

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



“Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

Autor: Bach. José Eleazar Villanueva Calderón

Asesor: Maestro en Transporte Ing. Alejandro Cubas Becerra

CAJAMARCA – PERÚ

2024



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Civil **José Eleazar Villanueva Calderón** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor M. en T. Alejandro Cubas Becerra con el software antiplagio Turnitin que identifica **18% (dieciocho por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:313485159**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 29 de enero del 2024

Documento firmado digitalmente

Dra. Yvonne Katherine Fernández León
Directora Unidad de Investigación Facultad de Ingeniería

Cc.
Archivo
c01824jv



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAJ 20148258001 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 29/01/2024 20:20:26-0500

Copyright © 2024

José Eleazar Villanueva Calderón

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis padres Dora Calderón López y Pepe Villanueva Aguilar, quienes con su amor sincero e incondicional han sido mi principal motivación para seguir en el camino de la superación.

El autor

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además a todos mis maestros ya que ellos me enseñaron a valorar los estudios y a superarme cada día, también agradezco a mis padres porque ellos estuvieron en los días más difíciles de mi vida como estudiante.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4 HIPÓTESIS	3
1.4.1 Hipótesis general:	3
1.4.2 Hipótesis nula:	3
1.5 VARIABLES	3
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	3
1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA	4
1.8 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.9 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.9.1 Espacial	6
1.9.2 Temporal	7

1.9.3	Económica	7
1.10	LIMITACIONES	7
1.11	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.11.1	Objetivo general	7
1.11.2	Objetivos específicos	7
1.12	POBLACIÓN Y MUESTRA	8
1.12.1	Población	8
1.12.2	Muestra	8
1.12.3	Criterios de inclusión	9
1.12.4	Unidad de análisis.....	10
1.13	CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS	11
1.13.1	Capítulo I: Introducción.....	11
1.13.2	Capítulo II: Marco teórico.....	11
1.13.3	Capítulo III: Materiales y métodos.....	11
1.13.4	Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados.....	11
1.13.5	Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		12
2.1	ANTECEDENTES	12
2.1.1	Antecedentes internacionales	12
2.1.2	Antecedentes nacionales	13
2.1.3	Antecedentes locales	14
2.2	BASES TEÓRICAS	15
2.2.1	Ingeniería del transporte	15

2.2.2	Levantamiento topográfico.....	15
2.2.3	Carreteras de dos carriles.....	17
2.2.4	El vehículo.....	17
2.2.5	El sistema vial.....	21
2.2.6	Características del flujo vehicular.....	26
A.	Volumen o intensidad de tránsito(Q).....	27
B.	Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	28
C.	Factor de Hora Pico (PHF).....	28
D.	Velocidad.....	29
D.1.	Velocidad promedio de viaje.....	29
D.2.	Velocidad de flujo libre.....	29
E.	Demora.....	29
F.	Índice de congestión (CI):.....	30
2.3	CAPACIDAD DE UNA VÍA.....	30
2.3.1	Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio.....	30
2.3.2	Relación v/c y su uso.....	33
2.3.3	Condiciones prevalecientes del tránsito que afectan la capacidad.....	33
2.3.4	Condiciones prevalecientes del control que afectan la capacidad.....	35
2.4	NIVEL DE SERVICIO.....	35
2.4.1	Medida de efectividad.....	38
2.4.2	Datos de entrada necesarios y valores por defecto.....	38
2.4.3	Volúmenes de demanda y caudales.....	39
2.4.4	Alcance de la metodología.....	40

2.4.5	Limitaciones de la metodología	40
2.5	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO	41
2.5.1	Paso 1: Datos de entrada	41
2.5.2	Paso 2: Estimación de la FFS	41
2.5.3	Paso 3: Ajuste de la demanda para ATS	43
2.5.4	Paso 4: Estimación del ATS.....	46
2.5.5	Paso 5: Ajuste del flujo para el cálculo del PTSF	48
2.5.6	Paso 6: Cálculo del PTSF o porcentaje de tiempo de seguimiento.	49
2.5.7	Estimación del PFFS	51
2.5.8	Determinación del nivel de servicio y la capacidad.....	51
2.6	AFOROS	53
2.6.1	Definición de términos básicos	53
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		55
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	55
3.2	PERIODO DE ESTUDIO.....	58
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	58
3.3.1	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS.....	58
3.3.2	INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA	62
3.4	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.4.1	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	64
3.4.2	TOMA DE VELOCIDADES.....	66
3.4.3	RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO.....	73

3.4.4	Procesamiento de datos a partir del aforo vehicular y del levantamiento topográfico	74
3.4.5	Metodología de la investigación.....	75
3.4.6	Diseño de la investigación.....	75
3.5	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VIA.....	76
3.5.1	Descripción de los accesos.....	77
3.6	ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	79
3.6.1	Aforo vehicular.....	79
3.6.2	Composición vehicular.....	87
3.6.3	Volumen horario de máxima demanda para periodos de 15 minutos, tasa de flujo horario y FHMD.....	89
3.7	NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA DE DOS CARRILES	92
3.7.1	1° Paso: Datos de entrada.....	92
3.7.2	2° Paso: Ajuste de la velocidad de flujo libre FFS.....	93
3.7.3	3° Paso: Ajuste ATS.....	94
3.7.4	5° Paso: Ajuste del flujo para el cálculo del PTSF	96
3.7.5	6° Paso: Cálculo del PTSF o porcentaje de tiempo de seguimiento.....	99
3.7.6	7° Paso: Determinación del nivel de servicio	101
3.7.7	Determinación de la capacidad de cada carril.....	102
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		103
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
4.1.1	<i>Características geométricas de los segmentos analizados.....</i>	103
4.1.2	<i>Análisis del conteo vehicular</i>	103

4.1.3	<i>Características del tráfico</i>	104
4.1.1.1	<i>Hora pico, volumen horario de máxima demanda, $Q_{15max.}$, factor de hora pico</i>	104
4.1.1.2	<i>Velocidad de flujo libre</i>	105
4.1.1.3	<i>Porcentaje de tiempo de seguimiento, PTSF</i>	105
4.1.4	<i>Distribución del tráfico por carril</i>	105
	<i>Acceso 1 zona norte (carretera Cajamarca - Cajabamba)</i>	106
4.1.5	<i>Composición vehicular</i>	108
4.1.6	<i>Capacidad y nivel de servicio</i>	109
4.2	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	109
4.3	DISCUSIÓN COMPARATIVA DE RESULTADOS	110
4.3.1	<i>Volumen vehicular Carril 1 (sentido Cajamarca- Cajabamba)</i>	110
4.3.2	<i>Volumen vehicular Carril 2 (sentido Cajabamba- Cajamarca</i>	111
4.3.3	<i>Volumen vehicular Carril 3 (sentido La Libertad - Cajabamba)</i>	112
4.3.4	<i>Volumen vehicular Carril 4 (sentido Cajabamba – La Libertad)</i>	113
	CAPITULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
	ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	<i>Clasificación vehicular categoría L y M</i>	19
Tabla 2:	<i>Clasificación vehicular categoría N y O</i>	20
Tabla 3:	<i>Clasificación de carreteras por Orografía</i>	22

<i>Tabla 4: Clasificación de carretera por demanda</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5: Niveles de servicio para carreteras.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6: Datos de entrada</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7: Ajuste debido al ancho de carril y ancho de berma (fLS).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8: Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (fA)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9: Factor de ajuste por pendiente.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10: Factor de ajuste por pendiente.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11: Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento, $f_{np,ATS}$.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12: Factor de ajuste por pendiente.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 13: Factor de ajuste por pendiente y volumen de demanda $V_{vph,veh/h}$</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14: Factor de ajuste por pendiente.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 15: Coeficientes “a” y “b” para determinar BPTSF</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 16: Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento, $f_{np,PTSF}$.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 17: Criterio de nivel de servicio para carreteras de dos carriles</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 18: Coordenadas UTM de las zonas de investigación.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 19: Coordenadas UTM de las zonas de investigación.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20: cuadro de observación – terreno ondulado.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 21: cuadro de observación – terreno plano.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 22: segmentos de las zonas de investigación.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 23: Descripción geométrica de la vía PE - 3N - Cajamarca – Cajabamba.</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 24: Descripción geométrica de la vía PE - 3N - La Libertad - Cajabamba.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 25: Volumen vehicular diario carril 01 (sentido :Cajamarca - Cajabamba)</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 26: Volumen vehicular diario carril 02 (sentido :Cajabamba - Cajamarca)</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 27: Volumen vehicular diario carril 03 (sentido :La libertad - Cajabamba)</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 28: Volumen vehicular diario carril 04 (sentido :Cajabamba - La libertad).....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 29: Cuadro resumen conteo vehicular</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 30: Resumen conteo vehicular Acceso 01.....</i>	<i>86</i>

<i>Tabla 31: Resumen conteo vehicular Acceso 02.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 32: Resumen vehículos por hora de máxima demanda por carril.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 33: Cantidad de vehículos en VHMD.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 34: Cantidad de vehículos en VHMD.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 35: Cantidad de vehículos en VHMD.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 36: Cantidad de vehículos en VHMD.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 37: Datos de entrada, de los accesos en estudio.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 38: Características geométricas de los carriles estudiados.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 39: Cuadro resumen conteo vehicular por carriles.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 40: Cuadro resumen por tipo de vehículos.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 41: Cuadro resumen de porcentaje de participación por tipo de vehículos.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 42: Resumen de hora pico y volumen horario de máxima demanda.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 43: Resumen de velocidad de flujo libre.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 44: Resumen del porcentaje del tiempo de seguimiento.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 45: Distribución direccional del acceso 1.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 46: Distribución direccional del acceso 2.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 47: Volumen vehicular diario del Cajamarca-Cajabamba. carril 01.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 48: Volumen vehicular diario del Cajabamba-Cajamarca. carril 02.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 49: Volumen vehicular diario del La Libertad-Cajabamba. carril 03.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 50: Volumen vehicular diario del Cajabamba – La Libertad. carril 04.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 51: Nivel de servicio de cada carril.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 52: capacidad para cada carril.....</i>	<i>109</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vías de Acceso a la provincia de Cajabamba.....	6
Figura 2: Razón de flujo vs velocidad promedio de viaje.....	31
Figura 3: Razón de flujo vs porcentaje de tiempo de seguimiento	31
Figura 4: Mapa del Perú.....	55
Figura 5: Mapa de la región de Cajamarca	56
Figura 6: Ubicación de los accesos en estudio.....	57

Figura 7: Formato de conteo vehicular	59
Figura 8: Formato de recolección de velocidades	60
Figura 9: Formato de recolección de coordenadas	61
Figura 10: Formato de recolección de coordenadas	63
Figura 11: Formato de recolección de coordenadas	64
Figura 12: Inicio de zonas de no adelantamiento	66
Figura 13: Toma de velocidades en campo	67
Figura 14: sentido del flujo vehicular por carril.....	74
Figura 15: Flujograma de la metodología utilizada en la investigación.....	76
Figura 16: Acceso n°01 - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Cajabamba) .	77
Figura 17: Acceso n°02 - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera La Libertad – Cajabamba)	78
Figura 18: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo.....	82
Figura 19: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo.....	83
Figura 20: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo.....	84
Figura 21: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo.....	85
Figura 22: Histograma volumen de máxima demanda, domingo ,en los accesos	86
Figura 23: Volumen vehicular diario por carril	87
Figura 24: Composición vehicular en hora de máxima demanda ; acceso 01 - carril 01 (sentido: Cajamarca - Cajabamba)	87
Figura 25: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 01 - carril 02 (sentido: Cajabamba - Cajamarca)	88
Figura 26: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 02 - carril 03 (sentido: La Libertad - Cajabamba)	88
Figura 27: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 02 - carril 04 (sentido: Cajabamba – La Libertad).....	89
Figura 28: Volumen diario por carril del acceso 1 zona norte (carretera Cajamarca- Cajabamba)	106

Figura 29: Volumen diario por carril del acceso 2 zona sur (carretera La Libertad- Cajabamba)	107
Figura 30: <i>Composición vehicular del carril 1 (sentido Cajamarca-Cajabamba)</i>	110
Figura 31: Composición vehicular del carril 2 (sentido Cajabamba-Cajamarca)	111
Figura 32: Composición vehicular del carril 3 (sentido La Libertad-Cajabamba)	112
Figura 33: Composición vehicular del carril 4 (sentido Cajabamba-La Libertad)	113

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HCM	: Highway Capacity Manual.
NS	: Nivel de servicio.
IMD	: Índice medio diario.
IMDA	: Índice medio diario anual.
FHP	: Factor hora pico.
Ec	: Vehículos ligeros equivalentes a camiones.
Er	: Vehículos ligeros equivalentes a vehículos recreacionales.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
BFFS	: Velocidad base de diseño.

TN	: Terreno Natural.
SUTRAN	: Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías.
FFS	: Velocidad de flujo libre.
PTSF	: Porcentaje de tiempo de seguimiento.
MINAM	: Ministerio del ambiente.
DG	: Diseño geométrico.
DS	: Decreto supremo.
VMR	: Velocidad media de recorrido.
MDCNPBVT	: Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.
SINAC	: Sistema nacional de carreteras.
LOS	: Nivel de servicio
ATS	: Velocidad de viaje promedio
BPTSF	: Porcentaje base de tiempo de seguimiento

RESUMEN

La congestión vehicular debido a la alta demanda de transporte interprovincial influye seriamente en la serviciabilidad de las vías de accesos a la ciudad de Cajabamba reflejándose en mayores tiempos de viaje, inseguridad e incomodidad en los usuarios que se movilizan tanto dentro como fuera de la ciudad. El objetivo general de la investigación fue determinar la capacidad y el nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N del año 2023 para lo cual se recabo información de campo en una semana, comenzando el día domingo 05/03/2023 hasta el día sábado 11/03/2023, para ello se realizó el levantamiento topográfico, aforo vehicular manual y mediciones de características geométricas, teniendo como acceso 01 al que sirve como ingreso a la ciudad de Cajabamba desde la ciudad de Cajamarca, siendo una vía de dos carriles en sentido contrario carril 1 y carril 2 y acceso 02 ingreso a Cajabamba desde la ciudad de Huamachuco siendo una vía de dos carriles en sentido contrario carril 3 y carril 4 ; se determinaron las condiciones de tráfico; día de máxima demanda

fue el domingo, con un volumen máximo de 1242, 1252, 1036, 1006 veh., se determinó la velocidad de flujo libre tomados en campo 25.17, 25.17, 31.38, 31.39 (mi/h), para los carriles 1,2,3,4 respectivamente. Se obtuvo los porcentajes de vehículos pesados siendo 31.16%, 33.63%, 24.61%, 22.47%, la mayor cantidad de vehículos por tipo fueron automóviles 21.26%, 24.28% para los carriles 1 y 2, mientras que para los carriles 3 y 4 fueron las mototaxis 21.24%, 23.66%. Se aplicó la metodología del HCM 2010, capítulo 15 (Nivel de Servicio en Carreteras de Dos Carriles) y se obtuvo el nivel de servicio para cada carril siendo B, B, B, A y su capacidad vehicular fue de 1573, 1580, 1199, 1195 (veh/h), para los carriles antes mencionados respectivamente que en contraste con la hipótesis planteada es falsa, ya que se planteó un nivel de servicio C y su capacidad vehicular fue de 1700veh/hora

Palabras claves: capacidad vehicular, vía, nivel de servicio, velocidad de viaje, vehículos pesados.

ABSTRACT

Vehicular congestion due to the high demand for interprovincial transportation seriously influences the serviceability of the access roads to the city of Cajabamba, reflecting in longer travel times, insecurity and discomfort for users who move both inside and outside the city. The general objective of the research was to determine the capacity and level of service of the accesses to the city of Cajabamba belonging to the longitudinal highway of the northern mountain range PE-3N of the year 2023, for which field information was collected in one week. starting on Sunday, 03/05/2023 until Saturday, 03/11/2023, for this purpose, the topographic survey, manual vehicle capacity and measurements of geometric characteristics were carried out, with access 01 being the one that serves as the entrance to the city of Cajabamba. from the city of Cajamarca, being a two-lane road in the opposite direction, lane 1 and lane 2, and access 02, entering Cajabamba from the city of Huamachuco, being a two-lane road in the opposite direction, lane 3 and lane 4; traffic conditions were determined; The day of maximum demand was Sunday, with a maximum volume of 1242, 1252, 1036, 1006 vehicles. The free flow speed was determined, taken in the field, as 25.17, 25.17, 31.38, 31.39 (mi/h), for lanes 1 ,2,3,4 respectively. The percentages of heavy vehicles

were obtained, being 31.16%, 33.63%, 24.61%, 22.47%, the largest number of vehicles by type were automobiles 21.26%, 24.28% for lanes 1 and 2, while for lanes 3 and 4 they were motorcycle taxis 21.24%, 23.66%. The HCM 2010 methodology, chapter 15 (Level of Service on Two-Lane Highways) was applied and the level of service was obtained for each lane being B, B, B, A and its vehicle capacity was 1573, 1580, 1199, 1195 (veh/h), for the aforementioned lanes respectively, which in contrast to the proposed hypothesis is false, since a service level C was proposed and its vehicular capacity was 1700veh/hour.

Keywords: vehicle capacity, road, level of service, travel speed, heavy vehicles.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad los accesos a la ciudad de Cajabamba por la parte sur la cual conecta con la región La libertad se encuentran en una condición desfavorable para el desarrollo del tránsito, ya que la vía se encuentra en pésimas condiciones estructurales, a esto se suman las colas que producen vehículos de carga pesada. por otro lado, por la parte Norte la cual conecta con la región Cajamarca se deja notar que la presencia de buses de transporte público interdepartamental va en aumento lo cual influye en la velocidad y el tiempo de recorrido. Estas y otras muchas condiciones más hacen que estos tramos de la vía presten un nivel de servicio inadecuado.

Es por ello que la presente Tesis trata de investigar que valores toman la velocidad de flujo libre (FFS) y el porcentaje de tiempo de espera de seguimiento (PTSF) variables muy importantes para identificar a que categoría de nivel de servicio pertenece.

En este sentido la investigación tiene por objetivo general determinar la capacidad y nivel de servicio en estos tramos correspondientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N para el año 2023 desde una perspectiva técnico-científica con uso de metodologías y procedimientos de carácter multimodal, que permitan una evaluación objetiva de las condiciones de circulación y de los indicadores de calidad de servicio de la vía.

por lo mencionado, el problema general de la investigación se ha formulado con la siguiente pregunta ¿Cuál es la capacidad y el nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N? , utilizando el capítulo 15 del Highway Capacity Manual 2010(manual de capacidad de carreteras) HCM 2010 para ello se realizaron aforos manuales por el lapso de una semana completa en los dos accesos a la ciudad de Cajabamba, registrando los datos de acuerdo a la clasificación establecida por el MTC. Además, se realizó el levantamiento topográfico de las vías y se determinaron en campo las velocidades promedio de rodaje.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, el crecimiento del parque automotor se ha mantenido en constante aumento, generando problemas de congestión en la movilidad urbana que cada día se torna más problemática (Delgado et al., 2021).

La adición de la distribución descontrolada de la expansión poblacional, especialmente en América Latina, ha incentivado aún más la utilización de vehículos privados como medio de desplazamiento predilecto, debido a las grandes distancias territoriales que se debe circular para transportarse de un punto de interés a otro dentro de las ciudades (Delgado et al., 2020). El MINAM a través del sistema nacional de información ambiental, calculó que en el 2016 Cajamarca tenía 16.26 vehículos por cada mil personas, y en el 2000 sólo se contaba con 4.66; es decir el crecimiento se ha dado en un 248.93 % más.

La ciudad de Cajabamba, provincia de Cajamarca, es considerada un anexo importante para las regiones de la Libertad Y Cajamarca debido a la gran actividad comercial entre ambas provocando el aumento de flujo de tránsito en sus accesos. En la investigación uno de nuestros accesos se encuentra en pésimas condiciones para el desarrollo de tránsito vehicular, siendo un riesgo para conductores y pasajeros que usan esta infraestructura, la presencia de vehículos pesados y las cortas distancias de adelantamiento aumentan el tiempo de viaje, ocasionando riesgos malestar tanto en conductores como en pasajeros.

Por otro lado, nuestro segundo acceso es una vía con mejores condiciones y mayor fluidez sin embargo se hace presente algunas restricciones geométricas como curvas verticales y horizontales que limitan oportunidades de sobrepaso vehicular provocando así pelotones en determinadas horas del día por lo que es necesario realizar un análisis vehicular para saber cuál es el nivel de servicio en cada acceso y así poder tomar las acciones necesarias para mejorar el nivel de servicio de esta vía.

Es por ello, que para conocer las características de la fluidez del tránsito en el ingreso a la provincia de Cajabamba pertenecientes a la ruta nacional PE-3N, se necesita contar con información histórica y continua de campo que sirva de base a futuros estudios referidos a la mejora de la vialidad de los accesos en mención con la garantía que los procesos de cálculo lleguen a un valor final suficiente que satisfagan la capacidad y niveles de servicio deseadas, por lo tanto esta investigación es oportuna para brindar solución a los problemas que se presentan en estas vías de acceso.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con lo antes mencionado podemos hacer la interrogante ¿Cuál es la capacidad y el nivel de servicio según el manual (HCM 2010) en los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la Carretera Longitudinal de la Sierra Norte PE-3N?

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general:

El nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N es diferente al tipo C. Y su capacidad vehicular en cada dirección de viaje es menor a 1700 vehículos/hora.

1.4.2 Hipótesis nula:

El nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera Longitudinal de la sierra norte PE-3N es C. Y su capacidad vehicular en cada dirección de viaje es de 1700 vehículos/hora.

1.5 VARIABLES

Variables dependientes

- Nivel de servicio
- Capacidad vehicular

Variables Independientes

- Velocidad de viaje
- Tipo de vía.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título:		“Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N”			
Hipótesis General	Definición Conceptual de las variables	Definición Operacional de las Variables/Categorías			
		Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica/ instrumentos
El nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N es diferente al tipo C. Y su capacidad vehicular en cada dirección de viaje es menor a 1700 veh/hor.	<ul style="list-style-type: none"> Es el resultado de dividir la distancia recorrida desde el principio al fin del viaje entre el tiempo de recorrido, es decir el tiempo total que se empleó en el viaje. (Cárdenas Grisales y Cal y mayor, 2018). Según el manual de diseño geométrico de vías urbanas (VCHI 2005), las vías urbanas pueden ser expresas, arteriales, colectoras o locales. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de Viaje (Variable Independiente) Tipo de vía (Variable Independiente) 	<p>Tiempo de recorrido</p> <p>Características geométricas de la vía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo en movimiento. Demora directa. Ancho de carriles, anchos de bermas, topografía. 	<p>Aforo vehicular</p> <p>Levantamiento topográfico.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. (Cárdenas Grisales y Cal y mayor, 2018) La capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una vía. (Fernández, 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de servicio (Variable Dependiente) Capacidad vehicular (Variable Dependiente) 	<p>Condiciones de operación del flujo.</p> <p>Tasa máxima de flujo.</p>	$\frac{Vel. de viaje}{Vel. flujo libre base} \%$ $\frac{Volumen}{Capacidad}$ <p>Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)</p>	<p>Metodología Highway Capacity Manual 2010</p>

1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título:		“Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N”						
Formulación del problema	Objetivo general	Hipótesis general	Variables /categorías	Dimensiones/ factores	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos	metodología	Población y muestra
¿Cuál es la capacidad y el nivel de servicio según el manual (HCM 2010) en los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la Carretera Longitudinal de la Sierra Norte PE-3N?	<p>Objetivo General Determinar la capacidad y el nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N.</p>	<p>El nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N es diferente al tipo C. Y su capacidad vehicular en cada dirección de viaje es menor a 1700 veh/hor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de Viaje (Variable Independiente) • Tipo de vía (Variable Independiente) • Nivel de servicio (Variable Dependiente) • Capacidad vehicular (Variable Dependiente) 	<p>Tiempo de recorrido.</p> <p>Condiciones de operación de flujo.</p>	<p>Tiempo en movimiento demora.</p> <p>Vel.de viaje/vel.</p> <p>Flujo libre base</p> <p>Volumen/capacidad</p>	<p>Trabajo de gabinete.</p> <p>Levantamiento topográfico.</p>	<p>El método es cuantitativo. Tipo de estudio no experimental Diseño descriptivo Fórmula según el HCM 2010</p>	<p>Población: Tramo de ingreso a la provincia de Cajabamba. Muestra: La ruta nacional PE-3N, pertenecientes al ingreso de la provincia de Cajabamba. Técnica: La observación Instrumento: Guía de observación</p>

1.8 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Geográficamente la provincia de Cajabamba se encuentra ubicada en la parte extrema sur del departamento de Cajamarca a la vez colinda con el departamento de la Libertad, notándose una gran demanda en el transporte interprovincial provenientes de estas regiones debido a aspectos comerciales entre ambas, siendo en común el sector minero uno de los más importantes, por lo que en los últimos años la ciudad de Cajabamba ha notado una demanda alta de transportes mixtos, lo que incrementa, el tránsito vehicular en las vías de ingreso a la ciudad, por otro lado la falta de un estudio y el aumento del parque automotriz, hace referencia en dar la importancia de realizar diagnósticos que permitan obtener la calidad de servicio en las vías de ingreso a la ciudad con el fin de mejorar la circulación, confort y seguridad de los usuarios.

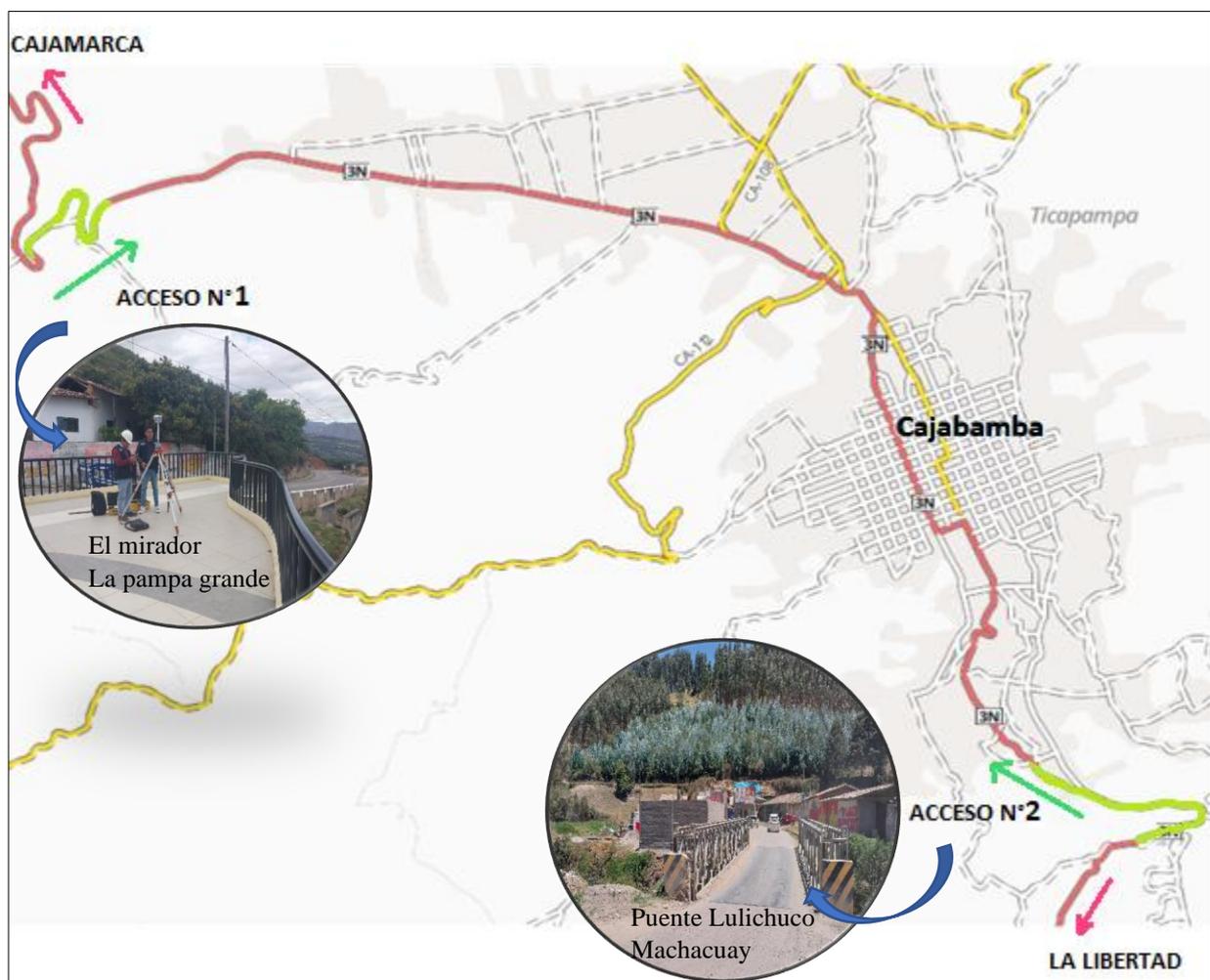
Por último, esta investigación siguió una metodología no experimental, descriptiva; cuyos resultados servirán para futuras investigaciones y comparaciones para otras vías de las mismas características.

1.9 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 Espacial

La investigación se realizó en los dos accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la ruta nacional PE-3N, la cual se basará en la recopilación de información en tramos de 1km de estudio de cada acceso, con el fin de obtener resultados más precisos para dar alternativas de soluciones a los problemas que se puedan encontrar en dicha vía.

Figura 1: Vías de Acceso a la provincia de Cajabamba



Fuente: Google Maps_2023

1.9.2 Temporal

La investigación se realizó durante los meses de marzo a abril del 2023.

1.9.3 Económica

Los recursos para la investigación fueron asumidos por el tesista en su totalidad.

1.10 LIMITACIONES

Esta investigación no tuvo limitaciones, ya que se tomará datos en ciertos puntos de la Carretera Longitudinal de la Sierra Norte, Ruta PE-3N, tampoco se presentó limitación económica que impida su desarrollo.

1.11 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.11.1 Objetivo general

Determinar la capacidad y el nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N.

1.11.2 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento topográfico de los accesos a la ciudad de Cajabamba.
- Determinar la composición de tráfico.
- Determinar la clasificación de la carretera longitudinal sierra norte PE-3N. según el manual DG 2018 y la clasificación correspondiente según el manual HCM 2010.
- Determinar el día de máxima demanda y la hora de máxima demanda.
- Determinar la velocidad de flujo libre en cada acceso (FFS).
- Determinar el porcentaje de demoras de seguimiento en cada acceso (PTSF).
- Determinar el nivel de servicio y capacidad en cada dirección.
- Determinar la mejor alternativa de solución para solucionar la problemática de la congestión vehicular en el acceso con mayor capacidad.

1.12 POBLACIÓN Y MUESTRA

1.12.1 Población

1.12.1.1 Descripción de la población

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) “Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones” (Levin, 1996)

La población del presente trabajo de investigación comprende los tramos de vía desde el km 1147+730 al km1148+739 (ingreso por la parte sur –la libertad) y desde el km 1153+000 al km1154+017 (ingreso por la parte Norte –Cajamarca) que según el DS 017-2007 “Clasificador de Rutas” constituye la Carretera Nacional PE-3N o longitudinal de la sierra norte

1.12.1.2 Cuantificación de la población

La población de la presente investigación, comprende un total de 2.026 km. correspondiente a la carretera nacional PE-3N, cuyos tramos son de 1.017 km correspondiente al ingreso por la parte sur y de 1.009 correspondiente al ingreso por la parte norte. Considerándose clase de carretera (clase II) de acuerdo a la clasificación de carreteras HCM 2010.

