, pasando por las localidades de Shudal, Aylambo y la Av. Alfonso Ugarte hasta la llegar a la intersección con la Av. Héroes del Cenepa.

De igual manera, el Anexo E, presenta la hoja de cálculo para la solución planteada.



Fig. 48. Croquis para la Ruta Alternativa de ingreso a la ciudad de Cajamarca por la zona sur
Fuente: Google Earth, Adaptación propia

b) A mediano plazo

Las soluciones a mediano plazo implican una intervención en las características físicas y componentes de la vía, además de requerir una mayor inversión económica, entonces planteamos que:

- Para la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) además de la solución ya planteada a corto plazo, se puede plantear la medida de modificar el ancho de bermas a 1.00m con lo que se obtendría un nivel cercano a B con mejores velocidades de recorrido y mayor facilidad para realizar maniobras de adelantamiento.

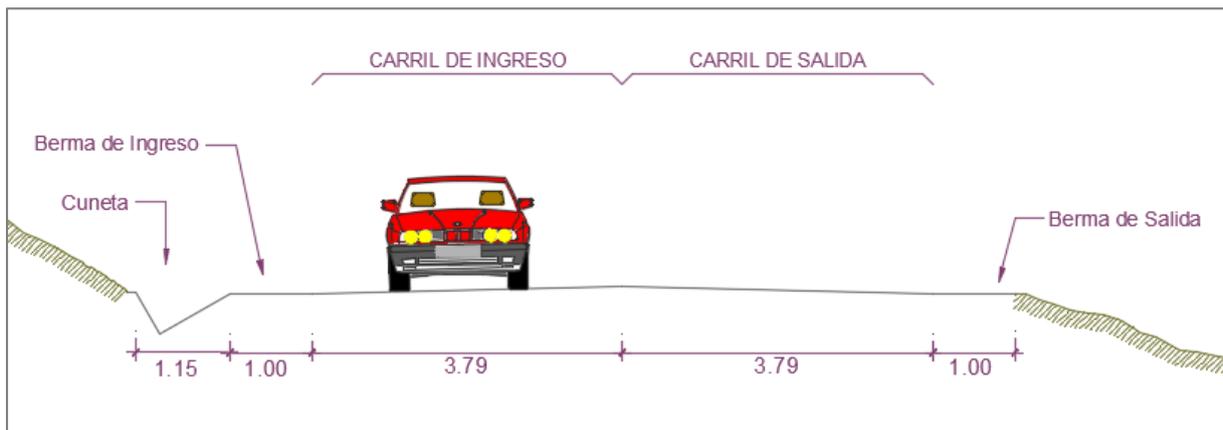


Fig. 49. Sección Transversal Propuesta para la Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

Fuente: Elaboración propia

- En cuanto a la Ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilite), se plantea organizar las horas de llegada y salida a la ciudad de Cajamarca del transporte de carga proveniente de la costa en horarios que no interfieran con el tránsito liviano, además de continuar con el uso de la ruta antes planteada para mantener el nivel de servicio B y a la circulación estable.

c) A largo plazo

Conforme al informe técnico del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el crecimiento vehicular en el mes de noviembre del año 2016 registra que el tráfico de vehículos pesados y ligeros se incrementó en 8.6% respecto a lo registrado en el mismo mes del año 2015, siendo Cajamarca uno de los departamentos que más registra vehículos pesados en el norte del país. Por lo que podemos asegurar que el

incremento anual del parque automotor, contribuirá al flujo vehicular en estas vías cambiando además su serviciabilidad.

Así mismo, las soluciones a largo plazo implican modificaciones de rutas, nueva infraestructura y mayor educación vial además de requerir una inversión económica a gran escala siguiendo una planificación concreta, es por eso que estas medidas se consideran más radicales. Entonces, pueden plantearse algunas posibles alternativas de solución como:

- Debido a que un gran porcentaje del uso de la ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) está formada por vehículos livianos y pesados que se dirigen a las mineras, el estado y éstas empresas podrían invertir en la creación de una nueva ruta para su transporte o en su defecto ampliar la vía con un carril más para uso exclusivo del transporte pesado.
- Similarmente, para mejorar el flujo vehicular en la ruta PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete), se puede plantear la construcción de una vía alterna (como una vía de evitamiento para ingreso a Cajamarca) que sirva para el flujo de transporte pesado con características apropiadas para este tipo de tráfico.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Existen cuatro vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional, entonces la capacidad máxima expresada en vehículos equivalentes de la vía de ingreso PE-3N por la Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc) es de 1615 veh/h y tiene un nivel de servicio D; de igual manera, la capacidad máxima de la vía de ingreso PE-3N por la Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos) es de 1775 veh.equiv/hora y tiene un nivel de servicio B; así mismo, la capacidad máxima de la vía de ingreso PE-08 por la Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete) es de 1552 veh.equiv/hora y tiene un nivel de servicio C; y finalmente la capacidad máxima de la vía de ingreso PE-08B por la Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín) es de 1819 veh.equiv/hora y tiene un nivel de servicio A. (ver Tablas 46 – 47 y Figuras 46 – 47)
- ✓ La composición vehicular de la vía PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Hualgayoc), presenta porcentajes similares de vehículos durante la semana, aunque con mayores proporciones de camionetas y vehículos pesados en la hora pico debido al tránsito hacia las mineras, además el uso de combis en la semana es constante debido al transporte interurbano y turístico. En la Vía PE-3N Zona Sureste (Carretera Cajamarca – San Marcos), por el contrario, los porcentajes de autos, camionetas, buses y camiones es mayor durante la semana, pero las motos lineales, mototaxis y combis se utilizan más durante la hora pico. Además, en la vía PE-08 Zona Sur (Carretera Cajamarca – Chilete), los porcentajes de vehículos livianos durante la hora pico especialmente mototaxis son mayores pero los vehículos pesados tienen mayor intensidad vehicular durante la semana. Sin embargo, en la vía PE-08B Zona Noreste (Carretera Cajamarca – Celendín) las proporciones de vehículos livianos y pesados son similares tanto en la semana como durante la hora pico.
- ✓ Además, el porcentaje de la distribución del tráfico en todas las vías en estudio se encuentra en relación al 50/50% para cada carril, es decir que el volumen

vehicular es constante ambos carriles, lo que nos indica que el existen similares intensidades vehiculares que ingresan y salen de la ciudad de Cajamarca.

- ✓ Uno de los problemas comunes que condicionan el flujo en las vías es el reducido espacio de la vía tanto en carriles como en bermas ya que esto dificulta el tránsito de buses y vehículos pesados en horas de mayor demanda, generando mayores demoras y dificultades de maniobras de rebase. Las mejoras en la capacidad proporcionan una mayor circulación de vehículos en estas vías, incrementando las velocidades de recorrido, la comodidad y disminuyendo el tiempo para rebasar a otros vehículos. Por ello, las soluciones a corto, mediano y largo plazo se plantearon con el fin de mejorar el nivel de servicio y la calidad de circulación en las vías que se encuentran en situaciones más desfavorables, pero que se podrían modificar si es que no se logran obtener los resultados esperados.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar estudios de volúmenes vehiculares más amplios para este tipo de vías, pues el comportamiento de estos flujos puede ser distinto a lo largo de un año. Para facilitar la determinación de velocidades se recomienda utilizar contadores neumáticos, ya que éstos brindan datos más precisos y no necesitan un control permanente.
- ✓ Se recomienda realizar un estudio para la elaboración de un manual de capacidades en carreteras con las características basadas en el flujo vehicular en el Perú para lograr mejores resultados que se asemejen más a nuestra realidad.
- ✓ Se recomienda además, realizar estudios sobre la influencia de la capacidad y serviciabilidad de vías interurbanas sobre el problema del tránsito en la ciudad de Cajamarca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Angaspilco Chinguel, CR. 2014. Nivel de Serviabilidad en las Avenidas: Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, De Los Héroes y San Martín de la ciudad de Cajamarca. Tesis Ing. Cajamarca, Perú, UNC. 138p.
2. Arévalo Maldonado, DF. 2015. Caracterización del Volumen de tránsito vehicular en las vías Loja-Catamayo y Loja Zamora. Tesis Ing. Loja, Ecuador, UTPL. 124p.
3. Bañón Blázquez, L; Beviá García, JF. 2000. Manual de Carreteras v. 1. España. s.e. 409p.
4. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2003. Reglamento Nacional de Vehículos. Lima, Perú. 119p.
5. Ministerio de transportes y Comunicaciones. 2006. Clasificación vehicular y estandarización de Características Registrables Vehiculares. Diario Oficial El Peruano. Separata Especial Ago. 2006:3-20.
6. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2014. Manual de Carreteras – Diseño Geométrico. Lima, Perú. 329p.
7. Ministerio de transportes y Comunicaciones. 2016. Actualización del Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras - SINAC. Diario Oficial El Peruano. Separata Especial Jul. 2016:3-242.
8. Molina Moreira, JJ; King Larreátegui, LS. 2014-2015. Determinación de las características del tránsito enmarcadas en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), Espectro de Carga y Ancho de Vía, en las arterias viales E30 Manta-Portoviejo, E30 Rodeo-Portoviejo, E39A Rocafuerte-Portoviejo y E462B Santa Ana-Portoviejo, que confluyen en la ciudad de Portoviejo. Tesis Ing. Portoviejo, Manabí, Ecuador, UTM. 137p.
9. Naranjo Herrera, VH. 2008. Análisis de la Capacidad y Nivel de Servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Manizales, Colombia, UNCSM. 121p.
10. Palma Álvarez, RI. 2006. Ampliación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2,000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles. Tesis Ing. Guatemala, USCG. 77p.
11. Quiñonez Rosales, ER. 2011. Planeamiento y Diseño Preliminar de Carriles de Sobrepaso para las vías de Primer Orden en Zonas Accidentadas y de Altura. Tesis Ing. Lima, Perú, UNI. 116p.

