



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE TRANSITABILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DE
LA CARRETERA CU-119, TRAMO: CU-117 – CU-138, EN LAS PROVINCIAS DE
PARURO Y CHUMBIVILCAS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO**

Línea de investigación:

Seguridad vial e Infraestructura de transporte

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Transporte

Autor:

Payano Vergara, Dany

Asesor:

Enciso Lopez, Jossy Carlot

Jurado:

Benavides Caverio, Oscar

Fernández Ybarra, Felicita Nancy

Bazán Briceño, Jose Luis

Lima - Perú

2023



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE TRANSPORTES

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE TRANSITABILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO
DE LA CARRETERA CU-119, TRAMO: CU-117 – CU-138, EN LAS PROVINCIAS DE
PARURO Y CHUMBIVILCAS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO

Línea de investigación:

Seguridad Vial e Infraestructura de Transporte

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Transporte

Autor:

Payano Vergara, Dany

Asesor (a):

Enciso Lopez, Jossy Carlot

Jurados:

Benavides Cavero, Oscar

Fernández Ybarra, Felicita Nancy

Bazán Briceño, Jose Luis

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

A mis padres Miriam y Carlos por darme la vida y ser mi soporte en todo momento.

A mi esposa Evelyn mi compañera de vida y de todo, a mis hijas Fátima y Stella que son mi fuerza y motivación para dar siempre más de mí.

A mi abuela María Dolores, quien siempre está presente en mi vida, con todo el amor y cariño que siempre me dio.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Federico Villareal por ser parte de mi formación académica y personal.

A mis padres, Miriam y Carlos, por el amor, las enseñanzas y dedicación para guiarme siempre por el buen camino.

Evelyn, gracias a ti todo es posible, te estaré agradecido por siempre.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
I. Introducción	13
1.1. Descripción y formulación del problema.....	14
1.1.1. Problema Principal.....	14
1.1.2. Problema Secundario	14
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. A nivel internacional.....	15
1.2.2. A nivel nacional	18
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	21
1.4. Justificación	22
1.5. Hipótesis	23
II. Marco teórico	24
2.1. Bases teóricas.....	24
2.1.1. Estado de Transitabilidad.....	24
2.1.2. Análisis del flujo vehicular	26
2.1.3. Clasificación de las carreteras:.....	26
2.1.4. Camino	29
2.1.5. Diseño geométrico de una carretera.....	29
2.1.6. Clasificación del camino de acuerdo con su función según el HCM 2010.....	29
2.1.7. Dispositivos para el control del tránsito.....	33
2.1.8. Corrientes de tránsito	34
2.1.9. Capacidad y nivel de servicio	42
2.1.10. Metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles.....	48
III. Método	82
3.1. Tipo de investigación.....	82
3.2. Nivel de investigación.....	82
3.2.1. Nivel Descriptivo:	82
3.3. Diseño de la investigación	83
3.3.1. Diseño no experimental:	83
3.3.2. Diseño transversal:	83
3.4. Ámbito temporal y espacial	84

3.4.1.	Ámbito temporal	84
3.4.2.	Ámbito espacial.....	84
3.5.	Variables	85
3.5.1.	Variable independiente	85
3.5.2.	Variable dependiente.....	86
3.6.	Población y muestra.....	86
3.6.1.	Población.....	86
3.6.2.	Muestra	87
3.7.	Instrumentos.....	88
3.7.1.	Instrumentos metodologías o instrumentos de recolección de datos	88
3.7.2.	Instrumentos de ingeniería.....	94
3.8.	Procedimientos.....	96
3.8.1.	Recopilación de elementos y características viales.....	96
3.8.2.	Recopilación de Conteos vehiculares.....	102
3.9.	Análisis de datos	113
3.9.1.	Condiciones de la vía	113
3.9.2.	Conteo vehicular	120
3.9.3.	Composición vehicular	138
3.9.4.	Análisis de tránsito proyectado	142
3.9.5.	Nivel de servicio y capacidad de la vía.....	157
3.9.6.	Números de ejes equivalentes	181
IV.	Resultados	193
4.1.	Tramo I:	193
4.2.	Tramo II:	194
4.3.	Condiciones de la vía.....	195
V.	Discusión de resultados.....	196
VI.	Conclusiones	198
VII.	Recomendaciones	200
VIII.	Referencias.....	202
IX.	Anexos	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Carreteras de clase I.....	31
Figura 2 Carreteras de clase II	32
Figura 3 Carreteras de clase III.....	32
Figura 4 Vía urbana multicarril dividida, y sin división.	33
Figura 5 Autopista urbana multicarril y autopista rural multicarril	33
Figura 6 Densidad o concentración.....	42
Figura 7 Nivel de servicio A y B	45
Figura 8 Nivel de servicio C y D	45
Figura 9 Nivel de servicio E y F.....	45
Figura 10 Flujograma de metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles.....	50
Figura 11 Mapa de ubicación.....	84
Figura 12 Ubicación de la carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138	85
Figura 13 Formato de conteo y clasificación vehicular	89
Figura 14 Formato SIB-01: Carretera	90
Figura 15 Formato SIB-02: Itinerario	90
Figura 16 Formato SIB-03: Superficie de rodadura.....	91
Figura 17 Formato SIB-04: Calzada.....	91
Figura 18 Formato SIB-05: Estado de Transitabilidad	92
Figura 19 Formato SIB-06: Bermas.....	92
Figura 20 Formato SIB-07: Señalización	93
Figura 21 Formato SIB-08: Puentes	93
Figura 22 Carretera CU-119, Tramo: CU-117 / CU-138.....	97
Figura 23 Vehículo 4x4 equipado con instrumentos de captación de información de campo.....	98
Figura 24 Cámara Garmin Dash Cam 56, con georreferenciación.....	99
Figura 25 Georreferenciación con GPS navegador de puntos notables del trayecto	100
Figura 26 Medición de la sección vial – Punto de inicio.....	100
Figura 27 Medición de la sección vial, CU-119	101
Figura 28 Puente Tinoc (Vía CU-119 altura Río Apurímac) km 84+420.....	101
Figura 29 Fin de recorrido Vía Trocha CU-119, cruce con CU-138	101
Figura 30 Tramos homogéneos y estaciones de conteo de tráfico.....	104
Figura 31 Conteo vehicular – Estación 1: Ccoyobamba.....	105
Figura 32 Conteo vehicular – Estación 2: Ccapacmarca	105
Figura 33 Trayectoria de la carretera CU-119, tramo Yaurisque – Ccoyobamba	113
Figura 34 Perfil de elevación del tramo I: Yaurisque -Ccoyobamba.....	114
Figura 35 Perfil de elevación del tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca.....	115
Figura 36 Variación horaria del volumen, Estación E1- sentido Hacia Yaurisque	132
Figura 37 Variación diaria del volumen Estación E1-sentido Hacia Yaurisque.....	133
Figura 38 Variación horaria del volumen, Estación E1- sentido Hacia Ccoyobamba.....	133

Figura 39	Variación diaria del volumen Estación E1-sentido Hacia Ccoyobamba	134
Figura 40	Composición del Tráfico – Estación 1: Yaurisque - Ccoyobamba.....	134
Figura 41	Variación horaria del volumen, Estación E2- sentido Hacia Ccoyobamba.....	135
Figura 42	Variación diaria del volumen Estación E2-sentido Hacia Ccoyobamba	135
Figura 43	Variación horaria del volumen, Estación E2- sentido Hacia Ccapacmarca	136
Figura 44	Variación diaria del volumen Estación E2-sentido Hacia Ccapacmarca.....	136
Figura 45	Composición del Tráfico – Estación 2: Ccoyobamba - Ccapacmarca	137
Figura 46	Porcentaje de vehículos pesados estación E1 Hacia Yaurisque	140
Figura 47	Porcentaje de vehículos pesados estación E2 Hacia Ccoyobamba.....	140
Figura 48	Porcentaje de vehículos pesados estación E3 Hacia Ccoyobamba.....	141
Figura 49	Porcentaje de vehículos pesados estación E4 Hacia Ccapacmarca	141
Figura 50	Tráfico generado vs tráfico - Estación 01.....	156
Figura 51	Tráfico generado vs tráfico - Estación 02.....	156
Figura 52	Resultados del análisis de nivel de servicio en ATS de la carretera CU-119.....	180
Figura 53	Resultados del análisis de nivel de servicio en PTSF de la carretera CU-119	181
Figura 54	ESAL de diseño para los tramos I y II.....	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado de transitabilidad	24
Tabla 2 Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles.....	41
Tabla 3 Nivel de servicio	44
Tabla 4 Medidas de eficacia para la definición de nivel de servicio.....	46
Tabla 5 Datos de entrada necesarios por el HCM 2010 en carreteras de dos carriles.....	52
Tabla 6 Factor de ajuste para ancho de carril y de berma (fls)	55
Tabla 7 Factor de ajuste por densidad de accesos (FA)	56
Tabla 8 Factor de ajuste por la pendiente (ATS) en terreno general o descensos específicos.....	57
Tabla 9 Factor de ajuste por la pendiente para (ATS) en ascensos específicos	58
Tabla 10 Factor de equivalencia de vehículos pesados y recreacionales en terreno general y descensos específicos para ATS	62
Tabla 11 Factor de equivalencia de vehículos recreacionales (E_R) en ascensos específicos para ATS.	62
Tabla 12 Factor de equivalencia de vehículos pesados (E_t) en ascensos específicos para ATS.....	63
Tabla 13 Factor de equivalencia para camiones en descenso que operan a velocidad lenta E_{TC}	66
Tabla 14 Factores de ajuste por zonas de no rebase para ATS ($F_{np,ATS}$).....	67
Tabla 15 Factor de ajuste por la pendiente en terreno general y descensos específicos para PTSF. ...	70
Tabla 16 Factor de ajuste por la pendiente en ascenso específicos para PTSF.....	71
Tabla 17 Factor de equivalencia de vehículos pesados (E_t) y recreacionales (E_r) para (PTSF) en terreno general y descensos específicos.....	73
Tabla 18 Factor de equivalencia de vehículos pesados (E_t) y recreacionales (E_r) para (PTSF) en ascensos específicos.....	73
Tabla 19 Coeficientes para determinar la base de PTSF.....	77
Tabla 20 Factor de Ajuste por zona de no adelantamiento para PTSF	77
Tabla 21 Nivel de servicio en carreteras de dos carriles	80
Tabla 22 Herramientas y equipos.....	94
Tabla 23 Software	95
Tabla 24 Tramo y estaciones de control	104
Tabla 25 Clasificación vehicular.....	106
Tabla 26 Factores de Corrección Estacional	107
Tabla 27 Resumen de Conteo de tráfico vehicular – Estación 1: Ccoyobamba.....	108
Tabla 28 Resumen de Conteo de tráfico vehicular – Estación 2: Ccapacmarca	110
Tabla 29 Carretera: SIB-01	116
Tabla 30 Itinerario: SIB-02	116
Tabla 31 Superficie de rodadura: SIB-03.....	117
Tabla 32 Calzada: SIB-04	117
Tabla 33 Conservación: SIB-05	118
Tabla 34 Señalización: SIB-07.....	118

Tabla 35 Puentes: SIB-08	119
Tabla 36 Tráfico vehicular Promedio Diario Semanal-Tramo 1: Yaurisque - Ccoyobamba.....	121
Tabla 37 Flujo vehicular observado-estación E1 sentido hacia Yaurisque.....	122
Tabla 38 Flujo vehicular observado-estación E1 sentido hacia Ccoyobamba	123
Tabla 39 Índice Medio Diario Anual (IMDA) – Tramo 1: Yaurisque - Ccoyobamba.....	124
Tabla 40 Tráfico vehicular Promedio Diario Semanal-Tramo 2: Ccoyobamba – Ccapacmarca	125
Tabla 41 Índice Medio Diario Anual (IMDA) – Tramo 2: Ccoyobamba - Ccapacmarca	126
Tabla 42 Flujo vehicular observado-Estación E2 sentido hacia Ccoyobamba	127
Tabla 43 Flujo vehicular observado-estación E2 sentido hacia Ccapacmarca.....	128
Tabla 44 Resumen Volumen vehicular de máxima demanda por estación.....	129
Tabla 45 Volumen de vehículos ligeros y pesados en la estación E1	130
Tabla 46 Volumen de vehículos ligeros y pesados en la estación E2	130
Tabla 47 Transito futuro Estación 1	131
Tabla 48 Transito futuro Estación 2.....	132
Tabla 49 Composición de vehículos ligeros	138
Tabla 50 Composición de vehículos pesados.....	139
Tabla 51 Porcentaje de participación en la composición vehicular	139
Tabla 52 Porcentaje de participación en la composición vehicular por estación	140
Tabla 53 Indicadores de Crecimiento Empleadas para las Proyecciones de Tráfico	144
Tabla 54 Tráfico normal, Estación 01: Ccoyobamba.....	144
Tabla 55 Tráfico normal, Estación 02: Ccapacmarca	146
Tabla 56 Tráfico Generado a 20 años-Estación 01: Ccoyobamba	149
Tabla 57 Tráfico Generado a 20 años-Estación 02: Ccapacmarca.....	150
Tabla 58 Tráfico Total – Estación 1: Ccoyobamba	153
Tabla 59 Tráfico Total – Estación 2: Ccapacmarca	154
Tabla 60 Recopilación de datos geométricos y de tránsito	158
Tabla 61 Conversión de unidades métricas.....	158
Tabla 62 Recopilación de datos geométricos y de tránsito sistema imperial.....	159
Tabla 63 Datos necesarios para determinar el factor de ajuste por la pendiente para ATS-situación	160
Tabla 64 Interpolación del factor de ajuste por la pendiente para ATS en el sentido de análisis-situación actual.....	161
Tabla 65 Interpolación del factor de ajuste por la pendiente en ascenso específico para ATS en el sentido opuesto-situación actual	161
Tabla 66 Interpolación del factor de equivalencia en descenso específico para ATS en el sentido de análisis-situación actual	162
Tabla 67 Interpolación del factor de equivalencia para vehículos recreacionales (E_R) para ATS en el sentido opuesto-situación actual	162
Tabla 68 Interpolación del factor de equivalencia para vehículos pesados (E_T) para ATS en el sentido opuesto-situación actual.....	163
Tabla 69 Datos necesarios para determinar el factor de ajuste por pendiente para PTSF-situación actual.....	168

Tabla 70 Interpolación del factor de ajuste por pendiente en el sentido de análisis para PTSF-situación	169
Tabla 71 Interpolación del factor de ajuste por pendiente en el sentido opuesto para PTSF – situación actual	169
Tabla 72 Interpolación del factor de equivalencia en PTSF en el sentido de análisis-situación actual	170
Tabla 73 Interpolación de factores de equivalencia en PTSF en el sentido de opuesto-situación actual	170
Tabla 74 Interpolación de los coeficientes para el BPTSF en el sentido de análisis -situación actual	173
Tabla 75 Interpolación de los coeficientes para el BPTSF en el sentido opuesto – situación actual	174
Tabla 76 Interpolación del factor de ajuste por zonas de no adelantamiento para PTSF en ambos sentidos -situación actual	175
Tabla 77 Nivel de servicio en el sentido Hacia Yaurisque - 2022	178
Tabla 78 Nivel de servicio en el Hacia CCoyobamba, 2022	179
Tabla 79 Promedio de nivel de servicio para el tramo I en el año 2022	179
Tabla 80 Promedio de nivel de servicio para el tramo II en el año 2022	180
Tabla 81 Parámetros de Cálculo de ejes equivalentes.....	182
Tabla 82 Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño	183
Tabla 83 Factores de Crecimiento Acumulado (Fca).....	183
Tabla 84 Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.....	184
Tabla 85 Parámetros de diseño – Factor ajuste por presión de neumáticos (Fp) para Ejes Equivalentes (EE).....	185
Tabla 86 Relación de factor camión según tipo de vehículo para el tramo I	186
Tabla 87 Número de ejes equivalentes para el tramo I	188
Tabla 88 Relación de factor camión según tipo de vehículo para el tramo II	189
Tabla 89 Número de ejes equivalentes para el tramo II	191
Tabla 90 Resultados del tramo I.....	193
Tabla 91 Resultados del tramo II	194
Tabla 92 Resumen del Estado de la CU-119, tramo CU-117 – CU-138.....	195

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio consistió en determinar el nivel de transitabilidad actual de la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, a través de una evaluación exhaustiva del estado de la infraestructura vial y el flujo vehicular en la zona. El diseño de la investigación corresponde a una investigación descriptiva, la población está compuesta por todos los vehículos motorizados que se encontraban en circulación, clasificados en vehículos ligeros y pesados, asimismo, los elementos y características viales del tramo. Los resultados principales muestran que el Tramo I (Yaurisque - Ccoyobamba) es una vía afirmada de dos carriles con una extensión de 43.2 km, con un IMDa de 1407 vehículos, compuesto por 20.7% de vehículos pesados y 79.3% vehículos ligeros. Además, se identificó un VHMD de 108 veh/h sentido hacia Yaurisque y 104 sentido hacia Ccoyobamba. Por otro lado, el Tramo II (Ccoyobamba - Ccapacmarca) es una vía afirmada de dos carriles con una extensión de 46.3 km, con un IMDa de 1447 vehículos, compuesto por 17.5% de vehículos pesados y 82.5% vehículos ligeros. Además, se identificó un VHMD de 103 veh sentido hacia Ccoyobamba y 103 sentido hacia Ccapacmarca. Las proyecciones de tráfico para el año 2045 del tramo I y II es de 2722 vehículos y de 2711 vehículos respectivamente. Los resultados indican que el Tramo I presenta un nivel de servicio B, mientras que, el Tramo II presenta un nivel de servicio A. Además, los resultados de los EE para una proyección de 20 años del tramo I es de 17,676,559.54 y del tramo II es 16,500,809.44 ambos corresponden a un tipo de tráfico pesado TP12.

Palabras clave: Estudio de transitabilidad, tráfico y nivel de servicio.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the current passability level of Highway CU-119 in the section CU-117 to CU-138 in the provinces of Paruro and Chumbivilcas in the Department of Cusco, through an exhaustive evaluation of the state, road infrastructure and vehicle flow in the area. The research design corresponds to a descriptive investigation. The population is composed of all motorized vehicles that were in circulation, classified as light and heavy vehicles, as well as the road elements and characteristics of the stretch. The main results show that Stretch I (Yaurisque - Ccoyobamba) is a two-lane unpaved road with a length of 43.2 km, with an IMDa of 1407 vehicles, composed of 20.7% heavy vehicles and 79.3% light vehicles. In addition, a VHMD of 108 veh/h towards Yaurisque and 104 towards Ccoyobamba was identified. On the other hand, Stretch II (Ccoyobamba - Ccapacmarca) is a two-lane unpaved road with a length of 46.3 km, with an IMDa of 1447 vehicles, composed of 17.5% heavy vehicles and 82.5% light vehicles. In addition, a VHMD of 103 veh towards Ccoyobamba and 103 towards Ccapacmarca was identified. Traffic projections for 2045 for stretch I and II are 2722 and 2711 vehicles, respectively. The results indicate that Stretch I has a service level B, while Stretch II has a service level A. In addition, the results of the EE for a 20-year projection of stretch I is 17,676,559.54 and for stretch II is 16,500,809.44, both corresponding to a heavy traffic type TP12.

Keywords: Study of trafficability, traffic and level of service.

I. Introducción

El transporte es el eje fundamental de un país; a través de él, se desarrollan oportunidades de crecimiento económico, de salud y sociales. En ese sentido, la red vial, la cual según el MTC (2007), está conformada por: (i) Red Nacional, (ii) Red Departamental y (iii) Red Vial Vecinal o Rural, es un componente crucial, ya que no sólo permite satisfacer necesidades fundamentales como las de empleo, alimentación y salud, sino que también abarata los desplazamientos entre ciudades o pueblos.

En consecuencia, es estratégicamente importante para una nación ampliar su sistema de carreteras, ya que es el único método para satisfacer las demandas básicas de la población, así como la necesidad de viajar.

El presente estudio pretende identificar las características de la transitabilidad de la Carretera CU-119, tramo CU-117 – CU-138 en el departamento del Cusco, en ese sentido, los resultados del estudio de transitabilidad para su mejoramiento a través de los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las características y condiciones de la carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Determinar los resultados de los conteos vehiculares de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Identificación de los tramos homogéneos Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Identificar las características del tráfico que circula en la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138
- Evaluar los resultados de las proyecciones de tráfico de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138
- Determinar los resultados de la capacidad y niveles de servicio de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138

Por consiguiente, este proyecto de estudio es de vital importancia, ya que las conclusiones extraídas y los cambios sugeridos permitirían mejorar la transitabilidad de la Carretera CU-119, tramo CU-117 – CU-138.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Problema Principal

¿Cuál es el estado actual de la transitabilidad de la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y qué recomendaciones específicas y viables se pueden proponer para mejorar la transitabilidad en función de los hallazgos de la evaluación?

1.1.2. Problema Secundario

- ¿Cuáles son las características físicas y geométricas de la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y cómo influyen en su transitabilidad?
- ¿Cuál es el estado actual de la superficie de la carretera, incluyendo su pavimento, señalización, en el tramo CU-117 a CU-138 de la Carretera CU-119 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y cómo afecta la transitabilidad?
- ¿Cuál es la cantidad y composición del tráfico vehicular en la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y cómo influyen en la transitabilidad y seguridad de la carretera?
- ¿Cuál es la proyección de tráfico en la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y cómo pueden ser consideradas estas proyecciones en la planificación de mejoras en la transitabilidad?
- ¿Cómo afecta la presencia de vehículos de carga pesada en la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, y cómo pueden ser implementadas medidas para mejorar la transitabilidad y seguridad de la carretera para este tipo de vehículos?
- ¿Cuál es el nivel de servicio y la capacidad de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138, en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco?

- ¿En qué medida la falta de infraestructura vial afecta la transitabilidad la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138, en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco?

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel internacional

Según Gómez & Larrota en el 2020 indicaron que la carretera terciaria del municipio de Fusagasugá se encuentra en mal estado y no cumple con los requisitos para ser un corredor vial digno, lo que repercute en los asentamientos que la rodean. Aunque conecta a la comunidad de la región de este municipio rural con el área metropolitana e incluso con la capital del país, esta vía no cuenta con una infraestructura sólida. Es por ello que el proyecto de estudio se enfoca en el diseño y mejoramiento de vías, específicamente realizando un examen de la transitabilidad actual de una red vial de tercer orden en el municipio de Fusagasugá. Es importante resaltar que se crea un plan de mejoramiento para esta circunstancia realizando una investigación sobre la ejecución de políticas, manuales y programas implementados y analizando el estado de los mismos para la conservación o mantenimiento de esta vía. De esta forma, se puede realizar un examen exhaustivo de la carretera mediante la utilización de información sistematizada y la compilación de datos mediante visitas técnicas; además, se obtienen datos del Plan de Ordenación del Territorio; el trabajo incluye capítulos en los que se desarrolla hasta el final para encontrar una propuesta para la carretera.

Por otra parte, Naranjo (2008) el tráfico vehicular que ingresa a la ciudad de Manizales desde varias vías de acceso muestra retos constantes, como la lentitud del tráfico de libre circulación. Con el fin de implementar intervenciones que puedan satisfacer las demandas de los volúmenes de tráfico que allí fluyen, se necesita hacer un análisis del nivel de servicio de las carreteras que conectan con Manizales. Con base en las recomendaciones del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) y el Manual de Capacidad Vial 2000 del Transportation Research Board de los Estados Unidos, este informe analiza la capacidad y los niveles de servicio de las vías principales y auxiliares que van a Manizales.

Salas señaló en 2017 que el objetivo de su investigación es optimizar la técnica de análisis del Nivel de Servicio que ahora se emplea en las carreteras peruanas concesionadas, tal y como se especifica en los correspondientes Contratos de Concesión. Los organismos reguladores de infraestructuras podrán gestionar mejor la gestión de las empresas concesionarias mejorando la metodología de evaluación. Basándose en los resultados de las evaluaciones, las empresas concesionarias podrán sugerir proyectos e iniciativas de preservación que aumenten la transitabilidad y la seguridad de las carreteras. Luego de una descripción del tema de la inseguridad vial en la nación, la primera sección de la investigación analiza el estado actual de la red vial peruana, la brecha en infraestructura vial que los países latinoamericanos deberían cerrar para el año 2020 y su comparación con los países del este asiático. A continuación, se analizan los procesos de concesión de carreteras y el rendimiento de las empresas adjudicatarias. La primera sección concluye con una descripción de las experiencias de medición de la satisfacción de los usuarios de carreteras en diferentes naciones. Para las mediciones de este estudio se utilizaron las vías de la región de Cusco con mayor volumen de tráfico y mayor número de accidentes de tráfico. La jerarquía de prioridades de los parámetros que describen una vía de acceso que puede ser percibida por los usuarios se determinó mediante encuestas a los usuarios de las carreteras.