1.12.2 Muestra

1.12.2.1 Descripción de la muestra

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

La muestra determinada para la presente investigación comprende dos tramos que presentan características particulares donde se analiza de acuerdo a:

- Demanda
- Tipo de terreno
- Sentido
- Clasificación de carretera

1.12.2.2 Cuantificación de la muestra

La muestra está comprendida por los tramos de la carretera descrita anteriormente desde la progresiva 1153+000 a la progresiva 1154+017 (ingreso norte) y desde la progresiva 1144+730 a la progresiva 1145+739 (ingreso sur) haciendo un total de 2026 m.

1.12.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo empleado es el “no probabilístico”, debido a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Para la presente investigación la selección del tramo de carretera se realizó en función a las características que especifica el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010).

1.12.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Para la evaluación de la siguiente investigación se escogió la infraestructura vial en los accesos a la ciudad de Cajabamba debido a su gran demanda vehicular que existe en la zona, donde se utilizó el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) y Manual de Clasificador de Rutas.

1.12.3 Criterios de inclusión

- ❖ En los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3S, según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), se identifican los tramos a analizar de acuerdo a los puntos donde se produzcan cambios en los siguientes aspectos:
 - Demanda
 - Tipo de terreno
 - Sentido

- Clasificación de carretera
- ❖ Según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), el estudio se realiza en hora punta.
- ❖ Según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), aplica su metodología para carreteras de dos carriles con sentidos diferentes.

1.12.4 Unidad de análisis

Son aquellas unidades de observación que, seleccionadas de antemano, y reconocida por los observadores en el campo y durante el tiempo de observación, se constituyen en objeto de la codificación y/o de la categorización en los registros construidos a tal efecto.

Cabe reconocer múltiples unidades de análisis en la observación sistemática, dependiendo del marco teórico del que se parte, las hipótesis que se planteen, los objetivos de la investigación y las características (ejemplo: ocurrencia temporal continua o discontinua) de los fenómenos observados. Gaitán M,J.A yPinuel R,J.L. (1998:60)

La unidad de análisis en este caso será los vehículos que transiten por los accesos a la ciudad de Cajabamba.

1.13 CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS

1.13.1 Capítulo I: Introducción

Este capítulo contiene: Planteamiento del problema, formulación del problema, formulación de la hipótesis, operacionalización de variables, objetivos de la investigación y población y muestra de la investigación.

1.13.2 Capítulo II: Marco teórico

Este capítulo contiene: Antecedentes teóricos (Internacionales, Nacionales y Locales) y la base teórica de la investigación.

1.13.3 Capítulo III: Materiales y métodos

En capítulo presenta: La ubicación geográfica, periodo de estudio, técnicas e instrumentos de recolección, descripción general de la vía y análisis de datos y presentación de resultados.

1.13.4 Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se expone: El análisis e interpretación de datos, además las características geométricas de los segmentos analizados y discusión comparativa de resultados.

1.13.5 Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

En el Capítulo se desarrollan: Las conclusiones en función a los objetivos enmarcados y algunas recomendaciones a considerar en la investigación.

Referencias bibliográficas. anexos: Se presentan imágenes del levantamiento topográfico y la evaluación de las vías tomadas y planos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Pulido y Gómez (2018), tuvo como finalidad el determinar la capacidad vehicular y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. por medio de métodos no convencionales; llegando a concluir que se identificó la hora pico en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C mediante la realización de aforos durante dos días, en donde se obtuvo que la mayor concentración de vehículos se encuentra desde las 5:30pm a 6:30pm.; se estableció que los métodos no convencionales como francés, Danés y Setur no son recomendables para el estudio de la glorieta debido a que dichos métodos no están diseñados para el análisis de la capacidad de intersección con alto flujo vehicular; y que el nivel de servicio que presenta la glorieta se encuentra en un nivel D por ende es frecuente que haya formación de colas en puntos localizados, condiciones inestables de circulación y velocidad reducida.
- Según SABANDO, Iván (2017). En su memoria de titulación “Determinación del Nivel de Servicio en Calles Urbanas”, realizó un estudio en el eje vial Fermín Vivaceta que constaba de 3 tramos y concluyó que cada tramo tenía diferente nivel de servicio (B, C y F), pero el nivel de servicio de los tres segmentos unidos es C, Este nivel de servicio sugiere una operación estable del tramo analizado, sin embargo, el análisis individual del segmento 3 da cuenta de la existencia de un tramo operando en condiciones de servicio inaceptables. Este hecho, pone de manifiesto la existencia de una inadecuada planificación vial, que podría ser mejorada evaluando cambios en la progresión semafórica, la coordinación de los ciclos de los semáforos o el diseño geométrico de la vía, entre otros

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Quispe (2021), tuvo como finalidad la realización de un estudio de la Intersección de la Avenida América Sur con Prolongación César Vallejo en la Ciudad de Trujillo, siendo la Avenida América una de las principales de la localidad, al igual que la Prolongación César Vallejo, llegando a concluir, que alrededor de la semana se evidencia una variación de los volúmenes de vehículos mixtos, los cuales tienen sus picos más altos entre las 7:30am a 8:30pm para cada acceso. La Avenida América Sur es la que ostenta una demanda vehicular muy desfavorable, esto es debido a que los taxis son los que llegan a representar el mayor porcentaje de vehículos que llegan a transitar en todos los accesos, a lo antes expuesto se le tiene que añadir una diversificación en las extensiones vehiculares, la geometría de cada acceso, la velocidad de recorrido máximo, el ciclo semafórico y la pobre cultura vial presente en nuestro país, lo que en ligado llega a generar un régimen de congestión vehicular en toda la zona donde se realiza el estudio.
- Ayala CusiHuallpa, Julio César (2019) ,cuya investigación tiene por título:“determinación de la capacidad vial y nivel de servicio, según manual de capacidad de carreteras (hcm 2010) en la vía pe-3s tramo arco tica tica-izcuchaca” En la presente investigación se detalla el proceso de investigación de análisis del tramo de carretera desde Arco Tica tica hasta Izcuchaca perteneciente a la carretera nacional PE-3S, con el objetivo general de determinar su capacidad vial y nivel de servicio mediante el uso de las siguientes variables: Velocidad Media de Recorrido (VMR) y Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTS), aplicando la metodología propuesta por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) traducido al español. Este trabajo de investigación detalla cada una de las etapas ejecutadas, desde el levantamiento de información en campo (pendientes longitudinales de la vía, zonas de no adelantamiento, demanda, clase de carretera, velocidad media de la muestra), procedimiento de análisis de datos (cálculos, aplicación de fórmulas, aplicación de métodos de evaluación, diagramas, tablas, perfiles) y análisis de resultados, donde se determinó la capacidad vial y nivel de servicio.

- Mamani y Ramos (2018), como objetivo principal el determinar el Índice Medio Diario (IMD) que circulará por las vías materia del presente proyecto, evaluar el aforo vehicular haciendo uso de softwares especializados y para finalmente proponer alternativas de solución a la Planificación Vial del cercado; dándole de esta manera un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo, cuyo diseño llegará a ser no experimental y de tipo transversal. Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran los Índices Medios Diarios de las vías de ingreso, salida y centro de la ciudad. Como resultado de la modelación en los softwares especializados se presenta las demoras en segundos, la capacidad vial, el nivel de servicio de las vías e intersecciones en estudio y la optimización de ciclos de semáforo, asimismo el comportamiento futuro de tránsito vehicular de hasta 20 años. Se presenta la situación actual del cercado de Puno en términos de niveles de servicio, demoras y capacidad vial, soluciones sobre la planificación vial del cercado de la ciudad de Puno, tomando en cuenta el tráfico vehicular de la zona y los resultados obtenidos por el Software, haciendo un análisis con respecto a la planificación vial actual de la ciudad de Puno; y las recomendaciones sobre su aplicación que muestra una alternativa de solución al sistema de transporte.

2.1.3 Antecedentes locales

- Rojas (2019), tuvo como objetivo principal analizar la capacidad y niveles de servicio de la Av. Mario Urteaga, tramo: Jr. Dos de mayo hasta el Óvalo El Inca, haciendo uso de las recomendaciones del Manual de Capacidad de Carreteras: HCM 2010, del Consejo de Investigación del Transporte de las Academias Nacionales de Estados Unidos (TRB por sus siglas en inglés). Los resultados obtenidos correspondientes a una semana de estudio fueron: Para el segmento de vía, una capacidad de 1532 veh/h y nivel de servicio “E”; para la intersección semaforizada (Av. Mario Urteaga – Jr. Urrelo), las capacidades de: 372 veh/h (acceso SE), 278 veh/h (acceso NO), 299 veh/h (acceso SO) y 257 veh/h (acceso NE), respectivamente con niveles de servicio “F” tanto por separado, como en forma conjunta. Así mismo, el acceso SE presentó una demora promedio de: 955 s, el acceso NO, 133 s, el acceso SO, 276 s y el acceso NE 552 s; finalmente, la demora conjunta de la intersección fue de: 658 s. Resultados que corroboraron la hipótesis planteada que la capacidad y niveles de servicio de la Av. Mario Urteaga, tramo: Jr. Dos de mayo hasta el Óvalo El Inca, corresponden a las condiciones de circulación inferiores, según la clasificación del HCM 2010.

- Vega (2018), tuvo como objetivo el 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 PE08B por la Zona Noreste tiene un nivel de servicio A pues opera a un 17% de su capacidad máxima.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Ingeniería del transporte

Es la aplicación de los principios científicos y tecnológicos a la planeación, proyecto funcional, operación y a la administración de las diversas partes de cualquier medio de transporte, con la finalidad de movilizar personas, mercancías de manera, segura, confortable, económica, rápida y compatible con el medio ambiente. (Rafael, Mayor, & Cárdenas, 2007).

2.2.2 Levantamiento topográfico

De acuerdo con Gómez(2010),se define como “el conjunto de operaciones que se realizan en un campo con los instrumentos adecuados para poder crear una representación gráfica correcta o un plano correcto”(p.17).Este plano es importante para ubicar correctamente todo el trabajo que desea realizar y desarrollar cualquier proyecto técnico .Si desea conocer la ubicación de los puntos en el área de interés, debe determinar su ubicación utilizando tres coordenadas , que son latitud, longitud y altitud o elevación. Para realizar levantamientos topográficos se requiere varios instrumentos como el nivel y la estación total. El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar todo un abanico de pasos básicos en la identificación y señalización del terreno a construir.

Según Gómez un levantamiento topográfico consiste en: describir un terreno desde un punto de vista topográfico. Usando instrumentos especializados, el topógrafo escanea la superficie de la tierra y toma datos, generalmente usando un teodolito o una estación total. Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se elaboran mapas o planos específicos de un lugar, descubriendo en particular las características del terreno, como los relieves o los desniveles que puedan existir”. (2017; p53)

Existen dos métodos principales de realizar un levantamiento topográfico:

- Método de las secciones transversales o trazo directo. El método de las secciones transversales se utiliza en terrenos planos, ondulados, donde es posible establecer una franja que se aproxime al eje de la carretera y el derecho de vía. Para realizar el levantamiento topográfico de una carretera se utiliza actualmente la estación total. Se secciona el terreno, se miden las longitudes y elevaciones, y se obtienen datos suficientes para representar las curvas de nivel. Este proceso permite diseñar la carretera y sus obras de arte, y acondicionar el derecho de vía (MDCNPBVT 2008).

- Método taquimétrico o trazo indirecto. El trazado indirecto se prefiere en terrenos accidentados para obtener un levantamiento topográfico preciso mediante el uso de equipos sofisticados (MDCNPBVT 2008).

2.2.2.1 Levantamiento topográfico con estación total.

La estación total es un instrumento que combina un distanciómetro, un teodolito electrónico y un microprocesador para realizar mediciones de forma ágil y precisa, reduciendo los errores acumulativos. A diferencia del teodolito y el nivel, la estación total utiliza una precisión láser y digital en la medición de ángulos y distancias, lo que permite calcular y almacenar las coordenadas geográficas de cada punto observado (N, E, Z) sin necesidad de realizar cálculos complejos. La evolución de la estación total ha mejorado su alcance, reducido los errores, mejorado sus aplicaciones y la operatividad en condiciones extremas (Amaringo y Mundaca 2020).

2.2.2.2 Orientación por coordenadas

El método de orientación por coordenadas es una técnica utilizada en el levantamiento topográfico con una estación total. Este método consiste en la introducción de coordenadas conocidas en la estación total para establecer una referencia de orientación en el terreno. Para utilizar este método, se requiere de la obtención de las coordenadas de la estación y de un punto de referencia conocido en el terreno. Estas coordenadas se introducen en la estación total y se

utilizan para establecer la posición y orientación de la estación en relación con el punto de referencia. Una vez que se ha establecido la orientación de la estación, se pueden tomar mediciones en el terreno utilizando la estación total. Los datos obtenidos se pueden utilizar para la elaboración de planos topográficos y la generación de modelos digitales del terreno (Leica 2012). El método de orientación por coordenadas es útil para el levantamiento topográfico de grandes áreas y para la integración de múltiples levantamientos en un mismo sistema de coordenadas (Leica 2012).

2.2.3 Carreteras de dos carriles

Las carreteras de dos carriles son aquellas que disponen de un carril por sentido de circulación. La característica principal que las distingue respecto de otro tipo de vías de circulación ininterrumpida es que las maniobras de adelantamiento tendrán lugar en el carril destinado a la circulación en sentido contrario. Estas maniobras de adelantamiento estarán limitadas por la disponibilidad de huecos en el tráfico que circula en sentido contrario, así como por la disponibilidad de una distancia de visibilidad suficiente para que un conductor pueda percibir de forma segura la aproximación de vehículos que circulan en sentido contrario. Debido a que la capacidad de adelantamiento disminuye según se incrementa la demanda de adelantamiento, las carreteras de dos carriles mostrarán una característica única: la calidad de la circulación disminuye – a menudo bruscamente – si la demanda se incrementa, de forma que su nivel de servicio podría llegar a resultar inaceptable incluso con ratios intensidad-capacidad relativamente bajos. Por esta razón, muy pocas carreteras de dos carriles presentarán siempre 14 intensidades próximas a su capacidad. En la mayoría de los casos, bajas calidades de circulación llevarán a la realización de mejoras o adecuaciones mucho antes de que se alcance su capacidad. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.4 El vehículo

El diccionario de la Real Academia Española define el término “vehículo” como: “Artefacto, como carruaje, embarcación, narria o litera, que sirve para transportar personas o cosas de un lugar a otro”.

2.2.4.1 Clasificación vehicular

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).

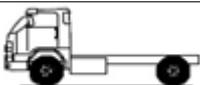
Sin embargo, tomando en cuenta el formato de Clasificación vehicular para Estudios de Trafico establecidos por el MTC, con el que se realizó esta investigación, y las características establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, las tablas 3 y 4 presentan las principales características de cada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

Tabla 1: Clasificación vehicular categoría L y M

CLASIFICACIÓN VEHICULAR				
Tipo	Código	Categoría		Descripción
MOTO	MTO, MTT	L1, L3		Motocicleta de dos ruedas
TRIMOTO	TRI	L2, L5		Moto taxi de tres ruedas
AUTO	SED, CPE, HBK, SWG	M1		Auto de dos ejes
CAMIONETA CERRADA	SUV	M1, M2		Camioneta de dos ejes
CAMIONETA TIPO PICKUP	MPO	N1, N2		Camioneta de dos ejes
CAMIONETA TIPO PANEL	PAN	N1, N2		Camioneta de dos ejes
CAMIONETA RURAL	MIN	N1, N2		Camioneta rural de dos ejes
MICROBÚS	MTO, MTT	M2, M3		Camioneta de dos ejes
BUS	B2	M3		Bus de dos Ejes
	B3-1	M3		Bus de tres ejes
	B4-1	M3		Bus de ejes

Fuente: Resolución Directoral N° 4848-2006-MTC/15

Tabla 2: Clasificación vehicular categoría N y O

CLASIFICACIÓN VEHICULAR				
Tipo	Código	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
SEMI – TRAILER	TSS	N1, N2, O1, O2		Tractor camión de 2 ejes y Semirremolque de 1 eje
	T2S2	N1, N2, N3, O1, O2, O3		Tractor camión de 2 ejes Y Semirremolque de 2 ejes
	T2S3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4		Tractor camión de 2 ejes y Semirremolque de 3 ejes
	T3S1	N1, N2, N3, O1, O2, O3		Tractor camión de 3 ejes y Semirremolque de 1 eje
	T3S2	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4		Tractor camión de 3 ejes y Semirremolque de 2 ejes
	T3S3	N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4		Tractor camión de 3 ejes y Semirremolque de 3 ejes
	TRAILER	C2R2	N1, N2, N3, O1, O2, O3	
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
T2S2		N1, N2, N3, O1, O2, O3, O4		Camión remolcador de 3 ejes y remolque de 3 ejes

Fuente: Resolución Directoral N° 4848-2006-MTC/15

2.2.5 El sistema vial

El sistema vial es el conjunto de caminos y carreteras que existen en un área determinada y que permite el desplazamiento de los vehículos entre dos puntos de esta, enlazando además dicha región con el resto de las vías exteriores que la circundan. Hay dos tipos de redes básicas grandes: urbanas e interurbanas. (Bañón Blázquez y Beviá García, 2000).

2.2.5.1 Carretera 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.

2.2.5.2 Clasificación de carreteras

De acuerdo con el 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 con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018), establece que éstas pueden clasificarse de acuerdo con su demanda y de acuerdo con 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

Tabla 3: 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: DS N° 017-2007 MTC- Adaptación propia.

Tabla 4: Clasificación de carretera por demanda

Tipo	IMDA (veh/día)	Separador		Carriles		Superf. de Rodadura
		Central si/no	Ancho mín (m)	N°	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: DS N° 017-2007 MTC- Adaptación propia.

Sin embargo, el Manual HCM 2010 clasifica a las carreteras de dos carriles de la siguiente manera:

A. Carretera clase I

Los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas. Las carreteras de dos carriles que son rutas interurbanas principales, conectores primarios de carreteras de alto tráfico, enlaces principales en redes de carreteras estatales o nacionales están agrupadas en esta clasificación. Estas instalaciones sirven principalmente a viajes de larga distancia o proporcionan las conexiones entre carreteras que sirven a viajes de larga distancia.

B. Carretera clase II

Los conductores no esperan, necesariamente, viajar a altas velocidades. Las carreteras de dos carriles que funcionan como vías de acceso a carreteras de Clase I, que sirven como rutas escénicas o recreativas (y no como arterias primarias), o que atraviesan terrenos escarpados (donde el funcionamiento a alta velocidad sería imposible) se asignan a la Clase II. Las instalaciones de clase II suelen servir para viajes relativamente cortos de viajes más largos, o viajes en los que las visitas turísticas desempeñan un papel importante.

C. Carretera clase III

Son carreteras que dan servicio a zonas moderadamente desarrolladas. Pueden ser tramos de una autopista de Clase I o de Clase II que atraviesan pequeñas ciudades o zonas recreativas desarrolladas. En estos segmentos, el tráfico local se mezcla a menudo con el tráfico de paso y la densidad de puntos de acceso no señalizados al borde de la carretera es notable. Las carreteras de clase III también pueden ser segmentos más largos que atraviesan zonas recreativas más dispersas, también con mayores densidades en las bermas. Estos segmentos suelen ir acompañados de límites de velocidad reducidos que reflejan el mayor nivel de actividad.

La definición de las clases de carreteras de dos carriles se basa en su función. La mayoría de las carreteras principales o arteriales se consideran carreteras de Clase I, mientras que la mayoría de las colectoras y locales se consideran carreteras de Clase II o Clase III. La dirección principal determinante de la clasificación de una instalación es la expectativa del conductor, que puede no coincidir con la categoría funcional de la vía. Ejemplo, una importante ruta interurbana que atraviesa una zona montañosa escarpada puede describirse como Clase II si los conductores

reconocen que la alta velocidad no es factible debido al terreno, pero la ruta aún podría considerarse de Clase I.

2.2.5.3 Características geométricas

2.2.5.3.1 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%.

2.2.5.3.2 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.

2.2.5.3.3 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.

2.2.5.3.4 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:

$$\%ZNR = \frac{(LTL - LR)}{(LTL \times 100)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

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

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

LTL = Es la longitud total de la vía (m)

2.2.5.3.5 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.

2.2.5.3.6 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.

2.2.6 Características del flujo vehicular

Los volúmenes de tránsito se estudian con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Los datos de volúmenes de tránsito obtenidos de un estudio son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimativos razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios. (Cárdenas Grisales y Cal y mayor, 2018)

2.2.6.1 Definiciones generales

Según Cárdenas Grisales y Cal y mayor (2018) En ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo de vehículos o aforo, ya sea de vehículos, ciclistas, pasajeros y peatones. Los conteos se realizan para obtener principalmente parámetros que se relacionan estrechamente entre sí y aunque se expresan en las mismas unidades o similares, no significan lo mismo. A continuación, se detallan cada uno de los parámetros.

A. 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”.

$$Q = \frac{N}{T} \quad \text{..... Ecuación 1}$$

Donde:

Q = Volumen de tráfico.

N = Número total de vehículos que pasan (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.

B. 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.

El factor horario de máxima demanda expresa la manera de distribución de los vehículos en el flujo máximo dentro de la hora analizada. Este factor tiene como valor máximo la unidad, lo que indicaría una distribución uniforme de los flujos máximo en cada periodo durante toda la hora.

$$FHMD = \frac{V}{0.25} \quad \dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

V = Volumen en una hora (veh/h).

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:

$$FHP = \frac{V}{4 \times V_{15}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

FHP = Factor de hora pico.

V = Volumen en una hora (veh/h).

V15 = 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 2010, el valor de PHF para áreas rurales es de 0.80 y el valor para áreas urbanas es de 0.95.

D. 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).

$$S = \frac{L}{t_A} \quad \dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

S = Velocidad (km/h),

L = Longitud del segmento de carretera (km)

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

D.1. 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.

D.2. Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre (FFS, 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.

E. Demora

La demora es una medida de rendimiento importante para los elementos del sistema de flujo interrumpido. Hay varios tipos de demora, pero la demora de control, provocada por la presencia de un dispositivo de control de tráfico, es la principal medida de servicio en el HCM para evaluar LOS en intersecciones señalizadas y no señalizadas. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010, pág. 99)

F. Índice de congestión (CI):

Es la relación del tiempo de recorrido a través del segmento y el tiempo que se emplea en flujo libre, se calcula con la siguiente ecuación:

$$CI = \frac{Tr}{TI} \quad \text{..... Ecuación 5}$$

Donde:

CI = Índice de congestión

Tr = Tiempo de recorrido a través del segmento (s)

Tl = Tiempo de recorrido en condiciones de flujo libre (s)

Si el índice es 1, significa que no hay congestión, ya que los tiempos son iguales. Si el índice de congestión es 1.5 o mayor significa que el tiempo de viaje real es 150% del tiempo de flujo libre, o se tarda 1.5 veces más en recorrer un segmento de lo que sería en condiciones no congestionadas, por lo tanto, existe congestión (Departaments Of Transportation, 2011, pág. 4).

2.3 CAPACIDAD DE UNA VÍA

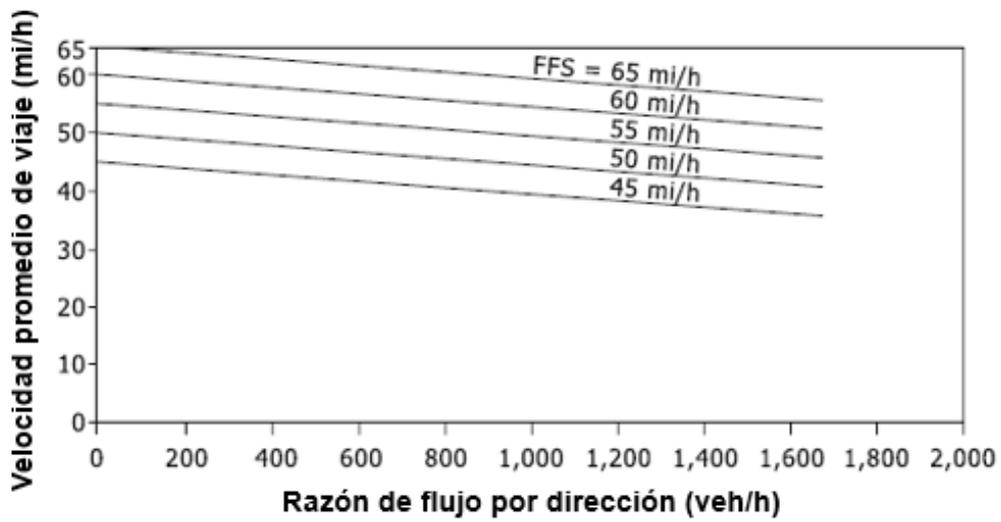
Número máximo de vehículos que pasan por un punto dado durante un período específico en condiciones predominantes de la carretera, el tráfico y el control. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

La capacidad de una carretera de dos carriles en condiciones base es de 1700 veh/h en un sentido, con un límite de 3200 veh/h para el total de los dos sentidos. Debido a las interacciones entre los flujos direccionales, cuando se alcanza una capacidad de 1700 veh/h en una dirección, el flujo máximo opuesto estaría limitado a 1500 veh/h. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

2.3.1 Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio

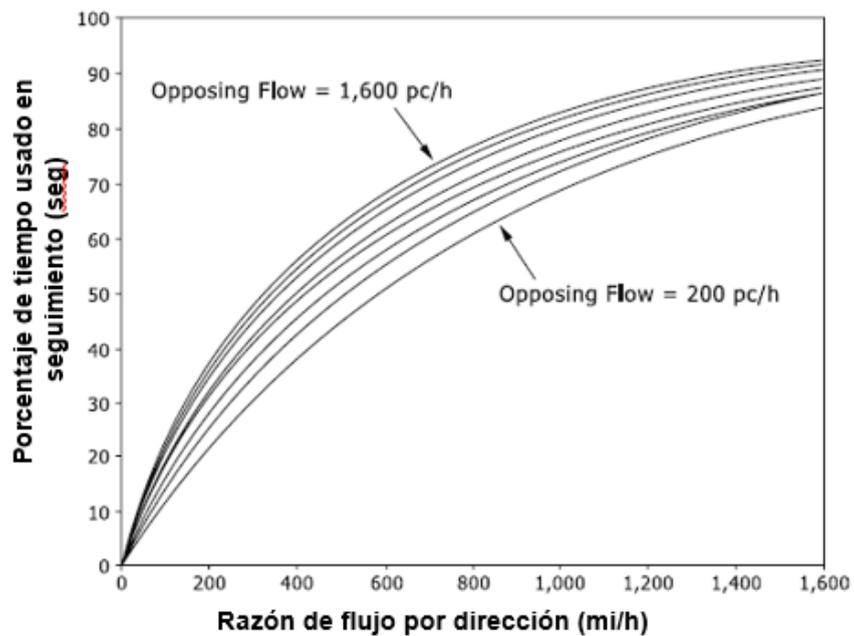
En la Fig. 2 y 3 se muestra la relación entre la razón de flujo, velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en condiciones ideales para una carretera de dos carriles en un tramo largo.

Figura 2: Razón de flujo vs velocidad promedio de viaje



Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Figura 3: Razón de flujo vs porcentaje de tiempo de seguimiento



Fuente: Highway Capacity Manual 2010

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

Máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado periodo de tiempo bajo condiciones particulares de la vía y del tráfico. Máxima intensidad capaz de albergar una vía sin colapsar. (Bañón Blásquez & Beviá García, 2007).

La intensidad es el número de vehículos que circulan por una determinada sección de la vía, carril o carretera en la unidad de tiempo, generalmente 15 min, Se expresa en unidades de [veh/hora] teniendo en cuenta que no representa exactamente el número de vehículos por hora.

$$I = \frac{\text{Número de vehiculos}}{\text{Tiempo (hrs)}} \quad \dots\dots\text{Ecuación 6}$$

La intensidad a lo largo del día presenta variaciones, donde la mayor variación del día se le denomina “hora punta” u “hora pico”, ésta se define como la relación entre el volumen de la hora completa y la intensidad correspondiente al periodo de mayor volumen en 15 minutos dentro de dicha hora.

$$FHP = \frac{Q}{N \times I_{max}} \quad \dots\dots\text{Ecuación 7}$$

Donde:

Q = Volumen horario. (veh/h)

N =Numero de periodos durante la hora punta (veh/h)

I_{max} =Intensidad en el periodo con más volumen.

El Grado de Saturación se define como el máximo número de vehículos que pueden circular por una sección de una vía en una hora. El grado de saturación relaciona el volumen vehicular con la capacidad de la vía mediante la ecuación:

$$x = \frac{v}{c} \quad \text{..... Ecuación 8}$$

Si $x \geq 1$ representa un flujo saturado, caso contrario es un flujo no saturado.

Donde:

v = Volumen veh. que transita en 15 minutos de la hora punta (veh/h)

c = Capacidad vehicular (veh/h)

2.3.2 Relación 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 = razón de flujo / capacidad

Este radio es usado como una medida de la suficiencia de capacidad existente o propuesta. En concepto un radio 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 radio 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 radio v/c mayor o igual a 1.00 implica congestión.

2.3.3 Condiciones prevalecientes del tránsito que afectan la capacidad

Palma R. (2006, p-25), define algunas condiciones prevalecientes 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 2010, de 1700 veh/h para una dirección de

viaje y de 3200 veh/h, para ambas direcciones. Cuando se alcanza una capacidad de 1700 veh/h en una dirección, el flujo máximo opuesto se limitaría a 1500veh/h. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

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:

- 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.

2.3.4 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. 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.

2.4 NIVEL DE SERVICIO

Para determinar el nivel de servicio y capacidad vehicular del tramo propuesto se ha utilizado la metodología del capítulo 15 (Carreteras de dos carriles). (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

El HCM 2010 establece seis niveles de servicio, 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.

Hay dos características que tienen un impacto significativo en el funcionamiento real y en la percepción del servicio por parte de los conductores:

- **Capacidad de adelantamiento:** Dado que las maniobras de adelantamiento en las carreteras de dos carriles se realizan en la dirección opuesta del flujo, la capacidad de adelantamiento está limitada por el flujo opuesto y por la distribución de huecos en el flujo opuesto.
- **Demanda de adelantamiento:** A medida que aumentan el pelotón y el PTSF en un sentido determinado, aumenta la demanda de maniobras de adelantamiento. A medida que más conductores se ven atrapados en un pelotón detrás de un vehículo lento, desearán hacer más maniobras de adelantamiento.

Tanto la capacidad de adelantamiento como la demanda de adelantamiento están relacionadas con los índices de flujo. Si el flujo en ambos sentidos aumenta, se establece una tendencia difícil: a medida que aumenta la demanda de adelantamiento, disminuye la capacidad de adelantamiento.

- **Nivel de servicio A:** Se experimentan altas velocidades de operación en autopistas Clase I y poca dificultad para rebasar. En las autopistas de Clase II, la velocidad estaría controlada principalmente por las condiciones de la calzada. Se esperaría una pequeña cantidad de pelotones. En las autopistas de Clase III, los conductores deberían ser capaces de mantener velocidades operativas cercanas o iguales a la velocidad de flujo libre (FFS) de la instalación.
- **Nivel de servicio B:** La demanda de adelantamiento y la capacidad de adelantamiento están equilibradas. Tanto en las autopistas de Clase I como en las de Clase II, el grado de "aplanamiento" se hace notable. En las autopistas de Clase III, se hace difícil mantener el funcionamiento FFS, pero la reducción de velocidad sigue siendo relativamente pequeña.
- **Nivel de servicio C:** La mayoría de los vehículos circulan en pelotón. Las velocidades se reducen notablemente en las tres clases de autopistas.
- **Nivel de servicio D:** La circulación en pelotón aumenta significativamente. La demanda de adelantamiento es alta tanto en las instalaciones de Clase I como en las de Clase II, pero la

capacidad de paso se aproxima a cero. Un alto porcentaje de vehículos viajan ahora en pelotón, y el PTSF es bastante notable.