12. Transportation Research Board. 2000. Highway Capacity Manual. Washington DC, Estados Unidos de América. 636p.
13. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1996. Influencia de las zonas de no rebase en la velocidad de los vehículos. Convenio Interinstitucional No. 1014 de 1995 Instituto Nacional de Vías – Universidad del Cauca. Colombia. 24p.

ANEXOS

Anexo A: Características Geométricas de las vías

Anexo B: Volúmenes Vehiculares

Anexo C: Medición de Velocidades Promedio de Rodaje

Anexo D: Hoja de Cálculo para propuesta de solución Ruta PE-3N Zona Noroeste
(Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

Anexo E: Hoja de Cálculo para propuesta de solución Ruta PE-08 Zona Sur
(Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

**ANEXO A:
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS VÍAS**

ANEXO A-1
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - Hualgayoc)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	NOROESTE	FECHA	Miercoles 26/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 05+000 FINAL: km 06+000	ESTACIÓN	1 Huambocancha

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN

	1ra medición	2da medición	3ra medición	4ta medición	5ta medición	Promedio
Ancho de Calzada (m)	7.60	7.68	7.71	7.26	7.62	7.58
Ancho de Carril (m)	3.80	3.84	3.86	3.63	3.81	3.79
Ancho de Cuneta (m)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Ancho de Berma Ingreso (m)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Ancho de Berma Salida (m)	0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44

2.00 ZONAS DE NO REBASE

Longitud de Líneas			
KM		LONGITUD (m)	CARACTERÍSTICAS
INICIO	FIN		
05+000	05+378	378	Línea de No Rebase
05+378	05+478	100	Línea de Rebase
05+478	06+000	522	Línea de No Rebase

	Longitud	%
Línea de Rebase (m)	100	10%
Línea de No Rebase (m)	900	90%

3.00 PUNTOS DE ACCESO

CANTIDAD	KM	LADO	OBSERVACIÓN
1	05+655	Izquierdo	Ingreso a un Taller de Mecánica
1	05+677	Izquierdo	Desvío a un barrio

Total de Accesos	2	accesos/km
-------------------------	----------	------------

4.00 PENDIENTE

PUNTO	KM		DISTANCIA (m)	PENDIENTE %	OBSERVACIÓN
	INICIO	FIN			
1	05+000	05+144	144	2.4	pendiente positiva
2	05+144	05+276	132	4.7	pendiente positiva
3	05+276	05+326	50	3.5	pendiente positiva
4	05+326	05+456	130	7.3	pendiente positiva
5	05+456	05+556	100	2.8	pendiente positiva
6	05+556	05+696	140	1.5	pendiente positiva
7	05+696	05+794	98	1.8	pendiente negativa
8	05+794	05+923	129	3.4	pendiente positiva
9	05+923	06+000	77	3.8	pendiente positiva

Pendiente Promedio	3.47 %
---------------------------	---------------

5.00 TIPO DE TERRENO

*Clasificación de Terreno por Orografía

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, MTC

TIPO	▲ % Pendiente	Característica
1	0% – 3%	Terreno Plano
2	3% – 6%	Terreno Ondulado
3	6% – 8%	Terreno Accidentado
4	8% <	Terreno Escarpado

→ **Terreno Ondulado**

ANEXO A-2
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - San Marcos)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	SURESTE	FECHA	Lunes 24/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 1260+000 FINAL: km 1259+000	ESTACIÓN	2 Llacanora

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN

	1ra medición	2da medición	3ra medición	4ta medición	5ta medición	6ta medición	Promedio
Ancho de Calzada (m)	7.45	7.25	7.20	6.95	6.90	7.27	7.18
Ancho de Carril (m)	3.73	3.63	3.60	3.48	3.45	3.64	3.59
Ancho de Cuneta (m)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Ancho de Berma Ingreso (m)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Ancho de Berma Salida (m)	3.70	2.25	1.30	1.60	1.60	2.50	2.16

2.00 ZONAS DE NO REBASE

Longitud de Líneas			
KM		LONGITUD (m)	CARACTERÍSTICAS
INICIO	FIN		
1260+000	1259+738	262	Línea de Rebase
1259+738	1259+000	738	Línea de No Rebase

	Longitud	%
Línea de Rebase (m)	262	26.2
Línea de No Rebase (m)	738	73.8

3.00 PUNTOS DE ACCESO

CANTIDAD	KM	LADO	OBSERVACIÓN
1	1259+652	Derecho	Desvío a un pueblo
1	1259+830	Izquierdo	Desvío a un barrio

Total de Accesos	2	accesos/km
-------------------------	----------	------------

4.00 PENDIENTE

PUNTO	KM		DISTANCIA (m)	PENDIENTE %	OBSERVACIÓN
	INICIO	FIN			
1	1260+000	1259+918	82	2.1	pendiente negativa
2	1259+918	1259+800	118	4.8	pendiente positiva
3	1259+800	1259+667	133	10.2	pendiente negativa
4	1259+667	1259+622	45	3.9	pendiente negativa
5	1259+622	1259+406	216	7.2	pendiente positiva
6	1259+406	1259+351	55	3.2	pendiente negativa
7	1259+351	1259+263	88	10.0	pendiente positiva
8	1259+263	1259+000	263	2.0	pendiente positiva

Pendiente Promedio	5.43 %
---------------------------	---------------

5.00 TIPO DE TERRENO

*Clasificación de Terreno por Orografía

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, MTC

TIPO	▲% Pendiente	Característica
1	0% – 3%	Terreno Plano
2	3% – 6%	Terreno Ondulado
3	6% – 8%	Terreno Accidentado
4	8% <	Terreno Escarpado

→ Terreno Ondulado

ANEXO A-3
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

CARRETERA	PE - 08 (Cajamarca - Chilete)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	SUR	FECHA	Martes 25/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 173+000 FINAL: km 172+000	ESTACIÓN	3 Aylambo

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN

	1ra medición	2da medición	3ra medición	4ta medición	Promedio
Ancho de Calzada (m)	6.20	6.57	6.22	6.46	6.36
Ancho de Carril (m)	3.10	3.29	3.11	3.23	3.18
Cuneta (m)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
Berma Ingreso (m)	1.22	1.00	2.90	1.95	1.77
Berma Salida (m)	0.45	0.45	0.45	1.97	0.83

2.00 ZONAS DE NO REBASE

Longitud de Líneas			
KM		LONGITUD (m)	CARACTERÍSTICAS
INICIO	FIN		
173+000	172+920	80	Línea de Rebase
172+920	172+704	216	Línea de No Rebase
172+704	172+398	306	Línea de Rebase
172+398	172+207	191	Línea de No Rebase
172+207	172+100	107	Línea de Rebase
172+100	172+000	100	Línea de No Rebase

	Longitud	%
Línea de Rebase (m)	493	49.3
Línea de No Rebase (m)	507	50.7

3.00 PUNTOS DE ACCESO

CANTIDAD	KM	LADO	OBSERVACIÓN
1	172+650	Derecho	Desvío a una Escuela
1	172+400	Derecho	Ingreso a una Cantero
1	172+160	Derecho	Ingreso a una Cantero

Total de Accesos	3	accesos/km
-------------------------	----------	------------

4.00 PENDIENTE

PUNTO	KM		DISTANCIA (m)	PENDIENTE %	OBSERVACIÓN
	INICIO	FIN			
1	172+000	172+075	75	5.0	pendiente positiva
2	172+075	172+100	25	5.5	pendiente positiva
3	172+100	172+275	175	4.0	pendiente positiva
4	172+275	172+400	125	4.5	pendiente positiva
5	172+400	172+800	400	5.0	pendiente positiva
6	172+800	172+900	100	5.5	pendiente positiva
7	172+900	173+000	100	5.0	pendiente positiva

Pendiente Promedio	4.93 %
---------------------------	---------------

5.00 TIPO DE TERRENO

*Clasificación de Terreno por Orografía

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, MTC

TIPO	▲ % Pendiente	Característica
1	0% – 3%	Terreno Plano
2	3% – 6%	Terreno Ondulado
3	6% – 8%	Terreno Accidentado
4	8% <	Terreno Escarpado

→ **Terreno Ondulado**

ANEXO A-4
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

CARRETERA	PE - 08B (Cajamarca - Celendín)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	NORESTE	FECHA	Jueves 27/10/2016
TRAMO	INICIO: km 186+000 FINAL: km 187+000	ESTACIÓN	4 Puyllucana

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN

	1ra medición	2da medición	3ra medición	4ta medición	Promedio
Ancho de Calzada (m)	6.24	6.38	6.38	6.28	6.32
Ancho de Carril (m)	3.12	3.19	3.19	3.14	3.16
Ancho de Cuneta (m)	1.20	1.25	1.25	1.25	1.24
Ancho de Berma Ingreso (m)	0.80	2.10	1.60	2.50	1.75
Ancho de Berma Salida (m)	0.70	0.80	1.80	0.85	1.04