A continuación, estos parámetros se agruparon en criterios, a los que se asignaron ponderaciones mediante un cuestionario entregado a expertos en gestión de infraestructuras viarias. La encuesta se realizó nuevamente entre los individuos que utilizan la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos-Inambari utilizando los valores de la matriz multicriterio, obteniéndose el denominado Índice de Satisfacción, primer indicador del enfoque sugerido por los Tres indicadores más (Tasa de Accidentes, Porcentaje de Tiempo de Demora e IRI) han sido identificados a través del examen de la metodología utilizada en otras naciones para evaluar el Nivel de Servicio, y la propuesta está ahora completa. La evaluación del Nivel de Servicio se realizó simultáneamente aplicando el método tradicional prevista en el Contrato de Concesión de esta autopista específica que fue otorgado a IIRSA Sur, y luego se realizó una vez más utilizando la nueva metodología teniendo en cuenta los cuatro indicadores mencionados anteriormente. La técnica establecida sirve como instrumento principal de un sistema de gestión para la evaluación del Nivel de Servicio de las carreteras concesionadas que

finalmente se presenta. En este capítulo se sugieren la política, los objetivos, los procesos, los procedimientos, las funciones y las responsabilidades del sistema propuesto.

Se evaluó la efectividad del corredor Cali-Jamundí mediante el análisis de su capacidad y niveles de servicio. Se utilizará la metodología HCM-2000 (Highway Capacity Software) para este propósito. Se recopilará data tanto primaria, que incluye la longitud de la carretera, el tipo de terreno, el número de carriles en cada dirección, y el uso del suelo, entre otros aspectos, así como información secundaria, que consiste en conteos de tráfico y proyectos viales y urbanos, como los planes parciales. Por último, se proporcionarán recomendaciones para mejorar el rendimiento y la eficiencia del corredor. (Ocoro, 2014)

Según Valencia (2001), las carreteras pavimentadas de dos carriles constituyen la gran mayoría de las existentes en Colombia. Esto ha inspirado su estudio desde 1986, y en 1997 se tradujo en logros como el Manual de capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles. El estudio de la maniobra de adelantamiento fue motivado por las lecciones que la investigación en el tiempo le había enseñado al autor, primero como espectador y luego como participante. Y es que esta maniobra determina en última instancia, en la medida en que está permitida en una carretera de este tipo, la capacidad y el nivel de servicio. Para profundizar en este tópico, que podría parecer minúsculo, se ha recurrido a un análisis bibliográfico de la literatura internacional, con el fin de describir un estado del conocimiento necesario para fundamentar las actividades que siguen.

En los trabajos de campo de la técnica de adelantamiento se escogió un tramo de carretera con una pendiente longitudinal pronunciada, condición a la que las carreteras colombianas están bastante acostumbradas. Con una pendiente pronunciada y varios movimientos de adelantamiento que podrían captarse en vídeo, este tramo de carretera era ideal para el objeto del estudio. Después de reducir la cantidad de información primaria obtenida de la televisión, se recolectaron datos que fueron analizados y derivaron en conclusiones en referencia a la acción de adelantamiento. Los recientes inconvenientes que requerían investigación también condujeron a recomendaciones para sugerir que se hicieran cambios en el manual de diseño geométrico de las carreteras colombianas. La ciencia aconsejó realizar nuevas investigaciones complementarias para concretar cualquier modificación pertinente.

1.2.2. A nivel nacional

El país cuenta con una vasta red vial con 141.150 km de carreteras, de los cuales alrededor del 67% están sin pavimentar, según el Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad (PNIC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú (2017). Adicionalmente, se ha observado que algunas partes de la infraestructura vial del país se hallan en bajo estado. Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2019), la zona de Cusco, donde se encuentra el tramo vial CU-119 en estudio, presenta algunas de las condiciones viales más deficientes del Perú, con solo una puntuación de 17,3 en el índice de calidad vial.

Es significativo mencionar en este contexto que las municipalidades de la región de estudio también han enfatizado la necesidad de mejorar la red vial para mejorar la conectividad y el crecimiento socioeconómico de la zona. Por ejemplo, un estudio del Gobierno Regional del Cusco (2018) encontró que las carreteras de la provincia de Paruro, donde se encuentra una parte del segmento vial CU-119 en consideración, están en mal estado y necesitan mantenimiento y modificaciones continuas para mantener la transitabilidad. Asimismo, la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas (2019) resaltó el valor de la vía CU-119 para la conexión y acceso a servicios esenciales de las zonas aledañas bajo su autoridad.

En general, los datos recogidos a escala local y nacional indican la necesidad de actualizar las infraestructuras viarias del país y de la región estudiada, en particular para garantizar la transitabilidad, mejorar la accesibilidad a los servicios necesarios y apoyar el crecimiento socioeconómico de la región.

De las investigaciones nacionales:

De acuerdo con el estudio realizado por Cruz y Melgarejo (2020), el propósito principal de su averiguación fue elevar el nivel de bienestar de los residentes mediante la realización de un análisis de tráfico, un levantamiento topográfico y un estudio de mecánica de suelos. Se propuso el tipo y diseño de pavimento para la carretera Recuay-Huancapampa con el objetivo de mejorar la capacidad de tráfico en esa vía en particular. El enfoque del análisis fue descriptivo, no experimental, con una duración transversal y una población de estudio de 1.520 km. Se utilizaron diferentes instrumentos, como la ficha

técnica de la carretera local, equipos y herramientas, a fin de realizar el análisis. Los resultados obtenidos indicaron que la topografía de la zona presentaba una pendiente del 6%. Además, se determinó que el suelo analizado tenía una subrasante de buena calidad. El número equivalente de ejes estándar (ESAL, por sus siglas en inglés) calculado fue de 936.839,7726. El tipo de pavimento propuesto fue pavimento flexible, con espesores de 8 cm para la capa asfáltica y 20 cm para la base y subbase granular. Se concluyó que la implementación de este pavimento mejoraría la seguridad del tránsito vehicular y elevaría la calidad de vida de los residentes de Recuay y Huancapampa.. (p. 7)

Méndez & Wang (2019) afirman que debido a que tanto la población como el parque automotor se expanden anualmente, los estudios que se realizan para desarrollar nuevos proyectos viales que puedan acomodarse a las demandas los habitantes están quedando obsoletos y erróneos. Para abordar el tema de la transitabilidad vehicular y peatonal en los cruces semaforizados de la avenida Los Incas de la ciudad de Trujillo, fue necesario realizar un diagnóstico de tránsito y elaborar recomendaciones de mejora. Para elaborar este informe se utilizaron los métodos descritos en el Manual de Capacidad de Carreteras. Este estudio identificó información sobre los tipos de vehículos circulantes, anchos de calzada, distribución de semáforos, niveles de servicio y capacidad, así como los niveles máximos de actividad vehicular y peatonal durante las horas pico. Los resultados indican que cada intersección semaforizada de la Avenida Los Incas provoca retrasos en los desplazamientos de los vehículos de entre 1 y 2 minutos, provocando problemas de congestión. Adicionalmente, la Avenida Los Incas ofrece un muy bajo nivel de servicio a la población debido a la ausencia de señalización vertical y horizontal y al abundante comercio no formal que invade y restringe la infraestructura vial. Dada la enorme disparidad entre la oferta y la demanda de transporte, se determinó que todos los cruces semaforizados a lo largo de la Avenida Los Incas tenían un Nivel de Servicio Vehicular F, considerado como el nivel más bajo. Además, el nivel de servicio peatonal, que va de B a E, se considera regular-bajo. (p. 6)

Asto (2019) en su tesis tuvo el propósito de proponer un diseño de infraestructura vial para mejorar la transitabilidad en la Urbanización Santa Rosa en Ventanilla - Callao. Para lograr esto, se utiliza un enfoque de investigación aplicada, un diseño pre-experimental, un nivel descriptivo y un enfoque cuantitativo. La población de estudio consiste en 300 metros lineales, mientras que la muestra

abarca 150 metros lineales. Esta investigación examina dos variables independientes: el diseño de la infraestructura vial y la variable dependiente, que es la transitabilidad. Para recopilar datos, se basaron en la norma CE 0.10 Pavimentos Urbanos. Los métodos de recolección de datos incluyeron análisis granulométricos, límites de consistencia, contenido de humedad, clasificación SUCS y AASHTO, contenido de sales solubles, CBR (California Bearing Ratio) y ensayos Proctor modificados. Según los datos recopilados, se determinó que el suelo es de naturaleza granular y posee un CBR del 57,20%. Además, se llevaron a cabo levantamientos topográficos y se realizó un análisis del tráfico, concluyendo que el tráfico en el área es "ligero" o escaso. Utilizando los datos recopilados, se desarrolló un paquete estructural para un pavimento flexible, que incluye una capa de mezcla bituminosa en caliente de 3,5", una cimentación granular de 6" y una subbase de 4"

El estudio de Fernández (2019) se concentró en diseñar el mejor pavimento para las calles Juan Velasco y Víctor Capristán, en el distrito de Huamachuco. Estas calles no cuentan con la infraestructura vial suficiente para soportar el volumen de tránsito que las utiliza, por lo que se sugiere atender la demanda mediante la construcción de la infraestructura requerida. De acuerdo a lo anterior, para esta investigación se han reconocido factores relevantes como el Índice de Condición del Pavimento (icp), los conteos manuales (IMDA) y la relación de soporte del suelo (CBR). Mediante la aplicación de las normas ASTM pertinentes, este estudio proporcionará los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos utilizando la metodología AASHTO-93 en las calles Juan Velasco y Víctor Capristán. Las directrices de diseño de pavimentos AASHTO-93 recomiendan espesores de capa de hormigón de 27,30 milímetros para las calles Juan Velasco y Víctor Capristán, respectivamente, y 1.652 y 1.315 vehículos al día, respectivamente, al calcular el flujo vehicular. La calle Juan Velasco también demostró una menor resistencia portante que la calle Víctor Capristán, con valores de CBR: 4,1% y CBR: 7,5%, respectivamente. Finalmente, utilizando el enfoque AASHTO-93 para diseñar el pavimento, se obtuvieron espesores de capa de hormigón de 27,30 cm y 26,30 cm, respectivamente. Estos valores corresponden a un CBR del 1% y del 7,5%, respectivamente. (p. 8)

Trasladarse de un sitio a otro se ha transformado en una actividad cotidiana en la vida de las personas, ya sea para ir al trabajo o trasladar productos básicos a pueblos y ciudades, por lo que las

carreteras y caminos rurales deben seguir funcionando de acuerdo a lo previsto durante toda su vida útil. En esta tesis se estudia la transitabilidad de la ruta Simbrón-Farrat-Colpa-Sacha Grande, ubicada en el distrito de Sayapullo, provincia de Gran Chim y departamento de La Libertad. Para evaluar si la carretera necesita ser rehabilitada, también consultamos los manuales de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Tras realizar un análisis de la región, llegamos a conclusiones como un estudio de tráfico, un inventario de carreteras, los daños sufridos por la carretera nacional y las razones que contribuyen a su degradación, la principal de las cuales es el deficiente mantenimiento de la carretera. Se propone un presupuesto para la rehabilitación de la carretera y el mantenimiento necesario para que cumpla la duración prevista. (Colchado & Díaz, 2018, p. 6)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el nivel de transitabilidad actual de la Carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138 en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco, a través de una evaluación exhaustiva del estado de la infraestructura vial y el flujo vehicular en la zona.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características y condiciones de la carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Determinar los resultados de los conteos vehiculares de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Identificación de los tramos homogéneos Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138.
- Identificar las características del tráfico que circula en la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138
- Evaluar los resultados de las proyecciones de tráfico de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138
- Determinar los resultados de la capacidad y niveles de servicio de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138

1.4. Justificación

La región del Cusco enfrenta importantes desafíos en cuanto a su infraestructura vial, la cual ha surgido como un elemento crucial para el crecimiento y la conectividad de la zona. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú, en el año 2020, el 61.8% de la red vial departamental del Cusco no estaba pavimentada, esto dificulta el acceso a los servicios esenciales y la movilización de personas y mercancías (MTC, 2020). Esta problemática se agudiza en las provincias de Paruro y Chumbivilcas, que presentan algunos de los índices más bajos de desarrollo humano en el país.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del Perú, la provincia de Paruro tiene una población de alrededor de 64,000 habitantes, el 59.6% de los cuales vive en situación de pobreza y el 33.7% en extrema pobreza (INEI, 2018). La agricultura y la ganadería son las principales actividades económicas de la región, lo que hace que la infraestructura vial sea aún más importante para la distribución de los productos y el acceso a los mercados. Por otro lado, la provincia de Chumbivilcas, con una población de aproximadamente 71,000 habitantes, también presenta altos índices de pobreza y dependencia económica de la agricultura (INEI, 2018).

La falta de inversión en la infraestructura vial de estas provincias ha generado graves deficiencias en la conectividad entre las regiones y en la seguridad vial de los usuarios. En particular, la carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138, que conecta estas dos provincias, se encuentra en un estado deplorable, lo que dificulta la movilización de las personas y la distribución de bienes y servicios. En este contexto, el objetivo de este estudio es analizar el estado de transitabilidad de esta carretera, con el fin de conocer información básica relacionada al volumen, clasificación y composición vehicular, además de las condiciones geométricas de la misma, lo que resulta fundamental para el diseño de proyectos de mejora y rehabilitación de la infraestructura vial en la zona.

Esta investigación se sustenta en la publicación “Estadística – Infraestructura de Transportes – Infraestructura Vial del MTC”, que señala la necesidad de desarrollar proyectos de infraestructura vial en el país para mejorar la conectividad y reducir las brechas de desarrollo. Asimismo, la “Guía para la evaluación de la infraestructura de transporte en América Latina y el Caribe” del Banco Interamericano

de Desarrollo (BID) destaca la importancia de la evaluación del estado de transitabilidad de las carreteras para elegir las inversiones y la planificación de las infraestructuras viales.

1.5. Hipótesis

Se plantean las siguientes hipótesis:

- La pavimentación de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-138, mejorará la seguridad vial y reducirá la frecuencia y gravedad de los accidentes de tráfico en la zona.
- La construcción de una carretera pavimentada en la zona de estudio podría aumentar la accesibilidad y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales, al facilitar el transporte de bienes y personas.
- La pavimentación de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-138, podría tener un impacto positivo en el desarrollo económico de la región, al fomentar el comercio y la inversión en la zona.

II. Marco teórico

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Estado de Transitabilidad

Nivel de servicio de la infraestructura vial que garantiza una situación que hace posible un flujo regular de vehículos durante un tiempo determinado. (Salvador, 2021)

Según Provias (2016), la transitabilidad de una vía se define como la condición en la que se encuentra la calzada para asegurar un tránsito adecuado.

La transitabilidad de la carretera se evalúa mediante una inspección visual que considera variables como la superficie de rodadura, las obras de arte y la velocidad de recorrido. Según los resultados de esta evaluación, se clasifica la carretera en las siguientes categorías: Buena, Regular y Mala, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 1

Estado de transitabilidad

Código de estado	Estado	Descripción
B	BUENO	En el caso de carreteras no pavimentadas, también conocidas como carreteras afirmadas, se establece que el nivel de deterioro no debe exceder el 10% de la carretera evaluada. Esto implica que solo se permiten signos de deterioro superficial, como pequeñas deformaciones con huellas o hundimientos menores a 5 cm. Además, es importante que la vía cuente con señalización adecuada para orientar a los usuarios. En cuanto a las infraestructuras de drenaje, como cunetas, alcantarillas y badenes, es fundamental que no estén obstruidas y se encuentren en buen estado de operación. Esto garantiza un adecuado drenaje de agua y previene inundaciones en la vía. Las obras de arte, como puentes y pontones, también deben estar en buen estado de funcionamiento. Esto implica que no presenten

Código de estado	Estado	Descripción
R	REGULAR	daños estructurales significativos ni restrinjan la circulación de vehículos. Estas pautas y criterios aseguran que las carreteras no pavimentadas mantengan un nivel aceptable de transitabilidad y seguridad para los usuarios.
		En esta clasificación, se permite que el deterioro de la carretera se encuentre entre el 10% y el 30% de la longitud evaluada. Esto implica la presencia de signos de deterioro superficial, como deformaciones con huellas o hundimientos que oscilan entre 5 cm y 10 cm. En esta categoría, los baches identificados pueden ser reparados mediante la aplicación de una capa adicional de material. Sin embargo, es importante destacar que la carretera carece de señalización. En cuanto a las infraestructuras de drenaje, como cunetas, alcantarillas y badenes, se espera que estén limpias o ligeramente obstruidas. Además, las obras de arte, como puentes y pontones, deben estar en un estado que varía entre bueno y regular.
M	MALO	En esta categoría, el estado de la carretera afirmada muestra un deterioro superior al 30% de su longitud evaluada. Se observan signos de deterioro significativos, como huellas o hundimientos con profundidades mayores a 10 cm. Además, se identifican baches que requieren una reconstrucción completa. En esta situación, la carretera carece de señalizaciones adecuadas. Las cunetas y alcantarillas presentan un nivel de obstrucción que varía de medianamente colmatadas a completamente colmatadas. Por otro lado, los puentes, pontones, muros de contención y badenes se encuentran en mal estado, mostrando signos de deterioro y requiriendo reparaciones o renovaciones. Es importante destacar que estas condiciones indican un nivel de deterioro significativo en la

Código de estado	Estado	Descripción
		carretera afirmada, lo cual afecta su transitabilidad y seguridad.

Fuente: Adaptado del Manual de Inventarios Viales (2014)

2.1.2. Análisis del flujo vehicular

Según Cal & Cárdenas (2018) la planificación, el diseño y la explotación de carreteras, calles y sus infraestructuras de apoyo dentro del sistema de transporte requieren una comprensión básica de las características y el comportamiento del tráfico, lo que es posible gracias al análisis de los elementos del flujo vehicular. El análisis del flujo vehicular analiza cómo se mueven los vehículos a lo largo de cualquier tipo de vía utilizando los principios de la física y las matemáticas, lo que permite evaluar la eficacia de su funcionamiento.

2.1.3. Clasificación de las carreteras:

Las carreteras son clasificadas en base a la demanda y el relieve predominante del terreno que atraviesan. (MTC, 2018)

2.1.3.1. Clasificación por demanda

Según la demanda, las carreteras peruanas se dividen en las siguientes categorías:

Autopistas de primera clase

Según el MTC (2018, citado en Salvador, 2021), estas vías deben tener una cantidad significativa de tráfico diario (IMDA más de 6000 vehículos al día) y estar divididas en carriles separados por un divisor central de al menos 6,00 metros de ancho. Cada carretera debe tener un mínimo de dos carriles de 3,60 metros de ancho, un control completo de todas las entradas y salidas para proporcionar una circulación ininterrumpida de vehículos y ningún cruce o paso a nivel. Además, en las zonas metropolitanas se exigen pasarelas peatonales. Estas carreteras requieren pavimentación.

Autopistas de segunda clase

MTC (2018, citado en Salvador, 2021) citó al diciendo que estas autopistas ven entre 6000 y 4001 vehículos por día. Cuentan con separadores centrales que dividen los carriles y pueden variar en altura de 6 a 1 metros, en cuyo caso se construirá un sistema de contención de vehículos. En todas las rutas hay dos o más carriles de una anchura mínima de 3,60 cm. Disponen de pasos a nivel y puentes peatonales en las zonas metropolitanas, así como de un control parcial de los accesos para garantizar la circulación ininterrumpida del tráfico. Estas carreteras deben estar pavimentadas.

Carreteras de primera clase

Según el MTC (2018, citado en Salvador, 2021) estas vías tienen dos carriles, una anchura mínima de 3,60 metros y una capacidad de tráfico diario de entre 4.000 y 2.001 vehículos. Podrían contener pasos a nivel, y se aconseja incluir puentes peatonales en ubicaciones urbanas. Si esto no es posible, se deben establecer medidas de pacificación del tráfico para garantizar velocidades más seguras. Se exige que estas carreteras tengan superficies pavimentadas.

Carreteras de segunda clase

De acuerdo al MTC (2018, citado en Salvador, 2021), estas carreteras cuentan con dos carriles de al menos 3,30 metros de ancho y presentan un volumen de tráfico diario de 2000 a 400 vehículos. Pueden contar con pasos a nivel, y se recomienda la presencia de puentes peatonales en áreas metropolitanas. En caso de no ser factible, para garantizar una velocidad de circulación más segura, hay que poner en marcha medidas de seguridad vial. Además, es obligatorio que estas carreteras estén pavimentadas..

Carreteras de tercera clase

De acuerdo con el MTC (2018, citado en Salvador, 2021), estas carreteras consisten en dos carriles con un ancho mínimo de 3,00 metros y una IMDA que no supera los 400 vehículos al día. Con la ayuda tecnológica adecuada, en circunstancias excepcionales son factibles carriles de hasta 2,50 metros de ancho. Estas carreteras pueden utilizarse sin pavimentar, o pueden elegir entre opciones más fáciles y menos costosas, como el uso de estabilizadores del suelo, emulsiones asfálticas o

micropavimentos. Si se pavimentan, deben cumplir las especificaciones geométricas establecidas para las carreteras de segunda clase.

Trochas carrozables

De acuerdo con el MTC (2018, citado en Salvador, 2021), estas vías son transitables y no cumplen con los estándares geométricos de una autopista. Por lo general, tienen un IMDA inferior a 200 vehículos por día. Para estas carreteras, se requiere una anchura mínima de 4,00 metros, y se deben construir plataformas de cruce cada 500 metros. Las superficies de estas carreteras pueden ser pavimentadas o no pavimentadas.

2.1.3.2. Clasificación por orografía

Según la principal configuración del terreno que recorren, las carreteras de Perú se clasifican en las siguientes categorías:

Terreno plano (tipo 1)

Según el MTC (2018, citado en Celis, 2021), no proporciona problemas de planificación sustanciales, ya que la pendiente transversal del eje de la carretera es menor o igual al 10%, y la pendiente longitudinal es a menudo inferior al tres por ciento (3%), lo que requiere menos movimiento de tierras.

Terreno ondulado (tipo 2)

Según el MTC (2018, citado en Celis, 2021), el eje de la carretera tiene pendientes longitudinales entre el 3% y el 6% y transversales entre el 11% y el 50%, debido a la limitada cantidad de movimiento de tierras necesario, es posible intercalar alineaciones rectas con curvas de radios considerables sin enfrentarse a demasiados problemas de diseño.

Terreno accidentado (tipo 3)

Según el MTC (2018, citado en Celis, 2021), requiere amplios movimientos de tierra y plantea retos de trazado debido a las pendientes transversales de entre el 51% y el 100% en el eje de la carretera y a las importantes pendientes longitudinales de entre el 6% y el 8%.

Terreno escarpado (tipo 4)

Según el MTC (2018, citado en Celis, 2021), Plantea importantes retos de planificación, ya que contiene pendientes transversales al eje de la carretera superiores al 100% y pendientes excepcionales superiores al 8%.

2.1.4. Camino

Según Cal & Cárdenas (2018) Se denomina camino a una franja de terreno acondicionada para el paso de carros. El término " camino " engloba tanto las calles de las ciudades en las regiones urbanas como las llamadas autopistas en las zonas rurales. La infraestructura de la red de carreteras de un país es sin duda uno de sus recursos más importantes, y el tamaño y el estado de esta red sirven para medir el nivel de desarrollo del país. Es una verdad universal que una nación desarrollada tendrá una infraestructura viaria de primer orden, mientras que una en vías de desarrollo tendrá una débil.

2.1.5. Diseño geométrico de una carretera

Según Bañón & Beviá (2000, citados en Vicente & Vicente, 2019), geométricamente, La carretera es un cuerpo tridimensional completamente asimétrico, lo que inicialmente complica su representación. No obstante, posee una serie de características únicas que facilitan y hacen más cómodo su estudio:

- La carretera es una obra lineal, ya que una de sus dimensiones domina a las otras dos.
- La capacidad de reproducirlo con precisión desplazando una sección transversal que no cambia a lo largo del eje que determina su trayectoria.

Estos dos rasgos permiten adoptar un sistema de representación razonablemente sencillo, fácil de entender y sumamente ventajoso desde el punto de vista de la construcción. La carretera se caracteriza completamente por tres tipos diferentes de vistas basadas en este sistema: la planta, el perfil longitudinal y las secciones transversales.

Es una verdad universal que una nación con una alta calidad de vida tendrá una infraestructura viaria de primer orden, mientras que una nación en desarrollo la tendrá deficiente.

2.1.6. Clasificación del camino de acuerdo con su función según el HCM 2010

El HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) categoriza el camino en:

- Carretera de dos carriles
- Carreteras Multicarril

2.1.6.1. Carreteras de dos carriles

A. Características y función de las carreteras de dos carriles

Según el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) en las carreteras de dos carriles se utiliza un carril para la circulación, uno en cada sentido. Las oportunidades de adelantamiento en las carreteras se ven afectadas por varios factores, como la disponibilidad de espacio en el carril contrario y la distancia de visibilidad necesaria para realizar la maniobra de manera segura. A medida que aumenta la demanda de flujo de tráfico y existen limitaciones geométricas, como curvas cerradas o pendientes pronunciadas, las oportunidades de adelantamiento se reducen. Para realizar un adelantamiento de manera segura, un conductor necesita tener suficiente espacio en el carril contrario y una distancia de visibilidad adecuada para anticipar la llegada de vehículos que se aproximan en sentido contrario. Si el flujo de tráfico es intenso o las limitaciones geométricas restringen la visibilidad, las oportunidades de adelantamiento se vuelven escasas.