- **Nivel de servicio E:** La demanda se aproxima a la capacidad. En las autopistas de clase I y II es prácticamente imposible, y el PTSF supera el 80%. La velocidad está muy reducida. En las autopistas de Clase III, la velocidad es inferior a dos tercios de la FFS. El límite inferior de esta LOS representa la capacidad.
- **Nivel de servicio F:** Existe siempre que el flujo de demanda en una o ambas direcciones supere la capacidad del segmento. Las condiciones de funcionamiento son inestables y existe una gran congestión en todas las clases de carreteras de dos carriles.

En las carreteras de dos carriles de Clase I, tanto la velocidad como el retraso debido a las restricciones de adelantamiento son importantes para los automovilistas. Por tanto, en estas carreteras, los niveles de servicio se definen en términos tanto de ATS como de PTSF. En las carreteras de Clase II, la velocidad no es un problema importante para los conductores. Por lo tanto, en estas carreteras, los niveles de servicio se definen sólo en términos de PTSF. Los criterios de los niveles de servicio para autopistas de dos carriles se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Niveles de servicio para carreteras

NIVEL DE SERVICIO	CARRETERA CLASE I		CARRETERA CASE II	CARRETERA CLASE III
	ATS (mi/h)	PTSF (mi/h)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	≥55	≤35	≤ 40	>91,7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83,3-91,7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75,0-83,3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66,7-75,0
E	≤40	>80	>85	≤66,7

Fuente: Highway Capacity Manual 2010, 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.

2.4.1 Medida de efectividad

Debido a la amplia gama de situaciones en las que se encuentran las carreteras de dos carriles, se incorporan tres medidas de eficacia a la metodología para determinar los niveles de servicio. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

- El ATS refleja la movilidad en una carretera de dos carriles. Se define como la longitud del dividida por el tiempo medio de viaje que tardan los vehículos en recorrerla durante un intervalo de tiempo determinado. recorrerlo durante un intervalo de tiempo designado.
- PTSF es el porcentaje medio de tiempo que los vehículos deben viajar en pelotón detrás de vehículos más lentos debido a la imposibilidad de adelantar. Dado que esta característica es difícil de medir sobre el terreno, una medida sustitutiva es el porcentaje de vehículos que viajan a intervalos inferiores a 3,0 s en un lugar representativo del segmento de carretera. El PTSF también representa el porcentaje aproximado de vehículos que viajan en pelotón.
- Porcentaje de velocidad de flujo libre (PFFS) representa la capacidad de los vehículos para viajar en o cerca del límite de velocidad indicado.

2.4.2 Datos de entrada necesarios y valores por defecto

En la tabla 6 enumera la información necesaria para aplicar la metodología. También valores por defecto sugeridos para cuando no se disponga de información específica del segmento. Se recomienda tomar valores en campo para tener el resultado más aproximados en relación con la zona de estudio. Los valores por defecto sólo deben utilizarse cuando no sea posible realizar mediciones sobre el terreno.

Tabla 6: Datos de entrada

DATOS DE ENTRADA	UBICACIÓN	VALOR POR DEFECTO
Datos de geometría		
Clase de carretera	Segmento	Seleccionar según corresponda
Ancho de carril	Segmento	12ft
Ancho de berma	Segmento	6ft
Puntos de acceso	Segmento	Clase I y II 8/mi; Clase III: 16/mi
Topografía	Segmento	Llano u ondulado

% de zona de prohibición de paso	Zona de estudio	Llano 20%, ondulado 40% Extremo 80%
Velocidad límite	Auto	Velocidad límite
Velocidad base de diseño	Auto	Vel. Límite + 10mi/h
Longitud de carril de adelantamiento	Segmento	Según lugar
Estado del pavimento	Bicicleta	4 de 5ptos si es "Bueno"
Datos de demanda		
Volumen horario de vehículos	Aforo vehicular	Según lugar
Periodo de análisis	Auto, bicicleta	15 mín (0.25h)
Factor de hora pico	Auto, bicicleta	0.88
Reparto direccional	Aforo vehicular	60/40
Porcentaje de vehículos pesados	Aforo vehicular	6% camiones
Porcentaje de ocupación en vía para parqueo	Segmento	0%

Fuente: Highway Capacity Manual 2010, adaptación propia

El HCM 2010 recomienda que el periodo de análisis sea de 15 minutos durante 1 hora. El factor hora punta (FHP) es típico, pero podría variar significativamente en función de las características localizadas en la zona de estudio. El reparto direccional se observa mejor directamente, ya que puede variar mucho con el tiempo, incluso en el mismo lugar. El valor para la presencia de vehículos pesados también es muy aproximado. Este factor se determinó con la ayuda del aforo vehicular.

Como es el caso con todos los valores por defecto, estos valores deben ser usados con cuidado y sólo cuando no se puedan obtener datos específicos del lugar por ningún medio razonable.

2.4.3 Volúmenes de demanda y caudales

Los volúmenes de demanda se expresan generalmente en vehículos por hora en las condiciones existentes. El FHP, se utiliza para convertir los volúmenes horarios en caudales.

Al medir los volúmenes o caudales de demanda, el caudal puede verse restringido por cuellos de botella aguas arriba o incluso señales situadas a más de 3 km del (si están más cerca, esta metodología no es aplicable). En la medida de lo posible los volúmenes de demanda y los caudales deben reflejar la situación que existiría sin factores limitantes aguas arriba o aguas abajo.

2.4.4 Alcance de la metodología

Este capítulo presenta una metodología de análisis operativo para segmentos direccionales de carreteras de dos carriles para automóviles. Ambas direcciones pueden analizarse por separado en el segmento para obtener una estimación completa de las condiciones operativas.

La metodología para automóviles de este capítulo aborda el análisis de:

- Segmentos direccionales en terreno general,
- segmentos direccionales en pendientes específicas, y
- segmentos direccionales que incluyen carriles de adelantamiento y de subida de camiones.

Todos los segmentos en terreno montañoso, y todas las pendientes mayores o igual al 3% que cubran una longitud de 0,6 millas o más (956.6 metros), deben analizarse como pendientes específicas.

La metodología se utiliza para determinar el nivel de servicio en un segmento direccional uniforme de carretera de dos carriles mediante la estimación de las medidas de eficacia que definen los niveles de servicio (ATS, PTSF, PFFS). Este análisis también puede utilizarse para determinar la capacidad del segmento.

2.4.5 Limitaciones de la metodología

Las metodologías de análisis operativo de este capítulo no abordan las carreteras de dos carriles con intersecciones señalizadas. Las intersecciones señalizadas aisladas en de dos carriles pueden evaluarse con la metodología del Capítulo 18. Intersecciones. Carreteras de dos carriles en zonas urbanas y suburbanas con múltiples intersecciones señalizadas 2 millas o menos de distancia deben ser analizadas como urbanas urbanas o arterias con la metodología del Capítulo 17, Segmentos de Calles Urbanas.

Aunque la metodología se ha aplicado con éxito a carreteras rurales de dos carriles en diferentes partes de Estados Unidos, los usuarios deben ser conscientes de que las condiciones en muchas carreteras rurales de dos carriles estarán fuera del rango de valores utilizados para desarrollar el modelo de nivel de servicio para bicicletas.

2.4.5.1 Modo automóvil

Debido a la gran variedad de situaciones que pueden darse en carreteras de dos carriles, la metodología de este manual incorpora tres medidas del grado de eficacia de su circulación que determinaran el NS para el modo automóvil.

- VMR (velocidad media de recorrido): es un reflejo de la movilidad en carretera de dos carriles. Se define como la longitud del tramo dividido por el tiempo medio de recorrido empleado por los vehículos en atravesarlo, para el periodo de análisis considerado (normalmente 15 minutos).

- PTS (porcentaje de tiempo siguiendo ó % de demora en tiempo): es un reflejo del grado de libertad para maniobrar, así como del confort y de la conveniencia del viaje. Es igual al porcentaje medio del tiempo en el que los vehículos deben viajar en grupo detrás de vehículos más lentos debido a la imposibilidad de adelantar. Debido a la gran dificultad que presenta medir en campo esta variable, un parámetro que podría sustituirlo sería el porcentaje de vehículos que se desplazan a intervalos de seguimiento inferiores a 3 s medidos en una localización representativa del tramo a analizar. PTS representa también el porcentaje aproximado de vehículos que se desplazan en grupo.

- PVL, o porcentaje de la VL: representa la capacidad de los vehículos para desplazarse a una velocidad similar a la máxima velocidad permitida (o próxima a ella).

2.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO

2.5.1 Paso 1: Datos de entrada

En la tabla 6 se enumera la información con la que se debe disponer para analizar un segmento de carretera de dos carriles. La tabla también sugiere algunos valores por defecto para cuando los datos específicos del sitio no están disponibles.

2.5.2 Paso 2: Estimación de la FFS

Un paso clave en el análisis de una carretera de dos carriles es la determinación de la FFS del segmento. Hay tres formas de estimar la FFS.

A. Medición directa sobre el terreno

El HCM 2010 recomienda la medición directa en el terreno en el segmento de carretera y en la dirección analizada; si se van a analizar ambas direcciones, se realizarán mediciones separadas en cada dirección. Cada medición direccional debe basarse en una muestra aleatoria de al menos

100 velocidades de vehículos. La velocidad de flujo libre puede medirse directamente como la velocidad media en condiciones de baja demanda (es decir, el flujo bidireccional es inferior o igual a 200 veh/h).

Si el segmento de análisis no puede observarse directamente, pueden utilizarse mediciones de una instalación similar (misma clase de carretera, mismo límite de velocidad, entorno similar, etc).

B. Mediciones sobre el terreno con flujos superiores

En algunas carreteras puede resultar difícil o imposible observar flujos totales inferiores a 200 veh/h. En tales casos, puede tomarse una muestra de velocidad a caudales superiores y ajustarse, luego se adopta el mismo enfoque de muestreo que el acápite anterior. A continuación, la velocidad media medida se ajusta con la ecuación siguiente:

$$FFS = S_{FM} + 0.00776 \left(\frac{v}{f_{HV,ATS}} \right) \quad \text{..... Ecuación 9}$$

Donde:

FFS = Velocidad de flujo libre (mi/h);

SFM = Velocidad media de la muestra ($v > 200$ veh/h) (mi/h);

v = caudal de demanda total, ambas direcciones, durante el periodo de mediciones de velocidad (veh/h); y

$f_{HV,ATS}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados a partir de la ecuación 13.

C. Estimación de la velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre puede estimarse indirectamente si no se dispone de datos de campo, la cual cubre un rango significativo que oscila entre 45 y 70mi/h (70 y 110km/h). Para estimar la velocidad de flujo libre, se debe analizar la instalación en términos de la velocidad de flujo libre base. Se calcula con la siguiente ecuación.

Las estimaciones de la velocidad de flujo libre base pueden elaborarse a partir de los datos de velocidad y del conocimiento local de las condiciones de funcionamiento en instalaciones similares. Una estimación aproximada de la BFFS podría ser el siguiente límite de velocidad indicado más 10 mi/h. Una vez determinado el BFFS, la FFS real puede calcularse del siguiente modo:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad \dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

FFS = Velocidad de flujo libre (mi/h);

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

f_{LS} = Ajuste por ancho de carril y ancho de berma (mi/h) tabla 7

f_A = Ajuste por densidad de puntos de acceso (mi/h).tabla 8

Tabla 7: Ajuste debido al ancho de carril y ancho de berma (f_{LS})

Ancho de carril (ft)	Reducción de la FFS (mi/h)			
	Ancho de berma (ft)			
	≥0 <2	≥2 <4	≥4 <6	≥6
≥9 <10	6,4	4,8	3,5	2,2
≥10 <11	5,3	3,7	2,4	1,1
≥11 <12	4,7	3,0	1,7	0,4
≥12	4,2	2,6	1,3	0,0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Tabla 8: Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A)

Puntos de acceso por milla	Reducción de la FFS (mi/h)
0	0,0
10	2,5
20	5,0
30	7,5
40	10,0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

La densidad de puntos de acceso se calcula dividiendo el número total de intersecciones no señalizadas y vías de acceso a ambos lados del segmento de carretera por la longitud del segmento (en millas). Así, al analizar las dos direcciones de la autopista y estimar la FFS, ésta será la misma en ambas direcciones. Si la FFS se mide sobre el terreno, el valor podría ser diferente en cada dirección.

2.5.3 Paso 3: Ajuste de la demanda para ATS

Este paso se aplica sólo en los casos de autopistas de doble carril de Clase I y Clase III. El nivel de servicio en carreteras de Clase II no se basa en la ATS y por lo tanto este paso se omite para esas carreteras.

Los volúmenes de demanda en ambas direcciones deben convertirse en caudales bajo condiciones base equivalentes con ecuación 12.

$$v_{i,ATS} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$v_{i,ATS}$ = Tasa de flujo equivalente en veh. livianos para la hora pico de 15min (veh/h)

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

i = "d" (sentido de análisis) u "o" (sentido contrario);

FHP = Factor de hora pico.

f_g = Factor de ajuste por pendiente, según Tabla 9

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

Para la determinación de la demanda 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

Las condiciones básicas para las autopistas de dos carriles incluyen el 100% de turismos en el flujo de tráfico. Esto es poco frecuente, y la presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico reduce el ATS.

En general, un vehículo pesado se define como cualquier vehículo (o unidad vehículo-remolque) con más de cuatro ruedas en el suelo durante su funcionamiento normal. Los vehículos pesados se clasifican como camiones o vehículos recreativos (VR). Los camiones abarcan una amplia variedad de vehículos, desde pequeñas camionetas y furgonetas con más de cuatro ruedas hasta unidades tractor-remolque dobles y triples. Las camionetas pequeñas con sólo cuatro ruedas se clasifican como turismos. Todos los autobuses escolares, de tránsito o interurbanos se clasifican como camiones. La clasificación de vehículos recreativos también abarca una amplia gama de vehículos, incluidos los campers motorizados, las autocaravanas y los coches o camiones pequeños que arrastran remolques.

2.5.3.1 Factor de ajuste por pendiente

El factor de ajuste de pendiente (fg,ATS) depende del terreno. Cualquier pendiente del 3% o superior y de 0,6 millas (0.9656km) o más debe ser analizada como una cuesta arriba o cuesta abajo específica, según la dirección de análisis.

En la tabla 9 muestra los factores de ajuste de pendiente para segmentos extendidos de terreno llano y ondulado, así como para pendientes específicas.

Tabla 9: Factor de ajuste por pendiente

Flujo de demanda para un sentido (veh/h)	Tipo de terreno	
	Nivelado	Ondulado
≤100	1,00	0,67
200	1,00	0,75
300	1,00	0,83
400	1,00	0,90
500	1,00	0,95
600	1,00	0,97
700	1,00	0,98
800	1,00	0,99
≥900	1,00	1,00

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Nótese que el factor de ajuste para terreno nivelado es 1.00, ya que el terreno nivelado es una de las condiciones base. Para propósitos de ajuste de pendiente, los segmentos específicos de bajada se tratan como terreno nivelado.

2.5.3.2 Factor de ajuste por vehículos pesados

La presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico reduce la velocidad de flujo libre, se deberá ajustar a un flujo equivalente expresado en vehículos livianos por hora. (HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2010)

El factor fHV se calcula siguiendo los siguientes pasos.

1. Se calculan los equivalentes en turismos de los camiones (ET) y los vehículos recreativos (ER) en las condiciones existentes.
2. Se calcula un factor de ajuste para vehículos pesados a partir de los equivalentes de turismos con la ecuación

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

Donde:

$f_{HV,ATS}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados

PT = Proporción de vehículos pesados en el aforo (decimal)

PR = Proporción de vehículos recreacionales en el aforo (decimal)

ER = Proporción de vehículos equivalentes recreativos, de tabla 10 (decimal)

ET = Proporción de vehículos equivalentes veh. pesados, de tabla 10 (decimal)

Tabla 10: Factor de ajuste por pendiente

Tipo de vehículo	Flujo de demanda (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
Camiones, E_T	≤100	1,9	2,7
	200	1,5	2,3
	300	1,4	2,1
	400	1,3	2,0
	500	1,2	1,8
	600	1,1	1,7
	700	1,1	1,6
	800	1,1	1,4
	≥900	1,0	1,3
Veh. Recr. E_R	Todo el flujo	1,0	1,1

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

2.5.4 Paso 4: Estimación del ATS

Este paso sólo se aplica a las carreteras de dos carriles de las clases I y III. de dos carriles, ya que las carreteras de Clase II no utilizan la ATS como medida de nivel de servicio.

La ATS se calcula a partir de la FFS, el índice de flujo de demanda, el índice de flujo contrario, el porcentaje de zonas de prohibición de paso en la carretera. y el porcentaje de zonas de prohibición de paso en la dirección de análisis. La ATS se calcula a partir de la ecuación 13:

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS} \quad \dots\dots \text{Ecuación 13}$$

Donde:

ATS_d = Velocidad promedio de recorrido, para dirección de análisis.

FFS = Velocidad de flujo libre (mi/h)

$f_{np,ATS}$ = Factor de corrección por zonas de no adelantamiento, tabla 11

Tabla 11: Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento, $f_{np,ATS}$

Flujo corregido en dirección opuesta vo (veh/h)	Porcentaje de No adelantamiento				
	≤20	40	60	80	100
FFS ≥6 5mi/h					
≤100	1,1	2,2	2,8	3,0	3,1
200	2,2	3,3	3,9	4,0	4,2
400	1,6	2,3	2,7	2,8	2,9
600	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0
800	0,7	1,0	1,2	1,4	1,5
1000	0,6	0,8	1,1	1,1	1,2
1200	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1
1400	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
≥1600	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
FFS = 60mi/h					
≤100	1,9	1,7	2,5	2,8	2,9
200	1,4	2,9	3,7	4,0	4,2
400	1,1	2,0	2,5	2,7	3,9
600	0,6	1,3	1,6	1,9	2,0
800	0,6	0,9	1,1	1,3	1,4
1000	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1200	0,5	0,7	0,9	0,9	1,1
1400	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9
≥1600	1,7	0,6	0,7	0,7	0,7
FFS = 55mi/h					
≤100	0,5	1,2	2,2	2,6	2,7
200	1,5	2,4	3,5	3,9	4,1
400	1,3	1,9	2,4	2,7	2,8
600	0,9	1,1	1,6	1,8	1,9
800	0,5	0,7	1,1	1,2	1,4
1000	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
1200	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
1400	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
≥1600	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
FFS = 50mi/h					
≤100	0,2	0,7	1,9	2,4	2,5
200	1,2	2,0	3,3	3,9	4,0
400	1,1	1,6	2,2	2,6	2,7
600	0,6	0,9	1,4	1,7	1,9
800	0,4	0,6	0,9	1,2	1,3
1000	0,4	0,4	0,7	0,9	1,1
1200	0,4	0,4	0,7	0,8	1,0
1400	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8
≥1600	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
FFS ≤ 45mi/h					
≤100	0,1	0,4	1,7	2,2	2,4
200	0,9	1,6	3,1	3,8	4,0
400	0,9	0,5	2,0	2,5	2,7
600	0,4	0,3	1,3	1,7	1,8
800	0,3	0,3	0,8	1,1	1,2
1000	0,3	0,3	0,6	0,8	1,1
1200	0,3	0,3	0,6	0,7	1,0
1400	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7
≥1600	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

2.5.5 Paso 5: Ajuste del flujo para el cálculo del PTSF

Este paso sólo se aplica en los casos de carreteras de doble carril de Clase I y Clase II. El nivel de servicio de las carreteras de Clase III no se basa en el PTSF y por tanto este paso se omite para esas autopistas. Se observa que las fórmulas y el procedimiento es similar a al paso 3.

$$v_{i,PTSF} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 14}$$

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \dots\dots \text{Ecuación 15}$$

2.5.5.1 Fator de ajuste por pendiente

Al igual que en el caso del proceso de ajuste ATS, los factores de ajuste por pendiente definen para segmentos de terreno generales (nivelados u ondulados), ascensos y descensos específicos. En la tabla 12 se muestran los factores de ajuste.

Tabla 12: Factor de ajuste por pendiente

Flujo de demanda para un sentido (veh/h)	Tipo de terreno	
	Nivelado	Ondulado
≤100	1,00	0,73
200	1,00	0,80
300	1,00	0,85
400	1,00	0,90
500	1,00	0,96
600	1,00	0,97
700	1,00	0,99
800	1,00	1,00
≥900	1,00	1,00

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Tabla 13: Factor de ajuste por pendiente y volumen de demanda $V_{vph,veh/h}$

Grado (%)	Longitud (mi)	VOLUMEN DE DEMANDA DIRECCIONAL								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3 <3.5	0,25	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	0,50	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	0,75	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,50	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	3,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
	≥4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97
≥3.5 <4.5	0,25	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
	0,50	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,96	0,95
	0,75	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,96	0,96
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97
	1,50	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97
	2,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98

	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	≥4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
≥4.5	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97
<5.5	≥0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
≥5.5	Todos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

2.5.5.2 Factor de ajuste por vehículos pesados

En la estimación del PTSF, no existe un procedimiento especial para los camiones que circulan a velocidad lenta en bajadas específicas.

Tabla 14: Factor de ajuste por pendiente

Tipo de vehículo	Flujo de demanda (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
Camiones, E _T	≤100	1,1	1,9
	200	1,1	1,8
	300	1,1	1,7
	400	1,1	1,6
	500	1,0	1,4
	600	1,0	1,2
	700	1,0	1,0
	800	1,0	1,0
	≥900	1,0	1,0
Veh. Recr. E _R	Todo el flujo	1,0	1,0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

2.5.6 Paso 6: Cálculo del PTSF o porcentaje de tiempo de seguimiento.

Este paso sólo se aplica a las carreteras de dos carriles de Clase I y Clase II. Las autopistas Clase III no utilizan el PTSF para determinar el nivel de servicio.

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \dots\dots \text{Ecuación 16}$$

Donde:

BPTSF_d = Porcentaje base de tiempo de seguimiento en la dirección de análisis, de la ecuación 17.

f_{np,PTSF} = Fator de ajuste a PTSF para el porcentaje de zonas de no paso en el segmento de análisis, a partir de la tabla 15.

v_{d,PTSF} = Flujo de demanda en la dirección de análisis (veh/h).

v_{o,PTSF} = Flujo de demanda en sentido contrario (veh/h).

El porcentaje base de tiempo seguido (BPTSF) se aplica a las condiciones base y se estima mediante la ecuación 18:

$$BPTSF_d = 100 \times [1 - \exp(av_d^b)] \quad \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

Los coeficientes “a”, y “b”, se obtienen de la tabla siguiente 14

Tabla 15: Coeficientes “a” y “b” para determinar BPTSF

Flujo de demanda en sentido opuesto V_o (veh/h)	Coeficiente a	Coeficiente b
≤200	-0,0014	0,973
400	-0,0022	0,923
600	-0,0033	0,870
800	-0,0045	0,833
1000	-0,0049	0,829
1200	-0,0054	0,825
1400	-0,0058	0,821
≥1600	-0,0062	0,817

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Tabla 16: Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento, $f_{np,PTSF}$

Flujo corregido en 2 direcciones $V_d + V_o$ (veh/h)	Porcentaje de No adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
Distribución De flujo = 50/50						
≤200	9,0	29,2	43,4	49,4	51,0	52,6
400	16,2	41,0	54,2	61,6	63,8	65,8
600	15,8	38,2	47,8	53,2	55,2	56,8
800	15,8	33,8	40,4	44,0	44,8	46,6
1,400	12,8	20,0	23,8	26,2	27,4	28,6
2,000	10,0	13,6	15,8	17,4	18,2	18,8
2,600	5,5	7,7	8,7	9,5	10,1	10,3
3,200	3,3	4,7	5,1	5,5	5,7	6,1
Distribución De flujo = 60/40						
≤200	11,0	30,6	41,0	51,2	52,3	53,5
400	14,6	36,1	44,8	53,4	55,0	56,3
600	14,8	36,9	44,0	51,1	52,8	54,6
800	13,6	28,2	33,4	38,6	39,9	41,3
1,400	11,8	18,9	22,1	25,4	26,4	27,3
2,000	9,1	13,5	15,6	16,0	16,8	17,3
2,600	5,9	7,7	8,6	9,6	10,0	10,2
Distribución De flujo = 70/30						
≤200	9,9	28,1	38,0	47,8	48,5	49,0
400	10,6	30,3	38,6	46,7	47,7	48,8
600	10,9	30,9	37,5	43,9	45,4	47,0
800	10,3	23,6	28,4	33,3	34,5	35,5
1,400	8,0	14,6	17,7	20,8	21,6	22,3
2,000	7,3	9,7	11,7	13,3	14,0	14,5
Distribución De flujo = 80/20						
≤200	8,9	27,1	37,1	47,0	47,4	47,9
400	6,6	26,1	34,5	42,7	43,5	44,1

600	4,0	24,5	31,3	38,1	39,1	40,0
800	3,8	18,5	23,5	28,4	29,1	29,9
1,400	3,5	10,3	13,3	16,3	16,9	32,2
2,000	3,5	7,0	8,5	10,1	10,4	10,7
Distribución De flujo = 90/10						
≤200	4,6	24,1	33,6	43,1	43,4	43,6
400	0,0	20,2	28,3	36,3	36,7	37,0
600	-3,1	16,8	23,5	30,1	30,6	31,1
800	-2,8	10,5	15,2	19,9	20,3	20,8
1400	-1,2	5,5	8,3	11,0	11,5	11,9

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

En el cuadro anterior, el factor de ajuste depende del flujo total de demanda en ambas direcciones, aunque el factor se aplique a un análisis unidireccional. El factor refleja no sólo el porcentaje de zonas de prohibición de paso en el segmento de análisis, sino también la distribución direccional del flujo

La medida de la distribución direccional es la misma independientemente de la dirección que se considere. Así, por ejemplo, divisiones de 70/30 y 30/70 dan como resultado el mismo factor, manteniéndose constantes todas las demás variables.

2.5.7 Estimación del PFFS

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad \dots\dots \text{Ecuación 18}$$

Esta fórmula solo se aplicará para el caso de carreteras de dos carriles clase III.

2.5.8 Determinación del nivel de servicio y la capacidad

2.5.8.1 Determinación del nivel de servicio

Los niveles de servicio (NS) son una clasificación cuantitativa de las medidas y parámetros de circulación que caracterizan la calidad de servicio. Aquellos parámetros de circulación elegidos –de entre todos los definidos – para establecer el NS de un elemento viario se denominarán parámetros de servicio. El HCM establece seis niveles de servicio – comprendidos desde NS A hasta NS F – para evaluar cada parámetro de servicio o para evaluar el resultado de un modelo matemático basado en múltiples parámetros de circulación. NS A representa las mejores condiciones de circulación posibles - desde la 18 perspectiva del usuario-, y NS F las peores. Por motivos de coste económico, impacto ambiental y otras razones, una vía no se diseña normalmente para funcionar bajo NS A durante los periodos de mayor demanda, sino más bien para un nivel

inferior que refleje un término medio entre los deseos individuales de los usuarios y los intereses de la sociedad y sus recursos financieros. No obstante, durante aquellos periodos de día que presenten una baja demanda, podrá circularse por la infraestructura con un NS A. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Tabla 17: Criterio de nivel de servicio para carreteras de dos carriles

NIVEL DE SERVICIO	CARRETERA CLASE I		CARRETERA CASE II	CARRETERA CLASE III
	ATS (mi/h)	PTSF (mi/h)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	≥55	≤35	≤ 40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7

Fuente: Highway Capacity Manual 2010, adaptación propia

Se debe tener en cuenta que se pueden obtener dos designaciones de niveles de servicio, en estos casos, la peor designación es la predominante.

2.5.8.2 Determinación de la capacidad

Bajo condiciones base, la capacidad de una carretera de dos carriles (en una dirección) es de 1.700 pc/h. Se deben aplicar las siguientes ecuaciones siempre y cuando se trate de una carretera clase I, el valor más bajo encontrado será tomado como la capacidad.

$$C_{d,ATS} = 1700 \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS} \quad \dots \text{Ecuación 19}$$

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF} \quad \dots \text{Ecuación 20}$$

Donde:

cdATS = Capacidad en la dirección de análisis en condiciones predominantes basadas en ATS (veh/h).

cdPTSF = Capacidad en la dirección de análisis en condiciones predominantes basada en PTSF (veh/h).

En el caso de las carreteras de Clase I, deben calcularse ambas capacidades. El valor más bajo representa la capacidad.

Para las autopistas de clase II, sólo se calcula la capacidad basada en el PTSF.

Para las autopistas de Clase III, sólo se calcula la capacidad basada en el ATS.

2.6 AFOROS

Son procedimientos que se utilizan para registrar el número de vehículos o peatones que pasan por un punto, entran a una intersección o usan una parte de camino; como un carril, un paso de peatones o una acera. Existen dos métodos básicos de aforo, el mecánico y el manual

a) Aforo Mecánico

Actualmente existen equipos tecnológicos avanzados como las cámaras fotográficas, que pueden emplearse para registrar datos en periodos de una hora o más. La mayoría de los contadores automáticos se instalan en lugares específicos y en un periodo de un día a una semana. Este tipo de aforo tiene gran aplicación en aquellos casos en donde solo sea necesario un simple conteo del número de vehículos, sin separar el tipo de vehículos, dirección, uso de carril, etc. Sin embargo, los aforos automáticos son obtenidos y utilizados para determinar la variación horaria, diaria y estimación del tránsito anual.

b) Aforos Manuales

Se usa uno o más aforadores (personas) para recopilar datos en lugares específicos, pueden emplearse de manera que se observe y obtenga la información detallada de clasificación vehicular, movimientos direccionales, etc. En su forma más simple el aforo manual, requiere una persona con un lápiz para anotar mediante rayas los vehículos aforados en una hoja de campo.

2.6.1 Definición de términos básicos

Carretera: Es una faja de terreno con un plano de rodadura esencialmente dispuesto para la circulación cómoda y segura de los vehículos. Una Carretera convencional puede estar conectada a través de accesos, a las propiedades colindantes.

Calzada: Es la parte de la sección de la vía, destinada a la circulación exclusiva de vehículos. También se le conoce como superficie de rodadura.

Capacidad de vía: Es el número máximo de pasajeros y/o vehículos de pasajeros que puede, mediante criterios establecidos, pasar por determinada vía, en un periodo de tiempo, en determinadas condiciones.

Carril: Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por señalización vial.

Ciclista: Persona que va montada en una bicicleta por la vía pública.

Conductor: Es la persona que tiene a su cargo el movimiento y dirección de un vehículo cualquiera, inclusive sin motor, generalmente denominado chofer.

Densidad de Tránsito: Es el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de carretera en un instante dado. Por lo general se expresa en vehículos por kilómetro.

Demora: Es el tiempo perdido por un vehículo debido a las causas más allá del control del conductor.

Flujo Continuo: Es la condición en la cual un vehículo recorre un tramo de un carril o vía, y no está obligado a parar por ninguna causa externa.