2.00 ZONAS DE NO REBASE

Longitud de Líneas			
KM		LONGITUD (m)	CARACTERÍSTICAS
INICIO	FIN		
186+000	186+518	518	Línea de Rebase
186+518	186+846	328	Línea de No Rebase
186+846	187+000	154	Línea de Rebase

	Longitud	%
Línea de Rebase (m)	672	67.2
Línea de No Rebase (m)	328	32.8

3.00 PUNTOS DE ACCESO

CANTIDAD	KM	LADO	OBSERVACIÓN
1	Km 186+562	Izquierdo	Desvío hacia un pueblo
1	Km 186+606	Derecho	Ingreso a una Calera

Total de Accesos	2	accesos/km
-------------------------	----------	------------

4.00 PENDIENTE

PUNTO	KM		DISTANCIA (m)	PENDIENTE %	OBSERVACIÓN
	INICIO	FIN			
1	186+000	186+185	185	3.1	pendiente positiva
2	186+185	186+340	155	6.0	pendiente positiva
3	186+340	186+520	180	5.6	pendiente positiva
4	186+520	186+625	105	5.1	pendiente positiva
5	186+625	186+710	85	5.3	pendiente positiva
6	186+710	187+000	290	6.1	pendiente positiva

Pendiente Promedio	5.20 %
---------------------------	---------------

5.00 TIPO DE TERRENO

*Clasificación de Terreno por Orografía

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, MTC

TIPO	▲ % Pendiente	Característica
1	0% – 3%	Terreno Plano
2	3% – 6%	Terreno Ondulado
3	6% – 8%	Terreno Accidentado
4	8% <	Terreno Escarpado

→ **Terreno Ondulado**

**ANEXO B:
VOLÚMENES VEHICULARES**

**ANEXO B-1
RESUMEN DE VOLÚMENES VEHICULARES POR VEHÍCULOS MIXTOS**

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - Hualgayoc)		SENTIDO	E →	S ←
DIRECCIÓN	NOROESTE		FECHA	DEL: 10/10/16	AL: 16/10/2016
TRAMO	INICIO:	km 05+000	FINAL:	km 06+000	ESTACIÓN
					1 Huambocancha

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
7:00 - 7:15	E	76	127		45	98		40	100		41	99		45	107		38	88		41	84	
	S	51			53			60			58			62			50			43		
7:15 - 7:30	E	67	138		43	89		48	82		42	95		56	118		41	91		48	91	
	S	71			46			34			53			62			50			43		
7:30 - 7:45	E	56	111		48	84		31	82		45	88		51	103		42	83		38	80	
	S	55			36			51			43			41			42					
7:45 - 8:00	E	46	93	469	37	88	359	39	86	350	42	91	373	51	95	423	44	85	347	39	80	335
	S	47			51			47			49			44			41			41		
8:00 - 8:15	E	51	96	438	48	86	347	26	68	318	39	85	359	45	91	407	34	77	336	46	83	334
	S	45			38			42			46			43			37					
8:15 - 8:30	E	51	102	402	39	88	346	37	90	326	46	92	356	51	85	374	41	83	328	41	80	323
	S	51			49			46			34			42			39					
8:30 - 8:45	E	42	88	379	42	83	345	33	85	329	46	82	350	36	73	344	40	86	331	47	78	321
	S	46			41			52			36			37			31					
8:45 - 9:00	E	45	77	363	38	76	333	34	68	311	39	80	339	39	84	333	35	71	317	37	74	315
	S	32			38			34			41			45			36			37		
9:00 - 9:15	E	50	88	355	40	75	322	35	70	313	35	70	324	41	83	325	34	73	313	28	71	303
	S	38			35			35			42			39			43					
9:15 - 9:30	E	51	92	345	31	78	312	33	72	295	44	92	324	33	84	324	40	75	305	39	84	307
	S	41			47			39			48			35			45					
9:30 - 9:45	E	36	78	335	34	87	316	28	70	280	27	67	309	41	80	331	59	89	308	40	81	310
	S	42			53			42			40			39			41					
9:45 - 10:00	E	45	100	358	25	79	319	24	68	280	24	68	297	29	65	312	42	88	325	36	70	306
	S	55			54			44			36			46			34					
10:00 - 10:15	E	30	81	351	24	68	312	33	76	286	28	66	293	40	80	309	32	65	317	35	74	309
	S	51			44			43			38			40			39					
10:15 - 10:30	E	42	75	334	42	83	317	32	68	282	32	71	272	25	64	289	34	72	314	30	65	290
	S	33			41			36			39			38			35					
10:30 - 10:45	E	37	74	330	42	74	304	24	56	268	38	89	294	26	60	269	37	81	306	30	62	271
	S	37			32			32			51			34			44			32		
10:45 - 11:00	E	37	79	309	28	54	279	32	67	267	41	79	305	40	79	283	36	72	290	38	68	269
	S	42			26			35			38			39			36					
11:00 - 11:15	E	32	61	289	25	46	257	27	71	262	34	69	308	25	66	269	31	64	289	25	62	257
	S	29			21			44			35			33			37					
11:15 - 11:30	E	25	73	287	24	63	237	28	71	265	30	59	296	21	58	263	43	75	292	34	72	264
	S	48			39			43			29			33			32					
11:30 - 11:45	E	33	78	291	29	60	223	31	70	279	26	56	263	29	73	276	29	67	278	34	71	273
	S	45			31			39			30			44			38			37		
11:45 - 12:00	E	32	68	280	32	71	240	37	69	281	35	70	254	30	60	257	32	64	270	29	65	270
	S	36			39			32			35			30			36					
12:00 - 12:15	E	39	67	286	40	65	259	36	65	275	31	66	251	39	74	265	40	70	276	26	61	269
	S	28			25			29			35			35			30					
12:15 - 12:30	E	40	75	288	24	56	252	25	50	254	36	62	254	42	64	271	30	61	262	34	59	256
	S	35			32			25			26			22			31					
12:30 - 12:45	E	37	58	268	29	67	259	33	62	246	34	71	269	43	75	273	39	77	272	33	60	245
	S	21			38			29			37			32			38					
12:45 - 13:00	E	33	60	260	28	59	247	43	84	261	36	67	266	38	68	281	37	73	281	33	59	239
	S	27			31			41			31			36			26					
13:00 - 13:15	E	44	78	271	38	73	255	37	67	263	37	74	274	43	72	279	35	68	279	32	60	238
	S	34			35			30			37			29			33					

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
13:15 - 13:30	E	31	92	288	38	75	274	30	80	293	38	82	294	48	85	300	35	74	292	30	63	242
	S	61			37			50			44			37			39					
13:30 - 13:45	E	36	73	303	34	69	276	32	70	301	39	72	295	48	78	303	35	67	282	34	65	247
	S	37			35			38			33			30			32					
13:45 - 14:00	E	34	70	313	32	65	282	39	68	285	32	68	296	45	73	308	33	66	275	30	65	253
	S	36			33			29			36			28			33					
14:00 - 14:15	E	41	84	319	31	79	288	46	80	298	42	77	299	48	93	329	55	89	296	35	69	262
	S	43			48			34			35			45			34					
14:15 - 14:30	E	34	68	295	30	65	278	36	66	284	27	55	272	29	65	309	44	82	304	30	66	265
	S	34			35			30			28			36			38					
14:30 - 14:45	E	36	83	305	50	80	289	42	78	292	55	76	276	39	85	316	43	86	323	32	68	268
	S	47			30			36			21			46			43			36		
14:45 - 15:00	E	45	82	317	52	80	304	33	79	303	40	69	277	50	81	324	45	77	334	31	62	265
	S	37			28			46			29			31			32			31		
15:00 - 15:15	E	43	85	318	54	79	304	40	80	303	46	70	270	34	82	313	51	89	334	34	67	263
	S	42			25			40			24			48			38			33		
15:15 - 15:30	E	45	93	343	27	72	311	46	88	325	46	91	306	46	95	343	36	84	336	41	75	272
	S	48			45			42			45			49			48			34		
15:30 - 15:45	E	50	95	355	62	100	331	44	90	337	34	61	291	45	91	349	57	88	338	37	73	277
	S	45			38			46			27			46			31			36		
15:45 - 16:00	E	40	79	352	39	70	321	34	71	329	36	66	288	36	75	343	39	75	336	41	72	287
	S	39			31			37			30			39			36			31		
16:00 - 16:15	E	47	88	355	44	79	321	34	82	331	36	65	283	40	85	346	51	88	335	39	65	285
	S	41			35			48			29			45			37			26		
16:15 - 16:30	E	52	94	356	48	91	340	44	85	328	43	78	270	45	92	343	55	95	346	47	75	285
	S	42			43			41			35			47			40			28		
16:30 - 16:45	E	40	78	339	38	68	308	36	73	311	33	58	267	30	75	327	40	78	336	44	74	286
	S	38			30			37			25			45			38			30		
16:45 - 17:00	E	53	97	357	71	90	328	59	94	334	63	95	296	46	78	330	37	88	349	38	73	287
	S	44			19			35			32			32			51			35		
17:00 - 17:15	E	51	91	360	62	103	352	54	80	332	43	94	325	76	103	348	42	77	338	47	77	299
	S	40			41			26			51			27			35			30		
17:15 - 17:30	E	68	114	380	59	94	355	60	98	345	50	101	348	51	105	361	38	78	321	47	76	300
	S	46			35			38			51			40			29					
17:30 - 17:45	E	61	106	408	49	93	380	43	71	343	44	85	375	40	77	363	44	76	319	34	65	291
	S	45			44			28			41			37			32			31		
17:45 - 18:00	E	57	99	410	57	96	386	52	94	343	54	97	377	73	97	382	52	97	328	49	84	302
	S	42			39			42			43			24			45			35		
18:00 - 18:15	E	56	89	408	51	92	375	94	117	380	50	93	376	42	76	355	44	81	332	50	83	308
	S	33			41			23			43			34			37			33		
18:15 - 18:30	E	63	105	399	50	88	369	60	89	371	53	92	367	34	72	322	47	85	339	44	82	314
	S	42			38			29			39			38			38			38		
18:30 - 18:45	E	63	104	397	59	98	374	54	105	405	53	101	383	74	127	372	57	92	355	51	79	328
	S	41			39			51			48			53			35			28		
18:45 - 19:00	E	65	109	407	56	97	375	74	114	425	57	102	388	50	101	376	46	87	345	40	69	313
	S	44			41			40			45			51			41			29		
19:00 - 19:15	E	71	104	422	54	94	377	62	99	407	57	98	393	45	87	387	43	88	352	37	68	298
	S	33			40			37			41			42			45			31		
19:15 - 19:30	E	53	94	411	41	88	377	48	82	400	54	99	400	56	93	408	46	84	351	41	65	281
	S	41			47			34			45			37			38			24		
19:30 - 19:45	E	61	98	405	54	86	365	57	95	390	51	92	391	47	87	368	45	83	342	32	59	261
	S	37			32			38			41			40			38			27		
19:45 - 20:00	E	48	81	377	38	73	341	45	75	351	42	71	360	36	65	332	31	63	318	30	47	239
	S	33			35			30			29			29			32			17		
VHMD (veh)		469			386			425			400			423			355			335		
TOTAL (veh/dia)		4572			4114			4120			4116			4284			4115			3680		