Es importante tener en cuenta estas limitaciones al planificar los viajes y al conducir en carreteras con alto volumen de tráfico y condiciones geométricas desfavorables. La prudencia y el cumplimiento de las normas de tránsito son fundamentales para garantizar la seguridad de todos los usuarios de la vía. Una característica distintiva de las carreteras de dos carriles es que las operaciones de adelantamiento se vuelven "imposibles" con ratios muy bajos de volumen a capacidad, y la calidad operativa cae en picado cuando aumenta la demanda de flujo. Por este motivo, pocas carreteras de dos carriles se utilizan con flujos de vehículos cercanos a la capacidad; en la mayoría de los casos, las malas condiciones de funcionamiento han provocado la rehabilitación o mejora de la carretera antes de satisfacer la demanda de capacidad. Los sistemas de transporte de la mayoría de los países dependen en gran medida de estas carreteras. Proporcionan una amplia gama de servicios de tráfico y están situadas

en diversos puntos geográficos. Dado que conectan importantes productores de viajes o actúan como enlaces importantes, como la red nacional de autopistas, su finalidad principal es el transporte eficiente. Aunque no es su función principal, estas vías soportan con frecuencia viajes de larga distancia, comerciales y recreativos, cuando se prevé que la operación se realice a una velocidad alta constante y con un retraso mínimo por adelantamiento.

B. Clasificación de carretera de dos carriles

- **Clase I de carretera de dos carriles:** Los conductores deben anticiparse a viajar a velocidades bastante altas en estas carreteras. Se consideran rutas de Clase I las carreteras interurbanas importantes, los enlaces importantes con grandes generadores de tráfico, las rutas de cercanías diarias o los enlaces importantes en redes de carreteras estatales o federales. Por lo general, estas rutas sirven de apoyo a los viajes de larga distancia o proporcionan enlaces entre rutas que sirven a los viajes de gran distancia. (HCM, 2010).

Figura 1

Carreteras de clase I



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

- **Clase II de carretera de dos carriles:** Los conductores no siempre deben anticiparse a viajar a altas velocidades en algunas carreteras. Sirven como puntos de entrada a carreteras de Clase I que se utilizan con fines estéticos o recreativos más que como vías principales o que atraviesan terrenos escarpados (donde no es práctico circular a altas velocidades). Con frecuencia sirven como punto de partida o de llegada de viajes relativamente cortos, viajes más largos o excursiones panorámicas. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 2

Carreteras de clase II



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

- **Clase III de carretera de dos carriles:** Son rutas que conectan lugares medianamente desarrollados. Pueden ser tramos de carreteras de dos carriles de Clase I o Clase II. El tráfico local y de paso coexiste con frecuencia en estos segmentos, y hay visiblemente más puntos de acceso no señalizados que en una región rural. Estos segmentos también pueden formar parte de tramos más grandes que atraviesan zonas recreativas. Debido al aumento de la actividad, estas zonas suelen tener restricciones de velocidad. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 3

Carreteras de clase III



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

La clasificación de las carreteras de dos carriles depende de su uso. La mayoría de las vías colectoras y locales se clasifican como Clase II o Clase III, mientras que las vías arteriales o troncales se clasifican como Clase I. La previsión del conductor, que puede no coincidir con la categoría funcional general de la vía, es el principal factor para determinar cómo se clasifica una vía. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

2.1.6.2. Carreteras Multicarril

De acuerdo con el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) las carreteras con carriles múltiples suelen tener de cuatro a seis carriles (en cada sentido) y restricciones de velocidad de 64 a 89 km/h (de 40 a 55 mph). Estas carreteras pueden tener uno o dos carriles de giro a la izquierda, no estar divididas (con una simple línea central que divide los sentidos de circulación) o estar divididas por una mediana (TWLTL, Two-way left turn lane). Suelen encontrarse a lo largo de corredores rurales de gran volumen que conducen a grandes ciudades o en regiones suburbanas que conectan un número considerable de ciudades o centros.

Figura 4

Vía urbana multicarril dividida, y sin división.



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 5

Autopista urbana multicarril y autopista rural multicarril



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

2.1.7. Dispositivos para el control del tránsito

De acuerdo con el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) Se consideran dispositivos de control del tráfico las señales, balizas, semáforos y otros dispositivos colocados en las calzadas y carreteras o cerca de ellas por una autoridad para disuadir, regular y dirigir a los usuarios. Los

dispositivos de control advierten a los individuos de las precauciones (medidas preventivas) que se deben tomar, las limitaciones (restricciones) que se aplican al segmento de carretera que se está utilizando y la información (guías) que se requiere estrictamente, dadas las circunstancias únicas de la calle o carretera

2.1.7.1. Señales verticales

De acuerdo con el MTC (2016, citado en Vicente & Vicente, 2019) el objetivo de las señales verticales, que son elementos colocados al borde de la carretera o sobre ella, es controlar el tráfico y advertir e informar a las personas mediante el uso de palabras o símbolos. Especificados en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras. Las señales verticales tienen la finalidad de regular, alertar e informar al usuario de la vía, por lo que su uso es crucial en zonas donde existen restricciones particulares, ya sean permanentes o temporales, y en zonas donde los riesgos no siempre son evidentes.

2.1.7.2. Señales horizontales

Las marcas en el pavimento, también conocidas como demarcaciones, son marcas planas que se pintan o fijan en el pavimento, los guardarraíles, otras construcciones viales y los alrededores. Incluyen líneas transversales y horizontales, flechas, símbolos y letras. Esta señalización consiste en marcas o dispositivos elevados en el pavimento que se colocan en la superficie de la carretera para desviar el tráfico o indicar limitaciones. (MTC, 2016 citado en Vicente & Vicente, 2019).

Las marcas en el pavimento también están pensadas para utilizarse junto con otros sistemas de control del tráfico, como las señales verticales, los semáforos y otros, ya que son capaces de transmitir instrucciones y mensajes de forma más eficaz que otros tipos de dispositivos. Son un componente esencial para el funcionamiento de los vehículos y la seguridad de la carretera, ya que se utilizan para controlar o regular el tráfico, advertir y dirigir a los usuarios de la carretera. (MTC, 2016 citado en Vicente & Vicente, 2019).

2.1.8. Corrientes de tránsito

Roess, et al. (2011, citados en Vicente & Vicente, 2019) el comportamiento individual de los vehículos en el tráfico puede variar debido a las diferencias entre conductores y vehículos, que influye en cómo se mueven y se relacionan en la vía. Los flujos de tráfico se componen de conductores individuales, vehículos y sus interacciones entre sí, con los elementos físicos de la carretera y con su entorno en general. Por otra parte, incluso en condiciones comparables, no hay dos flujos de tráfico que se comporten de forma idéntica, ya que el modo de actuar de los conductores varía en función de las características regionales y los patrones de conducción. Por fortuna, existe una gama decente y constante entre la conducta del conductor y el flujo de tráfico, a pesar de que los parámetros específicos difieren. El objetivo de definir cuantitativamente los flujos de tráfico es describir los rangos típicos de comportamiento, así como comprender la variedad subyacente de sus propiedades. Para ello, los parámetros clave deben poder cuantificarse y especificarse.

2.1.8.1. Condiciones de operación

Existen dos tipos fundamentales de flujos de tránsito:

A. Circulación continua

Demuestra que las infraestructuras para la circulación continua carecen de componentes permanentes externos al flujo de tráfico y causantes de interrupciones, como los semáforos. Las interacciones entre los vehículos en movimiento, la geometría de la carretera y su entorno determinan la situación del tráfico. Aunque el flujo continuo puro sólo se da en autopistas, también puede darse en algunos tramos de carreteras de dos y varios carriles, con frecuencia en regiones rurales donde los cortes permanentes están muy espaciados. Se suele considerar que funciona en circulación continua cuando hay un espacio de más de 3,22 km (2 millas) entre dos semáforos u otra parada fija importante. (Vicente & Vicente, 2019).

B. Circulación discontinua

Los componentes fijos que provocan interrupciones recurrentes en el flujo del tráfico se encuentran en las infraestructuras viarias construidas para el tráfico discontinuo. Algunos de estos

componentes son los semáforos, las señales de pare y otras formas de control. Por mucho tráfico que haya, estos dispositivos obligan a los carros a detenerse (o, al menos, a reducir mucho la velocidad). El tráfico continuo y discontinuo se refieren a un tipo de infraestructura más que al volumen del flujo de tráfico en un momento dado. Dado que la causa de la congestión es interna al flujo de vehículos, una autopista seguirá considerándose una "infraestructura de tráfico continuo" aunque siempre esté abarrotada. Este tipo de estructuras tiene una amplia gama de análisis. El impacto de las interrupciones recurrentes debe tenerse en cuenta en el análisis de las infraestructuras de circulación discontinua. Por poner un ejemplo, un semáforo en un cruce restringe la cantidad de tiempo beneficiosa para cada movimiento. Tanto el espacio físico disponible como el tiempo que pueden emplear los distintos movimientos de circulación influyen en la capacidad. No hay pausas predeterminadas en las estructuras de circulación continua y, por consiguiente, no hay restricciones de tiempo en cuanto a la duración de utilización de un itinerario. (Vicente & Vicente, 2019).

2.1.8.2. Parámetros de las corrientes de tránsito

Se clasifican en dos grupos principales los parámetros que describen el flujo de tráfico en su totalidad y los parámetros que describen el comportamiento de los vehículos individuales dentro del flujo de tráfico. Estos se conocen como parámetros macroscópicos y parámetros microscópicos, respectivamente, basándose en los aspectos del flujo de tráfico que representan. Las cuatro variables fundamentales a macroescala son:

- Volumen de tránsito y tasa de flujo
- Velocidad
- Distancia y visibilidad
- Densidad

A. Volumen de tránsito y tasa de flujo

- Volumen

La cantidad de unidades vehiculares que circulan por un lugar específico o por una sección transversal de un carril o ruta durante un período de tiempo determinado se denomina volumen de tráfico (Cal & Mayor, 2007 citados en Vicente & Vicente, 2019). La medida estándar utilizada para los vehículos es simplemente "vehículos", aunque frecuentemente se expresa como "vehículos por unidad de tiempo".

$$Q = \frac{N}{T}$$

Dónde:

Q= Unidades vehiculares que pasan por unidad de tiempo
 (vehículos/periodo)

N= Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T= Periodo determinado (unidades de tiempo)

- Volumen horario de máxima demanda

Según Cal & Mayor (2007, citados en Vicente & Vicente, 2019) se define como el mayor volumen de tráfico en un lugar concreto o en un segmento de un carril de una carretera durante un periodo de 60 minutos. Es una buena representación de las horas del día en que la demanda es mayor.

- Tasa de flujo

La tasa horaria, que suele ser de 15 minutos, es definida por el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) como la cantidad de unidades vehiculares que transitan por un determinado perfil o segmento de un carril o autopista en un periodo de tiempo inferior a una hora. El volumen y la tasa de flujo se diferencian en que el volumen es el número de unidades vehiculares que han pasado o se espera que pasen por un lugar en un determinado periodo de tiempo, mientras que la tasa de flujo es el número de unidades vehiculares que pasan por un punto en un periodo

inferior a una hora, expresado en unidades horarias. Por poner un ejemplo, un volumen de 100 veh observado en un periodo de 15 minutos implica una tasa de flujo de 100 veh dividido por 0.25h, o 400 veh/h. La demanda, o el número de unidades vehiculares que desean utilizar un sistema vial en un periodo de tiempo determinado, normalmente 1h o 15min, se cuantifica en parte por el volumen y la tasa de flujo.

- Características de volúmenes de tránsito

Los volúmenes de tránsito deben considerarse siempre dinámicos y, como tales, sólo son fiables durante el período de aforo. Para programar el aforo, relacionar los volúmenes en un momento y lugar con los volúmenes en otro momento y lugar, y prever con suficiente antelación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tráfico y a las labores preventivas, así como las de mantenimiento, es importante conocer, sin embargo, sus características, ya que sus variaciones son típicamente rítmicas y repetitivas. (Cal & Mayor, 2007 citados en Vicente & Vicente, 2019)

Conocer las fluctuaciones periódicas de los volúmenes de tráfico en las horas de máxima demanda, las horas del día, los días de la semana y los meses del año es, por tanto, crucial para planificar y gestionar el tráfico de vehículos. Las diferencias en los volúmenes de tráfico según la disposición de los carriles, la distribución direccional y la composición son igualmente cruciales de comprender.

- Factor de hora punta

Según Roess, et al. (2011, citados en Vicente & Vicente, 2019) la presencia de un volumen horario de demanda máxima no siempre garantiza que el flujo se mantenga constante. Esto implica que hay breves intervalos dentro de la hora en los que los caudales son significativamente superiores a los de la hora. El factor de la hora de máxima demanda (PHF, por sus siglas en inglés) es la relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el flujo máximo (q_{max}) que ocurre durante un período específico dentro de esa hora. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$PHF = \frac{VHMD}{N(q_{max})}$$

Dónde:

N= Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los intervalos de tiempo durante la hora de mayor demanda pueden tener duraciones de 5, 10 o 15 minutos. El más comúnmente utilizado es el de 15 minutos, lo que implica que habrá un total de 4 periodos dentro de esa hora.

Según el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), el PHF será igual a 1 si se ha medido directamente sobre el terreno el caudal más elevado durante un periodo de 15 minutos.

B. Velocidad

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), la velocidad se define como la velocidad de desplazamiento, expresada como la distancia recorrida en un lapso determinado. Por lo general, se mide en kilómetros por hora (km/h) o millas por hora (mi/h).

$$v = \frac{d}{t}$$

Dónde:

v= Velocidad (mi/h, km/h)

d= distancia (mi o km)

t= Tiempo en recorrer una distancia d (h o s)

Dado que suele haber una amplia variedad de velocidades individuales registradas en ese flujo, debe utilizarse un número representativo para describir la velocidad de una corriente o flujo de tráfico. Un flujo de tráfico puede utilizar diversos parámetros de velocidad. Algunos de ellos son:

- Velocidad media de recorrido:

Es una medida que se obtiene al observar el tiempo que lleva recorrer una distancia conocida en una carretera. Se calcula multiplicando la longitud del tramo de la carretera por el

tiempo promedio que tardan los vehículos en cruzarlo, teniendo en cuenta cualquier demora ocasionada por paradas. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

- Velocidad media espacial

Palabra utilizada en estadística para describir la velocidad típica basada en el tiempo de viaje típico de los vehículos que cruzan una carretera. Recibe su nombre del hecho de que el tiempo medio de viaje tiene en cuenta el tiempo que cada vehículo pasa en un tramo específico de carretera o área abierta. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

- Velocidad media temporal

Es la media matemática de las velocidades a las que se ha visto pasar a los vehículos por un punto determinado de una ruta. Las distintas velocidades de los vehículos se recopilan y se promedian matemáticamente. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

- Velocidad en flujo libre

Velocidad media de un segmento de carretera determinada en condiciones de poco tráfico, cuando los conductores son libres de ir al ritmo que quieran y no están limitados por la presencia de otros vehículos o dispositivos que regulan el tránsito (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

- Velocidad media de marcha

Se calcula dividiendo la longitud de un segmento de carretera por la velocidad media a la que lo recorren los vehículos. Sólo se incluye en la velocidad de conducción el periodo durante el cual los vehículos estuvieron en movimiento (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

C. Distancia y visibilidad

Las distancias de visibilidad son una característica que se relaciona con la velocidad y el tiempo de percepción. Según lo mencionado por el MTC (2018, citado en Vicente & Vicente, 2019), se refieren a la longitud de carretera visible de manera continua que el conductor de un

vehículo puede ver para llevar a cabo de manera segura los diversos movimientos requeridos o decididos. En los proyectos, se tienen en cuenta tres distancias de visibilidad:

- Distancia de paso o adelantamiento

El MTC (2018, citado en Vicente & Vicente, 2019) lo describe la distancia mínima, que se hace evidente una vez iniciado el adelantamiento, necesaria para que un conductor pueda adelantar con seguridad y comodidad a otro vehículo que circula a menor velocidad sin frenar a un tercer vehículo que circula en sentido contrario. Cuando hay una diferencia de velocidad de 15 km/h entre vehículos que circulan en el mismo sentido y el vehículo que circula en la otra dirección se mueve a la velocidad de diseño, se cumplen estos requisitos de comodidad y seguridad. Sólo en carreteras de dos carriles con tráfico circulando en ambos sentidos, donde el adelantamiento se produce en el carril de sentido contrario, debe tenerse en cuenta la distancia de visibilidad de adelantamiento.

Según las regulaciones vigentes en Perú, se presenta a continuación una tabla que indica las distancias mínimas de visibilidad de adelantamiento requeridas para carreteras de dos carriles.

Tabla 2

Distancia mínima requerida para la visibilidad durante un adelantamiento en carreteras de dos carriles

Velocidad específica en la tangente en la que se efectúa la maniobra (km/h)	Velocidad del vehículo adelantado (km/h)	Velocidad del vehículo que adelanta, V (km/h)	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	
			Calculada	Redondeada
20	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540

Velocidad específica en la tangente en la que se efectúa la maniobra (km/h)	Velocidad del vehículo adelantado (km/h)	Velocidad del vehículo que adelanta, V (km/h)	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	
			Calculada	Redondeada
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

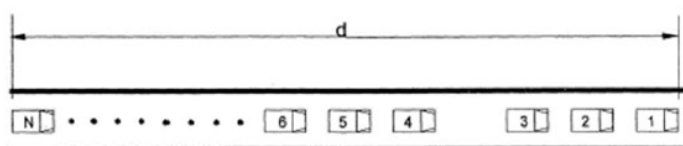
Fuente: MTC, 2018

- Densidad

Cal & Mayor (2007, citados en Vicente & Vicente, 2019) lo define como un factor crucial en la caracterización de las operaciones de tráfico es la densidad, que se describe como la cantidad de unidades vehiculares que ocupan una longitud específica de un carril o ruta en un momento dado, promediado a lo largo de esta longitud, en unidades típicamente de vehículos por kilómetro (v/km). Expresa la proximidad de los vehículos y la flexibilidad de movimiento dentro del flujo de tráfico.

Figura 6

Densidad o concentración



Fuente: Cal & Mayor (2007, citados en Vicente & Vicente, 2019)

2.1.9. Capacidad y nivel de servicio

2.1.9.1. Capacidad de la vía

De acuerdo con la referencia del MTC (2016, citado en Vicente & Vicente, 2019), el término utilizado para describir la mayor cantidad de unidades vehiculares que pueden transitar por una sección específica de carretera en función del volumen de tráfico actual es "capacidad de la carretera". Suele

representarse como un volumen horario y, mientras no cambien las condiciones, no debería superarse esa cifra.

De acuerdo con (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019), la capacidad de cualquier tramo concreto de un sistema de carreteras debe ser bastante constante en las condiciones geométricas, de tráfico y de control actuales.

A. Capacidad de una carretera de dos carriles

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) una carretera de dos carriles puede transportar 1700 vehículos por hora en un sentido y 3200 en ambos sentidos en circunstancias normales. El contraflujo máximo se limitaría a 1500 veh/h cuando se alcance una capacidad de 1700 veh/h en un sentido debido a las interacciones entre los flujos direccionales.

2.1.9.2. Condiciones base o condiciones ideales

Los métodos de cálculo de la capacidad se basan en fórmulas, tabulaciones o gráficos creados bajo parámetros estándar; no obstante, deben modificarse para tener en cuenta situaciones reales que no coinciden. El conjunto ideal de circunstancias para alcanzar la capacidad máxima incluye cielos despejados, visibilidad adecuada, ausencia de incidentes o accidentes, ausencia de zonas en obras, ausencia de desperfectos en el pavimento que puedan interferir con las operaciones y un flujo de vehículos compuesto únicamente por vehículos ligeros y conductores familiarizados con la ruta. Se ha demostrado que tanto el porcentaje de tiempo de viaje en colas (PTSF) como la existencia de zonas de no adelantamiento aumentan en autovías de dos carriles con bermas y carriles más estrechos de 3,65 metros y 3,65 metros, respectivamente. La velocidad de flujo libre (FFS) de la instalación se verá influida por factores como la anchura del carril, el espacio lateral total (TLC), el tipo de mediana y la densidad de puntos de acceso en autopistas de varios carriles. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

2.1.9.3. Nivel de servicio

Según Cal & Mayor (2007, citados en Vicente & Vicente, 2019) la calidad del flujo de vehículos se evalúa utilizando el paradigma del nivel de servicio. Se trata de una métrica cualitativa que

describe cómo funciona realmente un flujo de vehículos y cómo lo ven los conductores y/o pasajeros. Las condiciones se establecen en función de factores como la duración del viaje, la velocidad, la maniobrabilidad, la comodidad y la seguridad vial.

Según el MTC (2018, citado en Vicente & Vicente, 2019) los cuatro niveles de servicio (A, B, C y D) se describen mediante el enfoque creado por el TRB. El nivel E describe una carretera que funciona a plena capacidad, mientras que el nivel F describe una vía que experimenta un flujo forzado.

Tabla 3

Nivel de servicio según el MTC (2018, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Nivel A	<i>Cumple los requisitos de la libre circulación de vehículos. La geometría de la carretera y las decisiones del conductor son los únicos factores que determinan las maniobras de conducción; los demás vehículos no influyen. Los pequeños contratiempos en el flujo del tráfico pueden mitigarse fácilmente sin reducir la velocidad.</i>
Nivel B	Señala que el tráfico circula libremente, mientras que la presencia de vehículos más lentos puede repercutir en los más rápidos. Aunque los conductores tienen menos espacio para moverse, las velocidades medias de desplazamiento siguen siendo las mismas que en el nivel A. Aunque las disminuciones del nivel de servicio local pueden ser mayores que en el nivel anterior, las interrupciones menores siguen siendo bastante manejables.
Nivel C	En este nivel se realiza un ajuste de la velocidad en función de cómo afecta la densidad del tráfico a la circulación de vehículos. Debido a la existencia de grupos de vehículos, los adelantamientos y la maniobrabilidad se ven limitados. En las autopistas de varios carriles, el flujo libre se ralentizará, pero no se detendrá por completo a velocidades de tráfico superiores a 80 km/h. Las pequeñas interrupciones pueden provocar una degradación del servicio local, mientras que los grandes atascos provocarán colas de vehículos.
Nivel D	Debido a la congestión del tráfico, que puede provocar su paralización, la capacidad de maniobra se ve gravemente limitada. Debido al aumento de la densidad de vehículos, se forman colas que dificultan el adelantamiento de otros vehículos, lo que ralentiza el tráfico. Sólo se pueden gestionar pequeñas interrupciones sin crear colas y degradar el servicio.
Nivel E	La cantidad de tráfico en la carretera está casi en su máxima intensidad. Al circular, los vehículos se mantienen lo más juntos posible manteniendo una velocidad constante. Las interrupciones provocan con frecuencia colas, lo que reduce el nivel de servicio al nivel F porque no pueden resolverse de inmediato. Los vehículos desarrollan velocidades más bajas e impredecibles en autopistas de varios carriles con velocidades de flujo libre entre 70 y 100 km/h.

Nivel F

Cuando la intensidad del tráfico motorizado (demanda) supera la capacidad de la vía, el flujo se vuelve forzado y muy concurrido. Cuando esto ocurre, se forman colas en las que la gente avanza lentamente durante un rato antes de detenerse. Cabe destacar que el nivel F describe tanto el punto de colapso como las circunstancias operativas de la cola.

Fuente: MTC (2018, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 7

Nivel de servicio A y B



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 8

Nivel de servicio C y D



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Figura 9

Nivel de servicio E y F



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

2.1.9.4. Medidas de eficacia

Basándose en uno o varios factores que representen mejor la calidad operativa del tipo de vía considerado, se establecen niveles de servicio para cada tipo de vía. Aunque el concepto de nivel de servicio pretende abarcar una amplia variedad de situaciones operativas, resulta impracticable tratar todos los factores operativos para todos los tipos de vía diferentes debido a las limitaciones en la recopilación y disponibilidad de datos. Las "medidas de eficacia" son los criterios elegidos para especificar los niveles de servicio de cada tipo de carretera; son las métricas de que se dispone actualmente y que mejor captan la funcionalidad de la estructura o carretera considerada. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)

Tabla 4

Indicadores de rendimiento utilizados para determinar el nivel de servicio

Tipo de vía	Medida de eficacia
Autopistas	
Segmentos básicos de autopista	Densidad (Veh/km/c)
Tramo de trenzado	Velocidad media de recorrido (km/h)
Intersecciones de ramales	Intensidades (veh/h)
Carreteras multicarril	Densidad (Veh/km/c)
Carreteras de dos carriles	Demora porcentual (%)
	Velocidad media de recorrido (km/h)
Intersecciones semaforizadas	Demora media individual en parada (s/veh)
Intersecciones no semaforizadas	Capacidad en reserva (veh/h)
Arterias	Velocidad media de recorrido (km/h)
Transporte colectivo	Factor de carga (personas/asiento)
Peatones	Espacio (m ² /pt)

Fuente: HCM (2010) citado por Vicente & Vicente (2019).

- A. Indicadores de desempeño utilizados en carreteras de dos carriles para evaluar la eficacia o rendimiento

Se incluyen tres criterios de eficacia en el enfoque del HCM año 2010 para determinar los niveles de servicio en automóviles debido a los numerosos escenarios en los que se pueden encontrar carreteras de dos carriles.

- Velocidad promedio de viaje (Average Travel Speed, ATS): La flexibilidad en una carretera de dos carriles se puede mostrar mediante el cálculo de la relación entre la longitud del tramo de carretera y el tiempo requerido para recorrer ese segmento de manera típica (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019).
- Porcentaje de tiempo usado viajando en colas (Percent Time Spent Following, PTSF): Es equivalente a conveniencia, comodidad y flexibilidad de movimiento. Es la proporción típica de tiempo que los vehículos más lentos deben seguir a los vehículos más lentos en una fila. El porcentaje de vehículos que circulan en menos de 3,0 segundos en una ubicación típica del segmento de la carretera se utiliza como una medida sustituta de esta característica, ya que es difícil de cuantificar directamente en el terreno. Este parámetro también se corresponde aproximadamente con el porcentaje de vehículos que van en fila. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019)
- Porcentaje de la velocidad a flujo libre (Percent of Free Flow Speed , PFFS) muestra lo capaces que son los vehículos de ir al límite de velocidad o cerca de él. (HCM, 2010, como se citó en Vicente & Vicente, 2019).