Ingeniería de Tránsito: Aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras.

Nivel de Servicio: Es la medida cualitativa descriptora de las condiciones operativas de un flujo viario y de su percepción de los motoristas y/o pasajeros.

Peatón: Persona que va a pie por una vía pública.

Tiempo de recorrido: Es el tiempo tomado por un vehículo para atravesar una sección dada en una vía.

Tránsito: Acción de transitar. Actividad de personas y vehículos que pasan por una calle, una carretera, etc.

Vehículo: Es un artefacto que sirve para transportar personas o cargas, impulsado por su propio motor, tracción o fuerza humana.

Velocidad: Se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Se expresa en km/h.

Volumen de Tránsito: Es el número de vehículos que pasa un punto determinado durante un periodo específico de tiempo.

Vía: Carretera, vía urbana o camino rural abierto a la circulación pública de vehículos y/o peatones.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajabamba

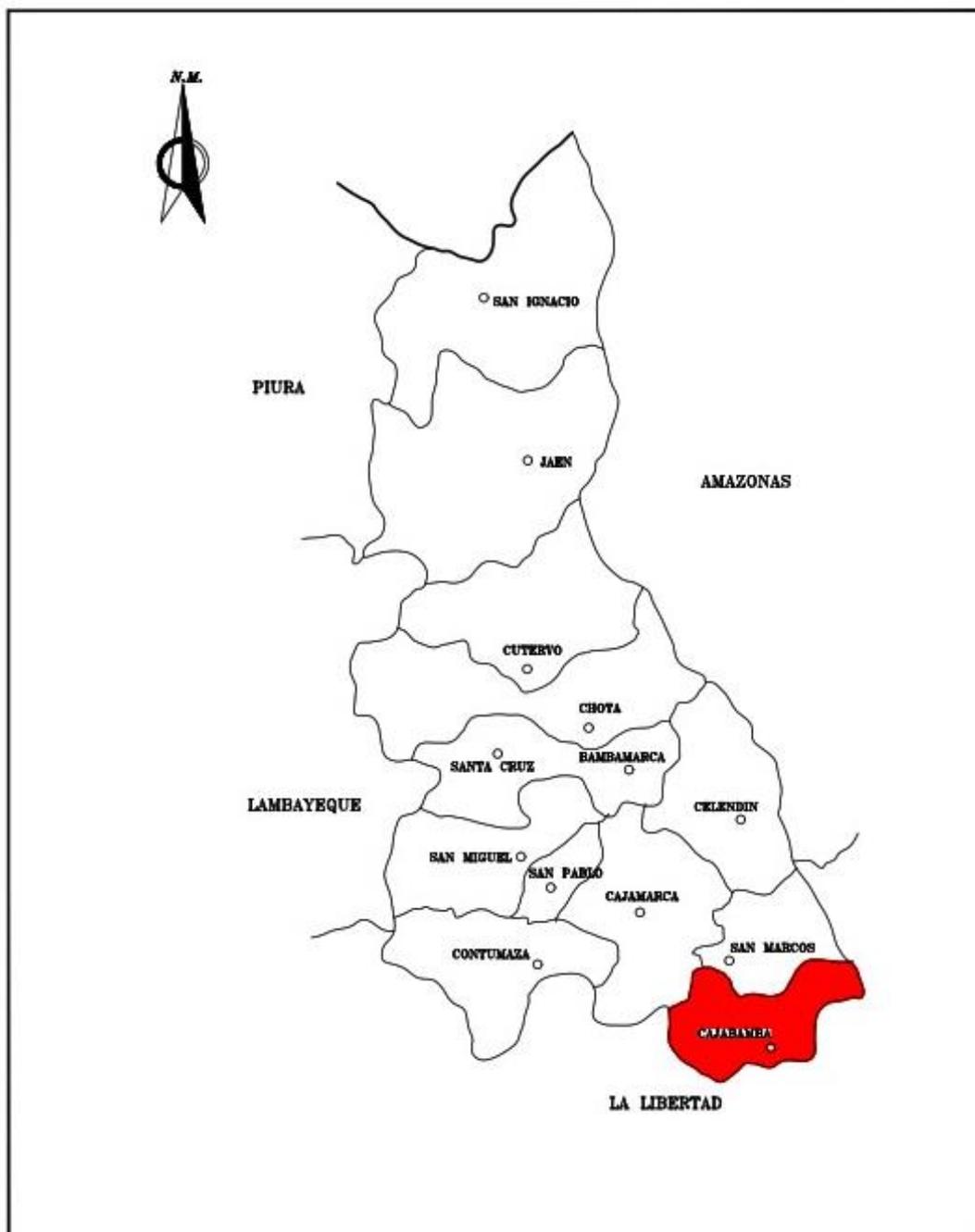
Distrito: Cajabamba

Figura 4: Mapa del Perú



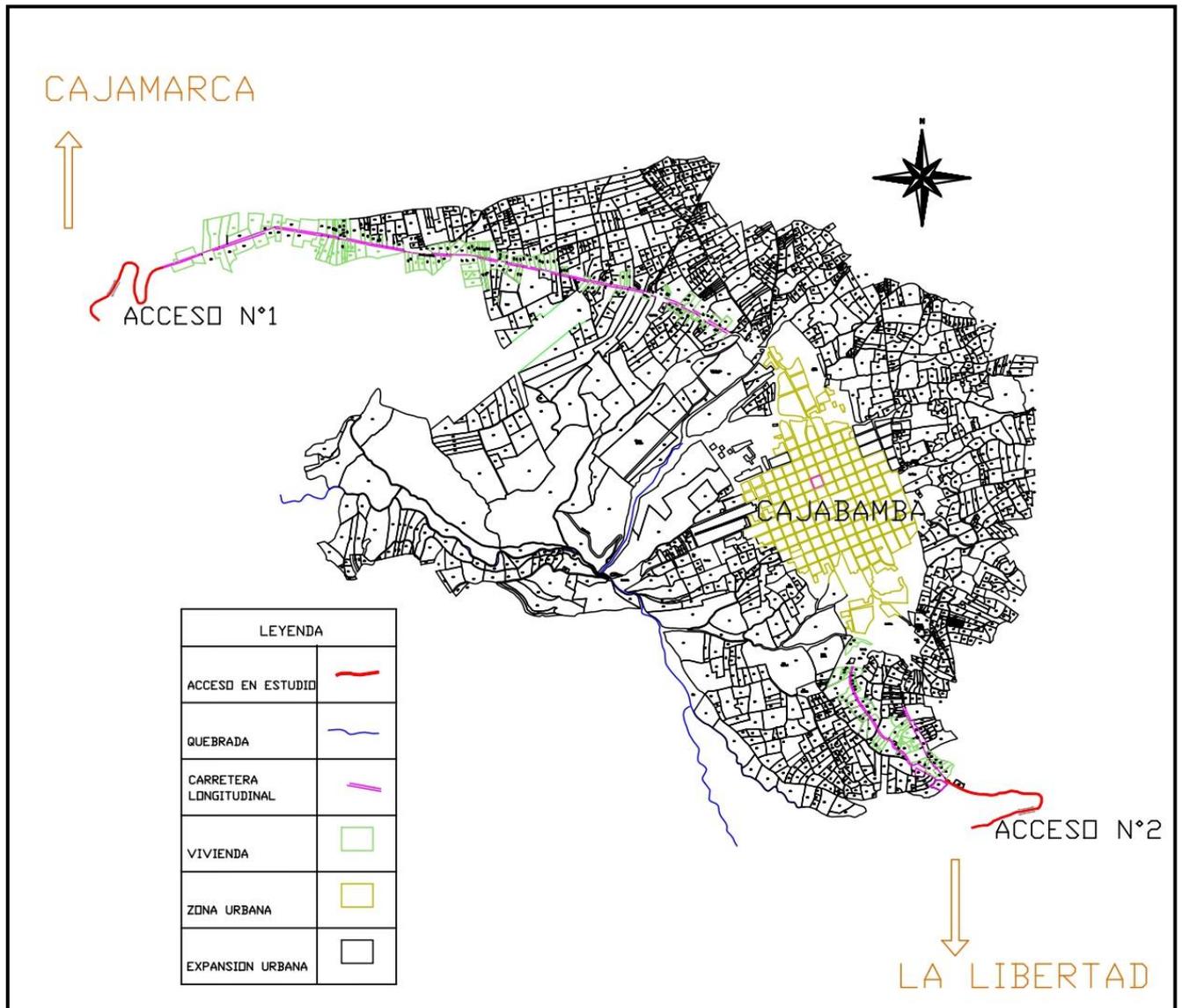
Fuente: [https:// BiblioCAD.com/](https://BiblioCAD.com/)

Figura 5: Mapa de la región de Cajamarca



Fuente: [https:// BiblioCAD.com/](https://BiblioCAD.com/)

Figura 6: Ubicación de los accesos en estudio



Fuente: MPC(municipalidad provincial de Cajabamba)-catastro

La investigación se realizó de manera puntual en las vías de ingresos a la ciudad de Cajabamba, denominadas acceso 1 y acceso 2.

acceso 01 (ingreso sur: Cajamarca-Cajabamba): vía de dos carriles en sentido contrario.

Tabla 18: Coordenadas UTM de las zonas de investigación.

PUNTO	ESTE(m)	NORTE(m)	COTA(m.s.n.m)
Inicial	821862,44	9157661,44	2547,56
Final	822245,13	9157981,79	2525,42

Fuente: Propia

acceso 02 (ingreso norte: La libertad-Cajabamba): vía de dos carriles en sentido contrario.

Tabla 19: Coordenadas UTM de las zonas de investigación.

PUNTO	ESTE(m)	NORTE(m)	COTA(m.s.n.m)
Inicial	827102,26	9154593,46	2645,78
Final	826942,41	9154879,84	2715,79

Fuente: Propia

3.2 PERIODO DE ESTUDIO

El periodo de estudio destinado a los aforos vehiculares fue de una semana de 7am a 8pm, comenzando el día domingo 05/03/2023 hasta el día sábado 11/03/2023.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica: La observación; para lo cual se utilizó mecanismos medibles como la estación total, evitando así errores de subjetividad.

Instrumento: La guía de observación, la cual se tomó los datos para las características geométricas de las vías, volúmenes vehiculares y medición de velocidad promedio.

3.3.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

Los instrumentos metodológicos usados en la presente tesis fueron formatos de fichas de recolección de datos en campo.

3.3.1.1 Guías de observación de campo

Formato de conteo vehicular

En la guía de observación (obsérvese Figura 7) indica el número de vehículos que transitan en la vía.

Figura 7: Formato de conteo vehicular

Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

ALUMNO: José Villanueva Calderón

TRAMO:
SENTIDO DE VIA:
FECHA:
CARRIL:



DIA:

FORMATO PARA EL FLUJO VEHICULAR-FUENTE PROPIA

TIPO	SENTIDO	 Moto lineal	 Mototaxi	 Automóvil	 Camioneta	 Combis	 Camión 2EJES	 Camión 3EJES	 SEMI REMOLQUE	 REMOLQUE	 Buses	Total
HORA												

Fuente: Propia

Formato de recolección de velocidades

En la guía de observación (Figura 8) indica la velocidad de cada vehículo que transita por la vía considerando 70 vehículos para el análisis.

Figura 8: Formato de recolección de velocidades

Evaluación de la capacidad y niveles de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

ALUMNO: José Villanueva Calderón

TRAMO:
DIA:
SENTIDO DE VIA:
FECHA:
CARRIL:



FORMATO TOMA DE VELOCIDADES

PRIMERA TOMA DE VELOCIDADES					
ONDULADO					
SENTIDO: CAJAMARCA-CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA-CAJAMARCA		
N°	Vel km/hora	Vel milla/hora	N°	Vel km/hora	Vel milla/hora
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

PRIMERA TOMA DE VELOCIDADES					
PLANO					
SENTIDO: LA LIBERTAD-CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA-LA LIBERTAD		
N°	Vel km/hora	Vel milla/hora	N°	Vel km/hora	Vel milla/hora
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Fuente: Propia

3.3.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

Los instrumentos de ingeniería utilizados en la presente tesis, son los equipos y herramientas utilizadas en campo para la recolección de datos que se presentan a continuación.

- Estación total marca Leica FlexLine TS06, precisión angular 3''
- Trípode estación total marca Leica
- GPS navegador marca Garmin modelo Etrex 32x pantalla en color 2,2''
- GPS diferencial marca CHCNAV modelo i90, serie 6206300597
- Cámara fotográfica marca Canon
- Laptop marca Toshiba
- Software de ingeniería
- Camioneta
- Cinta métrica
- EPP (chalecos reflectivos, conos de seguridad, pancarta, casco)
- Impresora

Figura 10: Formato de recolección de coordenadas



Fuente: Google Imágenes

3.4 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La investigación se realizó en 3 etapas, que se describen a continuación:

3.4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

3.4.1.1 Delimitación de progresivas, cotas y ancho de carretera

Equipos y herramientas utilizadas

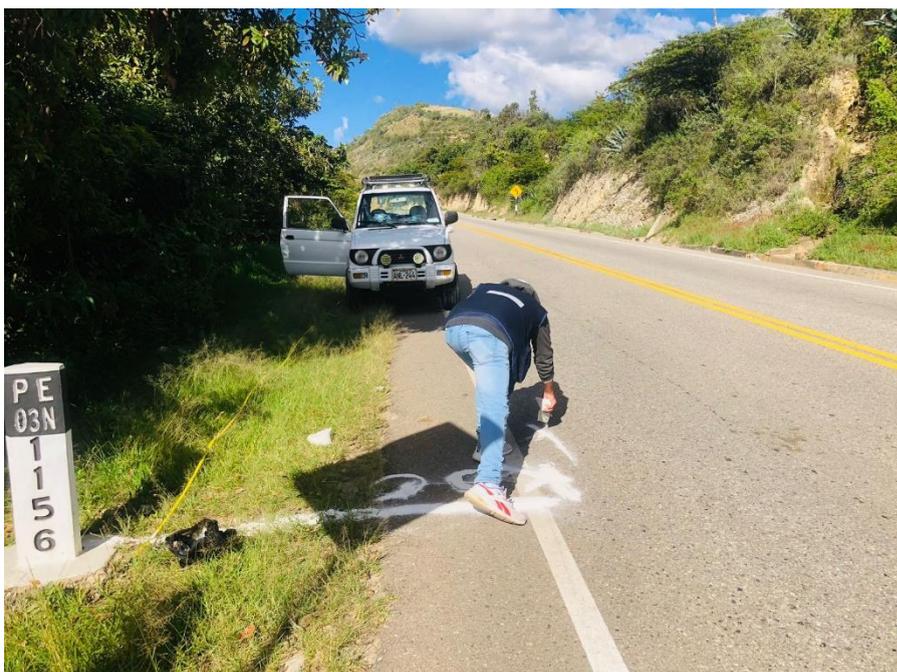
Para la determinación de las progresivas y las cotas en el tramo de estudio, se utilizaron los siguientes equipos y herramientas.

- Estación, prisma y trípode
- GPS
- Wincha (100 m.)

Procedimiento y tomas de datos

Con ayuda de la wincha se midió el ancho de carretera obteniendo una longitud de 7 m en el primer acceso y de 6.40 m en el segundo acceso. Se generó el alineamiento mediante la ubicación de las progresivas usando el cartaboneo de la longitud cada 20 m. Para ambos accesos se utilizó la estación total para determinar las coordenadas de cada punto.

Figura 11: Formato de recolección de coordenadas



Fuente: Propia

3.4.1.2 Determinación de pendientes longitudinales del tramo

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de las pendientes longitudinales de los accesos se utilizó una estación total con apoyo de un GPS.

Procedimiento y toma de datos

Para hallar las pendientes longitudinales se consideraron puntos cada 20 m. a lo largo de toda la carretera, hallando la diferencia de nivel entre cada punto sucesivo.

Resumen de pendientes longitudinales

Se hallaron las siguientes pendientes longitudinales de acuerdo a las dos clases de carretera:

Acceso 1: Se obtuvo una pendiente máxima de 8.14 %, y una pendiente mínima de 4.80 %.

Acceso 2: Se obtuvo una pendiente máxima de 5.34 %, y una pendiente mínima de 2.48 %.

Desnivel entre los puntos tomados en cada acceso de estudio

El primer punto considerado en el primer acceso se encuentra en la cota 2540.30 m.s.n.m. y el segundo punto denominado el mirador se encuentra en la cota 2606.39 m.s.n.m. Por lo cual existe un desnivel de 66.09 m.

El primer punto considerado en el segundo acceso se encuentra en la cota 2707.78 m.s.n.m. y el segundo punto se encuentra en la cota 2735.54 m.s.n.m. Por lo cual existe un desnivel de 27.76 m.

3.4.1.3 Determinación de inicio y fin de zonas de no adelantamiento

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de las zonas de no adelantamiento en los accesos se realizó mediante el uso del GPS para la ubicación de inicio y final de los tramos de zonas de no adelantamiento.

Procedimiento y toma de datos

Para la medición del porcentaje de zonas de no adelantamiento primero se realizó el recorrido, obteniendo las progresivas con apoyo del GPS navegador después se sube al Software Excel en el perfil de tramo de ambos sentidos, de esta manera se obtendrá los porcentajes de zonas de no adelantamiento.

Figura 12: Inicio de zonas de no adelantamiento



Fuente: Propia

3.4.2 TOMA DE VELOCIDADES

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de la velocidad media de la muestra (BFFS), se utilizó los siguientes equipos y herramientas:

- Guía de observación
- Wincha de 100m
- Cronómetro

Procedimiento y toma de datos

- En primer lugar, se ubicaron los puntos referenciales divididos de acuerdo a los tipos de terreno plano, ondulado. En cada punto con ayuda del cronómetro se tomó la velocidad de 70 vehículos por cada sentido en un recorrido de 100m, luego cada valor obtenido fue registrado en la guía correspondiente.
- En las tablas siguientes (Tabla 20,21) se muestran la recopilación de velocidades en los accesos de la carretera en estudio.

Figura 13: Toma de velocidades en campo



Fuente: Propia

Tabla 20: cuadro de observación – terreno ondulado

TOMA DE VELOCIDAD					
ONDULADO					
SENTIDO: CAJAMARCA-CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA-CAJAMARCA		
N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h
1	35.27	21.92	1	55.34	34.39
2	54.37	33.78	2	54.65	33.96
3	36.34	22.58	3	56.36	35.02
4	52.37	32.54	4	42.35	26.32
5	45.73	28.42	5	65.73	40.84
6	42.36	26.32	6	62.56	38.87
7	42.78	26.58	7	52.07	32.35
8	53.27	33.10	8	53.53	33.26
9	45.63	28.35	9	65.64	40.79
10	36.36	22.59	10	46.23	28.73
11	58.43	36.31	11	68.43	42.52
12	36.56	22.72	12	56.76	35.27
13	48.24	29.97	13	58.53	36.37
14	46.36	28.81	14	61.21	38.03
15	48.34	30.04	15	59.16	36.76
16	32.87	20.42	16	61.36	38.13
17	57.34	35.63	17	77.13	47.93
18	54.09	33.61	18	74.67	46.40
19	35.23	21.89	19	43.09	26.77
20	32.67	20.30	20	58.12	36.11
21	45.78	28.45	21	53.66	33.34
22	37.61	23.37	22	47.23	29.35
23	31.35	19.48	23	51.45	31.97
24	41.67	25.89	24	41.67	25.89
25	43.67	27.14	25	73.05	45.39
26	32.46	20.17	26	52.46	32.60
27	39.56	24.58	27	69.39	43.12

28	49.12	30.52	28	55.18	34.29
29	47.32	29.40	29	67.47	41.92
30	31.46	19.55	30	31.46	19.55
31	34.29	21.31	31	62.34	38.74
32	33.56	20.85	32	51.45	31.97
33	47.19	29.32	33	61.67	38.32
34	54.57	33.91	34	64.68	40.19
35	34.76	21.60	35	68.67	42.67
36	31.67	19.68	36	52.56	32.66
37	38.13	23.69	37	75.04	46.63
38	39.17	24.34	38	52.78	32.80
39	32.56	20.23	39	61.86	38.44
40	59.49	36.97	40	41.96	26.07
41	39.17	24.34	41	62.92	39.10
42	45.27	28.13	42	65.81	40.89
43	37.28	23.16	43	66.72	41.46
44	35.26	21.91	44	57.12	35.49
45	46.11	28.65	45	64.34	39.98
46	32.16	19.98	46	65.97	40.99
47	29.37	18.25	47	68.94	42.84
48	34.91	21.69	48	73.04	45.38
49	38.55	23.95	49	68.45	42.53
50	37.29	23.17	50	58.34	36.25
51	49.21	30.58	51	73.58	45.72
52	34.37	21.36	52	68.28	42.43
53	49.37	30.68	53	49.37	30.68
54	32.48	20.18	54	62.45	38.80
55	43.35	26.94	55	59.51	36.98
56	27.38	17.01	56	78.87	49.01
57	32.44	20.16	57	76.69	47.65
58	28.77	17.88	58	59.93	37.24
59	57.37	35.65	59	39.47	24.53

60	31.33	19.47	60	46.92	29.15
61	38.49	23.92	61	60.27	37.45
62	36.55	22.71	62	57.36	35.64
63	36.22	22.51	63	78.22	48.60
64	32.45	20.16	64	52.47	32.60
65	33.78	20.99	65	63.97	39.75
66	45.41	28.22	66	58.23	36.18
67	37.48	23.29	67	72.32	44.94
68	42.49	26.40	68	56.21	34.93
69	37.52	23.31	69	69.33	43.08
70	33.49	20.81	70	63.25	39.30
BFFS=		25.17 Mi/h	BFFS=		37.35 Mi/h
SENTIDO: CAJAMARCA -CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA - CAJAMARCA		

Fuente: Propia

Tabla 21: cuadro de observación – terreno plano

TOMA DE VELOCIDAD					
PLANO					
SENTIDO: LA LIBERTAD - CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA - LA LIBERTAD		
N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h
1	42.36	26.32	1	44.34	27.55
2	44.57	27.69	2	55.92	34.75
3	39.47	24.53	3	57.37	35.65
4	47.13	29.29	4	39.48	24.53
5	34.48	21.42	5	57.17	35.52
6	39.36	24.46	6	53.47	33.22
7	42.15	26.19	7	42.92	26.67
8	42.19	26.22	8	49.87	30.99
9	47.48	29.50	9	58.49	36.34
10	46.44	28.86	10	62.23	38.67

11	58.68	36.46	11	58.92	36.61
12	59.49	36.97	12	39.37	24.46
13	42.21	26.23	13	52.27	32.48
14	33.45	20.78	14	62.33	38.73
15	47.32	29.40	15	42.47	26.39
16	57.33	35.62	16	47.01	29.21
17	53.54	33.27	17	55.83	34.69
18	45.44	28.24	18	58.36	36.26
19	43.58	27.08	19	66.35	41.23
20	54.57	33.91	20	41.66	25.89
21	57.23	35.56	21	46.37	28.81
22	58.12	36.11	22	49.02	30.46
23	43.22	26.86	23	66.55	41.35
24	59.48	36.96	24	43.48	27.02
25	37.54	23.33	25	61.02	37.92
26	52.84	32.83	26	42.34	26.31
27	43.36	26.94	27	61.18	38.02
28	44.45	27.62	28	43.24	26.87
29	47.65	29.61	29	46.33	28.79
30	48.78	30.31	30	49.83	30.96
31	56.23	34.94	31	43.26	26.88
32	42.23	26.24	32	42.74	26.56
33	47.55	29.55	33	56.36	35.02
34	45.69	28.39	34	64.06	39.81
35	46.45	28.86	35	39.23	24.38
36	49.02	30.46	36	47.13	29.29
37	52.18	32.42	37	54.98	34.16
38	65.36	40.61	38	51.65	32.09
39	67.45	41.91	39	58.92	36.61
40	38.83	24.13	40	42.46	26.38
41	61.63	38.30	41	57.43	35.69
42	47.27	29.37	42	49.61	30.83

43	53.56	33.28	43	52.99	32.93
44	43.25	26.87	44	63.78	39.63
45	55.05	34.21	45	59.72	37.11
46	52.58	32.67	46	52.36	32.53
47	47.76	29.68	47	35.48	22.05
48	57.77	35.90	48	38.29	23.79
49	56.56	35.14	49	64.02	39.78
50	59.57	37.02	50	42.82	26.61
51	64.43	40.03	51	48.32	30.02
52	55.12	34.25	52	47.55	29.55
53	58.46	36.33	53	45.18	28.07
54	45.45	28.24	54	43.42	26.98
55	52.39	32.55	55	56.54	35.13
56	43.67	27.14	56	52.67	32.73
57	48.08	29.88	57	42.69	26.53
58	49.96	31.04	58	45.34	28.17
59	57.97	36.02	59	47.78	29.69
60	53.96	33.53	60	43.87	27.26
61	57.87	35.96	61	53.27	33.10
62	61.72	38.35	62	46.56	28.93
63	58.36	36.26	63	63.37	39.38
64	49.06	30.48	64	42.67	26.51
65	63.57	39.50	65	46.36	28.81
66	52.37	32.54	66	56.23	34.94
67	45.86	28.50	67	33.34	20.72
68	57.37	35.65	68	45.46	28.25
69	58.54	36.38	69	42.56	26.45
70	42.02	26.11	70	59.36	36.88
BFFS= 31.39 Mi/h			BFFS= 31.38 Mi/h		
SENTIDO: LA LIBERTAD - CAJABAMBA			SENTIDO: CAJABAMBA - LA LIBERTAD		

Fuente: Propia

3.4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO

Se tomaron las medidas de las características geométricas de los tramos en estudio, los volúmenes de tránsito y velocidades, se realizaron las siguientes actividades:

a. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con una estación total marca Leica TS06 de 3 seg .

Se procedió a recorrer la zona de estudio para obtener el panorama global de la zona, se estacionó el punto E-0(primer punto de estación) se ingresaron los datos de coordenadas UTM y cota del punto proporcionadas por el GPS navegador digital marca Garmin, luego se procedió a orientar nuestro primer punto E-0 con el NM (segundo punto de estación) para ello al igual que el primer paso se obtuvieron los datos UTM y cota de punto N-M

Una vez obtenido nuestra orientación utilizamos el método de estación libre para fijar el levantamiento topográfico a dos puntos mencionados, seguidamente se procedió a tomar lectura de los puntos de interés como son:

El eje de la vía, ancho de calzada, cunetas, obras de arte, por otro lado, la toma de puntos se realizó cada 10 m, finalmente se realizó a tomar dos puntos BM dejando materializado

b. Aforo vehicular:

El HCM 2010 propone el análisis para cada dirección de viaje, es por ello, que el aforo vehicular se realizó para las 2 direcciones de viaje que están presentes en las zonas de estudio.

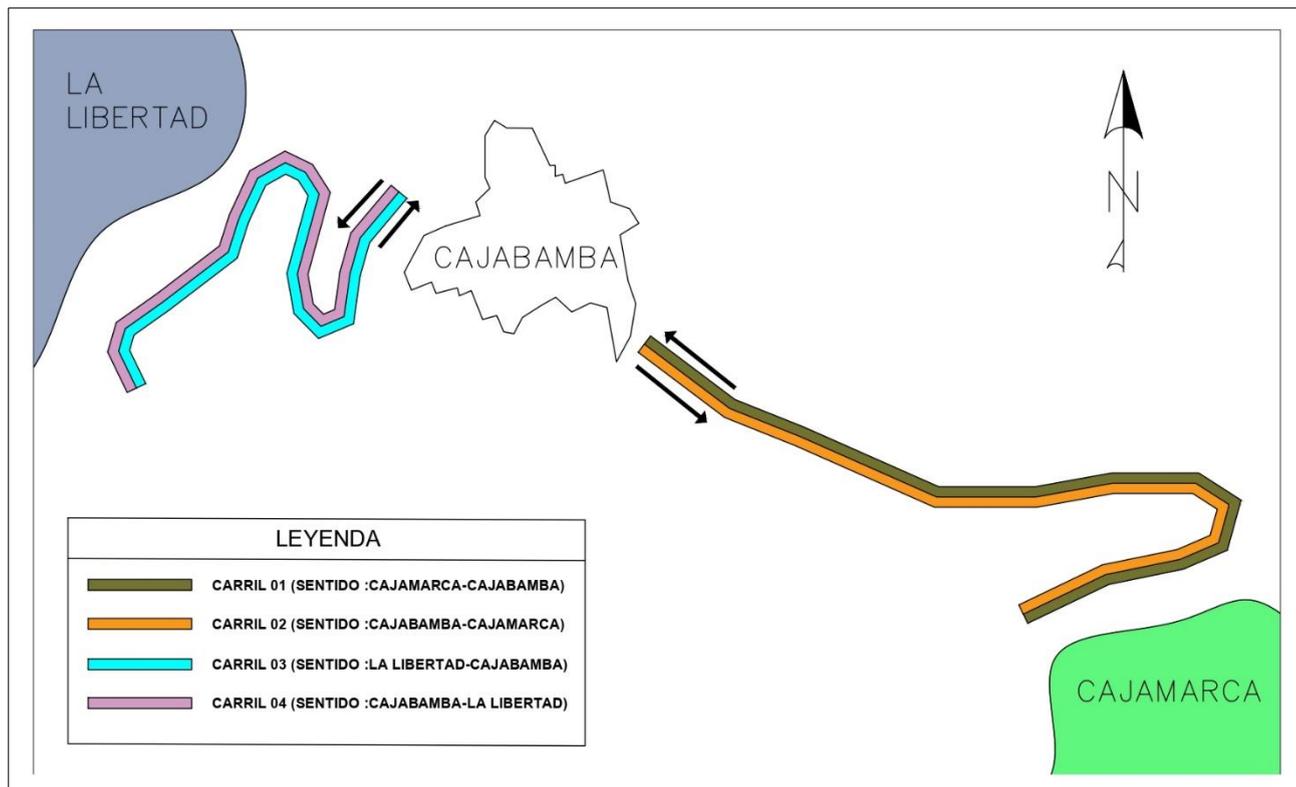
- Llegada: En esta dirección el flujo vehicular va desde:
Cajamarca a Cajabamba (carril 01)
la Libertad a Cajabamba (carril 03)

- Salida: En esta dirección el flujo vehicular va desde:
Cajabamba a Cajamarca (carril 02)
Cajabamba a la Libertad (carril 04)

-

Los segmentos determinados se describen en la figura 14 (Ver anexo -Plano en planta y perfil)

Figura 14: sentido del flujo vehicular por carril



Fuente: Propia

Tabla 22: segmentos de las zonas de investigación.

N° SEG.	PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL	LONG. DEL SEGMENTO
01	Cajamarca	Cajabamba	1017 m
02	La Libertad	Cajabamba	1009 m

Fuente: Propia

3.4.4 Procesamiento de datos a partir del aforo vehicular y del levantamiento topográfico

Con los datos obtenidos del aforo en campo, se determinó el volumen vehicular diario, TPDS, composición vehicular, histogramas del día de máxima demanda, el volumen horario de máxima demanda, el volumen de los 15 minutos de máxima demanda (Q15máx), la capacidad vehicular y el FHMD. Estos parámetros se calculan para cada dirección de viaje.

3.4.5 Metodología de la investigación.

3.4.5.1 Tipo de la investigación

Cuantitativa, por que mide fenómenos, prueba hipótesis y hace análisis de causa - efecto. (Henandez, 2014). En este caso la presente investigación mide un fenómeno como el nivel de servicio a través de la información recogida en campo como las características físicas de tránsito para probar nuestra hipótesis y así poder realizar el análisis de la causal y sus posibles efectos.