ANEXO B-2
RESUMEN DE VOLÚMENES VEHICULARES POR VEHÍCULOS MIXTOS

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - San Marcos)		SENTIDO	E →	S ←
DIRECCIÓN	SURESTE		FECHA	DEL: 10/10/16	AL: 16/10/2016
TRAMO	INICIO: km 1260+000	FINAL: km 1259+000	ESTACIÓN	2 Llacanora	

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
7:00 - 7:15	E	24	42		20	40		20	42		20	38		19	37		22	32		19	27	
	S	18			20			22			18			18			10			8		
7:15 - 7:30	E	27	53		26	43		25	51		25	44		22	42		22	39		17	31	
	S	26			17			26			19			20			17			14		
7:30 - 7:45	E	22	53		25	48		16	34		27	50		29	54		21	40		22	37	
	S	31			23			18			23			25			19			15		
7:45 - 8:00	E	31	65	213	29	51	182	21	46	173	26	52	184	24	50	183	20	41	152	21	37	132
	S	34			22			25			26			26			21			16		
8:00 - 8:15	E	28	43	214	15	38	180	17	39	170	24	37	183	22	40	186	18	36	156	17	29	134
	S	15			23			22			13			18			12					
8:15 - 8:30	E	17	41	202	17	40	177	21	43	162	18	39	178	26	41	185	17	33	150	20	36	139
	S	24			23			22			21			15			16			16		
8:30 - 8:45	E	24	36	185	13	27	156	10	24	152	7	22	150	18	32	163	20	36	146	13	37	139
	S	12			14			14			15			14			16			24		
8:45 - 9:00	E	14	29	149	13	29	134	15	36	142	14	30	128	16	30	143	19	34	139	15	31	133
	S	15			16			21			16			14			15			16		
9:00 - 9:15	E	21	35	141	12	31	127	22	34	137	17	33	124	18	32	135	17	36	139	15	34	138
	S	14			19			12			16			14			19			19		
9:15 - 9:30	E	16	28	128	8	22	109	11	29	123	10	22	107	12	24	118	26	55	161	16	37	139
	S	12			14			18			12			12			29			21		
9:30 - 9:45	E	6	26	118	11	21	103	14	31	130	20	28	113	20	31	117	17	39	164	21	40	142
	S	20			10			17			8			11			22			19		
9:45 - 10:00	E	19	34	123	8	12	86	23	35	129	15	32	115	17	33	120	19	35	165	16	41	152
	S	15			4			12			17			16			35			25		
10:00 - 10:15	E	18	33	121	5	13	68	13	27	122	14	34	116	16	33	121	20	33	162	11	29	147
	S	15			8			14			20			17			13			18		
10:15 - 10:30	E	19	40	133	10	23	69	17	32	125	12	30	124	15	35	132	25	45	152	25	39	149
	S	21			13			15			18			20			20			14		
10:30 - 10:45	E	19	57	164	12	42	90	12	35	129	14	28	124	21	31	132	20	43	156	26	42	151
	S	38			30			23			14			10			23			16		
10:45 - 11:00	E	11	22	152	20	38	116	6	18	112	7	17	109	15	39	138	15	35	156	18	38	148
	S	11			18			12			10			24			20			20		
11:00 - 11:15	E	13	40	159	15	29	132	16	36	121	13	23	98	14	23	128	19	39	162	19	37	156
	S	27			14			20			10			9			20			18		
11:15 - 11:30	E	21	39	158	16	32	141	18	30	119	9	21	89	19	31	124	16	32	149	19	37	154
	S	18			16			12			12			12			16			18		
11:30 - 11:45	E	19	34	135	13	24	123	10	33	117	12	28	89	15	31	124	16	37	143	18	32	144
	S	15			11			23			16			16			21			14		
11:45 - 12:00	E	11	26	139	10	28	113	8	23	122	9	26	98	9	18	103	17	34	142	18	33	139
	S	15			18			15			7			9			15			15		
12:00 - 12:15	E	17	36	135	12	35	119	14	30	116	7	24	99	21	32	112	16	34	137	15	26	128
	S	19			23			16			17			11			18			11		
12:15 - 12:30	E	11	28	124	16	25	112	20	27	113	14	28	106	19	31	112	12	39	144	15	31	122
	S	17			9			7			14			12			27			16		
12:30 - 12:45	E	5	18	108	13	26	114	15	29	109	13	28	106	14	30	111	12	28	135	10	24	114
	S	13			13			14			15			16			16			14		
12:45 - 13:00	E	14	42	124	20	39	125	21	40	126	26	39	119	15	37	130	19	41	142	17	33	114
	S	28			19			19			13			22			16			16		
13:00 - 13:15	E	14	30	118	13	29	119	18	33	129	21	31	126	12	28	126	12	30	138	19	29	117
	S	16			16			15			10			16			12			10		