Según señala el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) los conductores dan mucha importancia a la velocidad y a los retrasos provocados por los límites de adelantamiento en las autopistas de dos carriles de Clase I. Como resultado, en estas rutas se utilizan ATS y PTSF para determinar la calidad del servicio. Los conductores en las carreteras de Clase II no consideran la velocidad de viaje como una preocupación importante. Por ello, el nivel de servicio en determinadas vías sólo se describe en términos de PTSF. No es típico que las carreteras de Clase III alcancen altas velocidades. Las limitaciones de adelantamiento tampoco suelen ser un gran problema debido a lo cortos que son los tramos. En estos casos, los conductores prefieren mantener un ritmo constante o cercano al límite de velocidad establecido. El porcentaje de velocidad de flujo libre (PFFS) se utiliza para establecer los niveles de servicio en estas autopistas.

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), es complicado proporcionar una descripción precisa de las condiciones de operación en cada nivel de servicio, debido a que las expectativas de los conductores y las características de los tres tipos de carreteras de dos carriles difieren significativamente. Sin embargo, hay dos factores que afectan significativamente a cómo se perciben las operaciones reales y las percepciones de los conductores sobre el servicio:

- Capacidad de adelantamiento: La viabilidad del adelantamiento está limitada por el porcentaje del flujo contrario y la distribución de vacíos en el flujo contrario, ya que las maniobras de adelantamiento en autopistas de dos carriles tienen lugar en el carril del sentido contrario de la circulación.
- Demanda de adelantamiento: La necesidad de realizar maniobras de adelantamiento aumenta cuando la formación del pelotón y el crecimiento del retardo de adelantamiento (PTSF) crecen en una dirección determinada. Los conductores de un pelotón querrán hacer más maniobras de adelantamiento cuando haya más de ellos detrás de un vehículo lento.

Los flujos están relacionados con la demanda y la capacidad de paso. Cuando el flujo de tráfico aumenta en ambas direcciones, se observa una tendencia desafiante: la capacidad de paso disminuye a medida que la demanda de paso aumenta, según lo señalado por HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019).

2.1.10. Enfoque metodológico del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) 2010 para vías de dos carriles

2.1.10.1. Ámbito del enfoque metodológico

Con la ayuda de la técnica actual, se crea un estudio operativo para segmentos de carretera de dos carriles en los que es posible evaluar cada sentido de forma independiente y proporcionar una evaluación exhaustiva de las circunstancias operativas, ésta incluye: i) Tramos direccionales en terreno general (plano u ondulado), ii) Tramos direccionales en pendientes específicas y iii) Tramos direccionales incluyendo carriles de adelantamiento.

Todos los tramos en terreno accidentado y aquellos con una pendiente mayor del 3% en una longitud superior a 970 m (0,60 millas) deben considerarse pendientes particulares a efectos de esta investigación.

Mediante el cálculo de las métricas de eficiencia que describen los niveles de servicio, la velocidad media de viaje, el porcentaje de tiempo empleado en colas y el porcentaje de velocidad de flujo libre (ATS, PTSF, PFFS), el enfoque se utiliza a menudo para estimar los niveles de servicio en un segmento direccional uniforme.

2.1.10.2. Limitaciones de la metodología

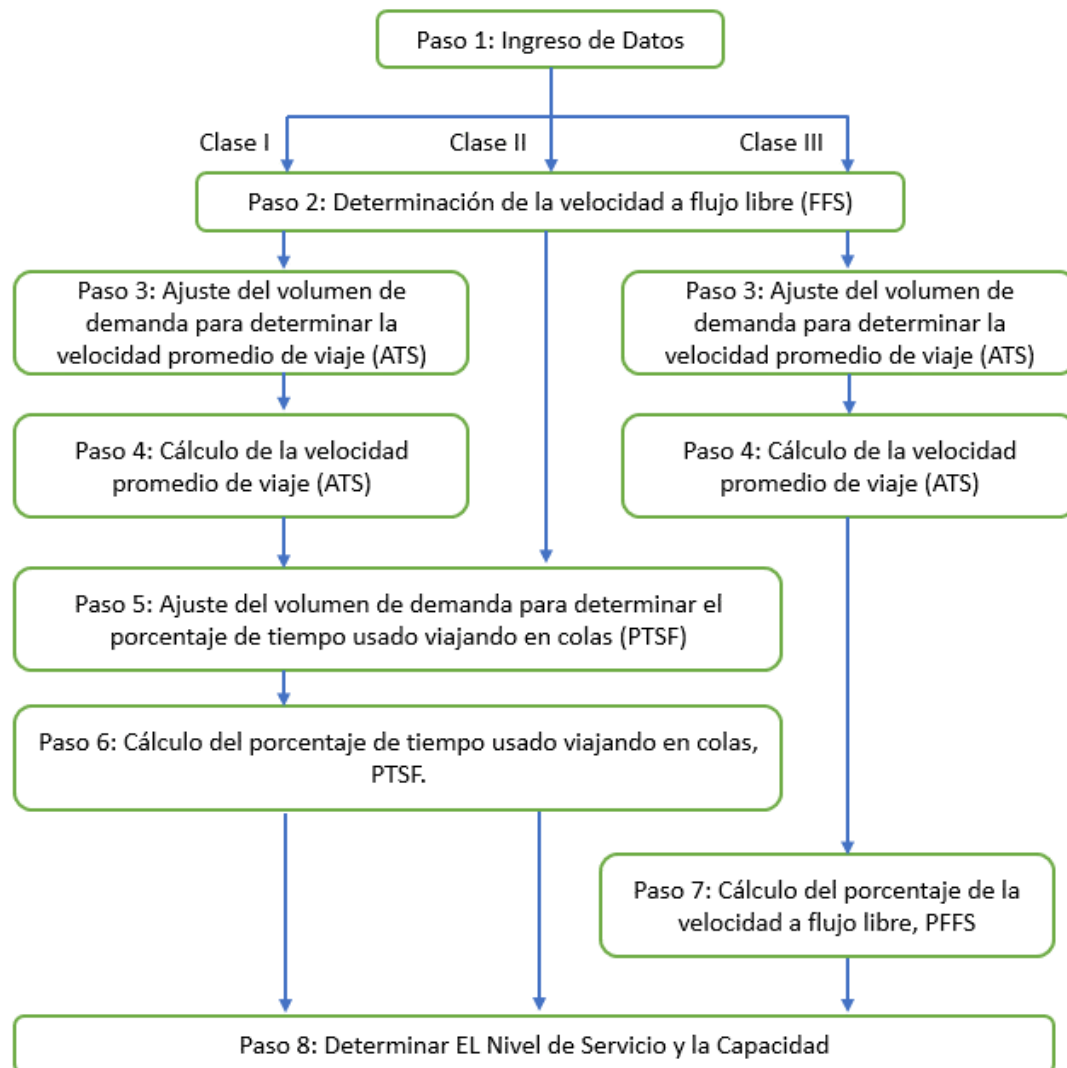
Esta técnica excluye de consideración las carreteras de dos carriles con cruces señalizados y las carreteras de dos carriles en regiones urbanas y suburbanas con numerosos cruces señalizados con una distancia entre ellos de dos millas o menos (3,22 kilómetros o menos).

2.1.10.3. Procedimiento metodológico

El diagrama de la Figura 10 muestra las fases fundamentales de la técnica para carreteras de dos carriles. No todas las fases se aplican a cada clase de carretera, ya que las tres clases emplean normas de eficiencia diferentes para describir los niveles de servicio. Cabe mencionar que sólo las carreteras de Clase I y Clase III se utilizan en la fase de cálculo para la estimación de la velocidad media de desplazamiento (ATS), y sólo las carreteras de Clase I y II se utilizan en la fase de cálculo para la estimación del porcentaje de tiempo empleado en las filas (PTSF). Sólo las vías de Clase III son objeto de la estimación del porcentaje de velocidad de circulación libre (PFFS).

Figura 10

Flujograma de metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles



Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

A. Paso 1: Datos de ingreso

La información necesaria para examinar un segmento de carretera de dos carriles figura en el Tabla 5.

- Información requerida como entrada y valores predeterminados

Cuando no se dispone de datos para el tramo investigado, se proponen valores por defecto, como se muestra en la Tabla 5. Pero tenga en cuenta que cada vez que una variable medida sobre el terreno de un tramo concreto se sustituye por un valor por defecto, los resultados del análisis se vuelven más especulativos y menos relacionados con las características únicas del lugar de la investigación. Sólo en los casos en que sea imposible realizar mediciones sobre el terreno deberían utilizarse valores por defecto.

Por ejemplo, los anchos de carril y las bermas de 3,66 y 1,83 metros (12 y 6 pies), respectivamente, son típicos, especialmente en las carreteras de Clase I, y su uso es menos problemático que el de otros valores por defecto. Una evaluación amplia del terreno suele ser sencilla y sólo requiere un conocimiento básico de la región que atravesará la ruta.

La densidad de los puntos de acceso es más difícil y a menudo difiere mucho de un lugar a otro. Resulta especialmente difícil calcular la proporción de zonas prohibidas utilizando una evaluación generalizada del terreno, ya que las particularidades de la alineación vertical y horizontal podrían afectar significativamente a este elemento.

Es aconsejable medir la velocidad de flujo libre (FFS) allí o en un lugar cercano. Aunque se ofrecen modificaciones de una velocidad básica de flujo libre (BFFS) como parte del planteamiento, no hay una explicación clara de cómo se calcula la BFFS. Los valores sugeridos por defecto en la tabla son bastante aproximados.

La sugerencia del HCM para el tiempo de análisis de los datos de demanda es de 15 minutos, aunque podrían considerarse periodos más largos. Según las características locales de generación de viajes, el factor habitual de hora punta (PHF) puede variar mucho. Dado que el reparto direccional puede cambiar significativamente con el tiempo, incluso en el mismo lugar, es esencial controlarlo inmediatamente. También es muy improbable el consejo habitual sobre la presencia de grandes

camiones. Las circunstancias locales tienen un gran impacto en este componente. Estos ajustes sólo deben utilizarse con moderación y cuando no puedan obtenerse datos específicos del lugar por una causa válida, como ocurre con todos los valores por defecto.

Tabla 5

Requisitos de datos de HCM 2010 para carreteras de dos carriles

Datos Necesarios	Valores Recomendados por Defecto
Datos Geométricos	
Clasificación de Carretera	Debe ser seleccionada apropiadamente
Ancho de Carril	3.66 m (12 ft)
Ancho de Berma	1.83 m (6 ft)
Densidad del punto de Acceso	Clase I y II: 8/mi, Clase III: 16/mi
Terreno	Plano u Ondulado
Porcentaje de zona de no rebase	Plano: 20% Ondulado :40% Escarpado: 80%
Velocidad de Diseño	Límite de velocidad + 16.09 km/h (10 mi/h)
Longitud de Carril de Paso (Solo si presenta)	Debe ser específico del sitio
Datos de Tránsito	
Volumen Horario de Vehículos	Debe ser específico del sitio
Duración del periodo de análisis	15 min (0.25 h)
Factor hora punta	0.88
División direccional	60/40
Porcentaje de vehículos pesados	6% Camiones

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

B. Paso 2: Determinación de la velocidad a flujo libre (FFS)

Identificar la velocidad de flujo libre (FFS) de la sección es una etapa crucial en el reconocimiento de las carreteras de dos carriles. Existen tres métodos para averiguarla.

- Medición directa en campo

Deben realizarse mediciones directas sobre el terreno en el tramo de carretera. Si es necesario estudiar ambos sentidos, los datos deben analizarse y tomarse en ambas direcciones. Las mediciones sólo deben realizarse en la dirección estudiada. Se debe utilizar una muestra aleatoria de al menos 100 velocidades de vehículos como base para la medición en cada dirección. Cuando haya poca demanda, o cuando el flujo de vehículos en ambas direcciones sea inferior o igual a 200 veh/h, la FFS puede calcularse como la velocidad media. A falta de mediciones directas sobre el terreno, pueden utilizarse los datos de un tramo similar (con el mismo tipo de vía, restricción de velocidad, entorno, etc.).

- Medición directa en campo con altos flujos vehiculares

Observar menos de 200 vehículos por hora en algunas carreteras puede resultar complicado o prácticamente imposible. En estas situaciones, puede recogerse una muestra de velocidad en flujos mayores y realizar un ajuste. Se utiliza la misma técnica de muestreo: tras observar cada sentido de forma independiente, deben registrarse al menos 100 velocidades observadas en cada sentido, y a continuación se modifica la velocidad media utilizando la ecuación 1:

$$FFS = S_{FM} + 0.00776 \left(\frac{v}{f_{hv,ATS}} \right)$$

Ecuación 1

Dónde:

FFS	=	Velocidad a flujo libre (mi/h)
S_{FM}	=	Promedio de velocidad de la muestra ($v > 200$ vh/h) (mi/h)
v	=	Volumen de demanda total, en ambas direcciones, durante el periodo de mediciones de velocidad (veh/h); y
$f_{hv,ATS}$	=	Factor de ajuste por vehículos pesados para (ATS), de la ecuación 4 o la ecuación 5

- Estimación de la velocidad a flujo libre (FFS)

Si no se dispone de mediciones sobre el terreno, la velocidad de flujo libre puede calcularse indirectamente. En comparación con otras formas de carreteras de flujo ininterrumpido, las carreteras de dos carriles suponen un mayor reto para conseguirlo. La FFS en carreteras carriles dobles varía mucho, desde una velocidad mínima de 72 km/h (45 mi/h) hasta una velocidad máxima de 112 km/h (70 mi/h).

El analista debe describir las circunstancias operativas de la vía en términos de velocidad básica de flujo libre (BFFS) que tenga en cuenta tanto la alineación de la vía como el tipo de tráfico para estimar la BFFS. Desgraciadamente, hay pocos consejos sobre la estimación de la BFFS que son posibles dada la variedad de velocidades encontradas y la importancia de los factores locales y regionales que influyen en la velocidad prevista por el conductor.

A partir de los datos de velocidad y del conocimiento local de las circunstancias operativas en vías comparables, pueden crearse predicciones de BFFS. Tras determinar la BFFS, es necesario realizar modificaciones en función de la longitud de los carriles, la anchura de las bermas y el número de puntos de entrada no marcados por unidad de superficie para calcular el índice de flujo libre (FFS), como se explica a continuación.

La velocidad básica de flujo libre (BFFS) se describe conceptualmente como la velocidad prevista teniendo en cuenta las características de la carretera, como la anchura de los carriles, las bermas, la alineación horizontal y vertical y la ausencia de accesos a la carretera. La velocidad de diseño de la carretera podría ser un predictor fiable del BFFS, ya que se centra principalmente en la alineación

horizontal y vertical. Las condiciones reales o las preferencias de los conductores pueden no estar reflejadas en las restricciones de velocidad. Un cálculo básico de la BFFS sería la velocidad anunciada multiplicada por 16 km/h (10 mi). Cuando se ha calculado el BFFS, el FFS real puede aproximarse de la siguiente manera:

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

Ecuación 2

Dónde:

FFS = Velocidad a flujo libre (mi/h)

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

f_{LS} = Factor de ajuste por ancho de carril y de berma

f_A = Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso

Las mediciones sobre el terreno deben emplear métodos de muestreo y aproximación para determinar la velocidad de flujo libre FFS.

Los parámetros de corrección de la anchura de carriles y bermas y de la densidad de puntos de acceso en la ecuación 2 figuran en las Tablas 6 y 7, respectivamente.

Tabla 6

Factor de ajuste para ancho de carril y de berma (fls)

Lane Width (ft)	Shoulder Width (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	1.7	0.1
≥12	4.2	2.6	1.3	0

Fuente: HCM (2010) citado por Vicente & Vicente (2021)

Tabla 7

Factor de ajuste por densidad de accesos (FA)

Número de accesos por milla (Dos Direcciones)	Reducción en FFS (mi/h)
0	0
10	2.5
20	5
30	7.5
40	10

Fuente: HCM (2010) citado por Vicente & Vicente (2021)

La densidad de puntos de acceso se calcula dividiendo el número total de cruces no señalizados y puntos de acceso a ambos lados de la carretera por la longitud de la ruta (en kilómetros o millas). De este modo, las velocidades de flujo libre serán las mismas al examinar los dos sentidos de la ruta. El valor puede variar en cada dirección si la FFS se mide sobre el terreno.

Puede ser ventajoso determinar la FFS individualmente para las curvas y tangentes y calcular una FFS media ponderada para el segmento en su conjunto si una carretera contiene curvas horizontales con velocidades de diseño que son mucho más lentas que las del resto de la sección.

Se facilitan datos sobre el ratio de velocidad de flujo libre (FFS) tanto de los conductores regulares como de los recreativos. No hay distinciones apreciables entre ambos, pero se prevé que los conductores habituales y otros conductores regulares utilicen la ruta de forma más eficaz que los usuarios recreativos y esporádicos. La FFS debería evaluarse sobre el terreno si el efecto de la población de conductores es preocupante.

C. Paso 3: Ajuste del volumen de demanda por la velocidad promedio (ATS)

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010) establece que solo las carreteras de Clase I y III deben someterse al Ajuste de la Velocidad Media de Viaje. En el caso de las carreteras de Clase II, este paso no es necesario, ya que los niveles de servicio no dependen de la velocidad media. En

situaciones ideales, se recomienda utilizar la Ecuación 3 para convertir los volúmenes de demanda en ambas direcciones (la dirección de análisis y la dirección opuesta) en un caudal vehicular equivalente.

$$V_{i,ATS} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \right)$$

Ecuación 3

Dónde:

$V_{i,ATS}$ = Volumen de demanda ajustado para ATS (Veh/h)

i = “d” (dirección de análisis) y “o” (dirección opuesta)

V_i = Volumen horario de máxima demanda para la dirección analizada (Veh/h)

$f_{g,ATS}$ = Factor de ajuste por pendiente, de la tabla 8 o de la tabla 9

$f_{HV,ATS}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados de la Ecuación 4

PHF = Factor de hora punta

- Factor de ajuste por pendiente para (ATS)

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), el factor de ajuste de la pendiente varía en función del tipo de terreno, que se desglosa a su vez en: (i) Tramos con una elevación inferior a 3,22 km (2 mi), (ii) Tramos con una elevación superior a 3,22 km (2 mi), (iii) Pendiente específica ascendente, y (iv) Pendiente específica descendente.

Dependiendo de la dirección del estudio, cada porción con una pendiente del 3% o más para una duración de 0,97 km (0,6 millas) o más debe examinarse como una pendiente ascendente o descendente distinta.

La tabla 8 enumera los factores de corrección para los descensos distintos, así como para las zonas llanas o inclinadas del terreno.

Los datos de entrada serán el volumen de demanda en la dirección de análisis (V_{vph}) representado en vehículos por hora.

Tabla 8

Factor de ajuste de la pendiente (ATS) para todos los tipos de terreno o para determinados descensos

Volumen de demanda en una dirección (Veh/h)	Terreno plano y descensos específicos	Terreno ondulado
≤100	1.0000	0.67
200	1.0000	0.75
300	1.0000	0.83
400	1.0000	0.9
500	1.0000	0.95
600	1.0000	0.97
700	1.0000	0.98
800	1.0000	0.99
900	1.0000	1.00

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Si la necesidad se ha estimado por horas, el volumen será igual a la necesidad dividida por el factor de hora punta. Otras tablas de factores de ajuste relacionadas con la ecuación 10 también utilizan este valor.

Cabe señalar que, dado que el terreno llano suele darse en circunstancias de base, el factor de ajuste para él es 1,00. Los tramos de descenso específicos se tratan como terreno llano a efectos de las consideraciones de ajuste.

Las variables de corrección para determinadas subidas se muestran en la Tabla 9. A medida que aumenta la pendiente y se alarga el tramo, empeoran los efectos negativos de los tramos cuesta arriba en las autopistas de dos carriles. Sin embargo, cuando aumenta el caudal, la influencia disminuye. Las velocidades son más lentas y el efecto añadido de la subida es menos grave con caudales mayores.

Tabla 9

Factor de ajuste por la pendiente para (ATS) en ascensos específicos

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (Veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3<3.5	0.25	0.78	0.84	0.87	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.75	0.73	0.81	0.85	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	0.73	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.50	0.73	0.79	0.83	0.87	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
	2.00	0.73	0.79	0.82	0.86	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00
	3.00	0.73	0.78	0.82	0.85	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98
	≥4.00	0.73	0.78	0.81	0.85	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96
≥3.5<4.5	0.25	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.72	0.80	0.84	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.75	0.67	0.77	0.81	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	0.65	0.73	0.77	0.81	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	1.50	0.63	0.72	0.76	0.80	0.93	0.95	0.96	1.00	1.00
	2.00	0.62	0.70	0.74	0.79	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	3.00	0.61	0.69	0.74	0.78	0.92	0.93	0.94	0.98	1.00
	≥4.00	0.61	0.69	0.73	0.78	0.91	0.91	0.92	0.96	1.00
≥4.5<5.5	0.25	0.71	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.60	0.70	0.74	0.79	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	0.75	0.55	0.65	0.70	0.75	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	1.00	0.54	0.64	0.69	0.74	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	1.50	0.52	0.62	0.67	0.72	0.88	0.90	0.93	1.00	1.00
	2.00	0.51	0.61	0.66	0.71	0.87	0.89	0.92	0.99	1.00
	3.00	0.51	0.61	0.65	0.70	0.86	0.88	0.91	0.98	0.99
	≥4.00	0.51	0.60	0.65	0.69	0.84	0.86	0.88	0.95	0.97

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (Veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥5.5<6.5	0.25	0.57	0.68	0.72	0.77	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	0.50	0.52	0.62	0.66	0.71	0.87	0.90	0.92	1.00	1.00
	0.75	0.49	0.57	0.62	0.68	0.85	0.88	0.90	1.00	1.00
	1.00	0.46	0.56	0.60	0.65	0.82	0.85	0.88	1.00	1.00
	1.50	0.44	0.54	0.59	0.64	0.81	0.84	0.87	0.98	1.00
	2.00	0.43	0.53	0.58	0.63	0.81	0.83	0.86	0.97	0.99
	3.00	0.41	0.51	0.56	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
	≥4.00	0.40	0.50	0.55	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
≥6.5	0.25	0.54	0.64	0.68	0.73	0.88	0.90	0.92	1.00	1.00
	0.50	0.43	0.53	0.57	0.62	0.79	0.82	0.85	0.98	1.00
	0.75	0.39	0.49	0.54	0.59	0.77	0.80	0.83	0.96	1.00
	1.00	0.37	0.45	0.50	0.54	0.74	0.77	0.81	0.96	1.00
	1.50	0.35	0.45	0.49	0.54	0.71	0.75	0.79	0.96	1.00
	2.00	0.34	0.44	0.48	0.53	0.71	0.74	0.78	0.94	0.99
	3.00	0.34	0.44	0.48	0.53	0.70	0.73	0.77	0.93	0.98
	≥4.00	0.33	0.43	0.47	0.52	0.70	0.73	0.77	0.91	0.95

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

- Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados (ATS)

Según el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010), cuando hay vehículos pesados en el flujo de tráfico, disminuye el ajuste de la velocidad media de desplazamiento (ATS), por lo que es necesario realizar los cambios oportunos. Las condiciones estándar para carreteras de dos carriles especifican que todos los vehículos son de peso ligero, aunque esto es poco común en la práctica.

Se deben seguir dos procedimientos para determinar el factor de ajuste de los vehículos pesados:

- (i) Se determina el factor de equivalencia de vehículos ligeros para los camiones E_T y los vehículos recreativos RVs (E_R)
- (ii) Se determina el factor de ajuste para vehículos pesados utilizando la Ecuación 4.

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

Ecuación 4

Dónde:

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

P_T = Porcentaje de vehículos pesados en el flujo vehicular
(decimal)

P_R = Porcentaje de vehículos recreacionales en el flujo vehicular
(decimal)

E_T = Factor de equivalencia en vehículos ligeros para vehículos pesados

E_R = Factor de equivalencia en vehículos ligeros para vehículos recreativos

El término "factor de equivalencia de vehículos pesados y recreativos" se utiliza para referirse a la cantidad de vehículos que son desplazados del flujo de tráfico por un camión o vehículo recreativo.

Para diversas circunstancias, se describen estos factores:

- (i) Tramos largos de terreno plano u ondulado
- (ii) Pendientes específicas de ascenso
- (iii) Pendientes específicas de descenso

Los factores de equivalencia para tramos generales de pista y para descensos concretos, que suelen considerarse terreno llano, figuran en la tabla 10.

Tabla 10

Factor de conversión para vehículos pesados y recreativos en terreno general y descensos específicos para ATS

Tipo de vehículo	Volumen de demanda por dirección (Veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano y pendientes descendentes	Ondulado
Pesados E_T	≤ 100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥ 900	1	1.3
Recreativos E_R	Todos	1	1.1

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Las tablas 11 y 12 presentan los vehículos iguales a los vehículos recreativos y a los camiones, correspondientemente, en posiciones pendulares ascendentes específicas.