3.4.5.2 Nivel o alcance de la investigación.

Descriptivo con alcances correlacionales, detalla sucesos colectivos en una situación de tiempo y espacio determinado. Tiene por objetivo determinar parámetros con intervalos de confianza. En el caso de la investigación planteada, describiremos los fenómenos del nivel de servicio en los accesos a la ciudad de Cajabamba, en la carretera longitudinal de la sierra norte PE-3N, para determinar sus parámetros.

3.4.5.3 Método de investigación.

Hipotético – Deductivo, propone una hipótesis como consecuencia de sus modificaciones del conjunto de datos prácticos mediante procedimientos deductivos para arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis y que después se puede comprobar experimentalmente (Henandez, 2014).

3.4.6 Diseño de la investigación

3.4.6.1 Diseño metodológico.

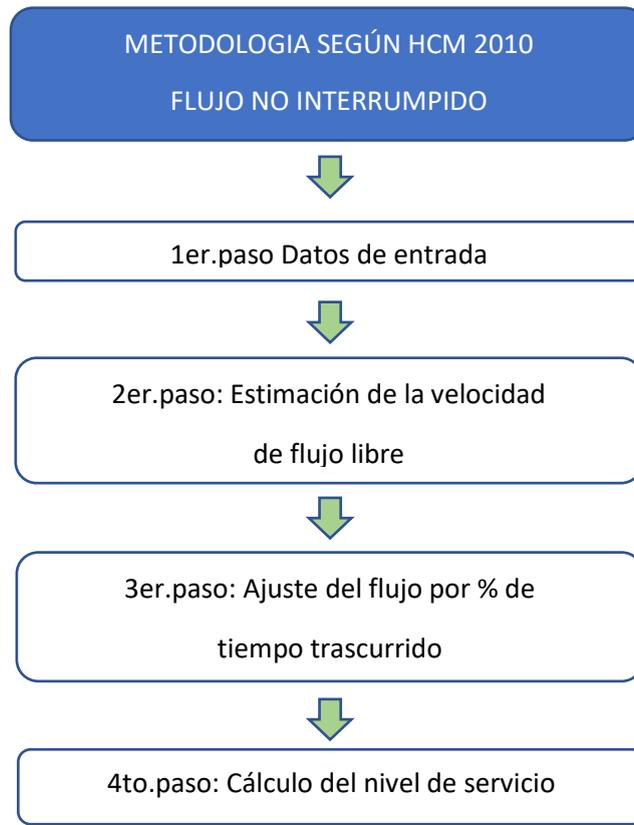
La investigación experimental, está referido a un estudio en el que se maneja deliberadamente las variables independientes (supuestas causas antecedentes), para realizar estudio de las consecuencias que la manipulación tiene sobre las variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (Henandez, 2014). A su vez, es transeccional, por que la recolección de se da en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y ver cómo afecta y se relacionan en un momento dado (Henandez, 2014).

3.4.6.2 Diseño de ingeniería.

Se determinó el nivel de servicio y la capacidad de los segmentos descritos anteriormente utilizando la metodología del HCM 2010 (Capitulo 15. Carreteras de dos carriles)

La siguiente figura muestra los pasos para determinar el nivel de servicio de una carretera de dos carriles con flujo no interrumpido.

Figura 15: Flujograma de la metodología utilizada en la investigación



Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VIA

La vía en estudio pertenece a la ruta nacional PE-3N la cual comunica a las provincias de Cajamarca – Chota – Cutervo – Cuyca – Pucará por el norte, teniendo como longitud total de 597,75km, de los cuales 174,30km está afirmado y 63,20km sin afirmar; y a Mollepata, Cachicadán – Santiago de Chuco – Shorey – Huamachuco por el sur, teniendo como longitud total de 237,50km, de los cuales 174,30km están afirmados y 63,20km sin afirmar.

Esta ruta atraviesa la ciudad de Cajabamba de Sur a Norte, formando así dos accesos como se muestra en las figuras 16 y 17

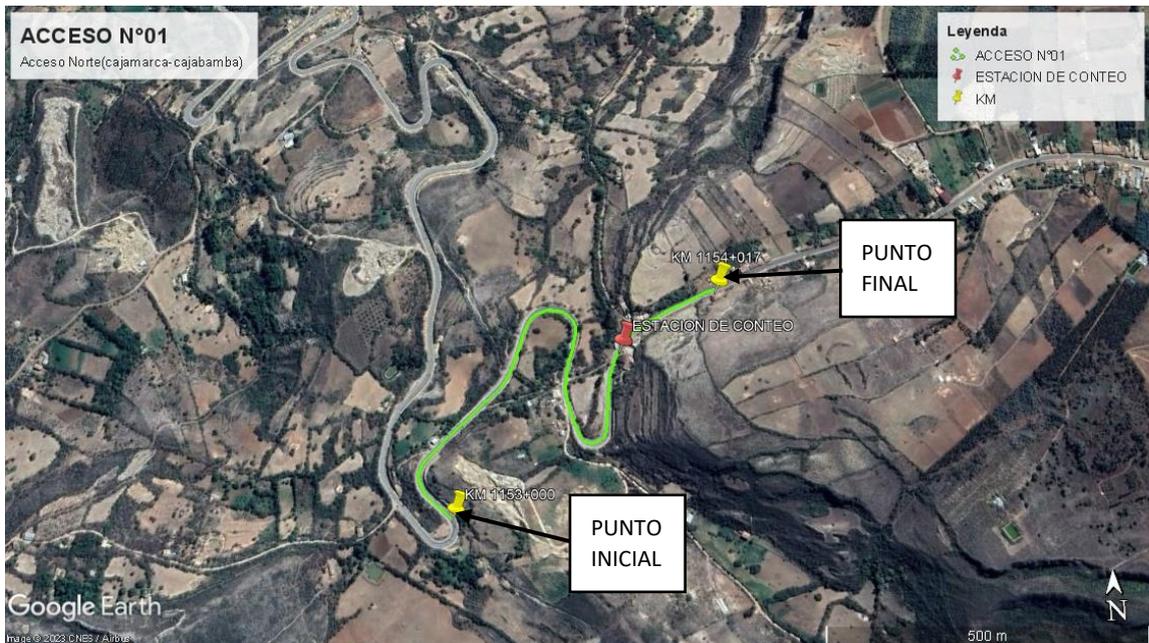
3.5.1 Descripción de los accesos

a. Acceso 01:

Esta vía de dos carriles en sentido opuesto ingresa por la zona norte conectando la ciudad de Cajamarca con la provincia de Cajabamba, está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en buen estado.

se evaluó una longitud de 1,017 km desde el km 1153+000 al km 1154+017, Se optó por analizar ambos carriles: carril 01 (sentido: Cajamarca – Cajabamba) y carril 02 (sentido: Cajabamba-Cajamarca)

Figura 16: Acceso n°01 - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera Cajamarca – Cajabamba)



Fuente: Google Earth Pro 2021.

Tabla 23: Descripción geométrica de la vía PE - 3N - Cajamarca – Cajabamba.

RUTA PE-3N	
Calzada	7,00 m
Carril	3,50 m
Berma de Ingreso	0,57 m
Berma de Salida	0,65 m
Cuneta	1,00 m
% Zonas de No-Rebase	97,70%

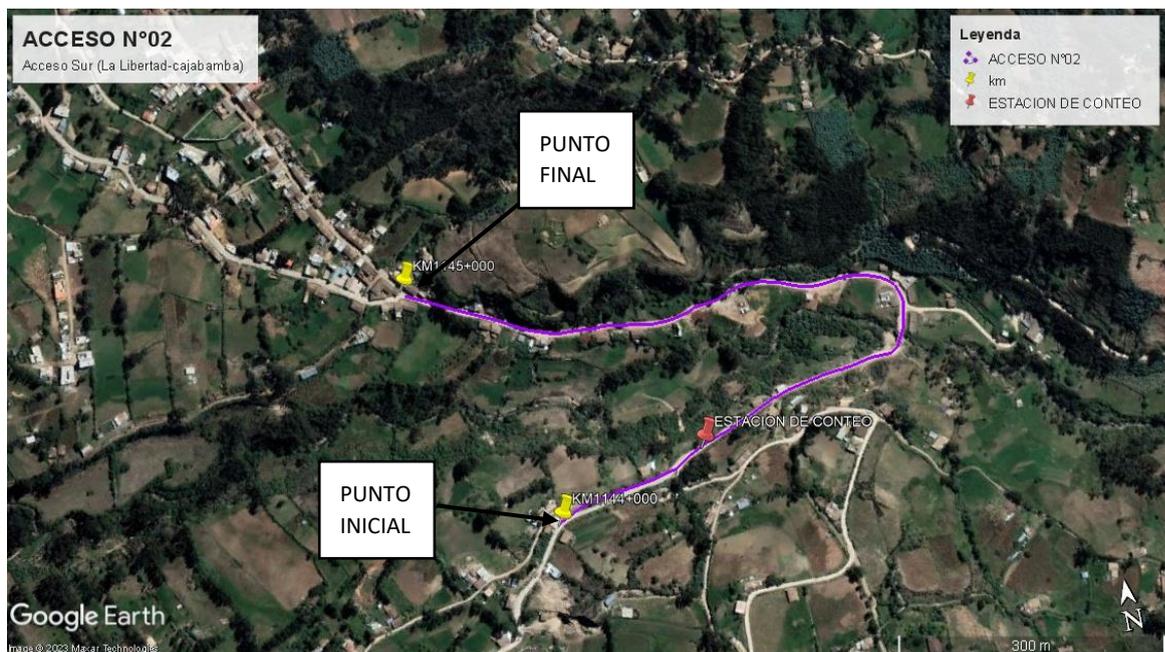
Puntos de Acceso	2
Pendientes Promedio	5,95%

b. Acceso 02:

Esta vía de dos carriles en sentido opuesto ingresa por la zona sur, conectando al departamento de la Libertad con la provincia de Cajabamba, está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en pésimas condiciones por falta de mantenimiento.

se evaluó una longitud de 1,009 km desde el km 1147+730 al km 1148+739, Se optó por analizar ambos carriles: carril 03 (sentido: La libertad – Cajabamba) y carril 04 (sentido: Cajabamba-La libertad)

Figura 17: Acceso n°02 - Ruta PE-3N Zona Noroeste (Carretera La Libertad – Cajabamba)



Fuente: Google Earth Pro 2021.

Tabla 24: Descripción geométrica de la vía PE - 3N - La Libertad - Cajabamba.

RUTA PE-3N	
Calzada	6,40 m
Carril	3,20 m
Berma de Ingreso	0,56 m
Berma de Salida	0,45 m
Cuneta	0,80 m
% Zonas de No-Rebase	90,00%
Puntos de Acceso	2

3.6 ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.6.1 Aforo vehicular

A. Volumen vehicular diario, semanal y TPDS en el acceso 01.

Tabla 25: Volumen vehicular diario carril 01 (sentido :Cajamarca - Cajabamba)

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1 Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, Coaster	
Domingo	269,00	215,00	264,00	198,00	173,00	66,00	38,00	11,00	2,00	6,00	1242,00
Lunes	260,00	210,00	250,00	190,00	170,00	50,00	33,00	10,00	1,00	5,00	1179,00
Martes	255,00	211,00	259,00	195,00	159,00	49,00	30,00	11,00	0,00	7,00	1176,00
Miércoles	259,00	200,00	265,00	188,00	168,00	60,00	35,00	9,00	1,00	2,00	1187,00
Jueves	245,00	205,00	253,00	192,00	155,00	59,00	30,00	7,00	3,00	5,00	1154,00
Viernes	262,00	216,00	255,00	196,00	170,00	55,00	28,00	12,00	2,00	3,00	1199,00
Sábado	260,00	201,00	261,00	191,00	162,00	69,00	29,00	11,00	1,00	4,00	1189,00
TRÁNSITO SEMANAL											8326,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1189,00

Tabla 26: Volumen vehicular diario carril 02 (sentido :Cajabamba - Cajamarca)

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1 Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, coaster	
Domingo	269,00	238,00	304,00	169,00	155,00	62,00	35,00	7,00	10,00	3,00	1252,00

Lunes	255,00	235,00	300,00	165,00	150,00	60,00	30,00	5,00	7,00	1,00	1208,00
Martes	258,00	229,00	298,00	160,00	151,00	59,00	25,00	6,00	8,00	2,00	1196,00
Miércoles	261,00	231,00	295,00	159,00	156,00	55,00	29,00	4,00	10,00	0,00	1200,00
Jueves	259,00	237,00	299,00	161,00	152,00	61,00	31,00	8,00	9,00	3,00	1220,00
Viernes	264,00	230,00	302,00	166,00	148,00	58,00	33,00	7,00	8,00	4,00	1220,00
Sábado	265,00	233,00	295,00	158,00	145,00	57,00	27,00	5,00	9,00	5,00	1199,00
TRÁNSITO SEMANAL											8495,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1214,00

B. Volumen vehicular diario, semanal y TPDS en el acceso 02.

Tabla 27: Volumen vehicular diario carril 03 (sentido :La libertad - Cajabamba)

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, coaster	
Domingo	204,00	220,00	206,00	182,00	175,00	22,00	11,00	4,00	3,00	9,00	1036,00
Lunes	200,00	215,00	205,00	175,00	170,00	20,00	10,00	4,00	3,00	9,00	1011,00
Martes	199,00	221,00	202,00	177,00	172,00	18,00	11,00	3,00	2,00	7,00	1012,00
Miércoles	198,00	219,00	200,00	181,00	165,00	17,00	8,00	1,00	1,00	6,00	996,00
Jueves	203,00	218,00	207,00	179,00	169,00	21,00	12,00	3,00	1,00	9,00	1022,00
Viernes	197,00	220,00	199,00	176,00	170,00	15,00	7,00	3,00	2,00	8,00	997,00
Sábado	201,00	219,00	197,00	180,00	168,00	21,00	9,00	2,00	1,00	8,00	1006,00
TRÁNSITO SEMANAL											7080,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1011,00

Tabla 28: Volumen vehicular diario carril 04 (sentido :Cajabamba - La libertad)

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, coaster	
Domingo	198,00	238,00	183,00	180,00	164,00	11,00	13,00	6,00	1,00	12,00	1006,00

Lunes	190,00	230,00	179,00	175,00	160,00	10,00	9,00	4,00	0,00	10,00	967,00
Martes	195,00	235,00	180,00	179,00	150,00	7,00	10,00	5,00	0,00	9,00	970,00
Miércoles	188,00	237,00	177,00	170,00	159,00	9,00	11,00	5,00	1,00	12,00	969,00
Jueves	195,00	237,00	185,00	180,00	163,00	10,00	13,00	3,00	2,00	13,00	1001,00
Viernes	191,00	229,00	180,00	177,00	161,00	11,00	9,00	6,00	2,00	10,00	976,00
Sábado	197,00	236,00	179,00	178,00	158,00	7,00	12,00	5,00	0,00	9,00	981,00
TRÁNSITO SEMANAL										6870,00	
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)										981,00	

Tabla 29: Cuadro resumen conteo vehicular, domingo

Día	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Moto lineal	269,00	269,00	204,00	198,00
Mototaxi	215,00	238,00	220,00	238,00
Autos, miniván	264,00	304,00	206,00	183,00
Camioneta, pick up	198,00	169,00	182,00	180,00
Combis	173,00	155,00	175,00	164,00
Camión 2 ejes	66,00	62,00	22,00	11,00
Camión 3 ejes	38,00	35,00	11,00	13,00
T2S1 Semi remolque	11,00	7,00	4,00	6,00
2CR1 Remolque Simple	2,00	10,00	3,00	1,00
Buses, coaster	6,00	3,00	9,00	12,00

Figura 18: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo

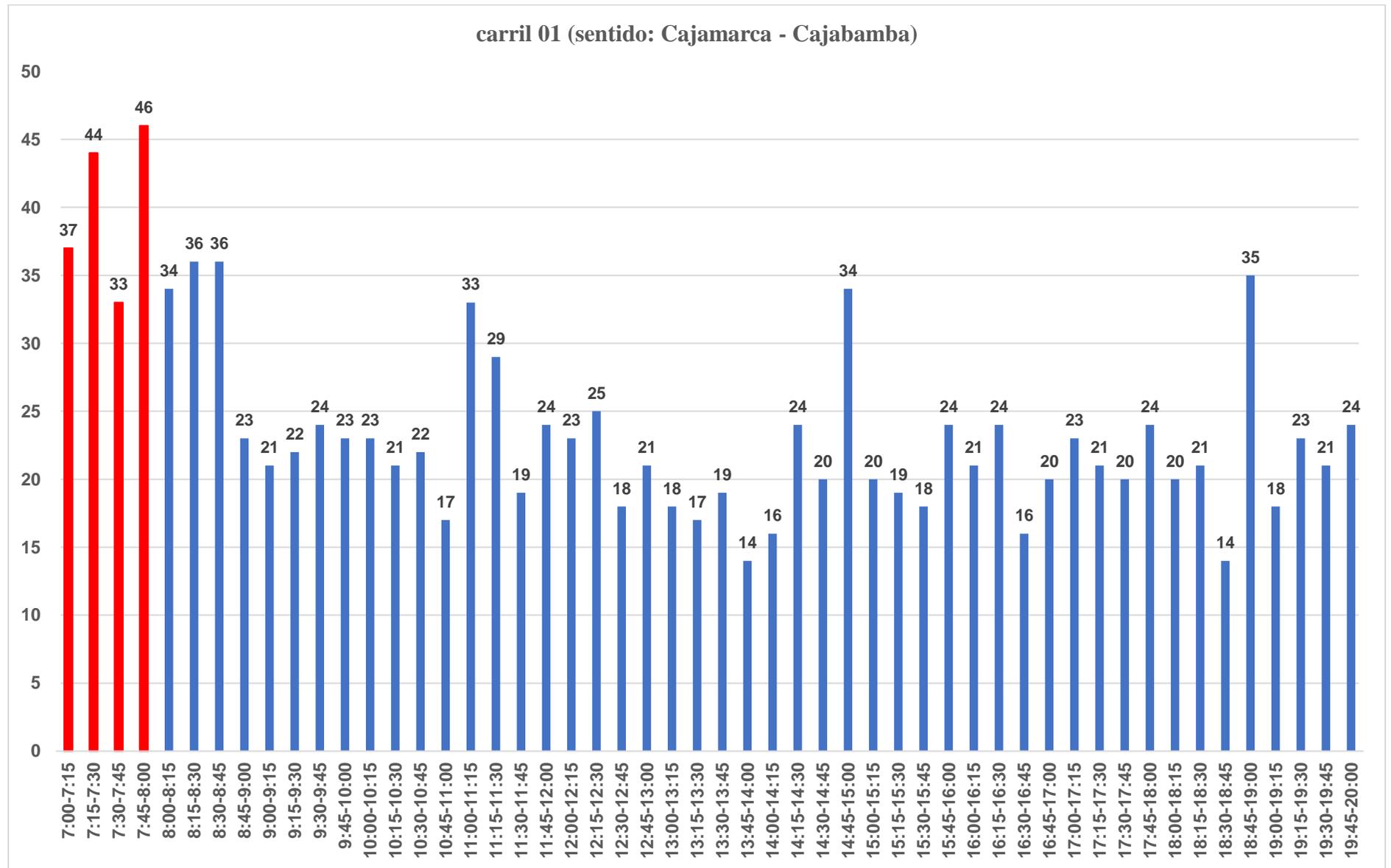


Figura 19: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo

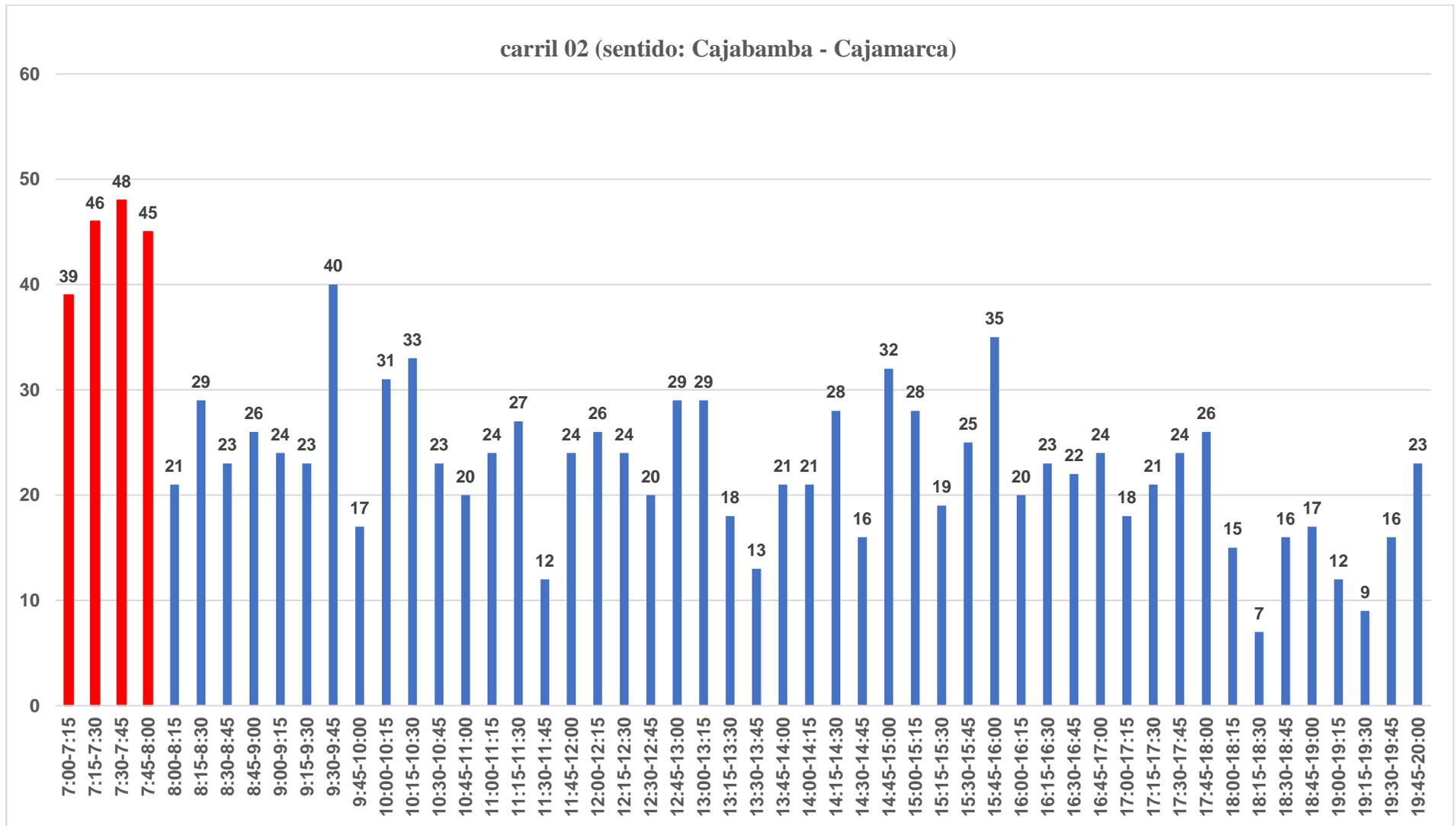


Figura 20: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo

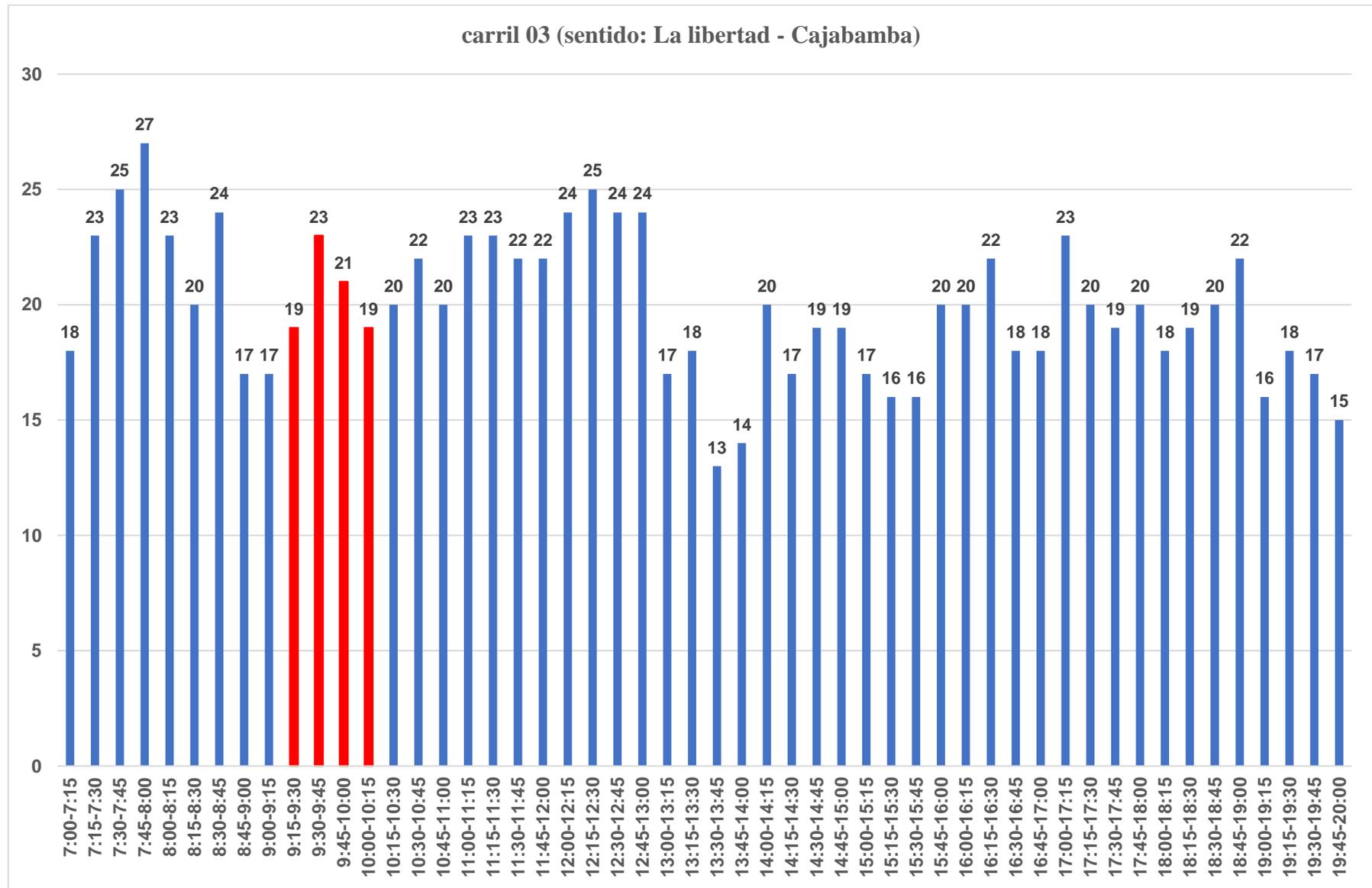
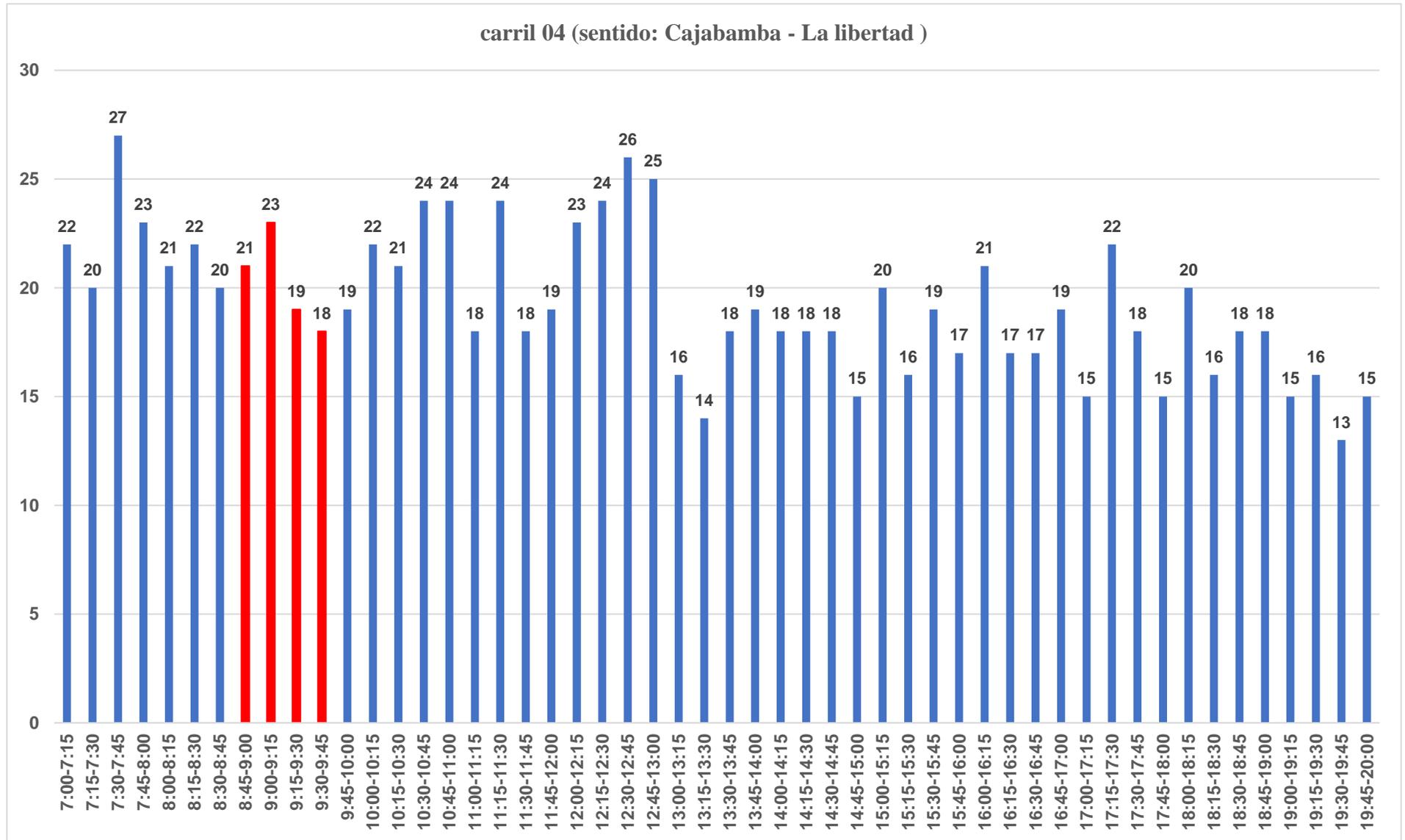


Figura 21: Histogramas del volumen horario de máxima demanda – día Domingo



C. Resumen del tránsito en los accesos

Acceso 01

Tabla 30: Resumen conteo vehicular Acceso 01.