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
13:15 - 13:30	E	24	44	134	24	41	135	22	42	144	23	42	140	24	43	138	22	32	131	17	40	126
	S	20			17			20			19			19			10			23		
13:30 - 13:45	E	15	31	147	16	32	141	17	29	144	15	30	142	17	30	138	12	28	131	14	32	134
	S	16			16			12			13			16			18					
13:45 - 14:00	E	19	38	143	14	33	135	16	28	132	19	34	137	14	36	137	14	32	122	17	28	129
	S	19			19			12			15			22			18					
14:00 - 14:15	E	18	32	145	11	28	134	13	29	128	15	27	133	17	34	143	19	28	120	19	30	130
	S	14			17			16			12			17			9			11		
14:15 - 14:30	E	12	35	136	15	32	125	14	30	116	12	23	114	17	31	131	17	32	120	14	28	118
	S	23			17			16			11			14			15			14		
14:30 - 14:45	E	18	40	145	20	34	127	20	38	125	23	39	123	17	35	136	16	34	126	15	34	120
	S	22			14			18			16			18			18			19		
14:45 - 15:00	E	18	38	145	12	26	120	20	33	130	16	30	119	16	36	136	21	32	126	14	30	122
	S	20			14			13			14			20			11			16		
15:00 - 15:15	E	24	42	155	21	34	126	24	43	144	20	37	129	26	46	148	18	36	134	17	38	130
	S	18			13			19			20			20			18			21		
15:15 - 15:30	E	20	43	163	16	41	135	19	36	150	21	35	141	19	35	152	20	41	143	18	37	139
	S	23			25			17			14			16			21			19		
15:30 - 15:45	E	17	39	162	20	35	136	15	31	143	17	26	128	16	42	159	17	40	149	22	37	142
	S	22			15			16			9			26			17			15		
15:45 - 16:00	E	19	36	160	12	21	131	19	33	143	15	25	123	18	37	160	23	42	159	22	34	146
	S	17			9			14			10			19			19			12		
16:00 - 16:15	E	18	39	157	17	38	135	16	32	132	23	36	122	14	35	149	28	47	170	18	37	145
	S	21			21			16			13			21			19			19		
16:15 - 16:30	E	17	40	154	15	25	119	22	39	135	13	35	122	24	44	158	20	54	183	22	40	148
	S	23			10			17			22			20			34			18		
16:30 - 16:45	E	33	45	160	11	33	117	19	38	142	19	39	135	19	34	150	24	55	198	25	34	145
	S	12			22			19			20			15			31			9		
16:45 - 17:00	E	16	31	155	24	44	140	14	28	137	17	32	142	16	30	143	26	50	206	27	49	160
	S	15			20			14			15			14			24			22		
17:00 - 17:15	E	17	37	153	13	35	137	21	37	142	18	34	140	23	33	141	16	31	190	15	37	160
	S	20			22			16			16			10			15					
17:15 - 17:30	E	20	42	155	13	36	148	13	28	131	24	40	145	23	43	140	33	52	188	17	34	154
	S	22			23			15			16			20			19			17		
17:30 - 17:45	E	20	36	146	22	35	150	23	32	125	18	37	143	23	43	149	20	39	172	19	42	162
	S	16			13			9			19			20			19			23		
17:45 - 18:00	E	22	32	147	13	34	140	27	48	145	26	42	153	24	41	160	29	51	173	17	39	152
	S	10			21			21			16			17			22			22		
18:00 - 18:15	E	13	37	147	21	38	143	28	43	151	19	36	155	23	41	168	33	49	191	18	33	148
	S	24			17			15			17			18			16			15		
18:15 - 18:30	E	17	38	143	15	34	141	20	32	155	20	37	152	26	42	167	28	44	183	23	38	152
	S	21			19			12			17			16			16			15		
18:30 - 18:45	E	18	38	145	17	35	141	17	37	160	22	34	149	24	36	160	20	40	184	20	32	142
	S	20			18			20			12			12			20			12		
18:45 - 19:00	E	20	35	148	17	30	137	18	28	140	20	33	140	21	36	155	21	34	167	16	30	133
	S	15			13			10			13			15			13			14		
19:00 - 19:15	E	19	37	148	15	32	131	22	33	130	20	31	135	22	34	148	20	31	149	10	29	129
	S	18			17			11			11			12			11			19		
19:15 - 19:30	E	15	30	140	19	31	128	14	29	127	12	27	125	22	32	138	18	30	135	16	28	119
	S	15			12			15			15			10			12			12		
19:30 - 19:45	E	19	32	134	11	26	119	14	28	118	15	27	118	18	30	132	18	29	124	16	25	112
	S	13			15			14			12			12			11			9		
19:45 - 20:00	E	18	27	126	13	25	114	16	24	114	16	23	108	14	24	120	18	26	116	16	21	103
	S	9			12			8			7			10			8			5		
VHMD (veh)		214			182			173			184			186			206			162		
TOTAL (veh/día)		1924			1673			1745			1675			1828			1965			1763		

**ANEXO B-3
RESUMEN DE VOLÚMENES VEHICULARES POR VEHÍCULOS MIXTOS**

CARRETERA	PE - 08 (Cajamarca - Chilete)		SENTIDO	E →	S ←		
DIRECCIÓN	SUR		FECHA	DEL: 10/10/16	AL: 16/10/2016		
TRAMO	INICIO:	km 173+000	FINAL:	km 172+000	ESTACIÓN	3	Aylambo

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
7:00 - 7:15	E	33	51		27	46		28	47		27	48		22	48		19	41		20	38	
	S	18			19			19			21			26			22					
7:15 - 7:30	E	25	52		27	45		27	43		24	46		24	49		21	40		19	39	
	S	27			18			16			22			25			19					
7:30 - 7:45	E	35	51		33	51		32	55		23	51		23	52		25	50		22	46	
	S	16			18			23			29			25			24					
7:45 - 8:00	E	26	50	204	25	49	191	22	46	191	26	45	190	18	47	196	24	45	176	21	41	164
	S	24			24			24			19			29			21					
8:00 - 8:15	E	25	42	195	22	39	184	22	38	182	19	37	179	19	42	190	16	35	170	18	36	162
	S	17			17			16			18			23			19					
8:15 - 8:30	E	21	38	181	20	39	178	22	40	179	17	38	171	24	34	175	17	36	166	16	34	157
	S	17			18			18			21			10			19					
8:30 - 8:45	E	28	40	170	27	39	166	22	34	158	20	33	153	16	32	155	18	32	148	14	31	142
	S	12			12			12			13			16			14					
8:45 - 9:00	E	19	37	157	16	38	155	18	37	149	19	36	144	25	43	151	16	35	138	15	34	135
	S	18			22			19			17			18			19					
9:00 - 9:15	E	21	33	148	14	32	148	9	26	137	21	36	143	23	45	154	16	32	135	16	31	130
	S	12			18			17			15			22			16					
9:15 - 9:30	E	25	40	150	23	38	147	23	47	144	18	34	139	16	31	151	16	33	132	16	35	131
	S	15			15			24			16			15			19					
9:30 - 9:45	E	15	36	146	13	32	140	19	39	149	16	35	141	13	34	153	33	50	150	20	40	140
	S	21			19			20			19			21			17					
9:45 - 10:00	E	15	31	140	20	41	143	17	29	141	15	39	144	19	45	155	15	36	151	18	41	147
	S	16			21			12			24			26			21					
10:00 - 10:15	E	20	43	150	12	29	140	23	49	164	19	37	145	17	33	143	24	40	159	22	37	153
	S	23			17			26			18			16			15					
10:15 - 10:30	E	17	40	150	17	36	138	17	32	149	13	41	152	21	49	161	15	39	165	22	39	157
	S	23			19			15			28			28			24					
10:30 - 10:45	E	17	43	157	23	40	146	25	60	170	16	33	150	12	30	157	22	47	162	26	40	157
	S	26			17			35			17			18			25					
10:45 - 11:00	E	21	44	170	11	35	140	14	27	168	21	46	157	23	47	159	21	54	180	21	45	161
	S	23			24			13			25			24			33					
11:00 - 11:15	E	21	46	173	17	33	144	15	26	145	16	31	151	23	45	171	11	29	169	20	37	161
	S	25			16			11			15			22			18					
11:15 - 11:30	E	18	45	178	18	37	145	18	34	147	17	32	142	19	44	166	15	27	157	19	36	158
	S	27			19			16			15			25			12					
11:30 - 11:45	E	16	42	177	14	32	137	13	30	117	13	36	145	16	43	179	12	36	146	19	33	151
	S	26			18			17			23			27			14					
11:45 - 12:00	E	13	38	171	15	41	143	18	35	125	17	34	133	15	35	167	23	46	138	16	36	142
	S	25			26			17			20			23			20					
12:00 - 12:15	E	20	44	169	21	40	150	20	33	132	17	39	141	21	54	176	19	47	156	14	35	140
	S	24			19			13			15			33			28					
12:15 - 12:30	E	16	36	160	17	38	151	19	40	138	18	41	150	29	50	182	24	44	173	19	38	142
	S	20			21			21			23			21			20					
12:30 - 12:45	E	14	34	152	15	36	155	16	35	143	18	37	151	22	43	182	19	39	176	18	41	150
	S	20			21			19			19			21			20					
12:45 - 13:00	E	28	44	158	25	41	155	25	40	148	16	39	156	15	34	181	15	33	163	21	40	154
	S	16			16			15			23			19			18					
13:00 - 13:15	E	24	42	156	19	40	155	17	39	154	20	38	155	25	44	171	20	41	157	20	38	157
	S	18			21			22			18			19			21					