Tabla 11

Factor de equivalencia de vehículos recreacionales (E_R) en ascensos específicos para ATS.

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
	≤ 0.25	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 3 < 3.5$	$> 0.25 \leq 0.75$	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 0.75 \leq 1.25$	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3.5<4.5	>1.25≤2.25	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>2.25	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≤0.75	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.75≤3.50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>3.50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≤2.50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥4.5<5.5	>2.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≤0.75	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.75≤2.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥5.5<6.5	>2.50≤3.50	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	>3.50	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
	≤2.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>2.50≤3.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
≥6.5	>3.50	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Tabla 12

Factor de equivalencia de vehículos pesados (Et) en ascensos específicos para ATS

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (Veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3<3.5	0.25	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.8	1.7	1.3	1.1
	0.50	3.7	3.4	3.3	3.2	2.7	2.6	2.6	2.3	2.0
	0.75	4.6	4.4	4.3	4.2	3.7	3.6	3.4	2.4	1.9
	1.00	5.2	5.0	4.9	4.9	4.4	4.2	4.1	3.0	1.6
	1.50	6.2	6.0	5.9	5.8	5.3	5.0	4.8	3.6	2.9
	2.00	7.3	6.9	6.7	6.5	5.7	5.5	5.3	4.1	3.5

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (Veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
	3.00	8.4	8.0	7.7	7.5	6.5	6.2	6.0	4.6	3.9
	≥4.00	9.4	8.8	8.6	8.3	7.2	6.9	6.6	4.8	3.7
≥3.5<4.5	0.25	3.8	3.4	3.2	3.0	2.3	2.2	2.2	1.7	1.5
	0.50	5.5	5.3	5.1	5.0	4.4	4.2	4.0	2.8	2.2
	0.75	6.5	6.4	6.5	6.5	6.3	5.9	5.6	3.6	2.6
	1.00	7.9	7.6	7.4	7.3	6.7	6.6	6.4	5.3	4.7
	1.50	9.6	9.2	9.0	8.9	8.1	7.9	7.7	6.5	5.9
	2.00	10.3	10.1	10.0	9.9	9.4	9.1	8.9	7.4	6.7
	3.00	11.4	11.3	11.2	11.2	10.7	10.3	10.0	8.0	7.0
	≥4.00	12.4	12.2	12.2	12.1	11.5	11.2	10.8	8.6	7.5
≥4.5<5.5	0.25	4.4	4.0	3.7	3.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5
	0.50	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.7	5.6	4.6	4.2
	0.75	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	1.00	9.2	9.2	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	8.8
	1.50	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.2	10.1
	2.00	11.8	11.8	11.8	11.8	11.6	11.6	11.5	11.1	10.9
	3.00	13.7	13.7	13.6	13.6	13.3	13.1	13.0	11.9	11.3
	≥4.00	15.3	15.3	15.2	15.2	14.6	14.2	13.8	11.3	10.0
≥5.5<6.5	0.25	4.8	4.6	4.5	4.4	4.0	3.9	3.8	3.2	2.9
	0.50	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	0.75	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	1.00	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.1
	1.50	11.9	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	11.6
	2.00	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.7	12.7	12.6	12.5
	3.00	14.4	14.4	14.4	14.4	14.3	14.3	14.3	14.2	14.1
	≥4.00	15.4	15.4	15.3	15.3	15.2	15.1	15.1	14.9	14.8

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (Veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥6.5	0.25	5.1	5.1	5.0	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	4.4
	0.50	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
	0.75	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	1.00	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.2
	1.50	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.7
	2.00	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.6
	3.00	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.3	14.2
	≥4.00	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.1

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

- Factor de ajuste en descenso por desplazamiento de vehículos pesados a velocidad lenta (ATS)

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), cualquier pendiente descendente que tenga una inclinación del 3% o más en una distancia de 0,97 km (0,6 mi) se considera como una pendiente individual. Si la pendiente es variable, se debe evaluar como una pendiente compuesta, y la media ponderada de las pendientes debe representarse como un porcentaje.

Por razones analíticas, la mayoría de las pendientes de bajada son consideradas como terreno llano. No obstante, ciertas pendientes descendentes son tan duras que algunos vehículos se ven obligados a circular lentamente. En esta situación, el conductor del camión debe hacer uso del freno motor, ya que el sistema de frenado convencional resulta insuficiente para reducir o detener la velocidad del vehículo, dado que este ha adquirido demasiada velocidad al descender por la pendiente. Aparte de ver directamente el funcionamiento de los vehículos pesados, no hay reglas generales que puedan utilizarse para predecir cuándo o dónde se producirían estos escenarios.

Cuando se da esta circunstancia, el factor de ajuste de vehículos pesados $f_{HV,ATS}$ se desarrolla con la Ecuación 5 en lugar de la Ecuación 4:

$$f_{hv,ATS} = \frac{1}{1 + 1 + P_{TC}(E_{TC} - 1) + (1 - P_{TC})xP_{TC}x(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Ecuación 5

Dónde:

P_{TC} = Porcentaje de vehículos pesados en el flujo vehicular (decimal)

E_{TC} = Factor de equivalencia para camiones que operan a velocidad lenta
de la tabla 13

Las definiciones de las demás variables son las indicadas anteriormente. La P_{TC} se describe como la relación entre el caudal de todos los camiones dividido por el caudal de los vehículos pesados que circulan a velocidades moderadas.

Tabla 13

Factor de equivalencia para camiones en descenso que operan a velocidad lenta E_{TC}

Diferencia entre FFS y la velocidad lenta de V. pesados (mi/h)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
	≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≤15	4.7	4.1	3.6	3.1	2.6	2.1	1.6	1	1
20	9.9	8.7	7.8	6.7	5.8	4.9	4	2.7	1
25	15.1	13.5	12	10.4	9	7.7	6.4	5.1	3.8
30	22	19.8	17.5	15.6	13.1	11.6	9.2	6.1	4.1
35	29	26	23.1	20.1	17.3	14.6	11.9	9.2	6.5
≥40	35.9	32.3	28.6	24.9	21.4	18.1	14.7	11.3	7.9

Fuente: HCM (2010) citado por Vicente & Vicente (2021)

D. Paso 4: Cálculo de la velocidad promedio de viaje (ATS)

Esta fase sólo se emplea para las carreteras de dos carriles de Clase I y Clase III, como en el caso de la fase 3. El Ajuste de la Velocidad Media de Viaje (ATS) se determina mediante el uso del volumen de demanda ajustado, el volumen de demanda ajustado y la proporción de zonas de no adelantamiento en el sentido de análisis. La Ecuación 6 se emplea para realizar este cálculo.

Para desarrollar el cálculo se utiliza la Ecuación 6.

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Ecuación 6

Dónde:

ATS_d = Velocidad promedio de viaje en la dirección analizada (mi/h)

FFS = Velocidad a flujo libre (mi/h)

$v_{d,ATS}$ = Volumen vehicular ajustado a las condiciones base para determinar ATS en la dirección de análisis (pc/h)

$v_{o,ATS}$ = Volumen vehicular ajustado a las condiciones base para determinar ATS en la dirección de opuesta de análisis (pc/h)

$f_{np,ATS}$ = Factor de ajuste para determinar el porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis de la tabla 14

Tabla 14

Factores de ajuste por zonas de no rebase para ATS ($f_{np,ATS}$)

Volumen de demanda ajustado opuesto v_o (veh/h)	Porcentaje de zonas de no rebase				
	≤20	40	60	80	100
FPS ≥ 65 mi/h					
≤100	1.1	2.2	2.8	3	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2
800	0.7	1	1.2	1.4	1.5
1000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1200	0.6	0.8	0.9	1	1.1
1400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8

Volumen de demanda ajustado opuesto vo (veh/h)	Porcentaje de zonas de no rebase				
	≤20	40	60	80	100
FPS ≥ 60 mi/h					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4	4.2
400	1.4	2	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FPS ≥ 55 mi/h					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1200	0.5	0.6	0.7	0.9	1
1400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FPS ≥ 50 mi/h					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2	3.3	3.9	4
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1

Volumen de demanda ajustado opuesto vo (veh/h)	Porcentaje de zonas de no rebase				
	≤20	40	60	80	100
1200	0.4	0.4	0.7	0.8	1
1400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FPS ≤ 45 mi/h					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4
400	0.9	0.5	2	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1200	0.3	0.3	0.6	0.7	1
1400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Según HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), el volumen de demanda modificado del flujo contrario (vo) expresado en vehículos por hora se utiliza para la Tabla 14. Las cantidades de demanda modificada están disponibles y se utilizan para calcular el ATS en esta fase del proceso de cálculo. Según la tabla 14, cuando el flujo contrario es bajo, el efecto de las zonas de no adelantamiento es mayor, y cuando es mayor, el efecto se reduce a cero porque las zonas de adelantamiento son inútiles cuando el flujo contrario no ofrece ninguna posibilidad de adelantamiento.

E. Paso 5: Ajuste del volumen de demanda para determinar el porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

El HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019) establece que sólo las autopistas de dos carriles de Clase I y Clase II están sujetas a esta fase de cálculo. De forma similar a cómo se calcula la velocidad media de desplazamiento (VAM), el porcentaje de tiempo de seguimiento se calcula utilizando el ajuste por volumen de demanda. Aunque existen algunas diferencias en las variables de

ajuste utilizadas, la estrategia general es la misma. Los flujos modificados resultantes serán distintos de los utilizados para la ATS.

Para calcular la proporción de flujo de demanda mediante el análisis PTSF, utilice las ecuaciones 7 y 8:

$$V_{i,PTSF} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \right)$$

Ecuación 7

$V_{i,PTSF}$ = Volumen de demanda ajustado de PTSF

i = “d” (dirección de análisis) y “o” (dirección opuesta)

$f_{g,PTSF}$ = Factor de ajuste por la pendiente para PTSF de la tabla 15 o de la tabla 16

$f_{HV,PTSF}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados para PTSF, se determina mediante la Ecuación 8 con el uso de la tabla 17 o de la tabla 18 y, de todas las demás variables están previamente definidas.

Dónde: $f_{HV,PTSF}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados de la Ecuación 8

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

Ecuación 8

- Factor de ajuste por la pendiente para PTSF

Según el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019), los factores de ajuste de la pendiente se establecen para terrenos típicos (llanos u ondulados), así como para pendientes particulares ascendentes y descendentes. Esto es similar al procedimiento de ajuste de la velocidad media de desplazamiento (VMA). Los parámetros de corrección para terreno llano y pendientes descendentes (que se consideran terreno típico) se muestran en la Tabla 15. Las variables de ajuste de las pendientes ascendentes se muestran en la Tabla 16. Estas variables se calculan utilizando el caudal por hora.

Tabla 15

Factor de ajuste por la pendiente en terreno general y descensos específicos para PTSF.

Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)	Factor de ajuste terreno plano y descensos específicos	
≤100	1	0.73
200	1	0.8
300	1	0.85
400	1	0.9
500	1	0.96
600	1	0.97
700	1	0.99
800	1	1
≥900	1	1

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Tabla 16

Factor de ajuste por la pendiente en ascenso específicos para PTSF

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤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

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
	0.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95
	0.75	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	1.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	2.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	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<5.5	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
	≥0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥5.5	Todas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

- Factor de ajuste por vehículos pesados para PTSF

Se emplea la Ecuación 8 para determinar el factor de ajuste de los vehículos pesados en el Paso de Tráfico de Servicio Fluidificado (PTSF). Es necesario establecer el factor de equivalencia para los vehículos ligeros en el caso de los vehículos pesados (VT) y las unidades vehiculares de recreo (RV). La Tabla 17 proporciona el factor de equivalencia para los vehículos pesados y de ocio que circulan por terreno llano, en pendiente o cuesta abajo. Debido a la presencia de pendientes descendentes específicas, no existe un método particular para los camiones que circulan a velocidades muy lentas a la hora de calcular el Porcentaje de Tiempo de Conducción en Colas (PTSF). La tabla 18 proporciona el factor equivalente para vehículos ligeros en ascensos.

Tabla 17

Factor de equivalencia de vehículos pesados (E_T) y recreacionales (E_R) para (PTSF) en terreno general y descensos específicos.

Tipo de vehículo	Volumen de demanda por dirección (Veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano y pendientes descendentes	Ondulado
Pesados 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
Recreativos E_R	Todos	1.0	1.0

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Tabla 18

Factor de equivalencia de vehículos pesados (E_T) y recreacionales (E_R) para (PTSF) en ascensos específicos.

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
Vehículos equivalentes para vehículos pesados (Et)										
≥3<3.5	≤2.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Pendiente %	Longitud de la pendiente (mi)	Volumen de demanda, V en una dirección (veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
	≥4.00	1.6	1.4	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≤1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.5	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2	1.6	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3	1.8	1.4	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
≥3.5<4.5	≥4.00	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	≤1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.5	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	2	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
	3	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
≥4.5<5.5	≥4.00	3.5	3.1	2.9	2.7	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8
	≤0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
≥5.5<6.5	3	3.4	3.2	3.0	2.9	2.4	2.3	2.3	1.9	1.9
	≥4.00	4.5	4.1	3.9	3.7	2.9	2.7	2.6	2.0	2.0
≥6.5	≤0.50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4
	1.5	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	2	2.9	2.8	2.7	2.7	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
	3	4.2	3.9	3.7	3.6	3.0	2.8	2.7	2.2	2.2
	≥4.00	5.0	4.6	4.4	4.2	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
Vehículos equivalentes para vehículos pesados (Er)										
Todos	Todos	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

F. Paso 6: Cálculo del porcentaje de tiempo usado viajando en colas PTSF

Esta fase sólo se aplica a las carreteras de dos carriles de Clase I y Clase II, afirma el HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019). Esta proporción no se utiliza para calcular los niveles de servicio en las carreteras de Clase III. La ecuación 9 se utiliza para calcular el PTSF una vez determinados los flujos de demanda:

$$PTSF_d = BTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

Ecuación 9

Dónde:

$PTSF_d$ = Porcentaje de tiempo usado viajando en colas en la dirección analizada (decimal)

$BTSF_d$ = Base del Porcentaje de tiempo usado en colas en la dirección analizada, de la ecuación 17

$f_{np,PTSF}$ = Factor de ajuste por el porcentaje de zonas de no rebase en el tramo analizado para PTSF, de la tabla 13

$v_{d,PTSF}$ = Volumen vehicular ajustado a las condiciones base en la dirección analizada para determinar PTSF (pc/h)

$v_{o,PTSF}$ = Volumen vehicular ajustado a las condiciones base en la dirección opuesta para determinar PTSF (pc/h)

La ecuación 10 calcula el Porcentaje Base de Tiempo de Seguimiento (BPTSF):

$$BTSF_d = 100[1 - \exp(-av_d^b)]$$

Ecuación 10

Donde las demás variables se han descrito previamente y **a** y **b** son constantes tomadas de la Tabla 19. Las tablas 19 y 20 se crearon utilizando flujos de demanda que previamente se habían traducido al número de turismos por hora en circunstancias ideales. (v_o y v_d).

Tabla 19

Coefficientes para determinar la base de PTSF

Volumen de demanda ajustado 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: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Tabla 20

Factor de Ajuste por zona de no adelantamiento para PTSF

Volumen ajustado en ambos sentidos = $v_d + v_o$ (veh/h)	Porcentaje de zona de no adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
Distribución direccional = 50/50						
≤ 200	9	29.2	43.4	49.4	51	52.6
400	16.2	41	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44	44.8	46.6
1,400	12.8	20	23.8	26.2	27.4	28.6

Volumen ajustado en ambos sentidos = vd+vo (veh/h)	Porcentaje de zona de no adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
2,000	10	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 direccional = 60/40						
≤200	11	30.6	41	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55	56.3
600	14.8	36.9	44	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1,400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2,000	9.1	13.5	15.6	16	16.8	17.3
2,600	5.9	7.7	8.6	9.6	10	10.2
Distribución direccional = 70/30						
≤200	9.9	28.1	38	47.8	48.5	49
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1,400	8	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2,000	7.3	9.7	11.7	13.3	14	14.5
Distribución direccional = 80/20						
≤200	8.9	27.1	37.1	47	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4	24.5	31.3	38.1	39.1	40
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1,400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2,000	3.5	7	8.5	10.1	10.4	10.7
Distribución direccional = 90/10						
≤200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6

Volumen ajustado en ambos sentidos = vd+vo (veh/h)	Porcentaje de zona de no adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
400	0	20.2	28.3	36.3	36.7	37
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1,400	-1.2	5.5	8.3	11	11.5	11.9

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Cabe señalar que, aunque la tabla 20 sólo aplica el factor de ajuste a un análisis unidireccional, el factor está condicionado por el flujo de demanda conjunto de los dos carriles. Este componente indica la distribución del tráfico en términos de direcciones, así como la proporción de zonas de no adelantamiento en la sección de análisis. Independientemente del sentido que se tenga en cuenta, la medida de distribución direccional es la misma. Dado que todas las demás variables son fijas, el mismo factor, por ejemplo, resulta para proporciones de 70/30 y 30/70.

G. Paso 7: Estimación del porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS)

En esta fase sólo se analizan las vías de Clase III. Dado que la velocidad de flujo libre (FFS) y la velocidad media de viaje (ATS) han sido previamente determinadas en pasos anteriores, el cálculo es directo. La ecuación 11 permite obtener un porcentaje estimado de la velocidad de flujo libre:

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS}$$

Ecuación 11

Sus términos han sido definidos previamente.

H. Paso 8: Determinación de los niveles de servicio y la capacidad

La tabla 21 muestra los requisitos de nivel de servicio de las carreteras de dos carriles.

Tabla 21*Nivel de servicio en carreteras de dos carriles*

Nivel de servicio	Carreteras de clase I		Carreteras de Clase II	Carreteras de Clase III
LOS	ATS (mi/h)	PTSF (%)	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: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

Los valores de cualquier métrica de eficiencia ya se han establecido en esta fase de la investigación. Las métricas pertinentes se comparan con las normas de la tabla 21 para determinar el grado de servicio. Hay tres clases de velocidad: la clase I utiliza la velocidad media (ATS) y el porcentaje de seguimiento del tiempo (PTSF); la clase II utiliza el porcentaje de seguimiento del tiempo (PTSF); y la clase III utiliza el porcentaje de velocidad libre (PFFS). Se emplean dos métricas de eficiencia para las vías de Clase I, cuando se utiliza la tabla 21, se obtienen dos niveles de servicio y se considera que el nivel de servicio dominante es el peor de los dos. Por ejemplo, si el resultado de la velocidad media corresponde al nivel de servicio C y el resultado del porcentaje de tiempo corresponde al nivel de servicio D, se emitiría el nivel de servicio D.

- **Determinación de la capacidad**

Una medida de la eficiencia no determina la capacidad de las carreteras de dos carriles. Para calcular la capacidad en las condiciones actuales deben utilizarse los factores de ajuste pertinentes de las Ecuaciones 3 y 7.

En primer lugar, como el caudal es la forma en que se establece la capacidad, el PHF se fija en 1,00 y se modifican los volúmenes de demanda de PTSF y ATS. A continuación, se utiliza la Ecuación 12 o la Ecuación 13, como se explica a continuación, utilizando los datos recién conocidos.

$$C_{d,ATS} = 1700f_{g,ATS}f_{HV,ATS}$$

Ecuación 12

Dónde:

$$C_{d,ATS} = \text{Capacidad en la dirección de análisis, bajo condiciones ideales de acuerdo a la velocidad promedio de viaje (ATS) (veh/h)}$$

$$C_{d,PTSF} = 1700f_{g,PTSF}f_{HV,PTSF}$$

Ecuación 13

Dónde:

$$C_{d,PTSF} = \text{Capacidad en la dirección de análisis, bajo condiciones ideales de acuerdo al porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF) (veh/h)}$$

Ambas capacidades de carga deben examinarse para las carreteras de Clase I. La capacidad está representada por el valor más bajo. Para determinar la capacidad de las vías de Clase II sólo se utilizará el porcentaje de retraso siguiente (PTSF). La velocidad media de viaje (ATS) se utilizará para determinar la capacidad de las carreteras de Clase III.

2.1.11. Perfil Sociodemográfico

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el cual es el ente encargado de producir y difundir información estadística oficial en Perú. En su informe “Perfil Sociodemográfico” (INEI, 2018), presenta datos relevantes sobre la población y características sociodemográficas de la región, lo cual permite tener un panorama general de la situación de la población y sus necesidades en cuanto a infraestructura vial.

III. Método

3.1. Tipo de investigación

La aplicada se caracteriza por ser "una investigación científica que tiene como propósito abordar desafíos prácticos y encontrar soluciones efectivas mediante la producción de conocimientos concretos y aplicables al entorno real" (p. 62). De este modo, se busca aplicar los conocimientos científicos en la solución de problemas reales y concretos, en este caso, en la mejora de la Carretera CU-119: Tramo CU-138 – CU-117. El objetivo final es que los resultados de la investigación tengan una aplicación directa y práctica en el mejoramiento de la infraestructura vial, con el fin de ofrecer un servicio de transporte seguro, eficiente y sostenible. (López et al, 2012)

3.2. Nivel de investigación

Los niveles de investigación que se abordarán son: descriptivo y explicativo.

3.2.1. Nivel Descriptivo:

En el ámbito de la investigación descriptiva, se detallan las particularidades o fenómenos que se están investigando, sin buscar una explicación de los mismos (Hernández et al., 2014). En este tipo de investigación, el objetivo principal es la recolección de datos y la presentación de una descripción detallada de los mismos. La investigación descriptiva se enfoca en "la medición de variables, la caracterización de poblaciones y el estudio de la relación entre variables" (Hernández et al., 2014, p. 44). La presente tesis se considera de nivel descriptivo, ya que su objetivo es describir el estado actual de la Carretera CU-119: Tramo CU-138 - CU-117 y analizar el flujo de vehículos que circulan por ella, sin buscar una explicación del fenómeno.

3.2.2. Nivel Explicativo:

La investigación explicativa busca explicar las relaciones entre las variables y entender los procesos que llevan a la ocurrencia de un fenómeno (Hernández et al., 2014). En este tipo de investigación, se busca no solo describir los fenómenos, sino también identificar las causas y las relaciones entre las variables que los afectan. La investigación explicativa se enfoca en "la verificación de hipótesis y el análisis de la causalidad" (Hernández et al., 2014, p. 45). Si bien la presente tesis se

considera de nivel descriptivo, también puede ser considerada de nivel explicativo, ya que busca identificar los factores que afectan el flujo de vehículos en la Carretera CU-119: Tramo CU-138 - CU-117 y proponer recomendaciones para mejorar la situación actual. En este sentido, la tesis busca no solo describir el fenómeno, sino también entender las causas que lo generan y proponer soluciones para mejorarlo.

3.3. Diseño de la investigación

3.3.1. Diseño no experimental:

Los diseños no experimentales se emplean en situaciones en las que el investigador no tiene el control sobre las variables independientes, ya que éstas ya han sido establecidas por la naturaleza o por decisiones previas de otros. En este tipo de estudios, el investigador no manipula variables, sino que se enfoca en recolectar datos y en realizar la observación de los fenómenos tal y como se presentan en su entorno natural. (Hernández et al., 2014, p. 146)

En base a lo anteriormente descrito, esta definición de diseño no experimental se ajusta a la naturaleza de la tesis, ya que no se realizará manipulación directa de variables, sino que se recolectará y analizará información existente sobre las condiciones de la infraestructura vial y el flujo vehicular en la zona.

3.3.2. Diseño transversal:

El diseño transversal o de corte transversal se utiliza para estudios en los que se recolecta información en un solo momento y se analiza para describir la situación en ese momento. Este diseño es adecuado para la presente tesis, ya que se recolectará información sobre el estado de la infraestructura vial y el flujo vehicular en la zona en un momento específico. De esta manera, se podrá obtener una imagen precisa y actualizada de la situación en un corto período de tiempo. (Hernández et al., 2014)

3.4. Ámbito temporal y espacial

3.4.1. Ámbito temporal

El presente trabajo de investigación se desarrollará en la temporada seca del Cusco, junio del 2022.