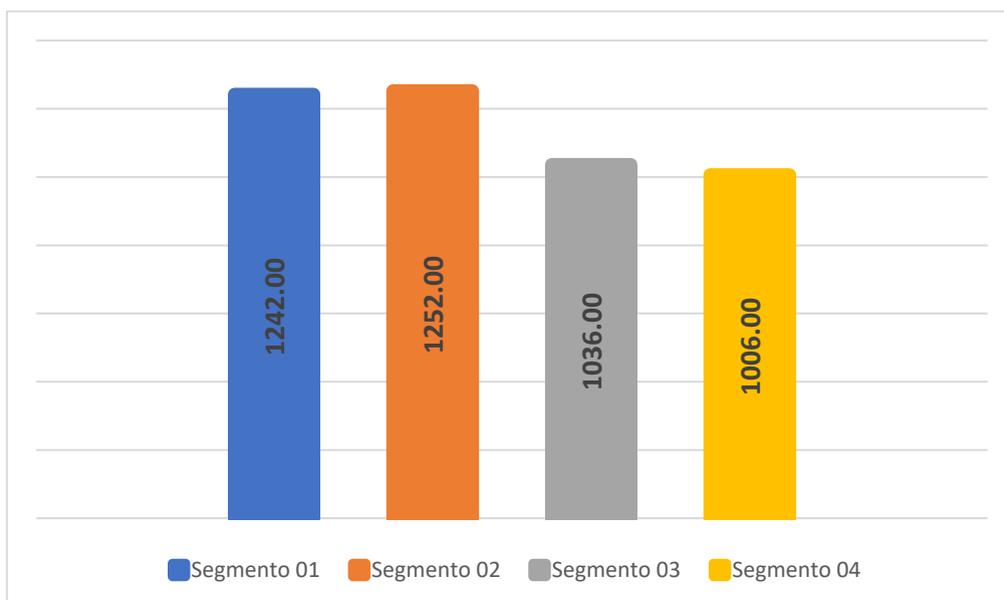
Acceso	carril 01	carril 02
Domingo	1242,00	1252,00
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		
Sábado		

Acceso 02

Tabla 31: Resumen conteo vehicular Acceso 02.

Acceso	carril 03	carril 04
Domingo	1036,00	1006,00
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		
Sábado		

Figura 22: Histograma volumen de máxima demanda, domingo, en los accesos



3.6.2 Composición vehicular

Del aforo se obtuvo la cantidad de vehículos por tipo y porcentaje de participación en los segmentos para el día de máxima demanda, domingo.

Figura 23: Volumen vehicular diario por carril

Tipo de Vehículo Acceso	TIPO DE VEHÍCULO									
	Moto lineal	Mototaxi	Autos	Camioneta	Combis	2 Ejes	3 Ejes	T2S1	C2R1	Buses
Carril 01	269	215	264	198	173	66	38	11	2	6
%Participación	21,66%	17,31%	21,26%	15,94%	13,93%	5,31%	3,06%	0,89%	0,16%	0,48%
Carril 02	269	238	304	169	155	62	35	7	10	3
%Participación	21,49%	19,01%	24,28%	13,50%	12,38%	4,95%	2,80%	0,56%	0,80%	0,24%
Carril 03	204	220	206	182	175	22	11	4	3	9
%Participación	19,69%	21,24%	19,88%	17,57%	16,89%	2,12%	1,06%	0,39%	0,29%	0,87%
carril 04	198	238	183	180	164	11	13	6	1	12
%Participación	19,11%	22,97%	17,66%	17,37%	15,83%	1,06%	1,25%	0,58%	0,10%	1,16%

Se presentan los diagramas para una mejor visualización de los porcentajes de participación de los vehículos en los accesos.

Figura 24: Composición vehicular en hora de máxima demanda ; acceso 01 - carril 01 (sentido: Cajamarca - Cajabamba)

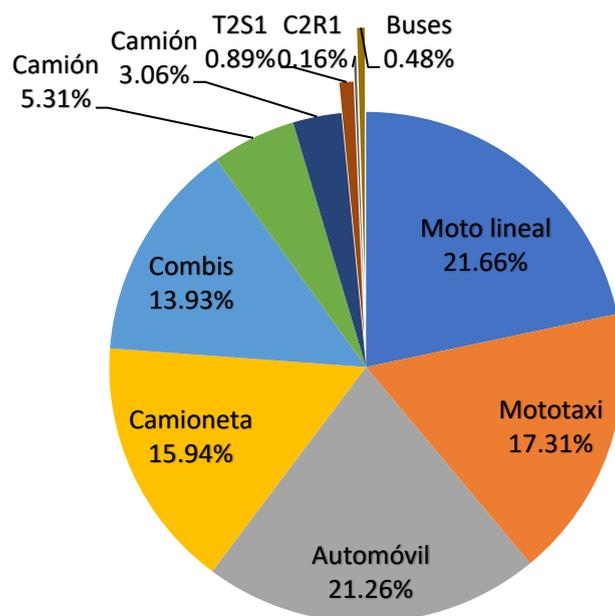


Figura 25: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 01 - carril 02 (sentido: Cajabamba - Cajamarca)

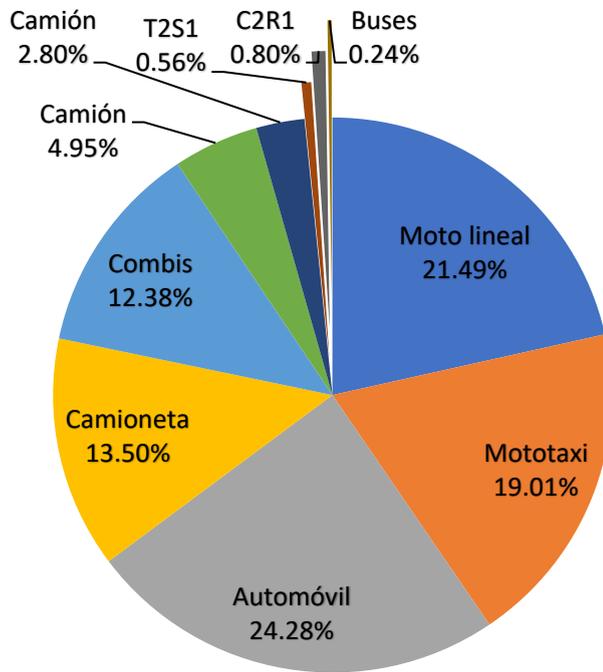


Figura 26: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 02 - carril 03 (sentido: La Libertad - Cajabamba)

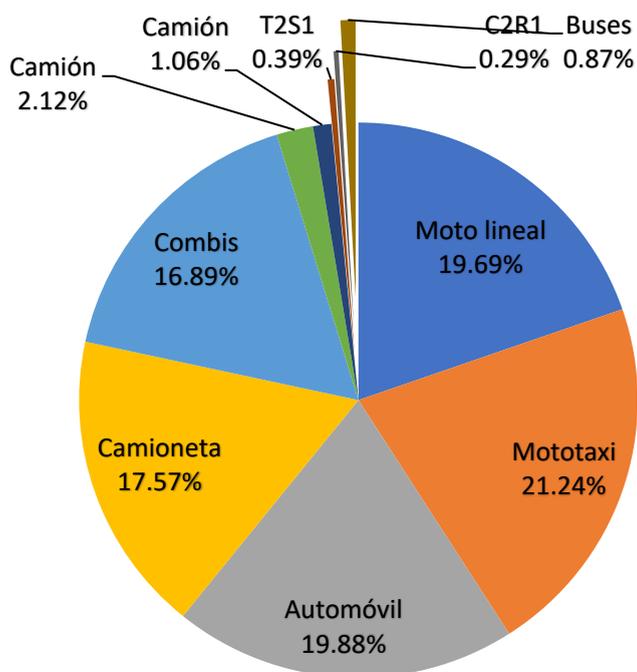
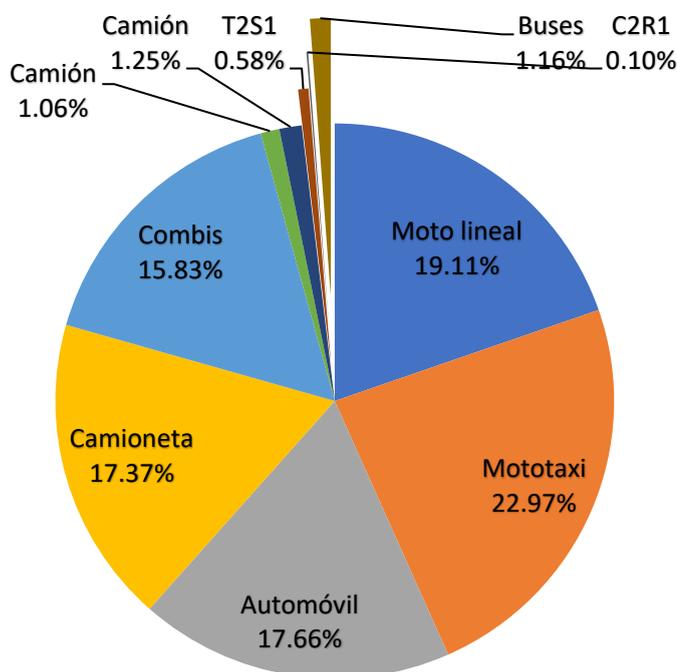


Figura 27: Composición vehicular en hora de máxima demanda; acceso 02 - carril 04 (sentido: Cajabamba – La Libertad)



3.6.3 Volumen horario de máxima demanda para periodos de 15 minutos, tasa de flujo horario y FHMD.

Tabla 32: Resumen vehículos por hora de máxima demanda por carril.

Tipo de Veh.	CARRIL 01		CARRIL 02		Tipo de Veh.	CARRIL 03		CARRIL 04	
Hora	Veh.	Acum.	Veh.	Acum.	Hora	Veh.	Acum.	Veh.	Acum.
7:00-7:15	37	160	39	178	7:00-7:15	18	93	22	92
7:15-7:30	44	157	46	160	7:15-7:30	23	98	20	91
7:30-7:45	33	149	48	143	7:30-7:45	25	95	27	93
7:45-8:00	46	152	45	118	7:45-8:00	27	94	23	86
8:00-8:15	34	129	21	99	8:00-8:15	23	84	21	84
8:15-8:30	36	116	29	102	8:15-8:30	20	78	22	86
8:30-8:45	36	102	23	96	8:30-8:45	24	77	20	83
8:45-9:00	23	90	26	113	8:45-9:00	17	76	21	81
9:00-9:15	21	90	24	104	9:00-9:15	17	80	23	79
9:15-9:30	22	92	23	111	9:15-9:30	19	82	19	78
9:30-9:45	24	91	40	121	9:30-9:45	23	83	18	80
9:45-10:00	23	89	17	104	9:45-10:00	21	82	19	86
10:00-10:15	23	83	31	107	10:00-10:15	19	81	22	91

10:15-10:30	21	93	33	100	10:15-10:30	20	85	21	87
10:30-10:45	22	101	23	94	10:30-10:45	22	88	24	90
10:45-11:00	17	98	20	83	10:45-11:00	20	88	24	84
11:00-11:15	33	105	24	87	11:00-11:15	23	90	18	79
11:15-11:30	29	95	27	89	11:15-11:30	23	91	24	84
11:30-11:45	19	91	12	86	11:30-11:45	22	93	18	84
11:45-12:00	24	90	24	94	11:45-12:00	22	95	19	92
12:00-12:15	23	87	26	99	12:00-12:15	24	97	23	98
12:15-12:30	25	82	24	102	12:15-12:30	25	90	24	91
12:30-12:45	18	74	20	96	12:30-12:45	24	83	26	81
12:45-13:00	21	75	29	89	12:45-13:00	24	72	25	73
13:00-13:15	18	68	29	81	13:00-13:15	17	62	16	67
13:15-13:30	17	66	18	73	13:15-13:30	18	65	14	69
13:30-13:45	19	73	13	83	13:30-13:45	13	64	18	73
13:45-14:00	14	74	21	86	13:45-14:00	14	70	19	73
14:00-14:15	16	94	21	97	14:00-14:15	20	75	18	69
14:15-14:30	24	98	28	104	14:15-14:30	17	72	18	71
14:30-14:45	20	93	16	95	14:30-14:45	19	71	18	69
14:45-15:00	34	91	32	104	14:45-15:00	19	68	15	70
15:00-15:15	20	81	28	107	15:00-15:15	17	69	20	72
15:15-15:30	19	82	19	99	15:15-15:30	16	72	16	73
15:30-15:45	18	87	25	103	15:30-15:45	16	78	19	74
15:45-16:00	24	85	35	100	15:45-16:00	20	80	17	72
16:00-16:15	21	81	20	89	16:00-16:15	20	78	21	74
16:15-16:30	24	83	23	87	16:15-16:30	22	81	17	68
16:30-16:45	16	80	22	85	16:30-16:45	18	79	17	73
16:45-17:00	20	84	24	87	16:45-17:00	18	80	19	74
17:00-17:15	23	88	18	89	17:00-17:15	23	82	15	70
17:15-17:30	21	85	21	86	17:15-17:30	20	77	22	75
17:30-17:45	20	85	24	72	17:30-17:45	19	76	18	69
17:45-18:00	24	79	26	64	17:45-18:00	20	77	15	69
18:00-18:15	20	90	15	55	18:00-18:15	18	79	20	72
18:15-18:30	21	88	7	52	18:15-18:30	19	77	16	67
18:30-18:45	14	90	16	54	18:30-18:45	20	76	18	67
18:45-19:00	35	97	17	54	18:45-19:00	22	73	18	62
19:00-19:15	18	86	12	60	19:00-19:15	16	66	15	59
19:15-19:30	23		9		19:15-19:30	18		16	
19:30-19:45	21		16		19:30-19:45	17		13	
19:45-20:00	24		23		19:45-20:00	15		15	

a. Cálculo del volumen horario de máxima demanda

Carril 01

Tabla 33: Cantidad de vehículos en VHMD.

Hora Punta	Sub Total
07:00 – 07:15	37 veh/15min
07:15 – 07:30	44 veh/15min
07:30 – 07:45	33 veh/15min
07:45 – 08:00	46 veh/15min
VHMD	160

Carril 02

Tabla 34: Cantidad de vehículos en VHMD.

Hora Punta	Sub Total
07:00 – 07:15	39 veh/15min
07:15 – 07:30	46 veh/15min
07:30 – 07:45	48 veh/15min
07:45 – 08:00	45 veh/15min
VHMD	178

Carril 03

Tabla 35: Cantidad de vehículos en VHMD.

Hora Punta	Sub Total
07:15 – 07:30	23 veh/15min
07:30 – 07:45	25 veh/15min
07:45 – 08:00	27 veh/15min
08:00 – 08:15	23 veh/15min
VHMD	98

Carril 04

Tabla 36: Cantidad de vehículos en VHMD.

Hora Punta	Sub Total
12:00 – 12:15	23 veh/15min
12:15 – 12:30	24 veh/15min
12:30 – 12:45	26 veh/15min
12:45 – 13:00	25 veh/15min
VHMD	98

b. Cálculo del factor de hora pico

Para el cálculo del factor de hora pico, se utilizó la ecuación 4.

$$\text{Carril 01} \quad FHP_{15'} = \frac{160}{4 \times 46} = 0,870$$

$$\text{Carril 02} \quad FHP_{15'} = \frac{178}{4 \times 48} = 0,927$$

$$\text{Carril 03} \quad FHP_{15'} = \frac{98}{4 \times 27} = 0,907$$

$$\text{Carril 04} \quad FHP_{15'} = \frac{98}{4 \times 26} = 0,942$$

3.7 NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA DE DOS CARRILES

Se determinó el nivel de servicio de los cuatro carriles: carril 01 (Cajamarca – Cajabamba), carril 02 (Cajabamba - Cajamarca), carril 03 (La Libertad - Cajabamba) y carril 04 (Cajabamba – La Libertad).

3.7.1 1° Paso: Datos de entrada

Tabla 37: Datos de entrada, de los accesos en estudio

DATOS DE ENTRADA	ACCESO 01		ACCESO 02	
	CARRIL 01	CARRIL 02	CARRIL 03	CARRIL 04
Clase de carretera	Clase II	Clase II	Clase II	Clase II
Ancho de carril	11,48	11,48	10,50	10,50
Ancho de berma	1,87	1,87	1,84	1,84
Puntos de acceso	2	2	2	2
Pendiente	5,95%	5,95%	2,10%	2,10%
% de zona de prohibición de paso	97,70	97,70	90,00	90,00
Velocidad base de diseño	25,17	25,17	31,39	31,39
Volumen horario de vehículos	160	178	98	98
Periodo de análisis	1h	1h	1h	1h
Factor de hora pico	0,870	0,927	0,907	0,942
Reparto direccional	0,502	0,498	0,507	0,493
Porcentaje veh. pesados	31,16%	33,63%	24,61%	22,47%
Porc. de ocupación	0	0	0	0

3.7.2 2° Paso: Ajuste de la velocidad de flujo libre FFS

Se utilizó la ecuación 10, teniendo en cuenta el valor de la velocidad tomada en campo (SFM.S.1= 40,5 km/h →25,17mi/h), (SFM.S.2= 40,5 km/h →25,17mi/h), (SFM.S.3= 50,50km/h →31,39mi/h) y (SFM.S.2= 50,50 km/h →31,39mi/h), para determinar la velocidad de flujo libre (FFS) y luego se ajustó dicho valor.

$$FFS = S_{FM} + 0.00776 \left(\frac{v}{f_{HV,ATS}} \right) \quad \dots\dots \text{Ecuación 10}$$

* Cabe señalar que primero se deberá calcular el factor fHV,ATS, dicho factor se calculó en el paso 03, ya que en dicho paso solo interviene el porcentaje de vehículos pesados y recreacionales.

1. Para el carril 01

* v → 338 mi/h

* f_{HV}. → 0.865

$$FFS = 25,17 + 0,00776 \left(\frac{338}{0.865} \right)$$

$$FFS = 28,2 \text{ mi/h}$$

✓ **Ajuste por ancho de carril, ancho de bermas y puntos de acceso. Para los factores f_{FL} y f_A Se usó la tabla 7 y 8 respectivamente.**

Tabla 7: Ajuste debido al ancho de carril y ancho de berma (f_{LS})

Ancho de carril (ft)	Reducción de la FFS (mi/h)			
	Ancho de berma (ft)			
	≥0 <2	≥2 <4	≥4 <6	≥6
≥9 <10	6.4	4.8	3.5	2.2
≥10 <11	5.3	3.7	2.4	1.1
≥11 <12	4.7	3.0	1.7	0.4
≥12	4.2	2.6	1.3	0.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

$$f_{LS} = 4.7$$

Tabla 8: Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A)

Puntos de acceso por milla	Reducción de la FFS (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40	10.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

* Número de puntos de acceso $\rightarrow 2$, Interpolando, se obtuvo:

$$f_A = 0,5$$

✓ Aplicando la fórmula 11.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$FFS = 28,20 - 4,7 - 0,5$$

$$FFS_{SM-1} = 23,00 \text{ mi/h}$$

2. Para el carril 02

$$FFS_{SM-2} = 35,16 \text{ mi/h}$$

3. Para el carril 03

$$FFS_{SM-3} = 28,36 \text{ mi/h}$$

4. Para el carril 04

$$FFS_{SM-4} = 28,36 \text{ mi/h}$$

3.7.3 3° Paso: Ajuste ATS

Se empleó la fórmula 12, pero primeramente se calculó los factores, fHP, fG, fHV.

$$v_{i,ATS} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad \dots \text{Ecuación 12}$$

1. Para el carril 01

Según el acápite b (En ítem: 3.6.3. Volumen horario de máxima demanda para periodos de 15 minutos). Se calcula el factor de hora pico.

* FHMD $\rightarrow 160$

$$FHP = \frac{160}{4 \times 46} = 0,870$$

✓ Para el cálculo de factor de ajuste por pendiente, se usó la tabla 9

Tabla 9: Factor de ajuste por pendiente

Flujo de demanda para un sentido (veh/h)	Tipo de terreno	
	Nivelado	Ondulado
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥900	1.00	1.00

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Se procedió a corregir el volumen horario de 160, dividiéndolo entre su FHP, dando como resultado 184, para el sentido de análisis.

Luego se interpoló con los valores de la tabla 9. Obteniendo un factor de ajuste por pendiente, **fdg= 0,737** y **fog = 0,754**

- ✓ Cálculo del factor por vehículos pesados. Se divide en 2 pasos, primero calcular los factores de corrección por camiones ET y vehículos recreacionales ER, y luego aplicar la fórmula 13.

Tabla 10: Factor de ajuste por pendiente

Tipo de vehículo	Flujo de demanda (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
Camiones, E _T	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
Veh. Recr. E _R	≥900	1.0	1.3
	Todo el flujo	1.0	1.1

Con el volumen corregido; 184. Se interpoló con los valores de la tabla 10. Obteniendo un factor de E_T= 2,36 y E_R = 1,1

fuente: Highway Capacity Manual 2010

- ✓ Teniendo los siguientes datos:

* PT (9.90%) = 0,099 * PR (21.26%) = 0,2126 * V_d, corregido = 160

- ✓ Ahora aplicamos la fórmula 13

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \dots\dots \text{Ecuación 13}$$

$$f_{HV,ATS} = \left(\frac{1}{1 + 0,099 \times (2,36 - 1) + 0,2126 \times (1,1 - 1)} \right)$$

$$f_{HV,ATS} = 0,865$$

Recordatorio: Teniendo el valor de fHV, se reemplazó en la fórmula 10 y se obtuvo el FFS.

- ✓ Hallando la corrección de volumen de demanda aforado en volumen representativo.

$$v_{i,ATS} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 12}$$

$$v_{d,ATS} = \frac{160}{0,870 \times 0,737 \times 0,865}$$

$$v_{d,ATS} = 289 \text{ veh/h}$$

En el sentido de análisis

$$v_{o,ATS} = 280 \text{ veh/h} \quad \text{En el sentido opuesto al análisis}$$

2. Para el carril 02

$$v_{i,ATS} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad \dots\dots \text{Ecuación 12}$$

$$v_{d,ATS} = \frac{178}{0,927 \times 0,744 \times 0,871}$$

$v_{d,ATS} = 296 \text{ veh/h}$ En el sentido de análisis

$v_{o,ATS} = 305 \text{ veh/h}$ En el sentido opuesto al análisis

3. Para el carril 03

$v_{d,ATS} = 175 \text{ veh/h}$ En el sentido de análisis

$v_{o,ATS} = 175 \text{ veh/h}$ En el sentido opuesto al análisis

4. Para el carril 04

$v_{d,ATS} = 170 \text{ veh/h}$ En el sentido de análisis

$v_{o,ATS} = 170 \text{ veh/h}$ En el sentido opuesto al análisis

3.7.4 5° Paso: Ajuste del flujo para el cálculo del PTSF

Se procede del mismo modo que en el paso 3, teniendo cuidado en la utilización de las tablas.

1. Para el carril 01

* $V_d = 160/0.870 \rightarrow 184$, para el sentido de análisis.

* Pendiente: 5.95%

Tabla 13: Factor de ajuste por pendiente y volumen de demanda $V_{veh, veh/h}$

Grado (%)	Longitud (mi)	VOLUMEN DE DEMANDA DIRECCIONAL								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3	0.25	1.00	0.99	0.97	0.96	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	0.50	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	0.75	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
<3.5	1.50	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	2.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	3.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
	≥4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
≥3.5	0.25	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92
	0.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.99	0.96	0.95
	0.75	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.99	0.96	0.96
	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.99	0.97	0.97
	1.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.99	0.97	0.97
	2.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98
<4.5	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	≥4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥4.5	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
<5.5	≥0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥5.5	Todos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Se procedió a corregir el volumen horario de 160, dividiéndolo entre su FHP, dando como resultado 184.

Luego se interpoló con los valores de la tabla 13. Obteniendo un factor de ajuste por pendiente, $f_g = 1,00$

Tabla 14: Factor de ajuste por pendiente

Tipo de vehículo	Flujo de demanda (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
Camiones, E_T	≤100	1.1	1.9
	200	1.1	1.8
	300	1.1	1.7
	400	1.1	1.6
	500	1.0	1.4
	600	1.0	1.2
	700	1.0	1.0
	800	1.0	1.0
Veh. Recr. E_R	≥900	1.0	1.0
	Todo el flujo	1.0	1.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

Se procedió a corregir el volumen horario de 160, dividiéndolo entre su FHP, dando como resultado 184.

Luego se interpoló con los valores de la tabla 14. Obteniendo un factor de ajuste por pendiente, $E_T = 1,8116$, $E_R = 1,00$

$$* P_T = 9,90\%$$

$$* P_R = 21,26\%$$

✓ Ahora aplicamos la fórmula 16

$$f_{HV,PTFS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{..... Ecuación 16}$$

$$f_{HV,PTFSd} = 0,925 \quad \text{Para el sentido de análisis}$$

$$f_{HV,PTFS0} = 0.927 \quad \text{Para el sentido opuesto}$$

✓ Hallando la $v_{d,PTFS}$.

$$v_{i,PTSF} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \quad \text{..... Ecuación 15}$$

$$v_{d,PTFS} = 229 \text{ veh/h}$$

$$v_{o,PTFS} = 254 \text{ veh/h}$$

2. Para el carril 02

$$* P_T = 9,35\%$$

$$* P_R = 24,28\%$$

$$v_{i,PTSF} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \quad \text{..... Ecuación 15}$$

$$v_{d,PTFS} = 223 \text{ veh/h}$$

$$v_{o,PTFS} = 201 \text{ veh/h}$$

3. Para el carril 03

* $V_d = 98/0,907 \rightarrow 108$, para el sentido de análisis.

* Pendiente: 2,10%

Tabla 12: Factor de ajuste por pendiente

Flujo de demanda para un sentido (veh/h)	Tipo de terreno	
	Nivelado	Ondulado
≤100	1.00	0.73
200	1.00	0.80
300	1.00	0.85
400	1.00	0.90
500	1.00	0.96
600	1.00	0.97
700	1.00	0.99
800	1.00	1.00
≥900	1.00	1.00

Se procedió a corregir el volumen horario de 160, dividiéndolo entre su FHP, dando como resultado 184.

Luego se interpoló con los valores de la tabla 12. Obteniendo un factor de ajuste por pendiente, **fg = 0,736**

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

- ✓ **Cálculo del factor por vehículos pesados. Se divide en 2 pasos, primero calcular los factores de corrección por camiones ET y vehículos recreacionales ER, y luego aplicar la fórmula 16.**

Tabla 14: Factor de ajuste por pendiente

Tipo de vehículo	Flujo de demanda (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
Camiones, E _T	≤100	1.1	1.9
	200	1.1	1.8
	300	1.1	1.7
	400	1.1	1.6
	500	1.0	1.4
	600	1.0	1.2
	700	1.0	1.0
	800	1.0	1.0
	≥900	1.0	1.0
Veh. Recr. E _R	Todo el flujo	1.0	1.0

Con el volumen corregido; 108. Se interpoló con los valores de la tabla 14. Obteniendo un factor de **E_T = 1,892** y **E_R = 1,0**

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

* P_T = 4,73%

* P_R = 19,88%

- ✓ **Ahora aplicamos la fórmula 16**

$$f_{HV,PTFS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \dots\dots \text{Ecuación 16}$$

$f_{HV,PTFSd} = 0,960$ Para el sentido de análisis

$f_{HV,PTFSO} = 0,960$ Para el sentido opuesto

✓ Hallando la $v_{d,PTSF}$.

$$v_{i,PTSF} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \quad \text{..... Ecuación 15}$$

$$v_{d,PTSF} = 169 \text{ veh/h}$$

$$v_{o,PTSF} = 169 \text{ veh/h}$$

4. Para el carril 04

$$v_{i,PTSF} = \frac{v_i}{FHP \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \quad \text{..... Ecuación 15}$$

$$v_{d,PTSF} = 157 \text{ veh/h}$$

$$v_{o,PTSF} = 157 \text{ veh/h}$$

3.7.5 6° Paso: Cálculo del PTSF o porcentaje de tiempo de seguimiento

Primero se hallan los factores BPTSF_d con la ecuación 18, teniendo en cuenta la tabla 14 y el volumen horario corregido para hallar los coeficientes “a” y “b”,

1. Para el carril 01

$$* V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF} = 229 + 254 \rightarrow 483 \quad * \%ZNP = 97,70\%$$

Se ingresa con el $V_{o,PTSF}$ (229, es el opuesto a la dirección de análisis), para halla los factores a, b de la dirección en análisis.

Tabla 15: Coeficientes “a” y “b” para determinar BPTSF

Flujo de demanda en sentido opuesto V_o (veh/h)	Coefficiente a	Coefficiente b
≤200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
≥1600	-0.0062	0.817

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

✓ Haciendo una interpolación, se obtiene:

$$a = -0,0015 \quad b = 0,9658$$

$$BPTSF_d = 100 \times [1 - \exp(av_d^b)] \quad \text{..... Ecuación 18}$$

$$BPTSF_d = 100 \times [1 - \exp(-0,0015 \times 229^{0,9658})]$$

$$BPTSF_d = 25,00\%$$

✓ Teniendo en cuenta la suma de los valores del volumen corregido (en dirección del análisis y en dirección contraria, hallamos fnp. Interpolando en la tabla 16

Tabla 16: Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento, $f_{np,PTSF}$

Flujo corregido en 2 direcciones $V_d + V_o$ (veh/h)	Porcentaje de No adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
Distribución De flujo = 50/50						
≤200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1,400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2,000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2,600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3,200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1

Fuente Highway Capacity manual 2010

$$fnp = 61,974$$

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$.PTSF_d = 25,00 + 61,974 \times \left(\frac{229}{483} \right)$$

$$PTSF_d = 54,37\%$$

2. Para el carril 02

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$.PTSF_d = 14,04 + 64,864 \times \left(\frac{223}{423} \right)$$

$$PTSF_d = 48,08\%$$

3. Para el carril 03

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$.PTSF_d = 10,76 + 60,790 \times \left(\frac{189}{191} \right)$$

$$PTSF_d = 41,16\%$$

4. Para el carril 04

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$.PTSF_d = 10,04 + 59,266 \times \left(\frac{189}{191}\right)$$

$$PTSF_d = 39,67\%$$

3.7.6 7° Paso: Determinación del nivel de servicio

Utilizamos la tabla 5

Tabla 5: Niveles de servicio para carreteras

NIVEL DE SERVICIO	CARRETERA CLASE I		CARRETERA CASE II	CARRETERA CLASE III
	ATS (mi/h)	PTSF (mi/h)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	≥55	≤35	≤ 40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7

Fuente: Highway Capacity Manual 2010, adaptación propia

1. Para el carril 01.

* PTSF = 54,37% $N.S_1 = B$

Nivel de servicio del segmento 01: **B**

2. Para el carril 02.

* PTSF = 48,08% $N.S_1 = B$

Nivel de servicio del segmento 02: **B**

3. Para el carril 03.

* PTSF = 41,16% $N.S_1 = B$

Nivel de servicio del segmento 03: **B**

4. Para el carril 04.

* PTSF = 39,67% $N.S_1 = A$

Nivel de servicio del segmento 04: **A**

3.7.7 Determinación de la capacidad de cada carril

$$C_{d,ATS} = 1700 \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS} \quad \dots \text{Ecuación 20}$$

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF} \quad \dots \text{Ecuación 21}$$

1. Para el carril 01.

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times 1,00 \times 925 = 1572,89$$

La capacidad del carril 01 es: 1573 veh/h

2. Para el carril 02.

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times 1,00 \times 0,930 = 1580,65$$

La capacidad del carril 02 es: 1581 veh/h

3. Para el carril 03.

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times 0,736 \times 0,960 = 1199,90$$

La capacidad del carril 03 es: 1200 veh/h

4. Para el carril 04.

$$C_{d,PTSF} = 1700 \times 0,733 \times 0,959 = 1195,11$$

La capacidad del carril 04 es: 1195 veh/h

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio se realizó en los carriles 01, 02, 03 y 04 de los accesos a la ciudad de Cajabamba.

4.1.1 Características geométricas de los segmentos analizados

Se muestran los siguientes cuadros donde se indican las características geométricas observadas en campo y determinadas con el levantamiento topográfico de los carriles estudiados de cada acceso.