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
13:15 - 13:30	E	21	43	163	21	41	158	22	38	152	19	41	155	24	47	168	23	39	152	17	39	158
	S	22			21			16			23			22								
13:30 - 13:45	E	21	45	174	21	43	165	20	43	160	18	42	160	22	50	175	18	41	154	19	41	158
	S	24			22			23			24			28								
13:45 - 14:00	E	19	38	168	20	40	164	15	37	157	20	38	159	21	41	182	19	37	158	21	43	161
	S	19			20			22			18			20								
14:00 - 14:15	E	20	39	165	17	34	158	19	36	154	16	37	158	21	38	176	16	31	148	20	33	156
	S	19			17			17			21			15								
14:15 - 14:30	E	20	41	163	14	40	157	19	38	154	17	33	150	19	37	166	13	34	143	16	36	153
	S	21			26			19			16			18								
14:30 - 14:45	E	19	38	156	16	35	149	16	36	147	15	33	141	13	36	152	20	39	141	16	35	147
	S	19			19			20			18			23								
14:45 - 15:00	E	21	40	158	17	37	146	20	41	151	20	46	149	19	42	153	20	49	153	24	40	144
	S	19			20			21			26			23								
15:00 - 15:15	E	16	39	158	14	35	147	19	38	153	18	35	147	21	40	155	28	43	165	14	34	145
	S	23			21			19			17			19								
15:15 - 15:30	E	18	40	157	16	44	151	18	39	154	17	37	151	16	38	156	11	39	170	14	37	146
	S	22			28			21			20			22								
15:30 - 15:45	E	21	44	163	26	45	161	23	45	163	30	60	178	20	48	168	17	40	171	20	43	154
	S	23			19			22			30			28								
15:45 - 16:00	E	20	46	169	21	40	164	19	44	166	26	58	190	24	43	169	15	50	172	29	49	163
	S	26			19			25			32			19								
16:00 - 16:15	E	20	42	172	19	43	172	25	41	169	12	34	189	21	43	172	22	54	183	22	50	179
	S	22			24			16			22			32								
16:15 - 16:30	E	28	48	180	20	50	178	19	46	176	25	46	198	26	48	182	23	61	205	25	51	193
	S	20			30			27			21			22								
16:30 - 16:45	E	24	44	180	16	42	175	23	49	180	30	46	184	23	47	181	18	50	215	20	47	197
	S	20			26			26			16			24								
16:45 - 17:00	E	28	50	184	21	41	176	25	45	181	15	49	175	26	51	189	21	40	205	23	45	193
	S	22			20			20			34			25								
17:00 - 17:15	E	30	63	205	20	46	179	28	55	195	23	34	175	24	58	204	22	44	195	22	47	190
	S	33			26			27			11			34								
17:15 - 17:30	E	35	70	227	25	46	175	21	52	201	24	48	177	24	54	210	24	47	181	23	48	187
	S	35			21			31			24			30								
17:30 - 17:45	E	26	55	238	26	50	183	28	49	201	26	51	182	33	72	235	25	49	180	18	47	187
	S	29			24			21			25			39								
17:45 - 18:00	E	39	69	257	28	53	195	18	41	197	25	50	183	35	62	246	28	51	191	23	46	188
	S	30			25			23			25			27								
18:00 - 18:15	E	24	59	253	25	55	204	31	62	204	28	54	203	26	60	248	18	44	191	21	44	185
	S	35			30			31			26			34								
18:15 - 18:30	E	35	73	256	24	57	215	18	50	202	26	53	208	29	63	257	24	47	191	21	42	179
	S	38			33			32			27			34								
18:30 - 18:45	E	21	55	256	27	58	223	34	75	228	29	61	218	36	84	269	35	54	196	28	54	186
	S	34			31			41			32			48								
18:45 - 19:00	E	17	65	252	32	59	229	16	54	241	28	60	228	31	86	293	17	53	198	26	52	192
	S	48			27			38			32			55								
19:00 - 19:15	E	17	54	247	28	58	232	25	66	245	23	61	235	30	82	315	20	55	209	24	53	201
	S	37			30			41			38			52								
19:15 - 19:30	E	22	67	241	19	48	223	20	43	238	24	50	232	27	76	328	19	52	214	18	48	207
	S	45			29			23			26			49								
19:30 - 19:45	E	32	55	241	19	52	217	19	52	215	17	51	222	22	61	305	21	47	207	23	49	202
	S	23			33			33			34			39								
19:45 - 20:00	E	23	42	218	21	36	194	17	40	201	17	38	200	13	43	262	14	37	191	16	35	185
	S	19			15			23			21			30								
VHMD (veh)		257			232			245			235			328			215			207		
TOTAL (veh/día)		2406			2195			2216			2208			2503			2214			2129		

**ANEXO B-4
RESUMEN DE VOLÚMENES VEHICULARES POR VEHÍCULOS MIXTOS**

CARRETERA	PE - 08B (Cajamarca - Celendín)		SENTIDO	E →	S ←		
DIRECCIÓN	NORESTE		FECHA	DEL: 10/10/16	AL: 16/10/2016		
TRAMO	INICIO:	km 186+000	FINAL:	km 187+000	ESTACIÓN	4	Puyllucana

HORA	SENT.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO				
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora			
7:00 - 7:15	E	9	21		8	19		7	19		8	20		10	22		9	19		8	18	
	S	12			11			12			12			10			10					
7:15 - 7:30	E	10	22		11	22		11	23		12	25		10	21		10	24		10	20	
	S	12			11			12			13			11			14			10		
7:30 - 7:45	E	10	17		13	22		11	23		11	24		14	26		12	21		13	22	
	S	7			9			12			13			12			9			9		
7:45 - 8:00	E	28	38	98	8	19	82	7	18	83	10	20	89	17	29	98	18	31	95	8	19	79
	S	10			11			11			10			12			13			11		
8:00 - 8:15	E	16	28	105	11	20	83	8	20	84	10	21	90	9	22	98	10	21	97	11	20	81
	S	12			9			12			11			13			9			9		
8:15 - 8:30	E	14	32	115	7	13	74	12	24	85	9	17	82	7	15	92	15	34	107	7	13	74
	S	18			6			12			8			8			19			6		
8:30 - 8:45	E	20	36	134	10	15	67	8	17	79	7	16	74	10	21	87	8	15	101	10	15	67
	S	16			5			9			9			11			7			5		
8:45 - 9:00	E	14	21	117	8	15	63	6	15	76	8	18	72	9	20	78	19	34	104	8	15	63
	S	7			7			10			11			15			7			7		
9:00 - 9:15	E	10	21	110	10	20	63	10	29	85	9	19	70	5	15	71	15	35	118	10	22	65
	S	11			10			19			10			20			12					
9:15 - 9:30	E	12	19	97	7	17	67	8	22	83	19	40	93	9	20	76	8	25	109	14	26	78
	S	7			10			14			21			11			17			12		
9:30 - 9:45	E	15	35	96	10	27	79	11	26	92	8	21	98	7	14	69	7	24	118	10	23	86
	S	20			17			15			13			7			17			13		
9:45 - 10:00	E	15	29	104	5	17	81	12	32	109	10	23	103	11	21	70	12	27	111	15	25	96
	S	14			12			20			13			10			15			10		
10:00 - 10:15	E	19	37	120	9	21	82	17	37	117	4	19	103	3	9	64	16	29	105	11	27	101
	S	18			12			20			15			6			13			16		
10:15 - 10:30	E	8	18	119	9	25	90	10	20	115	11	28	91	11	23	67	9	28	108	20	30	105
	S	10			16			10			17			12			19			10		
10:30 - 10:45	E	12	27	111	15	31	94	7	23	112	12	29	99	15	35	88	17	36	120	8	15	97
	S	15			16			16			17			20			19			7		
10:45 - 11:00	E	12	22	104	12	20	97	11	23	103	10	19	95	16	35	102	5	34	127	16	27	99
	S	10			8			12			9			19			29			11		
11:00 - 11:15	E	13	28	95	12	25	101	8	26	92	12	23	99	12	28	121	23	33	131	12	20	92
	S	15			13			18			11			16			10			8		
11:15 - 11:30	E	10	21	98	10	21	97	8	19	91	10	20	91	11	23	121	18	32	135	18	26	88
	S	11			11			11			10			12			14			8		
11:30 - 11:45	E	16	32	103	7	21	87	14	28	96	6	18	80	14	28	114	16	29	128	11	25	98
	S	16			14			14			12			14			13			14		
11:45 - 12:00	E	18	33	114	13	27	94	12	22	95	9	21	82	18	33	112	19	33	127	14	26	97
	S	15			14			10			12			15			14			12		
12:00 - 12:15	E	10	23	109	14	24	93	12	23	92	12	25	84	13	26	110	10	19	113	10	22	99
	S	13			10			11			13			13			9			12		
12:15 - 12:30	E	11	21	109	8	18	90	12	23	96	5	18	82	11	22	109	13	26	107	11	23	96
	S	10			10			11			13			11			13			12		
12:30 - 12:45	E	13	32	109	13	30	99	14	29	97	13	29	93	14	29	110	16	28	106	11	25	96
	S	19			17			15			16			15			12			14		
12:45 - 13:00	E	10	19	95	11	23	95	10	20	95	10	22	94	10	19	96	10	23	96	8	17	87
	S	9			12			10			12			9			13			9		
13:00 - 13:15	E	11	24	96	11	25	96	15	26	98	11	24	93	11	24	94	9	23	100	19	40	105
	S	13			14			11			13			13			21					