3.4.2. Ámbito espacial

- País: Perú
- Departamento: Cusco
- Provincia: Paruro y Chumbivilcas
- Distritos: Yaurisque, Paruro, Paccaritambo, Ccapi y Capacmarca

Figura 11

Mapa de ubicación



Fuente: Elaboración propia

La investigación se llevó a cabo en un tramo de 90.4 km de la Carretera CU-119, a continuación, se detalla la ubicación en coordenadas:

Inicio de carretera: Cruce con la carretera CU-117

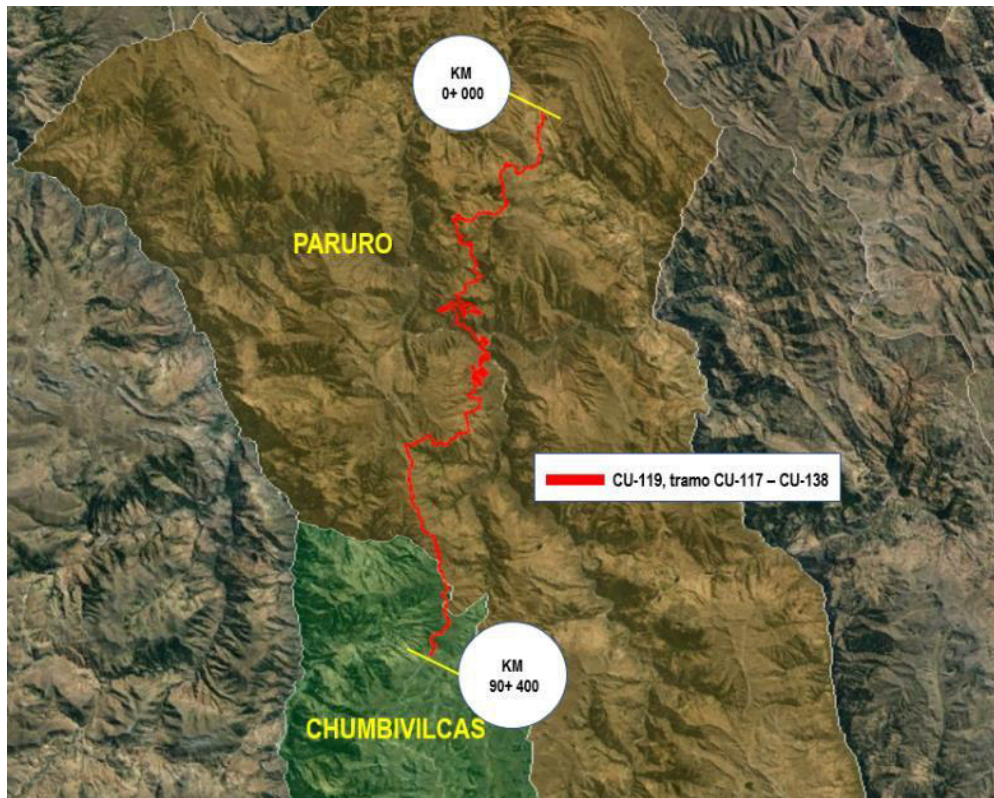
- Geográficas: Latitud 13°41'12.82"S – Longitud 71°54'14.01"O
- UTM: Norte 8485016.54 Este 185866.39

Fin de carretera: Cruce con la carretera CU-138

- Geográficas: Latitud 14° 1'4.74"S – Longitud 71°58'23.51"O
- UTM: Norte 8448264.93 Este 178818.9

Figura 12

Ubicación de la carretera CU-119, tramo: CU-117 – CU-138



Fuente: Elaboración propia

3.5. Variables

3.5.1. Variable independiente

Estudio de Transitabilidad de la Carretera CU-119, Tramo: CU-117 – CU-138

Indicadores:

- Volúmenes de tránsito
- Composición vehicular
- Encuestas vehiculares y peatonales
- Condiciones de la vía
- Nivel de servicio
- Capacidad de la vía

3.5.2. Variable dependiente

Propuesta de mejoramiento

Indicadores

- Señalización horizontal
- Señalización vertical
- Estado de la Infraestructura.
- Proyecciones de la vía

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

3.6.1.1. Descripción de la población

La población de la investigación está conformada por la Carretera CU-119 en el tramo que va desde CU-117 hasta CU-138, ubicada en las provincias de Paruro y Chumbivilcas del Departamento del Cusco. Dado que se trata de una carretera única y definida, se considera una población unitaria para los efectos de la investigación.

3.6.1.2. Cuantificación de la población

La población objeto de estudio en esta investigación está conformada por todos los vehículos motorizados de cuatro ruedas o más, que transitan por la carretera CU-119 en el tramo CU-117 a CU-138, así como también las características viales presentes en dicho tramo. La población se divide en dos categorías: vehículos ligeros y vehículos pesados.

3.6.2. Muestra

3.6.2.1. Descripción de la muestra

En la metodología de la investigación, la muestra censal es una técnica utilizada cuando se desea evaluar la totalidad de la población en estudio. Según Hernández et al. (2014), la muestra censal se define como "una muestra que abarca a todos los elementos de la población" (p. 238). En el caso de la presente tesis, la población está conformada por todos los vehículos motorizados y las características viales del tramo de la Carretera CU-119, tramo: CU-117 - CU-138. Por lo tanto, se utilizará una muestra censal y se evaluarán todos los elementos de la población.

Además, cabe destacar que el uso de una muestra censal asegura que se obtenga una visión completa y precisa de la población en estudio. Según Fraenkel y Wallen (2012), "la muestra censal es la única forma en que se puede obtener una medida precisa y completa de la población en estudio" (p. 197). En el caso de la presente investigación, se busca obtener una visión completa del estado de la infraestructura vial y el flujo vehicular en la zona, por lo que la utilización de una muestra censal se ajusta a los objetivos de la investigación.

3.6.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra está compuesta por:

- Los vehículos que cruzaron la estación de conteo vehicular
- Los elementos y características de la vía como: Longitud de la vía, ancho de vía, tipo de superficie de rodadura, estado de transitabilidad, señalización, tipo de puentes, punto de inicio y final del camino.

3.6.2.3. Método de muestreo

En la técnica de muestreo no probabilístico se empleó la metodología de Sampieri, Collado y Lucio (2010). En este método, los elementos se eligen basándose en aspectos asociados a los rasgos particulares de la investigación y no en probabilidades. En este caso, el proceso de selección depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo en lugar de ser mecánico o basado en cálculos de probabilidades. Las muestras elegidas cumplen varias normas establecidas a lo largo de la investigación.

3.6.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Los criterios utilizados para seleccionar la muestra fueron extraídos de fuentes como el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018), el Manual de Inventarios Viales (MTC, 2015) y el Highway Capacity Manual "HCM 2010").

3.7. Instrumentos

3.7.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

3.7.1.1. Formato de conteo y clasificación vehicular

Este formato permite registrar el conteo de unidades vehiculares en ambas direcciones de la vía de manera sencilla. Está diseñado para facilitar el registro del número de vehículos observados y se divide en secciones según el tipo de vehículo y periodos de una hora.

Figura 13

Formato de conteo y clasificación vehicular



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

FORMATO N° 1.3

FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA					
SENTIDO		E ←	S →		
UNIDAD					

ESTACION			
CODIGO DE LA ESTACION			
DIA Y FECHA			

HORA	SEN- TI- DO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			BUS		CAMION				SEMI TRUYLER				TRUYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL ONDO	2 E	>15 E	2 E	3 E	4 E	2S12S2	2S3	3S12S2	>7 S33	2T2	2T3	3T2	>3T3	
DIAGRAMA VEH.																				
00	E																			
A																				
01	S																			
A																				
02	S																			
A																				
03	S																			
A																				
04	S																			
A																				

ENCUESTADOR: _____
JEFE DE BRIGADA: _____
ING. RESPONDE: _____
SUPERV. MTC: _____

Fuente: MTC (2019)

3.7.1.2. Formatos SIB

Los formatos de salida SIB consisten en tablas que presentan la información recopilada durante el levantamiento de datos del inventario vial básico. Estos formatos, denominados SIB-01, SIB-02, SIB-03, SIB-04, SIB-05, SIB-06, SIB-07 y SIB-08, contienen de manera estructurada los diferentes datos recolectados en el campo; en ellos se describen características sobre: Carretera, Itinerario, Superficie de Rodadura, Calzada, Estado de Transitabilidad, Señalización y Puentes.

A. Formato SIB-01: Carretera

Figura 14

Formato SIB-01: Carretera

Código de ubigeo	Código Ruta	Punto Inicio	Progresiva (Km.)	Coordenadas - WGS 84		Punto Final	Progresiva (Km.)	Coordenadas - WGS 84		Fecha registro
				Latitud	Longitud			Latitud	Longitud	

Código de Ubicación Geográfica

01 Amazonas
02 Ancash
03 Apurímac
04 Arequipa
05 Ayacucho
06 Cajamarca
07 Callao
08 Cusco...

Código de Ruta

PE-1N
PE-1N A
PE-1N B
PE-1N C
PE-1N D
PE-1N E
PE-1N F
PE-1N G
PE-1N H...

Descripción de la Ubicación de Inicio

Nombre con la descripción de ubicación del inicio de la carretera.

Progresiva inicio

Progresiva del inicio del tramo

Coordenadas geográficas (WGS84)

Datos colectados del GPS

Descripción de la Ubicación de Final

Nombre con la descripción de ubicación del Final de la carretera.

Progresiva Final

Progresiva del Final del tramo

Coordenadas geográficas (WGS84)

Datos colectados del GPS

Fecha

Fecha del inventario

Fuente: MTC (2014)

B. Formato SIB-02: Itinerario

Figura 15

Formato SIB-02: Itinerario

cod_ubigeo	Ruta	Evento	Descripción	Ubicación (Km.)	lado	observación	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Altitud	Flag_nmb	Fecha

Código Ubigeo

01 12 23
└─ distrito
└─ provincia
└─ departamento

Código de Ruta

AM-100
AM-101
AM-102
AM-103
AM-104
AM-105
AM-106
AM-107...

Evento

Denominación del lugar

Descripción de la ubicación

Puntos Notables de la Trayectoria de la Ruta y comentario para facilitar la ubicación en futuros inventarios

Lado

Ubicación del evento en el sentido Unicamente Creciente de la progresiva

Comentario adicional

Coordenadas geográficas (WGS84)

Datos colectados del GPS

Puntos Notables del Clasificador de Ruta (Flag_nmb)

X Punto descrito en el Clasificador
Y Punto No descrito en el Clasificador.

Fecha

Fecha del inventario

Nota: (*) En la columna observación se considerará el Tipo de elemento relevado (punto fijo, centro poblado, etc.)

Fuente: MTC (2014)

C. Formato SIB-03: Superficie de rodadura

Figura 16

Formato SIB-03: Superfície de rodadura

[illegible]

Fuente: MTC (2014)

D. Formato SIB-04: Calzada

Figura 17

Formato SIB-04: Calzada

[illegible]

Fuente: MTC (2014)

Figura 18
Formato SIB-05: Estado de Transitabilidad

Formato SIB-05: Estado de Transitabilidad

F. Formato SIB-06: Bermas

Figura 19
Formato SIB-06: Bermas

Formato SIB-06: Bermas

Fuente: MTC (2014)

Fuente: MTC (2014)

Formato SIB-07: Señalización

Formato SIB-08: Puentes

Fuente: MTC (2014)

3.7.2. Instrumentos de ingeniería

Las herramientas de ingeniería utilizadas en la tesis comprenden tanto hardware y software para el procesamiento de datos como instrumentos y equipos para la recogida de datos.

3.7.2.1. Herramientas y equipos

Tabla 22

Herramientas y equipos

Instrumentos	Figura	Conteo vehicular	Encuesta de origen y destino	Condiciones de la vía
GPS Navegador		si	si	si
Laptop		si	si	si
Cámara Garmin Dash Cam 56		No	No	si
Cinta métrica		No	No	si
Camioneta 4x4		si	si	si

Instrumentos	Figura	Conteo vehicular	Encuesta de origen y destino	Condiciones de la vía
Celular		si	si	si

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.2. Software

Tabla 23

Software

Software	Figura	Conteo vehicular	Encuesta de origen y destino	Condiciones de la vía
Google Earth		SI	SI	SI
Google Maps		No	No	SI
AutoCAD		SI	SI	SI
Garmin Base Camp		No	No	SI
Timestamp Camera		SI	SI	SI
Microsoft Excel		SI	SI	SI

Software	Figura	Conteo vehicular	Encuesta de origen y destino	Condiciones de la vía
Microsoft Word		SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia

3.8. Procedimientos

3.8.1. Recopilación de elementos y características viales

3.8.1.1. Equipos utilizados

- Cinta métrica
- Laptop
- Camioneta
- GPS navegador
- Celular
- Cámara Garmin Dash Cam 56

3.8.1.2. Procedimiento

Las características y condiciones de la carretera se recopilaron utilizando una metodología basada en el Manual de Inventario Vial, el cual fue autorizado mediante Resolución Directoral No. 28-2013-MTC/14 en 2013. A continuación, se describen con mayor detalle los pasos seguidos para la obtención de estos datos.

Figura 22

Carretera CU-119, Tramo: CU-117 / CU-138



Fuente: Elaboración propia

Para ejecutar la recopilación de información de los elementos y condiciones de la vía se ha subdividido en las siguientes etapas:

A. Trabajo de pre-campo

La primera fase del proyecto consistió en recorrer la carretera CU-119, desde la vía CU-117 hasta la vía CU-138, con el objetivo de evaluar las características físicas de la vía. Durante este proceso, se realizaron análisis detallados de los aspectos físicos y estructurales de la carretera.

Al principio de la tarea, se llevó a cabo la gestión para asegurar la logística necesaria, incluyendo la adquisición de equipos como GPS, una cámara filmadora y una cinta métrica, además del alquiler de una camioneta 4x4 para la movilidad a fin de cumplir con la trayectoria y características de la zona.

Un aspecto adicional de suma importancia fue la meticulosa recolección de información acerca de la ruta en cuestión. Además, se llevó a cabo una exhaustiva revisión de toda la documentación técnica disponible, incluyendo:

- Manual de inventarios viales
- Instructivos cartográficos

- Formatos SIB, entre otros

B. Trabajo de campo

La labor de campo se centró en la minuciosa recopilación de información a lo largo de toda la ruta. Para ello, se llevó a cabo la filmación de la vía utilizando una cámara digital equipada con GPS, con el fin de obtener un registro visual detallado de la ruta. Simultáneamente, se realizó el seguimiento de la ruta mediante un dispositivo GPS, permitiendo el registro preciso de datos a lo largo de cada tramo. Al finalizar cada tramo, se procedió a la descarga y análisis de los datos obtenidos.

Se procedió a registrar cuidadosamente los puntos notables a lo largo de la ruta, como alcantarillas, puentes, badenes, señales, desvíos, accesos, centros poblados y puntos críticos, entre otros. Esto se llevó a cabo mediante la creación de waypoints en el dispositivo GPS, así como mediante mediciones en campo utilizando una cinta métrica. Además, se tomó una fotografía de cada elemento inventariado, asegurando un registro visual completo y preciso.

Se realizó el recorrido de la ruta en una camioneta 4x4, manteniendo una velocidad promedio de entre 20 y 30 km/h. Durante el trayecto, se registraron los datos de todos los elementos encontrados a lo largo del camino.

C. Trabajo de post-campo (gabinete)

Durante esta fase, se llevó a cabo la extracción de los datos registrados en el GPS con el fin de procesar la información. Esto incluyó la edición gráfica, la georreferenciación y la sistematización de los datos cartográficos y alfanuméricos recopilados en el campo. Estos datos se integraron en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar el Informe Final de la ruta asignada.

3.8.1.3. Toma de datos

A. Calibración y configuración de equipos

Figura 23

Vehículo 4x4 equipado con instrumentos de captación de información de campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Cámara Garmin Dash Cam 56, con georreferenciación



Fuente: Elaboración propia

B. Georreferenciación del punto inicial y final

Figura 25

Georreferenciación con GPS navegador de puntos notables del trayecto



Fuente: Elaboración propia

C. Medición de la longitud de la carretera y georreferenciación de puntos fijos de control y/o puntos notables

Figura 26

Medición de la sección vial – Punto de inicio



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Medición de la sección vial, CU-119



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Puente Tinoc (Vía CU-119 altura Río Apurímac) km 84+420



Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Fin de recorrido Vía Trocha CU-119, cruce con CU-138



Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Recopilación de Conteos vehiculares

3.8.2.1. Equipos utilizados

- Formatos de campo
- Tableros
- Lapiceros
- Chalecos
- Celular
- Camioneta 4x4

3.8.2.2. Procedimiento

Se utilizaron diferentes herramientas y recursos para la identificación de las estaciones de conteo en la Carretera CU-119, Tramo: CU-117 – CU-138. En primer lugar, se empleó el Diagrama Vial proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual permitió establecer la ubicación de las estaciones de conteo en la carretera. Además, se utilizó el software Google Earth para visualizar y ubicar las estaciones en el terreno de manera más precisa. Asimismo, se tuvieron en cuenta los mapas viales de fuentes oficiales para complementar la información. Durante el trabajo de campo, se realizó la ubicación y/o reubicación de las estaciones preestablecidas, considerando aspectos de seguridad del personal participante y facilidades para trabajar en determinadas horas, especialmente durante el horario nocturno.

Es importante destacar que estas herramientas y técnicas fueron seleccionadas cuidadosamente con el objetivo de garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos en la investigación.

A. Determinación de los tramos homogéneos

La división de la carretera en tramos homogéneos es un aspecto fundamental en la evaluación de su seguridad vial. En este sentido, se utilizaron criterios relacionados con las características naturales y sociales de las áreas atravesadas por la ruta, incluyendo el relieve morfológico, la presencia de amenazas naturales, la red hidrográfica, la cubierta vegetal, la fauna, la población, las infraestructuras,

el patrimonio, entre otros. Estos criterios permitieron asignar las diversas zonas o unidades naturales presentes en el área de influencia directa a los diferentes tramos homogéneos. Además, se realizó un recorrido de la ruta para identificar aquellos tramos en los que se producen paradas por intersección de vía, peajes, variación de carril, entre otros, lo que genera cambios en la velocidad de diseño.

Para la carretera objeto de estudio se determinaron dos tramos homogéneos que no solo coinciden con características orográficas similares, sino que también obedecen al comportamiento del tráfico y al tipo de vía. De esta manera, los tramos homogéneos se eligieron en función de sus características orográficas y su importancia en el comportamiento del tráfico. La identificación de los tramos homogéneos permite una evaluación más precisa de la seguridad vial de la carretera, ya que se pueden analizar las características específicas de cada tramo y se pueden proponer soluciones específicas para mejorar su seguridad.

En resumen, la selección de los tramos homogéneos se realizó mediante un análisis detallado de las características orográficas y el comportamiento del tráfico en la ruta. Esta selección permite obtener una muestra representativa de la población total de vehículos motorizados en el tramo de la Carretera CU-119, Tramo: CU-117 – CU-138. Los tramos homogéneos son una herramienta útil para el análisis de los datos obtenidos y para la posterior aplicación de las técnicas estadísticas correspondientes. Además, la división en tramos homogéneos permite una evaluación más precisa de los resultados, lo que puede ayudar a tomar decisiones adecuadas y a planificar mejoras en la seguridad vial en la zona de estudio.

En ese sentido, se eligieron los tramos homogéneos según sus características orográficas y su importancia en el comportamiento del tráfico:

- Tramo 01: Yaurisque – Ccoyobamba: Carretera afirmada sin pavimentar conformada por la vía departamental CU-119. Este tramo se conecta con al norte la vía departamental CU-117 y al sur con la vía departamental CU-120. Este tramo tiene una longitud de 43.2 km.
- Tramo 02: Ccoyobamba – Ccapacmarca: Carretera pavimentada en un 90%, tiene una longitud de 46.3 km recorre una longitud de 150 m, la ruta PE-3SF.

B. Ubicación de estaciones

Con el objetivo de realizar el conteo de tráfico para el propósito de esta investigación, se identificaron dos (02) estaciones después de realizar una verificación en el lugar. La programación de estas estaciones de control vehicular se llevó a cabo tomando en cuenta las actividades de mantenimiento necesarias, así como los tramos del Eje Vial en estudio que presentaban volúmenes y composiciones vehiculares más o menos homogéneas:

Tabla 24

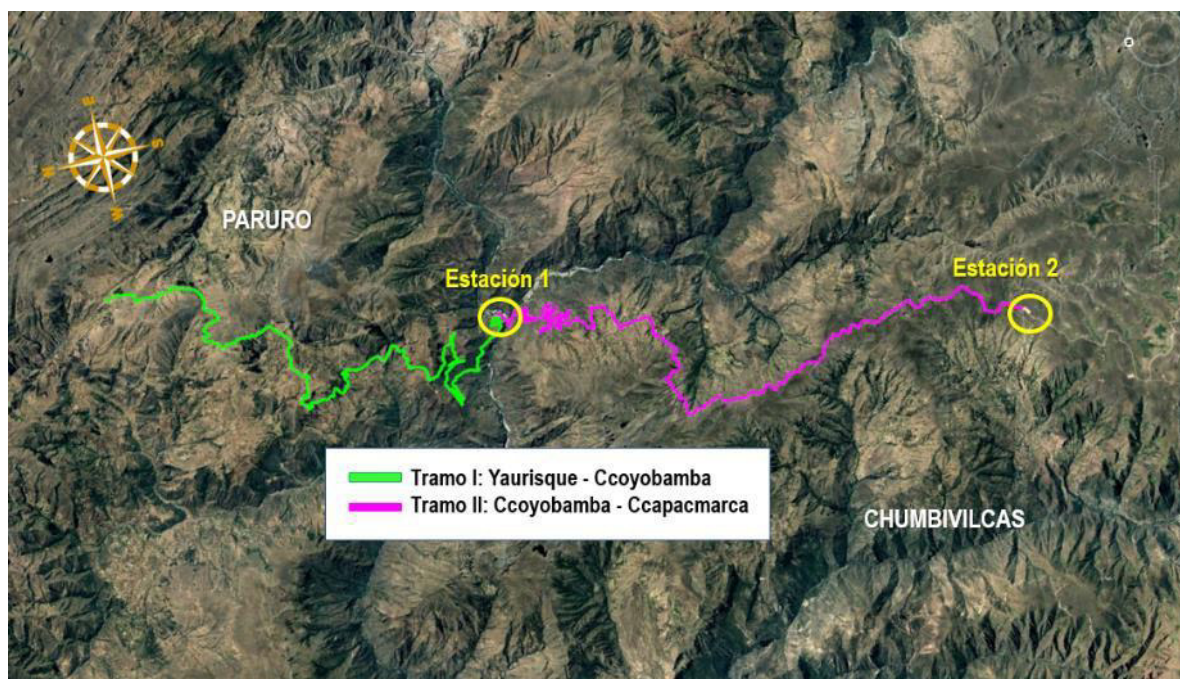
Tramo y estaciones de control

Código de la Estación	Estación de Conteo	Nombre del tramo	Coordenadas	
			Norte	Este
E1	Ccoyobamba	Yaurisque – Ccoyobamba	8469476.00	182430.00
E2	Ccapacmarca	Ccoyobamba - Ccapacmarca	8448264.93	178818.99

Fuente: Elaboración propia

Figura 30

Tramos homogéneos y estaciones de conteo de tráfico



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Conteo vehicular – Estación 1: Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Conteo vehicular – Estación 2: Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

C. Del procesamiento de la información

Esta tarea se realiza en el ámbito de trabajo de oficina, donde se procesa la información recopilada en campo de los conteos de tráfico utilizando formatos de Excel. Estos registros contienen datos detallados de todos los vehículos por hora y día, desglosados por sentido y tipo de vehículo. El

propósito de esta información obtenida de los conteos es comprender los volúmenes de tráfico que la carretera maneja, la composición de los vehículos, así como las variaciones diarias y horarias en el tráfico.

- Clasificación vehicular

De acuerdo a su tamaño y al número de líneas de rotación (ejes), los vehículos fueron categorizados para el conteo de acuerdo a la configuración vehicular definida en el Reglamento Nacional de Vehículos, tal como lo describe el Decreto Supremo N° 058-2003-MTC.

Tabla 25

Clasificación vehicular

Características	Descripción
Vehículos livianos	Automóvil, camioneta, camionetas rurales (combi), pick-up, panel y microbuses.
Buses	Buses de 2, 3 y 4 ejes (B2, B3 y B4).
C2	Camión de 2 ejes (2 ejes simples).
C3	Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble).
C4	Camión de 4 ejes (1 eje simple y 1 eje triple).
T2S1 (2S1)	Semitráiler (3 ejes simples).
T2S2 (2S2)	Semitráiler (3 ejes, 2 simples y 1 eje doble).
T2S3 (2S3)	Semitráiler (3 ejes, 2 simples y 1 eje triple).
T3S2 (3S2)	Semitráiler (3 ejes, 1 simple y 2 ejes dobles).
T3S3 (3S3)	Semitráiler (3 ejes, 1 simple, 1 eje doble y 1 eje triple).
C3R2 (3T2)	Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes simples).
C3R3 (3T3):	Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble).
C4R2 (4T2)	Tráiler (Camión C4 + carreta de 2 ejes simples).

Fuente: (MTC, 2003)

- Determinación del IMD anual

Se utilizó la siguiente fórmula para convertir el volumen de tráfico obtenido de las estaciones principales durante siete días en un índice Medio Diario Anual (IMD):

$$\text{IMDA} = \text{IMDs} * \text{F. C. E.}$$

$$\text{IMDs} = \left(\frac{\sum \text{VI} + \text{Vs} + \text{Vd}}{7} \right)$$

Dónde:

IMDA	= Índice Medio Diario Anual
IMDs	= Volumen clasificado promedio de la semana
VI	= Volumen de tráfico en días laborables
Vs	= Volumen de tráfico en día sábado
Vd	= Volumen de tráfico en día domingo
F.C.E.	= Factor de corrección estacional

- Factor de corrección estacional

Debido a elementos como las temporadas de cosecha, las precipitaciones, las estaciones del año, los días festivos, las vacaciones y el traslado de determinados artículos, los niveles de tráfico varían semanalmente. En consecuencia, es preciso utilizar un factor de corrección para establecer el índice medio diario anual (IMD). Este factor, que se utiliza igualmente para modificar los volúmenes en todos los tramos comparables, se ha calculado a partir de los datos de la estación de peaje de Ccasacancha, tanto para camiones ligeros como pesados.