Tabla 38: Características geométricas de los carriles estudiados.

Características geométricas	Acceso 01		Acceso 02	
	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Longitud del segmento (m)	1017	1017	1009	1009
Ancho de calzada (m)	7,00	7,00	6,40	6,40
Ancho de carril (m)	3,50	3,50	3,20	3,20
Ancho berma de ingreso (m)	0,57	0,65	0,56	0,45
Ancho berma de salida (m)	0,65	0,57	0,45	0,56
%Zona de No Rebase	97,70	97,70	90,00	90,00
Pendiente promedio (%)	5,95	5,95	2,10	2,10
Puntos de acceso	2	2	2	2

4.1.2 Análisis del conteo vehicular

La tabla siguiente presenta el aforo vehicular por carril realizado en campo para la investigación

Tabla 39: Cuadro resumen conteo vehicular por carriles.

Día/ Segmento	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Domingo	1242,00	1252,00	1036,00	1006,00

En el cuadro se muestra el domingo como la mayor cantidad de vehículos, en todos sus tramos, siendo el carril 02 (Cajabamba - Cajamarca) con mayor concentración de vehículos, 1252 vehículos/día. Para este carril se determinó que su “hora pico” fue desde las 7.00hrs hasta las 8.00hrs.

Tabla 40: Cuadro resumen por tipo de vehículos

Tipo Vehículo	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Moto lineal	269	269	204	198
Mototaxi	215	238	220	238
Automóvil	264	304	206	183
Camioneta	198	169	182	180
Combis	173	155	175	164
2 Ejes	66	62	22	11
3 Ejes	38	35	11	13
T2S1	11	7	4	6
C2R1	2	10	3	1
Buses	6	3	9	12

Tabla 41: Cuadro resumen de porcentaje de participación por tipo de vehículos

Tipo Vehículo	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Moto lineal	21,66%	21,49%	19,69%	19,68%
Mototaxi	17,31%	19,01%	21,24%	23,66%
Automóvil, miniván	21,26%	24,28%	19,88%	18,19%
Camioneta, pick up	15,94%	13,50%	17,57%	17,89%
Combis	13,93%	12,38%	16,89%	16,30%
Camiones 2 Ejes	5,31%	4,95%	2,12%	1,09%
Camiones 3 Ejes	3,06%	2,80%	1,06%	1,29%
T2S1 Semi-remolque	0,89%	0,56%	0,39%	0,60%
C2R1 Remolque simple	0,16%	0,80%	0,29%	0,10%
Buses, coaster	0,48%	0,24%	0,87%	1,19%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Se observa que los vehículos que prevalecen en el flujo son Los automóviles, minivanes (24,28%), camionetas (17,89%), combis (16,89%) y mototaxis (23,66%).

4.1.3 Características del tráfico

4.1.1.1 Hora pico, volumen horario de máxima demanda, Q_{15max} , factor de hora pico

De los aforos vehiculares realizados en los dos accesos a la ciudad de Cajabamba se observan, en la siguiente tabla, los resultados para cada carril analizado.

Tabla 42: Resumen de hora pico y volumen horario de máxima demanda

Segmento	Hora pico	VHMD (veh/h)	Q15máx.	Factor de hora pico
01	07:00 – 08:00	160	46	0,870
02	07:00 – 08:00	178	48	0,927
03	07:15 – 08:15	98	27	0,907
04	12:00 – 13:00	98	26	0,942

Los valores del factor de hora pico próximos a 1 indica que la distribución de flujo vehicular durante la hora de máxima demanda es constante. Se obtuvo el FHP para el segmento 01 (0,870) indica que su distribución vehicular es cambiante.

4.1.1.2 *Velocidad de flujo libre*

De los datos recolectados en campo, se determinó la velocidad de flujo libre en cada carril:

Tabla 43: Resumen de velocidad de flujo libre

Segmento	Velocidad de flujo libre
01	40,5 km/h \equiv 25,17 mi/h
02	60.1 km/h \equiv 37.35 mi/h
03	50,5 km/h \equiv 31,39 mi/h
04	50,5 km/h \equiv 31,38 mi/h

4.1.1.3 *Porcentaje de tiempo de seguimiento, PTSF*

Se obtuvo los siguientes tiempos de seguimiento:

Tabla 44: Resumen del porcentaje del tiempo de seguimiento

Segmento	PTSF (%)
01	54,37
02	48,08
03	41,16
04	39,67

Como se observa, el carril 01 posee el mayor porcentaje de tiempo de seguimiento, pero no lo suficiente como para que el nivel de servicio sea desfavorable.

4.1.4 *Distribución del tráfico por carril*

Conforme a la metodología del HCM 2010, para determinar el nivel de servicio se debe tomar en cuenta la distribución del tráfico en cada carril. Esta distribución se obtiene de los aforos vehiculares semanales y permiten la comparación del volumen vehicular por cada carril. Sin embargo, la metodología ha establecido distribuciones de tráfico en el orden de 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10.

Acceso 1 zona norte (carretera Cajamarca - Cajabamba)

Se calcularon los porcentajes de vehículos del carril de ingreso y del carril de salida, tal como se muestra en la siguiente tabla

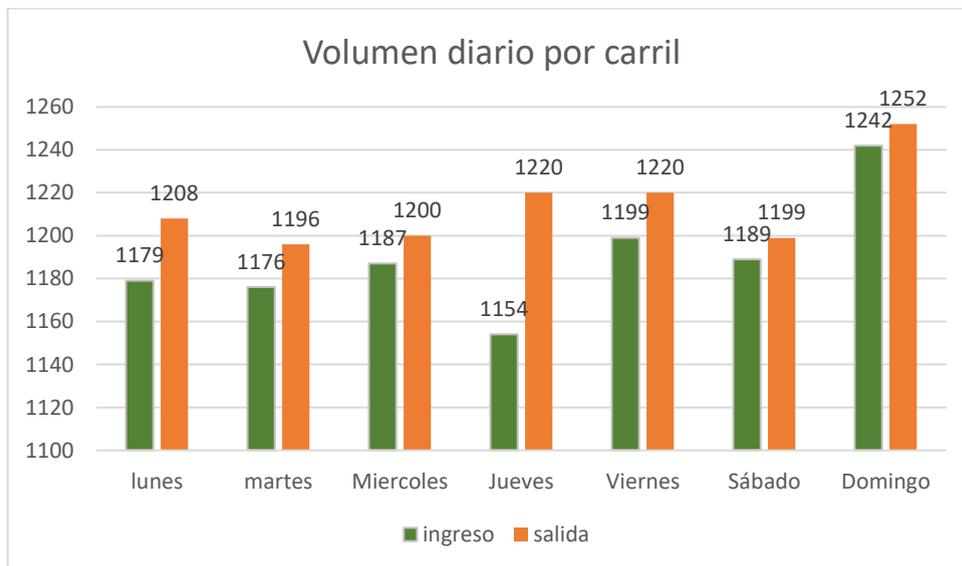
Tabla 45: Distribución direccional del acceso 1

Carril	L	M	M	J	V	S	D	Total x carril	total	%	asumido
Ingreso	1179	1176	1187	1154	1199	1189	1242	8326	16821	49.50	50%
Salida	1208	1196	1200	1220	1220	1199	1252	8495		50.50	50%

De acuerdo con la Tabla 45, el carril de ingreso tiene el 49.50% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 50.50% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

En la Fig. 28 nos permite establecer que existe mayor flujo de vehículos saliendo de la ciudad de Cajabamba por la zona norte, siendo el día Domingo el de mayor volumen tanto en salida como en llegadas de vehículos a la vez se puede apreciar que el día jueves representa el menor volumen de ingreso de vehículos a Cajabamba y el día Marte representa el menor volumen respecto a salida.

Figura 28: Volumen diario por carril del acceso 1 zona norte (carretera Cajamarca-Cajabamba)



Fuente: Elaboración propia

Acceso 2 zona sur (carretera La Libertad - Cajabamba)

De igual modo se calcularon los porcentajes de vehículos del carril de ingreso y del carril de salida, tal como se muestra en la siguiente tabla

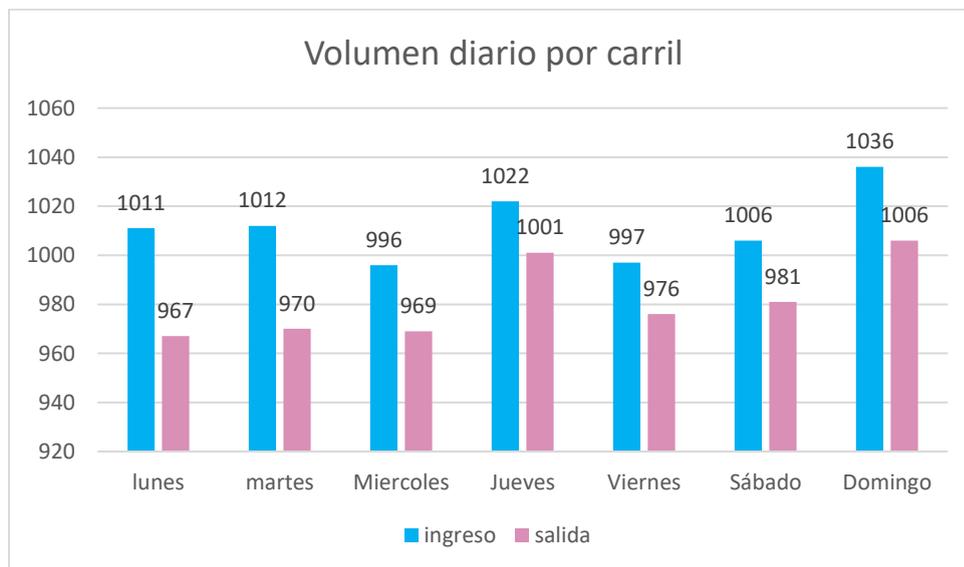
Tabla 46: Distribución direccional del acceso 2

Carril	L	M	M	J	V	S	D	Total x	Total x carril	%	asumido
Ingreso	1011	1012	996	1022	997	1006	1036	7080	13950	50.75	50%
Salida	967	970	969	1001	976	981	1006	6870		49.25	50%

De acuerdo a la tabla 46 se observa que el carril de ingreso tiene el 50.75% y el carril de salida el 49.25% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles.

De la Fig. 29 podemos establecer que existe mayor flujo de vehículos ingresando a la ciudad de Cajabamba por la zona sur, siendo el día Domingo el de mayor volumen tanto en salida como en llegadas de vehículos esto debido a que es día de mercado en Cajabamba, a la vez se puede apreciar que el día miércoles representa el menor volumen de ingreso de vehículos a Cajabamba y el día lunes representa el menor volumen respecto a salida.

Figura 29: Volumen diario por carril del acceso 2 zona sur (carretera La Libertad-Cajabamba)



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Composición vehicular

Tabla 47: Volumen vehicular diario del Cajamarca-Cajabamba. carril 01

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, Coaster	
Domingo	269,00	215,00	264,00	198,00	173,00	66,00	38,00	11,00	2,00	6,00	1242,00
TRÁNSITO SEMANAL											1242,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1242,00

Tabla 48: Volumen vehicular diario del Cajabamba-Cajamarca. carril 02

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, Coaster	
Domingo	269,00	238,00	304,00	169,00	155,00	62,00	35,00	7,00	10,00	3,00	1252,00
TRÁNSITO SEMANAL											1252,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1252,00

Tabla 49: Volumen vehicular diario del La Libertad-Cajabamba. carril 03

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, coaster	
Domingo	204,00	220,00	206,00	182,00	175,00	22,00	11,00	4,00	3,00	9,00	1036,00
TRÁNSITO SEMANAL											1036,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1036,00

Tabla 50: Volumen vehicular diario del Cajabamba – La Libertad. carril 04

Tipo de Vehículo	TIPO DE VEHÍCULO										Total
	Moto lineal	Mototaxi	Autos, miniván	Camioneta pick up	Combis	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	T2S1Semi remolque	C2R1 Remolque Simple	Buses, coaster	
Domingo	198,00	238,00	183,00	180,00	164,00	11,00	13,00	6,00	1,00	12,00	1006,00
TRÁNSITO SEMANAL											1006,00
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)											1006,00

4.1.6 Capacidad y nivel de servicio

Se determinó el nivel de servicio y la capacidad para cada segmento de análisis.

Tabla 51: Nivel de servicio de cada carril

Tipo Vehículo	Acceso 01		Acceso 02	
	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Nivel de Servicio	B	B	B	A

Tabla 52: capacidad para cada carril

Tipo Vehículo	Acceso 01		Acceso 02	
	carril 01	carril 02	carril 03	carril 04
Capacidad del segmento	1573	1581	1200	1195

De lo anterior se observó que el nivel más desfavorable es B perteneciente a los carriles 01, 02 y 03.

De lo anterior se observó que la capacidad es 1581 veh/h perteneciente al carril 02, indicando que la vía puede albergar más vehículos, pero su topografía hace que no opere a su capacidad máxima.

- **Nivel de servicio A:** En las autopistas de Clase II, la velocidad estaría controlada principalmente por las condiciones de la calzada. Se esperaría una pequeña cantidad de pelotones.
- **Nivel de servicio B:** La demanda de adelantamiento y la capacidad de adelantamiento están equilibradas. Tanto en las autopistas de Clase I como en las de Clase II, el grado de "aplanamiento" se hace notable

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados del estudio aplicando la metodología del HCM-2010 permitieron rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, la cual sostuvo que el nivel de servicio de los accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la Carretera Longitudinal de la Sierra Norte PE-3N eran diferentes al tipo C, obteniéndose B, B, B, A para cada carril respectivamente. Y su capacidad vehicular es menor a de 1700 vehículos/hora, siendo de 1573, 1580, 1199, 1195 (veh/h), para cada carril respectivamente, pues se esperaba obtener un nivel de servicio C para todos los carriles en estudio y una capacidad vehicular de 1700 vehículos/hora para cada carril.

4.3 DISCUSIÓN COMPARATIVA DE RESULTADOS

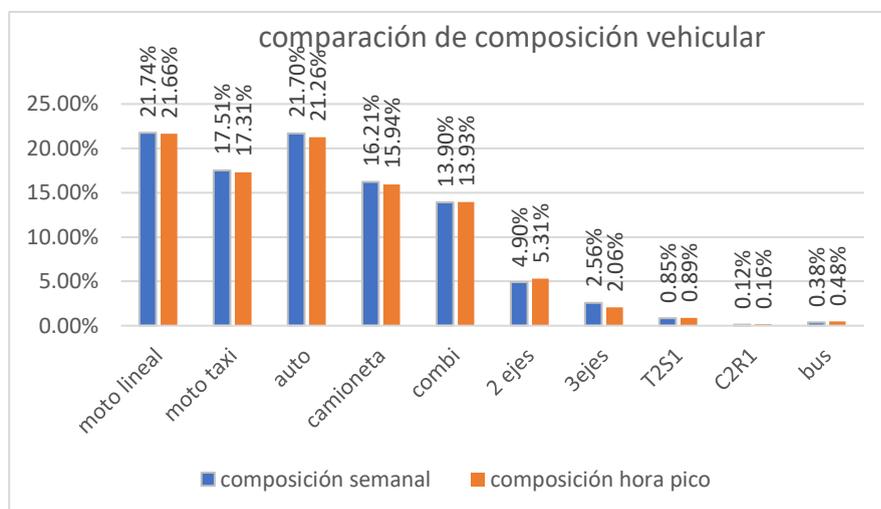
4.3.1 Volumen vehicular Carril 1 (sentido Cajamarca- Cajabamba)

En este carril el mayor volumen vehicular se presentó el día domingo de 07:00 a 08:00 horas por la mañana, obteniéndose un nivel de servicio B. Este nivel de servicio muestra que la circulación es estable a velocidad media, debido a que los parámetros condicionantes como el ancho de carril, ancho de bermas, pendientes facilitan una mejor circulación.

La velocidad promedio de viaje en esta vía es de 40 km/h se considera media, por lo que sólo 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 al igual que la pendiente en subida, las altas velocidades y la mediana intensidad vehicular permiten efectuar maniobras de adelantamiento y comodidad durante el recorrido.

Del mismo modo, la capacidad de esta vía también se ve afectada por la visibilidad, pendientes, porcentaje de vehículos pesados, según lo cual esta vía puede soportar una capacidad de 1573 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 93% de su capacidad máxima.

Figura 30: Composición vehicular del carril 1 (sentido Cajamarca-Cajabamba)



Fuente: Elaboración propia

La Fig. 30 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 motos lineales, debido a que a esta hora se realiza actividades comerciales dentro de la ciudad de Cajabamba y éstas utilizan mayormente este tipo de vehículos para transporte a la se

observa que el porcentaje de automóviles durante la semana se incrementa pues estas permiten tanto el transporte interurbano como turístico los fines de semana.

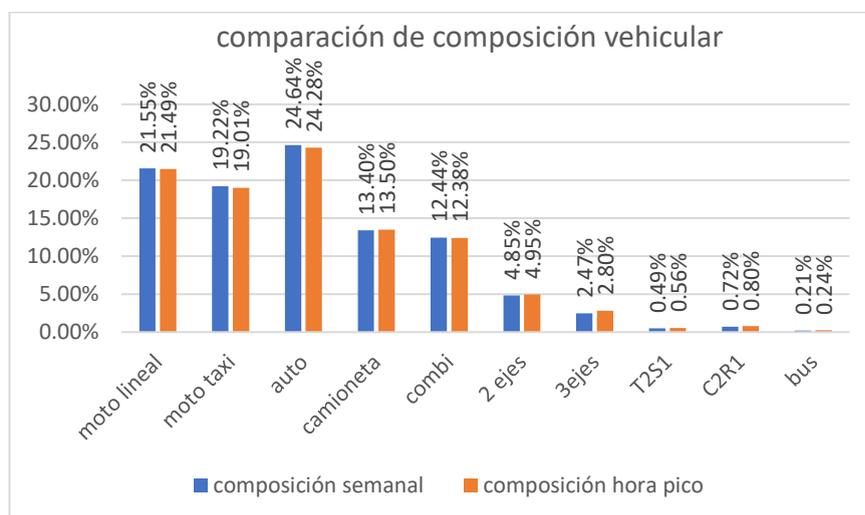
4.3.2 Volumen vehicular Carril 2 (sentido Cajabamba- Cajamarca)

En este carril el mayor volumen vehicular se presentó el día domingo en el rango de las 07:00 a 08:00 horas por la mañana, obteniéndose 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 de bajada facilitan una mejor circulación.

La velocidad promedio de viaje en esta vía es de 60 km/h, se considera alta, por lo que sólo 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 al igual que la pendiente en bajada, las altas velocidades permiten efectuar maniobras de adelantamiento y comodidad durante el recorrido.

Del mismo modo, la capacidad de esta vía también se ve afectada por la visibilidad, pendientes, porcentaje de vehículos pesados, según lo cual esta vía puede soportar una capacidad de 1581 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 93% de su capacidad máxima.

Figura 31: Composición vehicular del carril 2 (sentido Cajabamba-Cajamarca)



Fuente: Elaboración propia

La Fig. 31 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 autos, debido a que a esta hora se realiza el mayor transporte hacia las zonas aledañas a Cajabamba y éstas utilizan mayormente este tipo de vehículos para transporte a la vez se observa que el porcentaje de motos lineales durante la semana se incrementa pues estas permiten el transporte a algunos centros poblados cerca de la ciudad de Cajabamba.

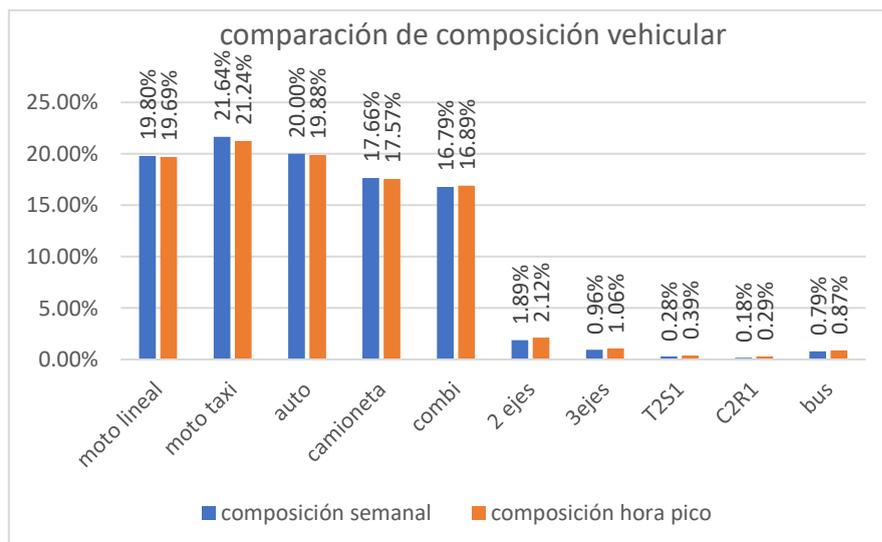
4.3.3 Volumen vehicular Carril 3 (sentido La Libertad - Cajabamba)

En este carril el mayor volumen vehicular se presentó el día domingo en el rango de las 07:15 a 08:15 horas por la mañana, obteniéndose un nivel de servicio B. Este nivel de servicio muestra que la circulación es estable a velocidad media debido a que los parámetros condicionantes como el ancho de carril, ancho de bermas, pendientes facilitan una mejor circulación.

La velocidad promedio de viaje en esta vía es de 50 km/h, se considera media, por lo que sólo 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 y las condiciones de la vía en mal estado, se efectúa maniobras de adelantamiento en algunos tramos y cierta comodidad durante el recorrido.

Del mismo modo, la capacidad de esta vía también se ve afectada por la visibilidad, pendientes, estado de la vía y porcentaje de vehículos pesados, según lo cual esta vía puede soportar una capacidad de 1200 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 70% de su capacidad máxima.

Figura 32: Composición vehicular del carril 3 (sentido La Libertad-Cajabamba)



Fuente: Elaboración propia

La Fig. 32 muestra que la composición vehicular en la hora pico tiene semejanza con

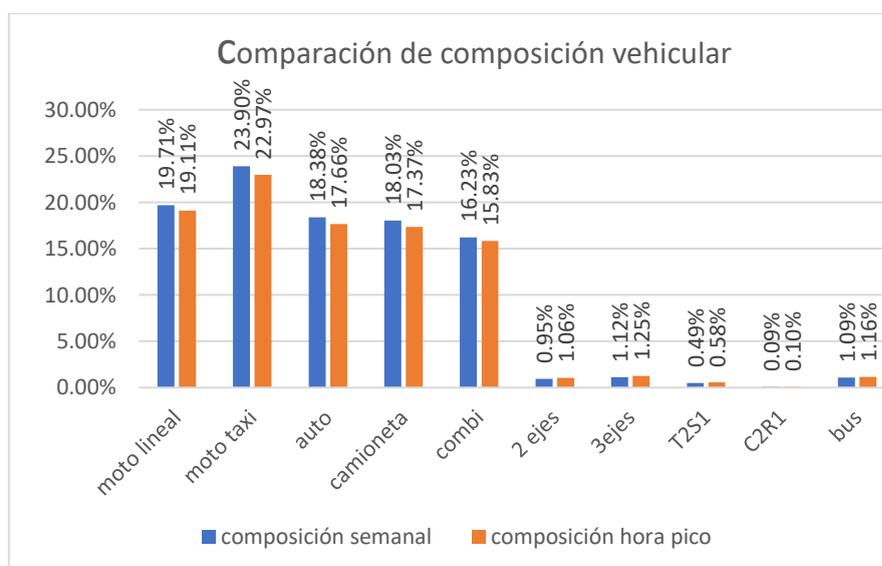
la composición vehicular semanal. Sin embargo, durante la hora pico se observa un mayor porcentaje de moto taxis, debido a que a esta hora se realiza el mayor transporte hacia la ciudad de Cajabamba y utilizan mayormente este tipo de vehículos para transporte a la vez se observa que el porcentaje de motos lineales, autos y camionetas durante la semana se incrementan pues estas permiten el transporte a algunos centros laborales dentro de la ciudad de Cajabamba.

4.3.4 Volumen vehicular Carril 4 (sentido Cajabamba – La Libertad)

En este carril el mayor volumen vehicular se presentó el día domingo en el rango de las 12:00 a 1:00 horas por la tarde, obteniéndose un nivel de servicio A. Es decir que, este nivel de servicio muestra que la circulación es libre y fluida, aunque con velocidad media ya que tanto las características de la vía como del tránsito contribuyen a la circulación regular, existiendo comodidad durante el recorrido.

La velocidad promedio de viaje en esta vía es de 50 km/h, se considera media, por lo que sólo 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 y las condiciones de la vía en mal estado, se efectúa maniobras de adelantamiento en algunos tramos y cierta comodidad durante el recorrido. Del mismo modo, la capacidad de esta vía se ve afectada por el estado de la vía y porcentaje de vehículos pesados, según lo cual puede soportar una capacidad de 1195 vehículos equivalentes por hora, es decir que está operando a un 70% de su capacidad máxima.

Figura 33: Composición vehicular del carril 4 (sentido Cajabamba-La Libertad)



Fuente: Elaboración propia

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, podemos afirmar que el nivel de servicio durante la semana es cómodo y confortable 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 51 presenta los niveles de servicio de todas las vías de ingreso a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la Red Vial Nacional con los parámetros más importantes necesarios para su determinación.

CAPITULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Existen 2 zonas de ingreso a la ciudad de Cajabamba ingreso 1 zona por la parte norte de Cajabamba e ingreso 2 por la parte sur de Cajabamba.
- Del levantamiento topográfico se obtuvo un ancho de vía de 7,00m para el ingreso 1 con bermas de 0.57m y 0.65m y una pendiente promedio de 5.95% y de 6.40m para el ingreso 2 con bermas de 0.56m y 0.45m y una pendiente de 2.10%.
- La vía de estudio por la parte norte (ingreso 1) está conformada por dos carriles en sentido contrario de 3,50m cada carril (cumple con el ancho mínimo recomendado por el manual de diseño de vías urbanas. De tal forma que el promedio del volumen vehicular durante la semana en el carril 1 (sentido Cajamarca-Cajabamba) está dada por moto taxis en un 17.31% y en el carril 2 (sentido Cajabamba-Cajamarca) está dada por automóviles en un 24.28% . Con la aplicación de la metodología HCM 2010, la distribución direccional en las vías donde se realizó el estudio fue del 50/50% en cada carril, arrojando un numero de 1242 vehículos que transitan por el carril 1 y 1252 que transitan por el carril 2, siendo el día Domingo de mayor demanda para ambos carriles.
La vía de estudio por la parte sur (ingreso 2) está conformada por dos carriles en sentido contrario de 3,20m cada carril (no cumple con el ancho mínimo recomendado por el manual de diseño de vías urbanas. De tal forma que el promedio del volumen vehicular durante la semana en el carril 3 (sentido La libertad-Cajabamba) está dada por moto taxis en un 21.24% y en el carril 4 (sentido Cajabamba-La libertad) está dada por automóviles en un 23.66%
Con la aplicación de la metodología HCM 2010, la distribución direccional en las vías donde se realizó el estudio fue del 50/50% en cada carril, arrojando un numero de 1036 vehículos que transitan por el carril 3 y 1006 que transitan por el carril 4, siendo el día Domingo de mayor demanda para ambos carriles.
- Se determinó que en el trayecto de la semana en la cual se recabo la información, el día de máxima demanda fue el Domingo 25 de marzo del 2023.

- La hora de máxima demanda de los carriles es variable. Para el carril 1 se presenta desde las 7.00 a.m. hasta las 8.00 am, para el carril 2 igualmente se presenta desde las 7:00 a.m. hasta las 8:00 a.m., Para el carril 3 se presenta desde las 7.15 a.m. hasta las 8.15 am y para el carril 4 finalmente se presenta desde las 12:00 p.m. hasta las 1:00 p.m.
- En cuanto al volumen en una hora fue de 160 vehículos con un factor de hora pico de 0,870; con una velocidad promedio de rodaje 40,5 km/h, lo que equivale a 25,17 mi/h.
- Se encontró la velocidad promedio por cada carril de viaje siendo 40.5 km/h, 60.1 km/h, 50.5 km/h, 50.5 km/h para los carriles 1,2,3,4 respectivamente.
- Se halló el porcentaje demoras de seguimiento (PTSF) siendo 54,37%;48,08%; 41,16% y 39,67% para los carriles 01, 02, 03 y 04 respectivamente.
- Existen dos accesos a la ciudad de Cajabamba pertenecientes a la Red Vial Nacional PE-3N conformadas por 4 carriles, capacidad máxima expresada en vehículos equivalentes de cada carril son: por la zona norte, carril 1 (sentido: Cajamarca - Cajabamba) es de 1573 veh. equiv/h y tiene un nivel de servicio B, la capacidad máxima por la zona norte, carril 2 (sentido: Cajabamba - Cajamarca) es de 1581 veh. equiv/hora y tiene un nivel de servicio B, de igual modo la capacidad máxima del carril 3 por la zona sur (sentido: La Libertad - Cajamarca) es de 1200 veh. equiv/hora y tiene un nivel de servicio B, finalmente la capacidad máxima del carril 4 por la zona sur (sentido: Cajabamba – La Libertad) es de 1195 veh. equiv/hora y tiene un nivel de servicio A.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con el comportamiento del flujo, puede variar en un periodo de un año, por lo cual es recomendable realizar un estudio más amplio para los volúmenes vehiculares en este tipo de vía.
- Establecer puntos de contadores neumáticos con el fin de obtener información precisa y actualizada, y del mismo modo evitar un control perenne.
- Tener en cuenta el contexto real del flujo vehicular en nuestro país, con el fin de lograr un estudio manual de las capacidades en carreteras.
- Realizar un estudio de las capacidades y la serviciabilidad de las vías interurbanas en el tránsito de nuestra ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bañón Blásquez, L., & Beviá García, J. F. (2007). *Manual De Carreteras*.
- Brown, F. (2015). *Investigación Científica*. México: El Manuel Moderno.
- Cornelio Muñoz, J. (2018). *Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada de las Av. Próceres y Av. Minero del Distrito de Yanacancha – Pasco – 2018*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Departamentos Of Transportation. (2011). Congestion Index Report. KANSAS, ESTADOS UNIDOS.
- Fernández De La Maza , J. (2018). News Week en español. USA.
- García, T. (2019). *Capacidad y Niveles de Servicio en vías Rurales y Urbanas*. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.
- HCM. (2010). *HIGHWAY CAPACITY MANUAL*.
- Mamani Quispe , M., & Ramos Colque , L. (2018). *Evaluación del sistema de transporte en el Centro de Puno y alternativas de solución a la planificación vial aplicando softwares especializados, 2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Mintransporte . (2020). *Manual de Capacidad y Nivel de Servicio en carreteras de dos carriles y la primera versión del Manual de Capacidad y Nivel de Servicio en vías multicarril*. Colombia : Instituto Nacional de Vías de Colombia .
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras* . Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- MTC. (2017). *Manual de seguridad vial*. Lima - Perú: Ministerio de Transporte y comunicaciones .
- MTC. (2018). *Manual de carreteras - Diseño Geometrico DG-2018*. Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Ortiz, E. (25 de Mayo de 2020). Obtenido de <http://www.lavanguardia.com/>

- Pulido Contreras, P., & Gomez Patiño, M. (2018). *Evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. – Colombia por medio de métodos no convencionales*. Bogota - Colombia: Universidad La Gran Colombia.
- Quispe Medina, M. (2021). *Evaluación de la capacidad y nivel de servicio del transporte para mejorar la transitabilidad vehicular en la intersección avenida América Sur con Prolongación Cesar Vallejo, Trujillo, La Libertad*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO.
- Rafael, C., Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR.
- Rojas Huamán, E. (2019). *Análisis de la capacidad y niveles de servicio de la Avenida Mario Urteaga, tramo: jr. Dos de mayo hasta el óvalo el inca; según la metodología HCM 2010, Cajamarca 2018*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Vega Cuevas, Z. (2018). *Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamar.
- Velasquez , C. (2016). *Espacio público y movilidad urbana*. España: Universidad de Barcelona.