HORA	SENT.	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO			DOMINGO		
		TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora	TOTAL E/S	TOTAL 15min	TOTAL 1 hora
13:15 - 13:30	E	14	34	109	13	30	108	12	28	103	14	32	107	14	34	106	17	27	101	8	21	103
	S	20			17			16			20			10								
13:30 - 13:45	E	19	30	107	15	29	107	12	23	97	12	22	100	14	28	105	17	31	104	10	23	101
	S	11			14			11			10											
13:45 - 14:00	E	4	12	100	9	17	101	10	21	98	9	17	95	10	17	103	8	20	101	4	19	103
	S	8			8			11			7			12								
14:00 - 14:15	E	9	23	99	8	20	96	11	26	98	5	16	87	12	26	105	12	27	105	11	28	91
	S	14			12			15			14											
14:15 - 14:30	E	11	26	91	14	29	95	14	29	99	13	35	90	12	27	98	13	26	104	12	29	99
	S	15			15			22			15											
14:30 - 14:45	E	14	29	90	17	30	96	15	26	102	17	34	102	13	28	98	12	23	96	10	19	95
	S	15			13			11			15											
14:45 - 15:00	E	15	26	104	9	23	102	9	23	104	5	15	100	14	25	106	20	29	105	12	23	99
	S	11			14			14			10											
15:00 - 15:15	E	10	24	105	14	22	104	17	27	105	21	28	112	22	30	110	7	18	96	10	20	91
	S	14			8			10			7											
15:15 - 15:30	E	18	33	112	8	20	95	10	22	98	10	22	99	8	20	103	9	19	89	6	16	78
	S	15			12			12			12											
15:30 - 15:45	E	11	25	108	10	23	88	12	25	97	12	24	89	12	24	99	22	48	114	11	21	80
	S	14			13			13			12											
15:45 - 16:00	E	11	23	105	11	23	88	18	31	105	22	32	106	21	33	107	17	45	130	11	24	81
	S	12			12			13			10											
16:00 - 16:15	E	22	32	113	12	26	92	24	36	114	26	38	116	25	39	116	21	44	156	12	29	90
	S	10			14			12			12											
16:15 - 16:30	E	24	43	123	21	30	102	24	43	135	22	29	123	19	28	124	21	50	187	12	21	95
	S	19			9			19			7											
16:30 - 16:45	E	16	29	127	15	24	103	15	28	138	20	28	127	16	25	125	24	45	184	13	20	94
	S	13			9			13			8											
16:45 - 17:00	E	10	21	125	19	32	112	6	16	123	22	31	126	16	28	120	22	39	178	8	17	87
	S	11			13			10			9											
17:00 - 17:15	E	22	41	134	17	24	110	24	30	117	17	26	114	10	29	110	16	37	171	11	19	77
	S	19			7			6			9											
17:15 - 17:30	E	11	16	107	18	32	112	32	45	119	18	32	117	12	27	109	28	44	165	10	15	71
	S	5			14			13			14											
17:30 - 17:45	E	8	22	100	16	24	112	18	24	115	15	27	116	16	30	114	18	42	162	10	19	70
	S	14			8			6			12											
17:45 - 18:00	E	11	37	116	14	26	106	15	22	121	13	25	110	20	36	122	14	42	165	11	18	71
	S	26			12			7			12											
18:00 - 18:15	E	14	25	100	18	35	117	29	43	134	17	34	118	15	32	125	7	21	149	7	18	70
	S	11			17			14			17											
18:15 - 18:30	E	5	22	106	13	24	109	12	24	113	20	41	127	10	20	118	9	20	125	10	13	68
	S	17			11			12			21											
18:30 - 18:45	E	11	31	115	18	38	123	18	37	126	11	30	130	7	22	110	17	32	115	12	21	70
	S	20			20			19			15											
18:45 - 19:00	E	22	59	137	13	28	125	13	24	128	13	30	135	9	20	94	13	28	101	18	31	83
	S	37			15			11			17											
19:00 - 19:15	E	10	32	144	16	34	124	16	34	119	18	39	140	20	34	96	7	19	99	10	21	86
	S	22			18			18			21											
19:15 - 19:30	E	15	26	148	14	25	125	15	25	120	7	23	122	8	21	97	13	27	106	15	34	107
	S	11			11			10			16											
19:30 - 19:45	E	12	22	139	10	20	107	13	21	104	10	19	111	11	22	97	11	26	100	9	19	105
	S	10			10			8			9											
19:45 - 20:00	E	11	17	97	9	16	95	11	18	98	9	16	97	10	17	94	9	20	92	20	46	120
	S	6			7			7			7											
VHMD (veh)		148			125			138			140			125			187			120		
TOTAL (veh/dia)		1416			1241			1338			1304			1302			1532			1165		

ANEXO C:
MEDICIÓN DE VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE

ANEXO C-1
MEDICIÓN DE VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - Hualgayoc)	SENTIDO	E → S ←	
DIRECCIÓN	NOROESTE	FECHA	Miércoles	26/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 05+000 FINAL: km 06+000	ESTACIÓN	1	Huambocancha

1.00 TIEMPO MEDIDO

SENTIDO	TIEMPO (segundos)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	7.80	9.17	7.73	7.76	13.02	11.07	11.69	13.92	12.25
	7.92	7.53	8.56	7.89	11.17	9.75	11.10	9.65	12.57
	7.72	7.89	6.58	6.88	12.57	11.64	11.32	9.97	12.48
	5.89	8.23	6.88	5.84	12.36	9.67	10.80	10.32	
	5.83	8.36	7.09	6.84			10.18		
	5.40	8.27	8.77	7.41			9.99		
S A L I D A	10.70	17.45	6.33	9.52	9.04	17.20	10.81	19.71	14.41
	9.60	18.22	8.81	8.73	10.57	12.44	12.52	10.11	15.27
	8.94	17.82	9.17	8.61	9.67	12.84	10.98	12.78	14.23
	9.31	22.80	7.94	7.66	9.88	12.95	16.80	13.24	
	8.41	18.81	6.63	9.60			10.24		
	8.80	13.30	7.68	8.84			15.23		

Volumen observado	90	vehículos
-------------------	----	-----------

2.00 VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE

Longitud	0.1	Km
Tiempo en:		segundos

SENTIDO	VELOCIDAD (km/h)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	46.15	39.26	46.57	46.39	27.65	32.52	30.80	25.86	29.39
	45.45	47.81	42.06	45.63	32.23	36.92	32.43	37.31	28.64
	46.63	45.63	54.71	52.33	28.64	30.93	31.80	36.11	28.85
	61.12	43.74	52.33	61.64	29.13	37.23	33.33	34.88	
	61.75	43.06	50.78	52.63			35.36		
	66.67	43.53	41.05	48.58			36.04		
S A L I D A	33.64	20.63	56.87	37.82	39.82	20.93	33.30	18.26	24.98
	37.50	19.76	40.86	41.24	34.06	28.94	28.75	35.61	23.58
	40.27	20.20	39.26	41.81	37.23	28.04	32.79	28.17	25.30
	38.67	15.79	45.34	47.00	36.44	27.80	21.43	27.19	
	42.81	19.14	54.30	37.50			35.16		
	40.91	27.07	46.88	40.72			23.64		
Prom. E	54.63	43.84	47.91	51.20	29.41	34.40	33.29	33.54	28.96
Prom. S	38.97	20.43	47.25	41.01	36.89	26.43	29.18	27.31	24.62

E	Velocidad (veh. Livianos)	49.40 km/h
S	Velocidad (veh. Livianos)	36.92 km/h
Promedio	Velocidad (veh. Livianos)	43.16 km/h

**ANEXO C-2
MEDICIÓN DE VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE**

CARRETERA	PE - 3N (Cajamarca - San Marcos)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	SURESTE	FECHA	Miércoles 26/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 1260+000 FINAL: km 1259+000	ESTACIÓN	2 Llacanora

1.00 TIEMPO MEDIDO

SENTIDO	TIEMPO (segundos)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	6.40	7.31	4.51	4.34	4.66	8.57	11.47	10.08	11.25
	5.14	11.10	5.97	5.20	5.32	7.44	10.99	12.02	10.68
	5.78	10.40	4.50	6.63	4.96	8.29	9.37	9.57	11.42
	6.11	9.35	5.11	5.43	5.24	8.17	13.83	9.38	
	6.02	9.14	5.75	5.85			7.76		
	6.81	8.88	4.22	5.18			9.06		
S A L I D A	6.72	12.85	5.88	6.36	5.89	9.85	10.43	9.88	12.54
	6.63	14.42	6.42	5.91	6.72	10.03	13.30	9.51	11.75
	5.38	15.72	7.61	5.82	6.14	7.85	11.18	10.10	11.64
	6.42	12.45	6.15	6.52	6.38	8.52	13.64	9.74	
	7.07	12.87	5.77	4.79			9.07		
	6.87	12.77	6.14	5.71			9.48		

Volumen observado	90	vehículos
-------------------	----	-----------

2.00 VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE

Longitud	0.1	Km
Tiempo en:		segundos

SENTIDO	VELOCIDAD (km/h)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	56.25	49.25	79.82	82.95	77.25	42.01	31.39	35.71	32.00
	70.04	32.43	60.30	69.23	67.67	48.39	32.76	29.95	33.71
	62.28	34.62	80.00	54.30	72.58	43.43	38.42	37.62	31.52
	58.92	38.50	70.45	66.30	68.70	44.06	26.03	38.38	
	59.80	39.39	62.61	61.54			46.39		
	52.86	40.54	85.31	69.50			39.74		
S A L I D A	53.57	28.02	61.22	56.60	61.12	36.55	34.52	36.44	28.71
	54.30	24.97	56.07	60.91	53.57	35.89	27.07	37.85	30.64
	66.91	22.90	47.31	61.86	58.63	45.86	32.20	35.64	30.93
	56.07	28.92	58.54	55.21	56.43	42.25	26.39	36.96	
	50.92	27.97	62.39	75.16			39.69		
	52.40	28.19	58.63	63.05			37.97		
Prom. E	60.03	39.12	73.08	67.30	71.55	44.47	35.79	35.42	32.41
Prom. S	55.70	26.83	57.36	62.13	57.44	40.14	32.97	36.72	30.09

E	Velocidad (veh. Livianos)	59.88 km/h
S	Velocidad (veh. Livianos)	50.50 km/h
Promedio	Velocidad (veh. Livianos)	55.19 km/h

ANEXO C-3
MEDICIÓN DE VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE

CARRETERA	PE - 08 (Cajamarca - Chilite)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	SUR	FECHA	Martes 25/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 173+000 FINAL: km 172+000	ESTACIÓN	3 Aylambo