Tabla 26

Factores de Corrección Estacional

Unidad de Peaje Asumida	Estaciones de Conteo	Factor de Corrección Estacional *	
		Vehículos Ligeros	Vehículos Pesados
Ccasacancha	E1 y E2	1.0565	0.9848

(*) Mes de junio, correspondiente a la toma de datos

Fuente: OPP-MTC 2010/2016 Factor de corrección de vehículos ligeros y pesados por la unidad de Peaje Ccasacancha - Cusco

3.8.2.3. Toma de datos

Los datos tomados se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 27

Resumen de Conteo de tráfico vehicular – Estación 1: Ccoyobamba

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
MARTES																				
14/06/2022																				
ENTRADA	149	41	162	27	99	18	0	0	113	50	5	0	0	0	0	0	0	0	0	662
SALIDA	194	32	221	32	68	59	0	0	122	63	5	0	0	0	23	0	0	0	0	815
AMBOS	342	72	383	59	167	77	0	0	234	113	9	0	0	0	23	0	0	0	0	1476
MIÉRCOLES																				
15/06/2022																				
ENTRADA	126	5	162	5	162	23	0	0	117	45	14	5	0	0	0	0	0	0	0	662
SALIDA	108	23	153	5	153	27	0	0	140	41	0	0	0	0	32	0	0	0	0	680
AMBOS	234	27	315	9	315	50	0	0	257	86	14	5	0	0	32	0	0	0	0	1341
JUEVES																				
16/06/2022																				

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
ENTRADA	149	9	122	0	153	14	5	0	68	36	5	0	0	0	5	0	0	0	0	563
SALIDA	207	32	194	5	135	23	0	0	126	81	14	5	5	0	9	0	0	0	0	833
AMBOS	356	41	315	5	288	36	5	0	194	117	18	5	5	0	14	0	0	0	0	1395
VIERNES																				
17/06/2022																				
ENTRADA	203	32	257	9	198	18	0	0	95	14	32	0	5	0	5	0	0	0	0	864
SALIDA	149	9	171	0	122	0	5	0	77	18	5	0	0	0	0	0	0	0	0	554
AMBOS	351	41	428	9	320	18	5	0	171	32	36	0	5	0	5	0	0	0	0	1418
SÁBADO																				
18/06/2022																				
ENTRADA	131	5	194	32	99	5	5	0	68	45	0	0	0	5	18	0	0	0	0	603
SALIDA	167	9	153	5	113	23	0	5	86	41	5	5	0	0	0	0	0	0	0	608
AMBOS	297	14	347	36	212	27	5	5	153	86	5	5	0	5	18	0	0	0	0	1211
DOMINGO																				
19/06/2022																				
ENTRADA	171	27	171	0	234	9	14	0	72	18	5	36	0	0	0	0	0	0	0	756
SALIDA	189	41	189	5	171	14	36	18	41	32	0	0	0	0	5	0	0	0	0	738
AMBOS	360	68	360	5	405	23	50	18	113	50	5	36	0	0	5	0	0	0	0	1494
LUNES																				

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
20/06/2022																				
ENTRADA	108	23	176	18	86	18	0	0	81	32	9	0	0	0	0	0	0	0	0	549
SALIDA	153	18	212	9	81	9	0	0	54	41	0	0	9	0	0	0	0	0	0	585
AMBOS	261	41	387	27	167	27	0	0	135	72	9	0	9	0	0	0	0	0	0	1134
IMD SEMANAL	314	43	362	21	267	37	9	3	179	79	14	7	3	1	14	0	0	0	0	1353
F.C.	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	
IMD ANUAL	332	46	382	22	283	39	9	3	177	78	13	7	3	1	13	0	0	0	0	1407

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Resumen de Conteo de tráfico vehicular – Estación 2: Ccapacmarca

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
MARTES																				
14/06/2022																				
ENTRADA	147	25	255	15	127	15	0	0	108	29	10	0	0	0	20	0	0	0	0	750

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
SALIDA	123	54	284	5	167	0	0	0	157	15	15	15	25	0	10	0	0	0	0	867
AMBOS	270	78	539	20	294	15	0	0	265	44	25	15	25	0	29	0	0	0	0	1617
MIÉRCOLES																				
15/06/2022																				
ENTRADA	132	5	211	29	108	0	0	0	103	34	10	0	0	0	0	0	0	0	0	632
SALIDA	132	0	221	20	123	0	29	0	93	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	666
AMBOS	265	5	431	49	230	0	29	0	196	59	10	0	0	0	25	0	0	0	0	1299
JUEVES																				
16/06/2022																				
ENTRADA	132	20	255	29	137	0	5	0	78	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	740
SALIDA	167	10	211	20	127	0	10	0	83	78	5	0	5	0	0	0	0	0	0	715
AMBOS	299	29	466	49	265	0	15	0	162	162	5	0	5	0	0	0	0	0	0	1455
VIERNES																				
17/06/2022																				
ENTRADA	137	15	456	34	157	5	0	0	98	44	5	0	5	0	5	0	0	0	0	960
SALIDA	108	10	216	10	113	0	5	0	59	34	5	0	0	0	5	0	0	0	0	564
AMBOS	245	25	671	44	270	5	5	0	157	78	10	0	5	0	10	0	0	0	0	1524
SÁBADO																				
18/06/2022																				

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS		CAMION 2 E		SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
ENTRADA	123	44	206	0	137	0	0	0	49	25	0	0	5	0	0	0	0	0	0	588
SALIDA	83	39	250	0	162	10	0	0	78	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	652
AMBOS	206	83	456	0	299	10	0	0	127	49	5	0	5	0	0	0	0	0	0	1240
DOMINGO																				
19/06/2022																				
ENTRADA	127	15	206	10	176	0	0	0	74	5	5	10	0	0	25	0	0	0	0	652
SALIDA	113	25	191	5	113	5	113	34	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	603
AMBOS	240	39	397	15	289	5	113	34	74	5	5	10	0	0	29	0	0	0	0	1254
LUNES																				
20/06/2022																				
ENTRADA	83	34	230	10	137	0	0	0	74	39	5	0	0	0	5	5	0	0	0	622
SALIDA	103	59	274	5	186	0	0	0	54	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	711
AMBOS	186	93	505	15	323	0	0	0	127	64	10	0	0	0	5	5	0	0	0	1333
IMD SEMANAL	244	50	495	27	281	5	23	5	158	66	10	4	6	0	14	1	0	0	0	1389
F.C.	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	1.0565	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	0.9848	
IMD ANUAL	258	53	523	29	297	5	23	5	156	65	10	3	6	0	14	1	0	0	0	1447

Fuente: Elaboración propia

3.9. Análisis de datos

3.9.1. Condiciones de la vía

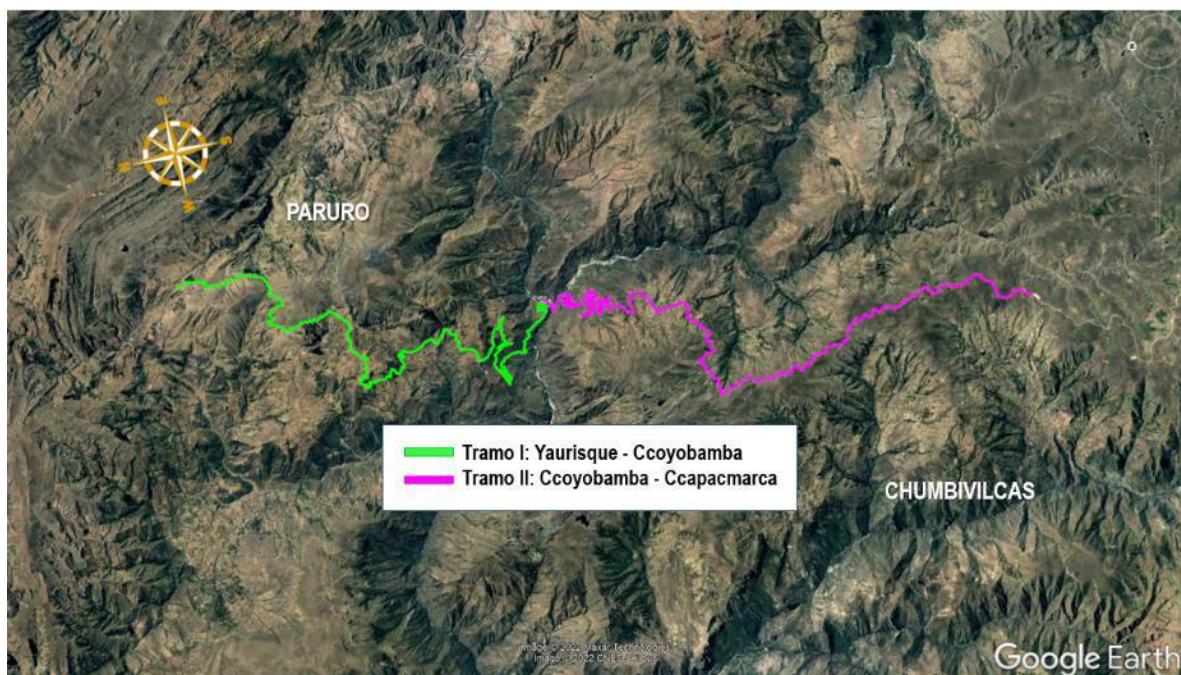
3.9.1.1. Procedimiento

Para este proceso se recorrió la carretera CU-119 un vehículo camioneta 4x4, dividida para efectos del análisis, en dos tramos homogéneos de acuerdo al numeral 3.8.2.2., conformados por:

- Tramo I: Yaurisque - Ccoyobamba
- Tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca

Figura 33

Trayectoria de la carretera CU-119, tramo Yaurisque – Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

La vía CU-119, hasta el cruce con la vía CU-138. Es una vía afirmada de dos carriles, uno por sentido y presenta 89.5 km de longitud; cuenta con señalización vertical en toda su extensión. Esta vía presenta un puente de losa con vigas en buen estado.

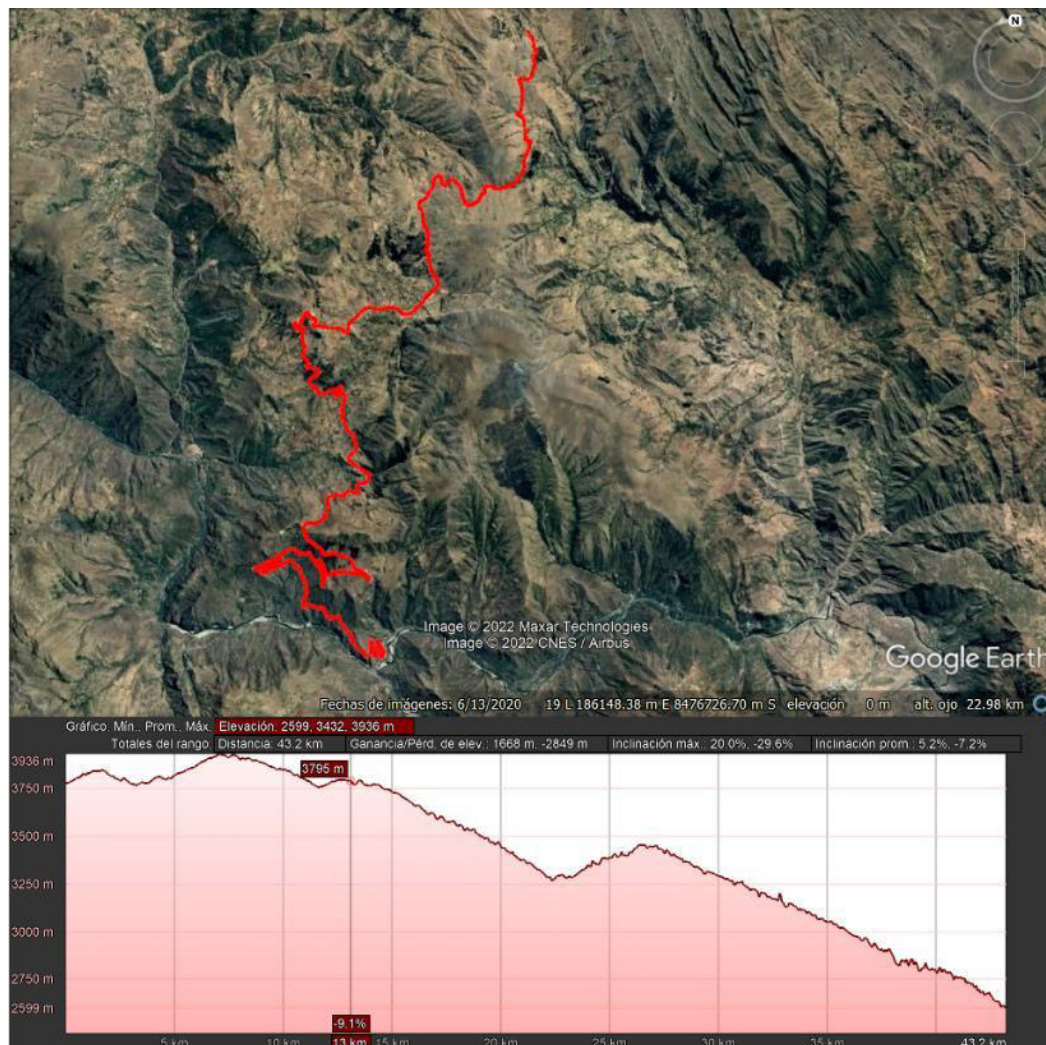
Actualmente se está trabajando en los ámbitos de mantenimiento rutinario en la vía para corregir los rasgos identificados. La carretera en cuestión presenta dos tipos de superficie de rodadura a nivel de afirmado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

A. Perfil de elevación del tramo I: Yaurisque -Ccoyobamba

Este tramo inicia en el cruce con la vía CU-117 y culmina en CU-120. Asimismo, tiene una extensión de 43.2 km de longitud. De acuerdo, al Google Earth presenta una elevación máxima de 3,936 m y una pendiente promedio de 5.2%.

Figura 34

Perfil de elevación del tramo I: Yaurisque -Ccoyobamba



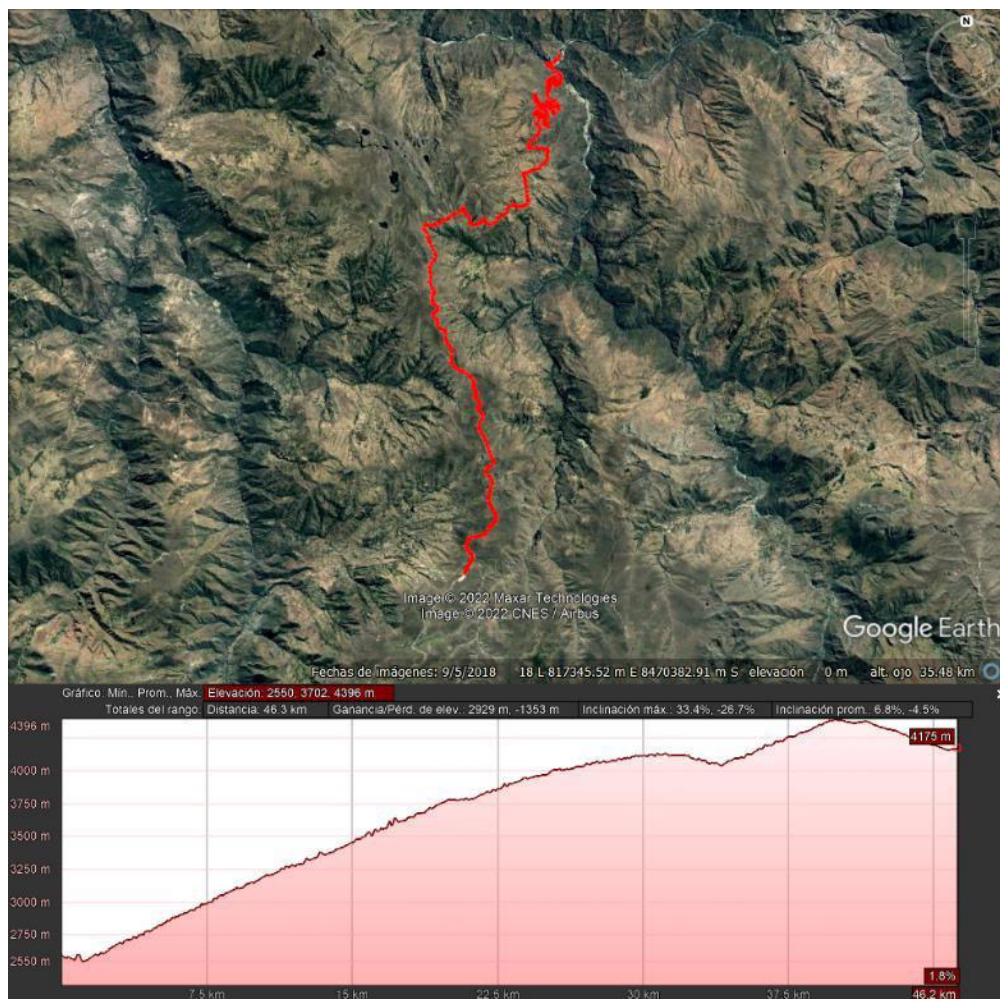
Fuente: Elaboración propia

B. Perfil de elevación del tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca

Este tramo inicia en el cruce con la vía CU-120 y culmina en CU-138. Asimismo, tiene una extensión de 46.3 km de longitud. De acuerdo, al Google Earth presenta una elevación máxima de 4396 m y una pendiente promedio de 6.8%.

Figura 35

Perfil de elevación del tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

3.9.1.2. Diagrama

A continuación, se muestran los formatos SIB de los tramos:

Tabla 29

Carretera: SIB-01

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Itinerario: SIB-02

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31*Superficie de rodadura: SIB-03*

Superficie de rodadura (SIB-03)							
Ruta	Tramo	Tramo		Coord. Inicio - WGS 84		Tipo Superficie	Fecha
		Inicio (km)	Fin (km)	Latitud	Longitud		
CU-119	CU-119 - CU-138	0+000	90+371	185866.83	8485020.21	Afirmada	16/09/2021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Calzada: SIB-04*

Calzada (SIB-04)								
Ruta	Tramo	Tramo		Coord. Inicio - WGS 84		Numero de Carriles	Ancho de Calzada	Fecha
		Inicio (km)	Fin (km)	Latitud	Longitud			
CU-119	CU-119 - CU-138	0+000	90+371	185866.83	8485020.21	2	6.10-6.80	16/09/2021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33
Conservación: SIB-05

Conservación (SIB-05)								
Ruta	Tramo	Coord. Inicio - WGS 84		Tramo		Estado de Conservacion	Identificacion de Calzada	Fecha
		Latitud	Longitud	Inicio (km)	Fin (km)			
CU-119	CU-119 - CU-138	185866.83	8485020.21	0+000	90+371	Regular	Afirmada	16/09/2021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34
Señalización: SIB-07

Señalización (SIB-07)											
Cod. Ubigeo	Ruta	Señal	Clasificación	Ubicación (km.)	Lado	Soporte	material	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Altitud	Fecha
81007	CU-119	P-3B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185854	848481	3828.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	186034	8484515	3859.60	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185706	8483803	3896.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185682	8483010	3832.40	16/06/2022
81007	CU-119	P-56	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185774	8482763	3827.90	16/06/2022
81007	CU-119	P-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185785	8482571	3821.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185898	9482243	3829.30	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185755	8481470	3851.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	185190	8481035	3872.10	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	184819	8481074	3902.50	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	184794	8481003	3910.10	16/06/2022
81007	CU-119	P-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	184472	8480625	3943.80	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	184231	8480888	3966.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-1B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183965	8481255	3974.60	16/06/2022
81007	CU-119	P-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183710	8481150	3975.60	16/06/2022
81007	CU-119	P-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183716	8481275	3966.90	16/06/2022
81007	CU-119	P-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183574	8481293	3948.90	16/06/2022
81007	CU-119	P-1B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183440	8480986	3948.50	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183398	8479406	3874.40	16/06/2022
81007	CU-119	P-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183651	8478689	3818.10	16/06/2022
81007	CU-119	P-4B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	183315	8478264	3822.90	16/06/2022
81007	CU-119	P-1A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	181384	8477496	3811.30	16/06/2022
81007	CU-119	P-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180649	8477556	3766.30	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180566	8477548	3748.80	16/06/2022
81007	CU-119	P-1B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180572	8477650	3736.10	16/06/2022
81007	CU-119	Localización "Paccarectambo"	Señal Informativa		derecho	Portico	Concreto	180595	8477724	3730.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-4A	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180311	8477852	3703.60	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-2B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180076	8477591	3668.20	16/06/2022
81007	CU-119	Localización "Paccarectambo"	Señal Informativa		derecho	Portico	Acero	180278	8477447	3630.40	16/06/2022
81007	CU-119	P-1B	Señal Preventiva		derecho	Poste	Acero	180380	8476569	3592.70	16/06/2022
81007	CU-119	No Adelantar	Señal Reguladora		derecho	Poste	Acero	179675	8471662	3079.40	16/06/2022
81007	CU-119	No Adelantar	Señal Reguladora		derecho	Poste	Acero	179434	8471471	3064.30	16/06/2022
81007	CU-119	P-56	Señal Preventiva		derecho	Poste	Concreto	180259	8471463	2960.00	16/06/2022
81007	CU-119	P-5-1	Señal Preventiva		derecho	Poste	Concreto	180301	8471292	2954.10	16/06/2022

Fuente: Elaboración propia

Puentes: SIB-08

Fuente: Elaboración propia

- Respecto al tramo I: Yaurisque -Ccoyobamba se obtuvo la siguiente información:

Tipo de terreno: Ondulado

- Cantidad de carriles: 2

Carriles por sentido: 1

Longitud: 46.3 km

Elevación máxima: 4,396 m

Pendiente promedio: 6.8 %

Ancho de carril: 3,60 m

Ancho de berma: 1.67 m

Tipo de terreno: Ondulado

3.9.2. Conteo vehicular

3.9.2.1. Procesamiento

Para evaluar los niveles de servicio, es esencial comprender las fluctuaciones periódicas de los volúmenes de tráfico durante las horas punta, el caudal crítico y cómo varían los volúmenes en función de la distribución de los carriles, el sentido y la composición de los vehículos. Empezamos creando una tabla resumen que recoge los volúmenes de vehículos observados a lo largo de la fase de recopilación de datos para obtener una evaluación precisa de estos elementos.

A. Tramo 1: Yaurisque - Ccoyobamba

Se realizaron conteos vehiculares en la estación N°1 (E1) de Ccoyobamba durante el transcurso de siete días, desde el martes 14 de junio hasta el lunes 20 de junio de 2022. A partir del conteo vehicular se recopiló información sobre el volumen vehicular, la categorización diaria por sentido (entrada y salida) y la consolidación de ambos sentidos.

La siguiente tabla muestra el número medio de vehículos cada día de la semana durante el recuento para el tráfico semanal en ambas direcciones.

Tabla 36*Tráfico vehicular Promedio Diario Semanal-Tramo 1: Yaurisque - Ccoyobamba*

TIPO DE VEHICULOS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL SEMANAL	IMDs ΣVI/7
AUTOS	261	342	234	356	351	297	360	2200.5	314
STATION WAGON	41	72	27	41	41	14	68	301.5	43
PICK UP (CAMIONETA)	387	383	315	315	428	347	360	2533.5	362
PANEL (CAMIONETA)	27	59	9	5	9	36	5	148.5	21
RURAL (CAMIONETA)	167	167	315	288	320	212	405	1872	267
MICRO	27	77	50	36	18	27	23	256.5	37
2 E (BUS)	0	0	0	5	5	5	50	63	9
>=3 E (BUS)	0	0	0	0	0	5	18	22.5	3
2 E (CAMION)	135	234	257	194	171	153	113	1255.5	179
3 E (CAMION)	72	113	86	117	32	86	50	553.5	79
4 E (CAMION)	9	9	14	18	36	5	5	94.5	14
2S1/2S2 (SEMITRAILER)	0	0	5	5	0	5	36	49.5	7
2S3 (SEMITRAILER)	9	0	0	5	5	0	0	18	3
3S1/3S2 (SEMITRAILER)	0	0	0	0	0	5	0	4.5	1
>= 3S3 (SEMITRAILER)	0	23	32	14	5	18	5	94.5	14
2T2 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2T3 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3T2 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>=3T3 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total IMD	1134	1476	1341	1395	1418	1211	1494	9468	1353

Fuente: Elaboración propia

Estas tablas resumen se presentan a continuación:

Tabla 37

Flujo vehicular observado-estación E1 sentido hacia Yaurisque

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	23	14	14	0	0	0	5
5	36	54	72	36	36	50	36
6	36	54	54	63	14	18	41
7	36	27	50	45	32	41	27
8	77	27	36	23	18	63	50
9	41	27	54	68	36	50	63
10	41	36	27	18	23	68	27
11	27	32	41	50	41	59	27
12	95	45	36	14	36	50	54
13	59	23	50	32	27	36	27
14	59	18	36	50	72	68	27
15	59	59	36	63	45	108	59
16	54	36	59	63	59	59	50
17	63	54	36	68	54	95	45
18	32	18	41	54	54	81	32
19	9	14	18	0	0	14	9
20	5	9	0	5	5	5	18
21	5	5	5	5	9	0	5
22	5	0	0	9	5	5	5
23	0	0	0	0	0	0	0
Total	756	549	662	662	563	864	603

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38*Flujo vehicular observado-estación E1 sentido hacia Ccoyobamba*

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	14	14	0	0	0	0	14
5	54	41	32	23	27	36	9
6	27	59	36	32	41	27	36
7	50	36	54	86	41	23	50
8	41	36	41	50	54	59	27
9	41	59	77	90	104	68	50
10	50	50	36	36	59	45	18
11	23	32	27	59	81	45	27
12	72	36	50	54	50	36	50
13	45	45	68	23	63	50	41
14	59	54	68	50	72	59	50
15	72	41	95	32	50	41	50
16	81	18	59	50	36	27	54
17	54	41	59	41	77	9	50
18	32	5	77	45	59	14	63
19	9	9	23	5	14	5	5
20	0	0	9	0	5	5	5
21	9	0	5	5	0	5	5
22	9	5	5	0	0	5	0
23	0	9	0	5	5	0	9
Total	738	585	815	680	833	554	608

Fuente: Elaboración propia

- IMDA del Tramo 1

Multiplicando el tráfico medio semanal por el factor de ajuste indicado anteriormente, se determina el Índice de Tráfico Medio Diario Anual (IMDA). El IMDA anual en esta estación de control es de 1407 vehículos, de los cuales 1116, es decir, el 79,3%, son vehículos ligeros que incluyen automóviles, camionetas, furgonetas rurales, autobuses y ómnibus. En cambio, se registraron 291 vehículos pesados, entre camiones y vehículos articulados, lo que representa el 20,7% del total.