ANEXOS

ANEXO 2:

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – GUÍA DE OBSERVACIÓN

TRAMO:		CARRETERA: LA LIBERTAD - CAJABAMBA										
DIA	SENTIDO	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTOS, MINIVAN	CAMIONETA PICK UP	COMBIS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES	T2S1 (Semi Remolque Simple)	C2R1 (Remolque Simple)	BUSES, COASTER	TOTAL
DOMINGO	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
LUNES	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
MARTES	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
MIÉRCOLES	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
JUEVES	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
VIERNES	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											
SÁBADO	LA LIBERTAD-CAJABAMBA											
	CAJABAMBA-LA LIBERTAD											
	AMBOS SENTIDOS											

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO

Acceso 1: (ingreso Cajamarca-Cajabamba)



Foto n°1

Se observa levantamiento de datos en campo tramo (Cajamarca-Cajabamba)

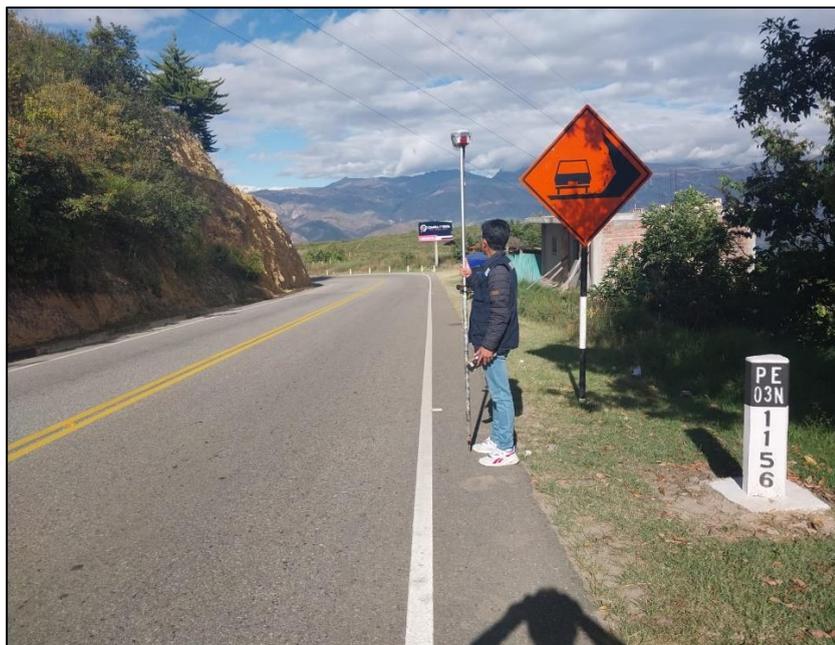


Foto n°2

Se observa el inicio de tramo Norte de nuestra evaluación (punto inicial km 1156).



Foto n°3

Se observa levantamiento de medidas de elementos estructurales de la vía y señalizaciones.



Foto n°4

Se observa levantamiento de datos en campo considerando elementos de curva del tramo.



Foto n°5
Se observa colocación de BM



Foto n°6
Se observa estación con GPS
diferencial y aforo vehicular

Acceso 2 : (ingreso La Libertad-Cajabamba)



Foto n°7

Se observa levantamiento de datos en campo tramo sur (La Libertad – Cajabamba)



Foto n°8

Se observa el inicio de tramo Norte de nuestra evaluación (punto inicial km 1155).



Foto n°9
Se observa levantamiento de medidas de elementos estructurales de la vía de estudio.



Foto n°10
Se observa el fin de tramo Norte de nuestra evaluación (punto inicial km 1148).



Foto n°11
Se observa el fin de tramo Norte de nuestra evaluación (km 1148).



Foto n°12
Se observa la mala condición física del tramo en estudio.



Foto n°13
Se observa el aforo de tramo en estudio.



www.cosola.com

 YouTube: Cosola

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Mantenimiento general	Reparación	Operatividad OK	Garantía 1 año OK	NUEVO OK
		X		

DATOS DEL EQUIPO

Nombre :	GPS DIFERENCIAL		Especificaciones de Precisión (RMS) 1 2 3
Marca :	CHCNAV		En tiempo Real cinemática (RTK)
Modelo :	I90		· Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS
Colectora Serie :	6206300597		· Horizontal: 2.5mm + 0.5 ppm RMS
Modelo No:	HCE 600		Estática de Post-procesamiento
Receptor BASE Serie :	3510532		· Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS
Receptor ROVER Serie :	3510541		· Horizontal: 2.5mm + 0.5 ppm RMS
			· Tiempo de observación: Va de 4 a 30 minutos en función de la distancia entre los receptores y otros factores ambientales

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro. : 008-0064
Fecha : 11/01/2023

METODOLOGÍA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES

□ Los valores de rendimiento asumen un mínimo de 4 satélite, siguiendo los procedimientos recomendados en el manual del producto. Las zona de elevada recepción múltiple, los valores alto del PDOP y los periodos de condiciones atmosférica extremas pueden afectar al rendimiento

COSOLA GROUP S.A.C. bajo la acreditación de SGS ISO 9001-2008 certifica que el instrumento identificado a sido verificado en concordancia con los procedimientos de verificación establecida por el fabricante

OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Operatividad	Próxima Operatividad	Observación
11/01/2023		X	1 AÑO	% 100 OPERATIVO

Responsable de Verificación	Propietario	RUC
COSOLA GROUP S.A.C.	SANCHEZ TERRONES HERNAN LUIS	10405825975









Foto n°14
Se observa el certificado de calibración de estación diferencia utilizado en campo

TABLAS DE AFORO REALIZADOS

Tesista Bach. En Ing. Civil José Eleazar Villanueva Calderón

Lugar Ruta de ingreso a Cajabamba desde Cajamarca

Segmento **Segmento 01**

Tipo de Vehículo Hora	Moto lineal	Mototaxi	Automóvil	Camioneta	Combis	Camión	Camión	T2S1	C2R1	Buses	Total
7:00-7:15	3	7	7	8	4	3	0	1	1	0	34
7:15-7:30	0	7	8	9	3	0	0	0	1	1	29
7:30-7:45	0	7	7	7	5	1	0	0	0	1	28
7:45-8:00	0	4	7	8	6	0	0	1	0	2	28
8:00-8:15	1	4	6	7	1	0	0	1	0	0	20
8:15-8:30	3	7	5	4	2	0	0	1	0	0	22
8:30-8:45	4	2	2	6	6	0	0	0	0	0	20
8:45-9:00	2	6	3	4	6	0	1	0	1	1	24
9:00-9:15	3	5	4	4	6	0	0	1	0	1	24
9:15-9:30	2	3	5	6	5	4	0	0	0	0	25
9:30-9:45	1	5	3	5	6	2	0	1	1	0	24
9:45-10:00	3	3	4	8	4	3	1	0	2	0	28
10:00-10:15	1	6	4	5	6	0	1	0	1	0	24
10:15-10:30	3	6	6	5	5	0	0	0	0	0	25
10:30-10:45	2	3	6	3	4	3	0	2	0	0	23
10:45-11:00	1	5	5	6	5	2	0	0	0	0	24
11:00-11:15	5	0	5	5	7	3	0	0	0	1	26
11:15-11:30	3	3	2	4	5	0	0	0	1	2	20
11:30-11:45	4	5	1	3	6	1	0	0	1	0	21
11:45-12:00	6	5	2	5	5	1	0	0	0	1	25
12:00-12:15	3	6	1	7	6	1	0	1	1	1	27
12:15-12:30	5	6	4	6	4	3	0	1	0	1	30
12:30-12:45	3	5	2	5	4	2	1	1	1	2	26
12:45-13:00	4	5	0	4	3	2	1	1	0	2	22
13:00-13:15	4	4	3	5	3	2	0	0	1	0	22
13:15-13:30	3	3	1	4	5	1	0	0	0	0	17
13:30-13:45	5	5	2	5	3	2	1	1	0	0	24
13:45-14:00	3	4	2	5	4	3	1	0	0	0	22
14:00-14:15	4	5	3	5	3	2	1	1	0	1	25
14:15-14:30	4	3	2	5	4	1	0	0	0	0	19
14:30-14:45	5	4	4	4	5	2	1	1	0	1	27
14:45-15:00	3	3	1	3	5	1	0	0	0	0	16
15:00-15:15	4	5	5	6	5	0	0	0	0	0	25
15:15-15:30	3	3	2	2	4	2	0	1	0	0	17

15:30-15:45	4	4	2	6	3	2	0	0	2	0	23
15:45-16:00	3	5	3	5	4	3	0	0	0	0	23
16:00-16:15	3	5	2	4	5	4	0	0	0	0	23
16:15-16:30	3	4	2	5	6	2	0	0	0	0	22
16:30-16:45	3	3	2	5	5	2	0	0	0	1	21
16:45-17:00	6	6	4	6	4	2	1	0	0	0	29
17:00-17:15	6	5	3	7	3	2	1	1	0	0	28
17:15-17:30	4	6	2	6	6	1	0	0	0	2	27
17:30-17:45	3	5	3	5	5	1	1	0	0	0	23
17:45-18:00	3	6	3	7	6	1	1	1	1	0	29
18:00-18:15	4	4	4	5	5	1	1	0	0	0	24
18:15-18:30	4	10	7	9	6	1	0	0	1	0	38
18:30-18:45	0	5	2	6	6	1	0	1	0	0	21
18:45-19:00	4	5	3	8	5	2	1	0	0	1	29
19:00-19:15	1	3	4	6	9	1	0	1	0	0	25
19:15-19:30	0	4	2	5	8	2	0	1	0	0	22
19:30-19:45	3	5	2	8	7	2	0	0	0	1	28
19:45-20:00	0	6	2	6	8	3	0	0	0	0	25
TOTAL	154	245	176	287	256	80	15	21	16	23	1273

Tesista **Bach. En Ing. Civil José Eleazar Villanueva Calderón**
Lugar **Ruta de ingreso a Cajabamba desde Cajamarca**
Segmento **Segmento 02**

Tipo de Vehículo Hora	Moto lineal	Mototaxi	Automóvil	Camioneta	Combis	Camión	Camión	T2S1	C2R1	Buses	Total
6:30-6:45											
6:45-7:00											
7:00-7:15	2	5	3	3	4	3	0	1	0	0	21
7:15-7:30	2	4	5	5	3	2	0	0	1	1	23
7:30-7:45	2	7	7	6	6	3	0	0	0	1	32
7:45-8:00	5	4	5	4	2	0	0	0	1	0	21
8:00-8:15	3	7	4	7	5	2	0	1	0	0	29
8:15-8:30	3	7	5	4	2	3	0	1	0	0	25
8:30-8:45	2	4	5	7	5	0	0	0	0	0	23
8:45-9:00	4	6	6	6	5	0	0	0	0	1	28
9:00-9:15	0	6	4	6	8	0	0	0	0	0	24
9:15-9:30	2	6	6	4	5	2	0	2	0	0	27
9:30-9:45	3	8	7	6	4	0	0	0	0	1	29

9:45-10:00	0	9	8	8	2	1	1	0	0	1	30
10:00-10:15	3	7	6	8	1	0	1	0	1	1	28
10:15-10:30	0	5	5	4	5	0	0	0	0	1	20
10:30-10:45	2	3	4	3	4	3	0	2	0	0	21
10:45-11:00	1	4	5	4	5	2	0	0	0	0	21
11:00-11:15	3	6	2	6	5	3	0	1	0	0	26
11:15-11:30	4	6	4	7	3	1	1	1	0	0	27
11:30-11:45	4	7	4	4	6	0	0	0	1	0	26
11:45-12:00	5	5	4	5	3	0	0	0	0	1	23
12:00-12:15	3	6	2	6	6	2	0	1	0	0	26
12:15-12:30	3	4	3	4	4	2	0	0	0	0	20
12:30-12:45	3	5	0	6	4	0	1	1	1	0	21
12:45-13:00	4	4	2	4	3	2	1	1	0	1	22
13:00-13:15	3	5	0	7	6	1	0	0	1	0	23
13:15-13:30	3	4	4	4	6	2	3	0	0	0	26
13:30-13:45	3	5	3	4	3	2	1	0	0	0	21
13:45-14:00	3	5	1	4	5	3	1	0	0	0	22
14:00-14:15	2	4	0	5	5	2	0	1	0	1	20
14:15-14:30	2	5	4	5	4	1	0	0	0	0	21
14:30-14:45	5	4	5	4	5	2	1	1	1	0	28
14:45-15:00	2	3	4	5	5	1	0	0	1	1	22
15:00-15:15	2	4	6	6	3	0	0	0	0	0	21
15:15-15:30	0	5	4	4	0	2	0	1	0	0	16
15:30-15:45	3	5	3	6	3	0	0	0	0	0	20
15:45-16:00	0	4	5	4	5	3	0	0	0	1	22
16:00-16:15	1	4	5	3	6	4	0	1	1	0	25
16:15-16:30	2	5	3	7	5	0	0	0	0	0	22
16:30-16:45	4	4	3	5	6	3	0	0	1	0	26
16:45-17:00	0	4	0	4	5	4	0	0	0	0	17
17:00-17:15	3	4	3	7	7	3	0	0	0	0	27
17:15-17:30	0	5	2	7	7	3	0	0	0	0	24
17:30-17:45	3	5	1	6	5	1	1	0	0	0	22
17:45-18:00	0	4	3	8	8	1	1	1	1	0	27
18:00-18:15	0	5	5	6	6	0	1	0	0	1	24
18:15-18:30	3	5	4	6	7	1	0	0	0	0	26
18:30-18:45	3	5	2	6	6	1	0	1	0	0	24
18:45-19:00	5	8	4	5	6	2	0	0	0	0	30
19:00-19:15	3	6	0	8	8	3	0	0	0	0	28
19:15-19:30	3	6	0	7	9	2	0	0	1	1	29
19:30-19:45	1	4	0	8	9	0	0	0	0	0	22
19:45-20:00	0	3	0	12	10	2	0	0	0	0	27
TOTAL	122	265	180	290	260	80	14	18	12	14	1255

TABLAS DE DATOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Tesista Bach. En Ing. Civil José Eleazar Villanueva Calderón

Lugar Ruta de ingreso a Cajabamba desde Cajamarca

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	821985.759	9157617.52	2606.323	borde
2	821985.953	9157617.18	2606.346	borde
3	821985.963	9157617.23	2605.9115	fondo
4	821986.588	9157616.18	2606.4091	Borde
5	821987.762	9157613.09	2606.3871	EJE
6	821989.332	9157609.94	2606.3418	Borde
7	821990.138	9157608.84	2606.2959	borde
8	821990.369	9157608.22	2606.3118	borde
9	821970.659	9157604.55	2604.7292	EJE
10	821933.961	9157575.64	2600.4535	EJE
11	821926.121	9157563.93	2599.2264	EJE
12	821920.284	9157554.04	2598.2909	EJE
13	821914.004	9157540.96	2597.197	EJE
14	821909.611	9157528.32	2596.1781	EJE
15	821907.632	9157519.61	2595.4783	EJE
16	821897.874	9157487.07	2592.7642	borde
17	821899.112	9157487.12	2592.8323	borde
18	821897.995	9157487.08	2592.4849	fondo
19	821899.845	9157486.89	2592.8549	Borde
20	821903.248	9157485.69	2592.8225	EJE
21	821906.705	9157485.35	2592.7324	Borde
22	821907.552	9157486.52	2592.7663	borde
23	821908.756	9157486.36	2592.4446	fondo
24	821908.863	9157486.41	2592.7268	borde
25	821901.38	9157464.93	2591.1663	EJE
26	821899.66	9157448.41	2589.9652	EJE
27	821896.844	9157429.35	2588.4931	EJE
28	821891.824	9157418.41	2587.5482	EJE
29	821881.219	9157410.99	2586.6261	EJE
30	821869.438	9157409.83	2585.8785	EJE
31	821868.477	9157405.43	2586.2675	Borde
32	821869.114	9157414.42	2585.4497	Borde
33	821854.464	9157419.09	2584.8099	EJE
34	821845.905	9157440.22	2583.6841	EJE
35	821837.802	9157454.74	2583.0445	Borde
36	821841.074	9157456.48	2582.9123	EJE
37	821844.677	9157457.72	2582.8121	Borde

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
38	821835.29	9157477.97	2581.9481	EJE
39	821831.127	9157502.5	2580.874	EJE
40	821831.977	9157518.8	2580.1503	EJE
41	821837.53	9157543.12	2578.9999	EJE
42	821840.956	9157542.26	2578.911	Borde
43	821834.252	9157543.6	2579.1096	Borde
44	821845.762	9157567.57	2577.7585	EJE
45	821850.924	9157583.98	2576.817	EJE
46	821850.575	9157602.25	2575.3999	Borde
47	821854.801	9157602.78	2575.6613	EJE
48	821858.929	9157603.21	2575.9134	Borde
49	821853.174	9157616.24	2574.8815	EJE
50	821849.531	9157625.1	2574.3093	EJE
51	821841.535	9157636.02	2573.5074	EJE
52	821824.157	9157646.42	2572.2171	EJE
53	821806.476	9157652.4	2571.409	Borde
54	821806.058	9157648.2	2571.0558	EJE
55	821806.696	9157643.83	2570.774	Borde
56	821771.495	9157632.32	2569.0181	Borde
57	821777.677	9157626.69	2568.3725	Borde
58	821774.141	9157628.8	2568.629	EJE
59	821760.494	9157597.01	2566.5699	EJE
60	821748.585	9157563.84	2564.3984	EJE
61	821737.098	9157545.68	2562.9124	Borde
62	821740.274	9157543.95	2563.0578	EJE
63	821743.578	9157542.39	2563.2418	Borde
64	821729.167	9157526.56	2561.7623	EJE
65	821719.083	9157510.88	2560.8143	Borde
66	821716.209	9157512.92	2560.6565	EJE
67	821713.86	9157515.37	2560.5698	Borde
68	821685.672	9157486.68	2558.1706	EJE
69	821661.217	9157470.22	2556.2877	Borde
70	821663.306	9157467.61	2556.3741	EJE
71	821665.325	9157464.98	2556.3002	Borde
72	821639.656	9157447.56	2554.4695	EJE
73	821625.684	9157435.76	2553.3401	EJE
74	821603.902	9157417.25	2551.6036	EJE
75	821584.054	9157404.24	2550.3187	Borde
76	821586.745	9157401.24	2550.0422	EJE
77	821589.799	9157398.29	2549.8007	Borde
78	821580.129	9157379.96	2548.1276	Borde
79	821575.961	9157379.52	2548.322	EJE
80	821571.804	9157379.8	2548.628	Borde
81	821572.578	9157362.13	2547.4866	Borde

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
82	821577.04	9157362.37	2547.0887	EJE
83	821581.162	9157363.12	2546.7603	Borde
84	821596.814	9157341.35	2544.8126	Borde
85	821594.486	9157338.4	2544.8931	EJE
86	821592.294	9157335.54	2544.9569	Borde
87	821618.616	9157311.11	2541.957	Borde
88	821621.031	9157314	2542.0887	EJE
89	821624.064	9157316.63	2542.2406	Borde
90	821637.434	9157300.9	2541.013	Borde
91	821633.704	9157298.55	2540.5849	EJE
92	821629.773	9157296.48	2540.2089	Borde
93	821629.78	9157280.12	2538.8723	Borde
94	821633.582	9157277.91	2539.1816	EJE
95	821637.588	9157275.95	2539.5318	Borde
96	821620.932	9157258.84	2538.283	Borde
97	821619.12	9157262.79	2537.9086	EJE
98	821616.702	9157266.7	2537.5388	Borde
99	821603.456	9157265.43	2536.6799	Borde
100	821602.197	9157260.9	2537.0257	EJE
101	821600.729	9157256.33	2537.3811	Borde
102	821581.241	9157379.32	2547.9156	BM-1
103	821572.28	9157398.2	2549.9215	BM-2
104	821846.993	9157423.69	2584.6973	Borde
105	821851.046	9157425.5	2584.4192	EJE
106	821854.927	9157427	2584.2647	Borde
107	821847.735	9157447.62	2583.3072	Borde
108	821843.977	9157446.83	2583.3655	EJE
109	821840.25	9157446.02	2583.4645	Borde
110	821881.536	9157406.03	2586.9778	Borde
111	821880.295	9157410.59	2586.5782	EJE
112	821878.811	9157414.72	2586.2365	Borde
113	821889.788	9157423.46	2587.4496	Borde
114	821893.918	9157421.64	2587.819	EJE
115	821898.023	9157419.46	2588.2463	Borde
116	821903.589	9157451.96	2590.1899	Borde
117	821900.352	9157452.67	2590.283	EJE
118	821896.779	9157453.21	2590.209	Borde
119	821899.195	9157477.78	2592.0924	Borde
120	821902.59	9157478.03	2592.2014	EJE
121	821905.822	9157477.99	2592.1383	Borde
122	821908.275	9157499.21	2593.8426	Borde
123	821904.676	9157499.45	2593.8728	EJE
124	821901.03	9157499.93	2593.9497	Borde
125	821903.266	9157517.54	2595.4053	Borde

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
126	821906.953	9157516.8	2595.2795	EJE
127	821910.923	9157517.34	2595.2204	Borde
128	821916.604	9157537.03	2596.8699	Borde
129	821913.056	9157538.51	2596.9808	EJE
130	821909.611	9157539.87	2597.1514	Borde
131	821916.938	9157555.96	2598.4864	Borde
132	821920.336	9157554.32	2598.3408	EJE
133	821923.954	9157553.3	2598.2573	Borde
134	821935.54	9157571.24	2600.0664	Borde
135	821932.744	9157573.84	2600.2418	EJE
136	821929.794	9157576.02	2600.3952	Borde
137	821941.482	9157589.26	2601.9669	Borde
138	821944.108	9157586.63	2601.8232	EJE
139	821946.811	9157583.74	2601.6935	Borde
140	821960.328	9157593.77	2603.2583	Borde
141	821958.53	9157596.91	2603.4566	EJE
142	821956.43	9157600.26	2603.6254	Borde
143	821968.934	9157607.81	2604.9559	Borde
144	821971.316	9157604.9	2604.7977	EJE
145	821973.178	9157601.65	2604.6953	Borde
146	821984.813	9157607.78	2605.8986	Borde
147	821983.131	9157610.76	2605.9586	EJE
148	821981.42	9157613.65	2605.9986	Borde
149	827070.09	9154295.32	2728.7022	EJE
150	827069.416	9154297.23	2728.7697	Borde
151	827071.943	9154292.65	2728.6345	Borde
152	827090.034	9154300.53	2727.7517	Borde
153	827089.406	9154303.72	2727.7999	EJE
154	827088.951	9154306.53	2727.8568	Borde
155	827109.226	9154311.28	2726.4939	Borde
156	827110.079	9154308.22	2726.4453	EJE
157	827110.767	9154305.58	2726.3206	Borde
158	827129.063	9154314.39	2725.14	Borde
159	827129.959	9154312.1	2725.183	EJE
160	827130.241	9154309.71	2725.101	Borde
161	827146.559	9154312.36	2724.1498	Borde
162	827146.114	9154315.01	2724.1377	EJE
163	827145.534	9154317.82	2724.06	Borde
164	827158.397	9154317.53	2723.4677	EJE
165	827157.616	9154320.16	2723.4399	Borde
166	827159.056	9154314.94	2723.3825	Borde
167	827174.509	9154320.21	2722.7655	Borde
168	827175.465	9154317.48	2722.8582	Borde
169	827175.208	9154320.49	2722.7388	EJE

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
170	827174.428	9154323.95	2722.7448	Borde
171	827195.705	9154327.86	2722.1696	Borde
172	827196.942	9154324.39	2722.0625	EJE
173	827197.784	9154321.18	2721.9654	Borde
174	827215.379	9154323.99	2721.6253	Borde
175	827215.717	9154328.19	2721.6335	EJE
176	827215.307	9154332.02	2721.6779	Borde
177	827231.941	9154333.06	2721.243	Borde
178	827233.418	9154329.1	2721.2213	EJE
179	827236.117	9154325.3	2721.4245	Borde
180	827242.079	9154332.93	2721.1529	puente
181	827240.337	9154334.65	2721.1012	EJE
182	827238.157	9154335.26	2721.1338	puente
183	827246.717	9154349.72	2721.1024	puente
184	827248.14	9154347.92	2721.115	EJE
185	827250.433	9154347.54	2721.1057	puente
186	827256.6	9154358.74	2720.9671	Borde
187	827256.848	9154359.34	2720.9726	Borde
188	827253.451	9154360.87	2720.9025	EJE
189	827249.708	9154362.33	2721.0934	Borde
190	827256.68	9154379.89	2720.5913	Borde
191	827260.191	9154379.78	2720.6607	EJE
192	827264.358	9154380.58	2720.8143	Borde
193	827264.232	9154396.58	2720.4545	Borde
194	827260.359	9154396.19	2720.1366	EJE
195	827256.705	9154395.61	2720.0511	Borde
196	827248.605	9154406.66	2719.4705	Borde
197	827250.69	9154410.21	2719.6285	EJE
198	827252.701	9154413.58	2719.9529	Borde
199	827232.837	9154423.81	2719.4426	Borde
200	827231.84	9154420.33	2719.321	EJE
201	827230.918	9154416.6	2719.2013	Borde
202	827205.82	9154421.45	2718.6727	Borde
203	827205.259	9154424.65	2718.7719	EJE
204	827205.013	9154427.56	2718.7566	Borde
205	827183.38	9154424.9	2718.3101	Borde
206	827183.482	9154421.87	2718.3429	EJE
207	827183.855	9154418.43	2718.2878	Borde
208	827156.104	9154417.66	2717.8439	Borde
209	827156.734	9154424.48	2717.5344	Borde
210	827155.591	9154420.72	2717.7338	EJE
211	827134.563	9154427.4	2716.5722	EJE
212	827135.113	9154430.28	2716.3009	Borde
213	827132.2	9154424.35	2716.5976	Borde

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
214	827107.845	9154433.08	2715.1819	Borde
215	827108.068	9154435.92	2715.2628	EJE
216	827108.277	9154438.99	2715.3016	Borde
217	827086.343	9154442.27	2714.0087	Borde
218	827086.193	9154439.25	2714.16	EJE
219	827086.21	9154436.18	2714.0454	Borde
220	827059.021	9154431.81	2712.3069	Borde
221	827057.818	9154435.13	2712.2595	EJE
222	827056.306	9154438.07	2712.24	Borde
223	827034.991	9154431.5	2710.9122	Borde
224	827034.793	9154428.42	2710.932	EJE
225	827035.249	9154425.02	2711.0455	Borde
226	827011.126	9154423.35	2709.0141	Borde
227	827010.21	9154426.56	2709.1853	EJE
228	827009.064	9154429.93	2709.2292	Borde
229	826978.411	9154419.51	2706.8129	Borde
230	826978.882	9154416.13	2707.0553	EJE
231	826980.208	9154413.12	2707.3075	Borde
232	826954.227	9154410.78	2706.2098	Borde
233	826954.486	9154414.2	2706.0227	EJE
234	826954.192	9154417.06	2705.816	Borde
235	826929.407	9154420.84	2704.9882	Borde
236	826928.585	9154417.62	2705.0945	EJE
237	826927.968	9154414.09	2705.1223	Borde
238	826896.675	9154418.85	2704.4906	Borde
239	826896.415	9154422	2704.4346	EJE
240	826896.219	9154424.65	2704.512	Borde
241	826871.756	9154426.15	2704.34	Borde
242	826871.669	9154422.91	2704.3718	EJE
243	826871.661	9154419.28	2704.4093	Borde
244	826846.04	9154421.6	2704.2961	Borde
245	826846.656	9154424.7	2704.2806	EJE
246	826846.757	9154428.04	2704.2608	Borde
247	826825.265	9154431.13	2704.0897	Borde
248	826824.356	9154427.78	2704.3187	EJE
249	826823.368	9154424.58	2704.5187	Borde
250	826797.495	9154437.37	2704.4874	Borde
251	826798.998	9154440.59	2704.4259	EJE
252	826800.543	9154443.55	2704.3975	Borde
253	826777.485	9154456.29	2704.7685	Borde
254	826775.511	9154453.53	2704.8906	EJE
255	826773.703	9154450.43	2704.9276	Borde
256	826756.478	9154460.04	2705.3592	Borde
257	826757.722	9154462.99	2705.3872	EJE

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
258	826759.095	9154465.75	2705.3562	Borde
259	826741.211	9154473.96	2705.7325	Borde
260	826739.338	9154470.71	2705.7094	EJE
261	826737.891	9154467.81	2705.8556	Borde
262	826728.733	9154472.31	2705.882	alcantarilla
263	826731.531	9154477.59	2705.9154	alcantarilla
264	826729.986	9154474.82	2705.8794	EJE
265	826712.947	9154488.43	2706.4652	Borde
266	826710.655	9154485.27	2706.5256	EJE
267	826708.54	9154482.78	2706.5146	Borde
268	826694.743	9154490.82	2707.064	Borde
269	826696.437	9154494.06	2706.9797	EJE
270	826698.814	9154497.49	2707.0567	Borde
271	826678.23	9154500.79	2707.4701	Borde
272	826679.683	9154504.14	2707.534	EJE
273	826681.86	9154507.88	2707.6246	Borde
274	826682.108	9154508.24	2707.5779	vereda
275	826672.126	9154503.5	2707.6909	Borde
276	826674.075	9154508.12	2707.7303	EJE
277	826678.538	9154511.35	2707.8924	Borde
278	826678.828	9154511.47	2707.9843	vereda
279	826671.036	9154512.4	2707.7863	EJE
280	826663.166	9154511.95	2707.8305	Borde
281	826663.294	9154508.21	2707.7785	EJE
282	826662.833	9154505.4	2707.7916	Borde
283	827118.648	9154303.96	2727.0042	BM-1
284	827107.174	9154314.53	2725.4985	BM-2
285	827056.45	9154289.4	2729.645	a
286	827038.107	9154281.43	2730.718	b
287	827019.764	9154273.45	2731.643	c
288	827001.421	9154265.48	2732.592	d
289	826983.077	9154257.51	2733.718	e
290	826967.258	9154248.55	2734.624	f
291	827054.822	9154292.22	2729.712	a1
292	827057.867	9154286.93	2729.043	a2
293	827036.672	9154284.36	2730.803	b1
294	827039.356	9154278.87	2730.642	b2
295	827017.953	9154276.17	2731.697	c1
296	827021.34	9154271.09	2731.581	c2
297	826999.957	9154268.4	2732.669	d1
298	827002.694	9154262.95	2732.525	d2
299	826981.399	9154260.3	2733.794	e1
300	826984.68	9154255.15	2733.663	e2
301	826965.505	9154251.3	2734.713	f1

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
302	826968.786	9154246.15	2734.543	f2
303	826949.461	9154236.82	2735.542	g
304	826944.233	9154243.08	2735.612	g1
305	826952.363	9154233.34	2735.473	g2