1.00 TIEMPO MEDIDO

TIEMPO (segundos)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	9.40	9.14	7.18	7.13	8.23	7.55	12.71	9.30	14.12
	10.30	8.89	5.98	5.58	7.68	7.89	19.05	10.68	13.58
	7.65	10.80	6.71	8.90	7.45	8.93	23.56	12.85	12.86
	6.19	8.70	7.61	6.58		10.66	11.70	12.26	
	7.77	9.32	8.20	6.19		7.58	12.18		
	8.69	10.61	9.08	5.93			17.25		
S A L I D A	7.42	15.66	6.55	4.32	9.42	10.91	12.03	10.11	14.47
	13.68	18.81	7.72	5.11	8.64	11.75	9.10	12.24	14.21
	11.23	12.35	7.24	5.09	9.24	10.28	10.82	12.01	13.20
	6.61	13.37	6.58	8.75		9.65	11.75	11.59	
	7.82	12.91	6.49	8.32		11.01	11.68		
	8.55	18.20	7.40	6.82			10.45		

Volumen observado	90	vehículos
-------------------	----	-----------

2.00 VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE

Longitud	0.1 Km
Tiempo en:	segundos

VELOCIDAD (km/h)									
SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
E N T R A D A	38.30	39.39	50.14	50.49	43.74	47.68	28.32	38.71	25.50
	34.95	40.49	60.20	64.52	46.88	45.63	18.90	33.71	26.51
	47.06	33.33	53.65	40.45	48.32	40.31	15.28	28.02	27.99
	58.16	41.38	47.31	54.71		33.77	30.77	29.36	
	46.33	38.63	43.90	58.16		47.49	29.56		
	41.43	33.93	39.65	60.71			20.87		
S A L I D A	48.52	22.99	54.96	83.33	38.22	33.00	29.93	35.61	24.88
	26.32	19.14	46.63	70.45	41.67	30.64	39.56	29.41	25.33
	32.06	29.15	49.72	70.73	38.96	35.02	33.27	29.98	27.27
	54.46	26.93	54.71	41.14		37.31	30.64	31.06	
	46.04	27.89	55.47	43.27		32.70	30.82		
	42.11	19.78	48.65	52.79			34.45		
Prom. E	44.37	37.86	49.14	54.84	46.31	42.98	23.95	32.45	26.67
Prom. S	41.58	24.31	51.69	60.28	39.61	33.73	33.11	31.51	25.83

E	Velocidad (veh. Livianos)	46.55 km/h
S	Velocidad (veh. Livianos)	44.47 km/h
Promedio	Velocidad (veh. Livianos)	45.51 km/h

ANEXO C-4
MEDICIÓN DE VELOCIDADES PROMEDIO DE RODAJE

CARRETERA	PE - 08B (Cajamarca - Celendín)	SENTIDO	E → S ←
DIRECCIÓN	NORESTE	FECHA	Jueves 27/10/2016
KILOMETRAJE	INICIO: km 186+000 FINAL: km 187+000	ESTACIÓN	4 Puyllucana

1.00 TIEMPO MEDIDO

SENTIDO	TIEMPO (segundos)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
ENTRADA	7.61	12.73	8.85	6.94	7.65	7.10	6.12	12.58	12.67
	4.78	7.94	5.91	8.93	7.58	8.45	6.07	13.22	12.59
	5.81	7.78	6.49	6.78	7.89	7.68	9.50	12.04	12.47
	4.98	8.32	5.87	7.53	8.11	7.29	6.28	11.08	
	5.28	8.72	6.36	6.81			7.52	12.63	
	5.39		6.77	6.38			8.63		
SALIDA	8.17	17.32	7.55	6.85	8.11	6.83	7.59	14.61	12.57
	7.64	12.59	8.81	7.62	8.10	7.58	8.52	13.28	12.69
	11.41	15.82	7.66	7.64	8.24	7.69	7.90	13.49	13.47
	10.31	11.71	6.72	7.28	8.39	6.72	8.61	12.75	
	7.58	14.70	6.63	7.33			8.44	12.46	
	7.64		6.74	6.94			8.60		

Volumen observado	90	vehículos
-------------------	----	-----------

2.00 VELOCIDAD PROMEDIO DE RODAJE

Longitud	0.1	Km
Tiempo en:		segundos

SENTIDO	VELOCIDAD (km/h)								
	MOTO		AUTO	CAMIONETA	MICRO	BUS	CAMIÓN	SEMI TRÁILER	TRÁILER
	LINEAL	MOTOTAXI							
ENTRADA	47.31	28.28	40.68	51.87	47.06	50.70	58.82	28.62	28.41
	75.31	45.34	60.91	40.31	47.49	42.60	59.31	27.23	28.59
	61.96	46.27	55.47	53.10	45.63	46.88	37.89	29.90	28.87
	72.29	43.27	61.33	47.81	44.39	49.38	57.32	32.49	
	68.18	41.28	56.60	52.86			47.87	28.50	
	66.79		53.18	56.43			41.71		
SALIDA	44.06	20.79	47.68	52.55	44.39	52.71	47.43	24.64	28.64
	47.12	28.59	40.86	47.24	44.44	47.49	42.25	27.11	28.37
	31.55	22.76	47.00	47.12	43.69	46.81	45.57	26.69	26.73
	34.92	30.74	53.57	49.45	42.91	53.57	41.81	28.24	
	47.49	24.49	54.30	49.11			42.65	28.89	
	47.12		53.41	51.87			41.86		
Prom. E	65.31	40.89	54.69	50.40	46.14	47.39	50.49	29.35	28.63
Prom. S	42.04	25.47	49.47	49.56	43.86	50.15	43.60	27.11	27.91

E	Velocidad (veh. Livianos)	52.82 km/h
S	Velocidad (veh. Livianos)	41.64 km/h
Promedio	Velocidad (veh. Livianos)	47.23 km/h

ANEXO D:
HOJA DE CÁLCULO PARA PROPUESTA DE SOLUCIÓN
RUTA PE-3N ZONA NOROESTE
(Carretera Cajamarca – Hualgayoc)

PROPUESTA DE SOLUCIÓN A CORTO PLAZO

Información General

Ruta:	PE-3N	
Zona:	Noroeste	
Estación:	1	Huambocancha

Datos de Entrada

<p>S ←</p> <p>E →</p>	----- ancho de berma	0.44	m	Volumen ambos sentidos ¹ V 421 veh/h Distribución direccional 50% Factor de hora pico ² PHF 0.90 % Camiones ³ P _C 3% % Veh. Recreacionales P _R 0% % zonas de no rebase P _{ZNR} 90% Pendiente 3.47% Tipo de Terreno Ondulado
	----- ancho de carril	3.79	m	
	----- ancho de carril	3.79	m	
	----- ancho de berma	0.55	m	
	Promedio Ancho de bermas	0.50		
Longitud del tramo	L _T	1.00	km	

Velocidad promedio de viaje

1.00 Determinación de la Velocidad de Flujo Libre (FFS)

CASO 1

(Medición en Campo)

Velocidad según medición de campo	S _{FM}	43.16	km/h
Volumen observado	V _f	90	veh/h
Velocidad de Flujo Libre	FFS	44	km/h
FFS = S _{FM} + 0,0125 (V _f / f _{HV})			
Por lo tanto,	FFS =	44	km/h

CASO 2

(Estimada)

Vel. Flujo Libre de referencia	BFFS	60	km/h
Ajuste por ancho de carril y berma	f _{LS}	6.8	Tabla 11
Ajuste por cantidad de accesos	f _A	1.3	Tabla 12
Velocidad de Flujo Libre	FFS	52	km/h

2.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v_p)

Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.71	Tabla 13
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.96	
Equivalente en autos para camiones	E _C	2.5	Tabla 15
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.1	Tabla 15
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	689	autos/h

$$v_p = \frac{v}{PHF + f_G + f_{HV}}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

3.00 Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)

Ajuste por zonas de no rebase	f _{np}	6.7	Tabla 17
Velocidad promedio de viaje	ATS	29	km/h

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$$

Porcentaje de tiempo perdido por seguimiento

1.00 Determinación de la Demanda de tasa de flujo (v_p)

Factor de ajuste por pendiente	f _G	0.77	Tabla 14
Factor de ajuste por vehículos pesados	f _{HV}	0.98	
Equivalente en autos para camiones	E _C	1.8	Tabla 16
Equivalente en autos p/veh.recreacionales	E _R	1.0	Tabla 16
Volumen equivalente (ambos sentidos)	v _p	623	autos/h

$$v_p = \frac{v}{PHF + f_G + f_{HV}}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

2.00 Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)

Ajuste p/distr.Traf. y zonas no rebase	f _{d/NP}	23.9	Tabla 18
% tiempo perdido de seguimiento ref.	BPTSF	42.14%	
Porcentaje tiempo de seguimiento	PTSF	66.00%	

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Nivel de Servicio

Se determina el Nivel de Servicio de la vía de acuerdo a la Tabla 19

Nivel de Servicio	NDS	C	Tabla 19
-------------------	-----	---	----------

Notas

- Volumen en ambos sentidos ajustado por restricción de vehículos pesados (De 469veh/h a 421veh/h).
- PHF calculado de acuerdo al nuevo volumen vehicular (De 0.85 a 0.90)
- Porcentaje de Camiones reducido por restricción de vehículos pesados (De 13.01% a 3%).

ANEXO E:
HOJA DE CÁLCULO PARA PROPUESTA DE SOLUCIÓN
RUTA PE-08 ZONA SUR
(Carretera Cajamarca – Chilete)