Tabla 39

Índice Medio Diario Anual (IMDA) – Tramo 1: Yaurisque - Ccoyobamba

TIPO DE VEHICULOS	IMDs	F.C.E.	IMDA	DISTRIBUCIÓN %
AUTOS	314	1.05649745	332	23.61%
STATION WAGON	43	1.05649745	46	3.23%
PICK UP (CAMIONETA)	362	1.05649745	382	27.18%
PANEL (CAMIONETA)	21	1.05649745	22	1.59%
RURAL (CAMIONETA)	267	1.05649745	283	20.08%
MICRO	37	1.05649745	39	2.75%
2 E (BUS)	9	0.98479618	9	0.63%
>=3 E (BUS)	3	0.98479618	3	0.22%
2 E (CAMION)	179	0.98479618	177	12.55%
3 E (CAMION)	79	0.98479618	78	5.53%
4 E (CAMION)	14	0.98479618	13	0.94%
2S1/2S2 (SEMITRAILER)	7	0.98479618	7	0.49%
2S3 (SEMITRAILER)	3	0.98479618	3	0.18%
3S1/3S2 (SEMITRAILER)	1	0.98479618	1	0.04%
>= 3S3 (SEMITRAILER)	14	0.98479618	13	0.94%
2T2 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
2T3 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%

TIPO DE VEHICULOS	IMDs	F.C.E.	IMDA	DISTRIBUCIÓN %
3T2 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
>=3T3 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
TOTAL	1353		1407	100.00%

Fuente: Elaboración propia

B. Tramo 2: Ccoyobamba – Ccapacmarca

En la estación N°2 (E2) ubicada en Ccapacmarca, se llevó a cabo el conteo vehicular durante 7 días consecutivos, desde el martes 14 hasta el lunes 20 de junio de 2022. Se registraron datos detallados del volumen de vehículos, clasificación diaria según el sentido de entrada y salida, así como la consolidación de ambos sentidos. En la siguiente tabla se muestra el tráfico semanal en ambos sentidos, presentando el promedio diario de vehículos sin aplicar el factor de corrección.

Tabla 40

Tráfico vehicular Promedio Diario Semanal-Tramo 2: Ccoyobamba – Ccapacmarca

TIPO DE VEHICULOS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL SEMANAL	IMDs ΣVI/7
AUTOS	186	270	265	299	245	206	240	1710	244
STATION WAGON	93	78	5	29	25	83	39	353	50
PICK UP (CAMIONETA)	505	539	431	466	671	456	397	3464	495
PANEL (CAMIONETA)	15	20	49	49	44	0	15	191	27
RURAL (CAMIONETA)	323	294	230	265	270	299	289	1970	281
MICRO	0	15	0	0	5	10	5	34	5
2 E (BUS)	0	0	29	15	5	0	113	162	23
>=3 E (BUS)	0	0	0	0	0	0	34	34	5
2 E (CAMION)	127	265	196	162	157	127	74	1107	158
3 E (CAMION)	64	44	59	162	78	49	5	461	66

TIPO DE VEHICULOS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL SEMANAL	IMDs $\Sigma VI/7$
4 E (CAMION)	10	25	10	5	10	5	5	69	10
2S1/2S2 (SEMITRAILER)	0	15	0	0	0	0	10	25	4
2S3 (SEMITRAILER)	0	25	0	5	5	5	0	39	6
3S1/3S2 (SEMITRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 3S3 (SEMITRAILER)	5	29	25	0	10	0	29	98	14
2T2 (TRAILER)	5	0	0	0	0	0	0	5	1
2T3 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3T2 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>=3T3 (TRAILER)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total IMD	1333	1617	1299	1455	1524	1240	1254	9722	1389

Fuente: Elaboración propia

- **IMDA del Tramo 2**

Al tráfico medio semanal se le suma el factor de ajuste antes mencionado para obtener el Índice de Tráfico Medio Diario Anual ("IMD"). En la estación de control actual, el IDA anual es de 1447 vehículos, de los cuales 1193, o el 82,5% del total, son vehículos ligeros como automóviles, camionetas, furgonetas rurales, autobuses y ómnibus. Los 254 vehículos restantes, o el 17,5% del total, son vehículos grandes como camiones y vehículos articulados.

Tabla 41

Índice Medio Diario Anual (IMDA) – Tramo 2: Ccoyobamba - Ccapacmarca

TIPO DE VEHICULOS	IMDs	F.C.E.	IMDA	DISTRIBUCIÓN %
AUTOS	244	1.05649745	258	17.84%
STATION WAGON	50	1.05649745	53	3.68%

TIPO DE VEHICULOS	IMDs	F.C.E.	IMDA	DISTRIBUCIÓN %
PICK UP (CAMIONETA)	495	1.05649745	523	36.14%
PANEL (CAMIONETA)	27	1.05649745	29	1.99%
RURAL (CAMIONETA)	281	1.05649745	297	20.55%
MICRO	5	1.05649745	5	0.36%
2 E (BUS)	23	0.98479618	23	1.57%
>=3 E (BUS)	5	0.98479618	5	0.33%
2 E (CAMION)	158	0.98479618	156	10.77%
3 E (CAMION)	66	0.98479618	65	4.48%
4 E (CAMION)	10	0.98479618	10	0.67%
2S1/2S2 (SEMITRAILER)	4	0.98479618	3	0.24%
2S3 (SEMITRAILER)	6	0.98479618	6	0.38%
3S1/3S2 (SEMITRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
>= 3S3 (SEMITRAILER)	14	0.98479618	14	0.95%
2T2 (TRAILER)	1	0.98479618	1	0.05%
2T3 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
3T2 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
>=3T3 (TRAILER)	0	0.98479618	0	0.00%
TOTAL	1389		1447	100.00%

Elaboración propia

Tabla 42

Flujo vehicular observado-Estación E2 sentido hacia Ccoyobamba

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	10	44	25	10	5	15	5
5	20	44	54	39	59	69	34

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6	29	34	39	44	69	39	39
7	54	25	34	39	54	69	44
8	15	54	59	29	49	44	44
9	29	44	29	29	34	54	34
10	29	29	44	34	74	93	49
11	54	20	59	29	39	78	20
12	59	34	25	34	20	25	34
13	49	44	49	25	49	44	25
14	59	29	59	39	34	93	34
15	59	49	78	49	54	103	64
16	69	49	74	59	78	64	69
17	34	44	44	88	64	93	29
18	49	44	29	44	25	29	44
19	5	15	10	20	15	20	5
20	20	5	15	10	10	10	5
21	0	5	15	5	5	10	5
22	5	5	10	5	5	5	5
23	5	5	0	0	0	5	0
Total	652	622	750	632	740	960	588

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43

Flujo vehicular observado-estación E2 sentido hacia Ccapacmarca

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	15	20	0	10	5	0	0
5	29	44	39	29	39	10	15

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6	29	54	54	34	44	29	39
7	49	44	44	54	39	20	44
8	34	54	78	49	39	34	54
9	29	39	44	54	49	54	44
10	59	54	59	78	103	29	39
11	29	39	64	54	39	20	39
12	34	15	29	44	20	25	44
13	29	34	44	39	69	54	69
14	39	54	74	20	44	44	49
15	29	78	83	64	59	54	64
16	69	44	93	49	49	54	69
17	49	59	64	25	49	49	25
18	25	29	64	29	39	59	39
19	10	20	5	20	0	15	5
20	15	10	10	0	15	10	5
21	25	10	10	10	5	0	0
22	5	10	10	5	10	5	5
23	0	0	0	0	0	0	5
Total	603	711	867	666	715	564	652

Fuente: Elaboración propia

A partir de este resumen, se puede identificar de manera rápida el período de análisis con el mayor volumen, como se presenta a continuación:

Tabla 44

Resumen Volumen vehicular de máxima demanda por estación

Día	Sentido	Hora	Volumen	Estación
Viernes	Hacia Yaurisque	15:00	108	E1
Jueves	Hacia Ccoyobamba	09:00	104	E1
Viernes	Hacia Ccoyobamba	15:00	103	E2

Día	Sentido	Hora	Volumen	Estación
Jueves	Hacia Ccapacmarca	10:00	103	E2

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se obtienen los volúmenes de tráfico vehicular en las horas de mayor demanda, que serán utilizados en la metodología del HCM 2010.

C. Tránsito futuro

Era importante conocer los volúmenes máximos por hora en cada estación, desglosados en camiones ligeros y pesados, para estimar el tráfico futuro. Como se ilustra en la tabla adjunta, la primera etapa consistió en multiplicar los volúmenes máximos por hora por la proporción de cada tipo de vehículo que participaba:

Tabla 45

Volumen de vehículos ligeros y pesados en la estación E1

Sentido	VHMD	Vehículo ligero		Vehículo pesado	
		Porcentaje	veh/h	Porcentaje	veh/h
Hacia Yaurisque	108	87%	94	13%	14
Hacia Ccoyobamba	104	70%	72	30%	32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46

Volumen de vehículos ligeros y pesados en la estación E2

Sentido	VHMD	Vehículo ligero		Vehículo pesado	
		Porcentaje	veh/h	Porcentaje	veh/h
Hacia Ccoyobamba	103	90%	93	10%	10
Hacia Ccapacmarca	103	76%	78	24%	25

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido los volúmenes, se estimó el tránsito futuro mediante la siguiente Ecuación:

$$Tn = To * (1 + Ri)^n$$

Se separaron dos componentes de la proyección en función del marco teórico. En primer lugar, la predicción para los vehículos ligeros se realizó utilizando la tasa de crecimiento anual de la población prevista para la ciudad de Cusco, que es del 0,003%. Se estableció un horizonte de proyección de 20 años, hasta el año 2045, tomando como año base el 2025, que es cuando se implementó la carretera.

En consecuencia, la fórmula para los vehículos ligeros es la siguiente:

$$Tn = Po * (1 + 0.003)^4$$

$$Tn = Po * (1 + 0.003)^{20}$$

Tomando como ejemplo la estación E1 en el sentido hacia Cusco, el tráfico inicial se establece en $Po=389$

$$Tn = 94 * (1 + 0.003)^4 = 95 \text{ veh l/h} \quad (2025)$$

$$Tn = 94 * (1 + 0.003)^{20} = 101 \text{ veh l/h} \quad (2045)$$

La segunda proyección para los vehículos pesados tiene en cuenta la tasa de crecimiento de la economía local de la ciudad de Cusco, que es del 4,43%. A continuación, se describe la ecuación correspondiente para los camiones grandes.

$$Tn = Po * (1 + 0.0443)^4 \quad (2025)$$

$$Tn = Po * (1 + 0.0443)^{20} \quad (2046)$$

Tomando como referencia la estación E1 en el sentido hacia Cusco, el tránsito inicial se establece en $Po=93$ para los vehículos pesados.

$$Tn = 93 * (1 + 0.0443)^4 = 94 \text{ veh l/h} \quad (2025)$$

$$Tn = 93 * (1 + 0.0443)^{20} = 100 \text{ veh l/h} \quad (2045)$$

De esta forma, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 47*Transito futuro Estación 1*

Sentido	VHMD	Vehículo ligero			Vehículo pesado			Total	
		2022	2025	2045	2022	2025	2045	2025	2045
Hacia Yaurisque	108	94	95	101	14	16	37	111	137
Hacia Ccoyobamba	104	72	73	77	32	37	85	110	163

Fuente: Elaboración propia

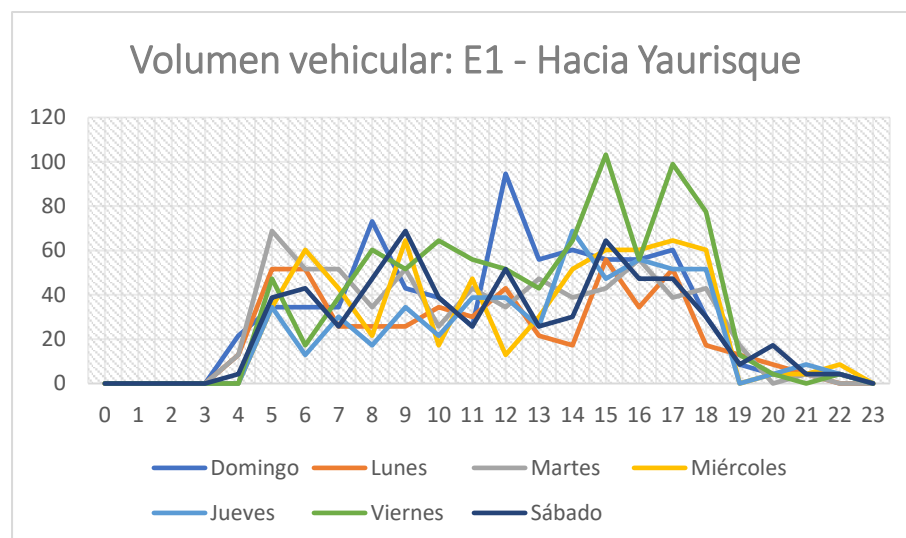
Tabla 48*Transito futuro Estación 2*

Sentido	VHMD	Vehículo ligero			Vehículo pesado			Total	
		2022	2025	2045	2022	2025	2045	2025	2045
Hacia Ccoyobamba	103	93	94	100	10	12	27	106	126
Hacia Ccapacmarca	103	78	79	84	25	29	66	108	150

Fuente: Elaboración propia

3.9.2.2. Diagrama

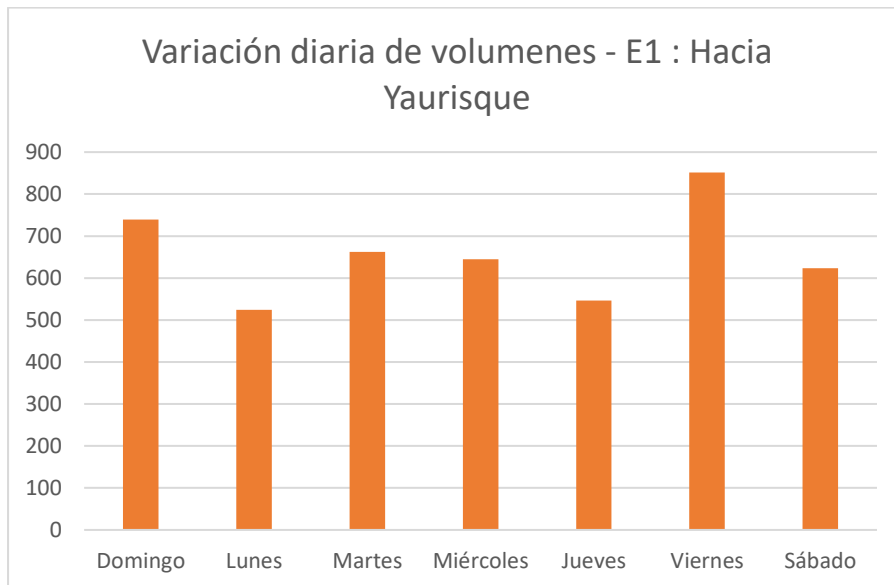
Se observan las variaciones diarias y los volúmenes horarios diarios.

Figura 36*Variación horaria del volumen, Estación E1- sentido Hacia Yaurisque*

Fuente: Elaboración propia

Figura 37

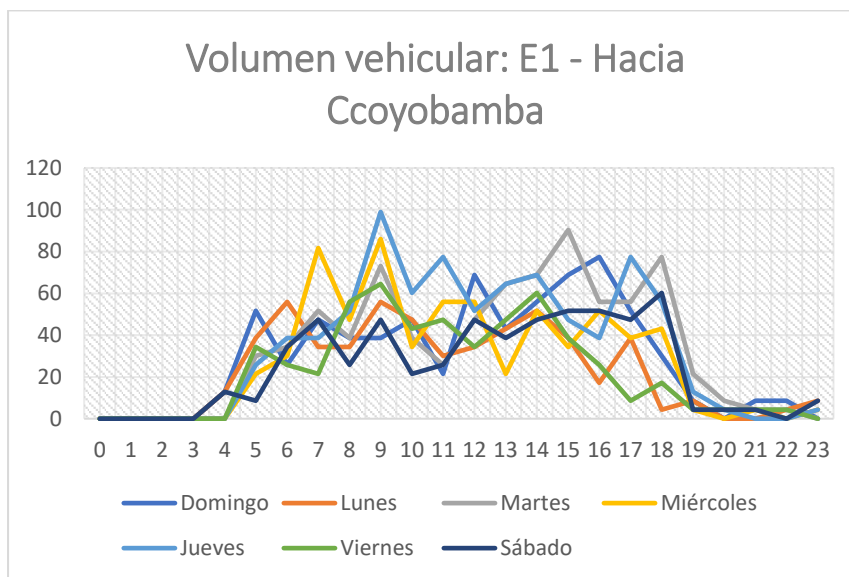
Variación diaria del volumen Estación E1-sentido Hacia Yaurisque



Fuente: Elaboración propia

Figura 38

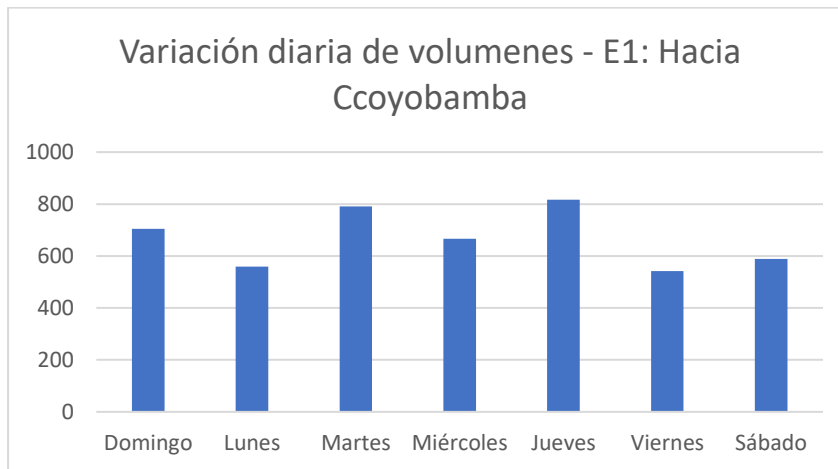
Variación horaria del volumen, Estación E1- sentido Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 39

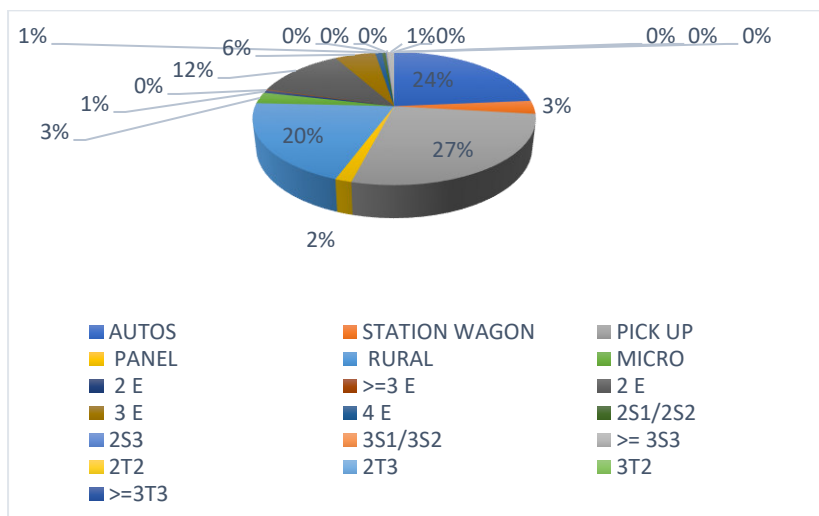
Variación diaria del volumen Estación E1-sentido Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

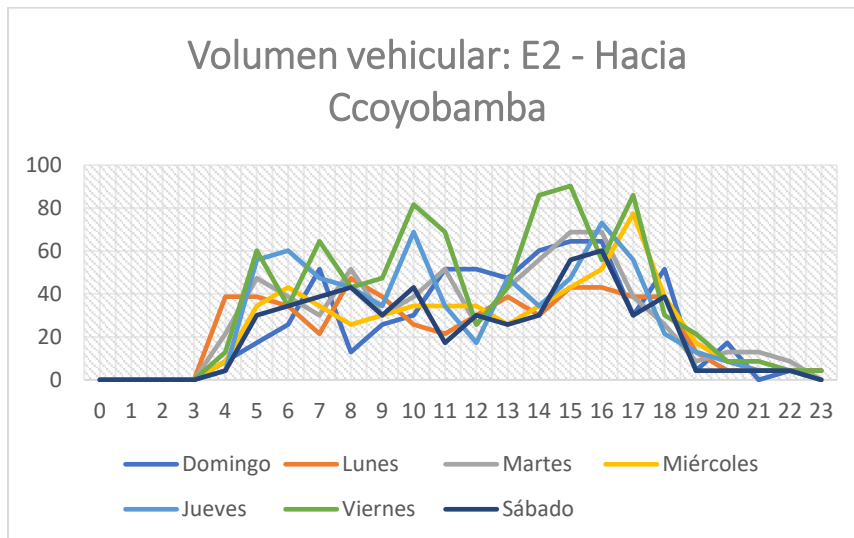
Composición del Tráfico – Estación 1: Yaurisque - Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 41

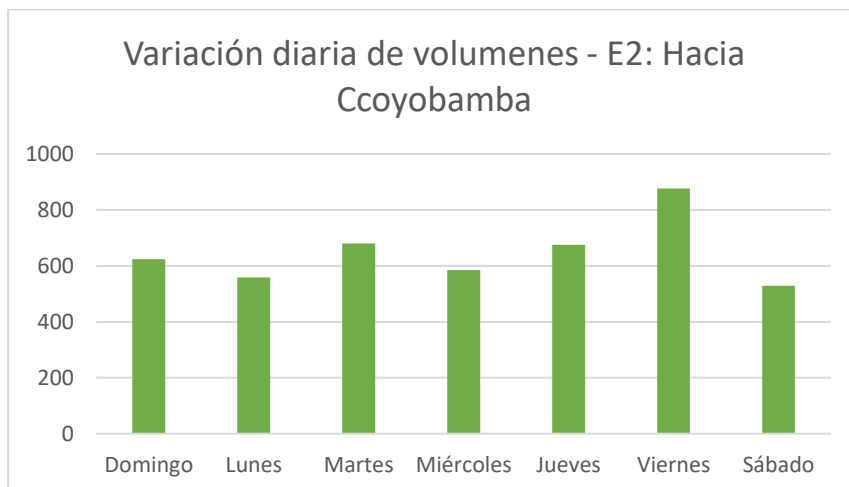
Variación horaria del volumen, Estación E2- sentido Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 42

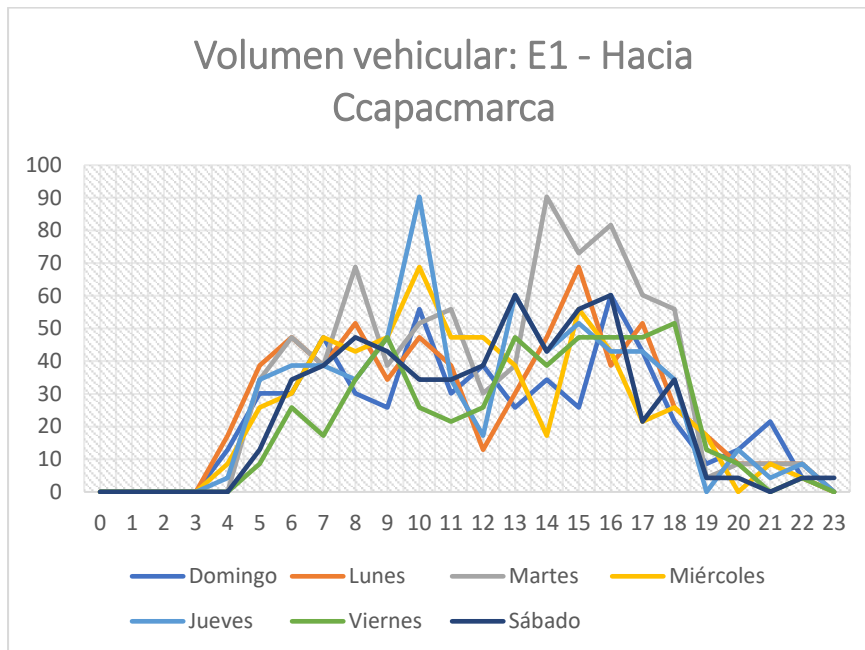
Variación diaria del volumen Estación E2-sentido Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 43

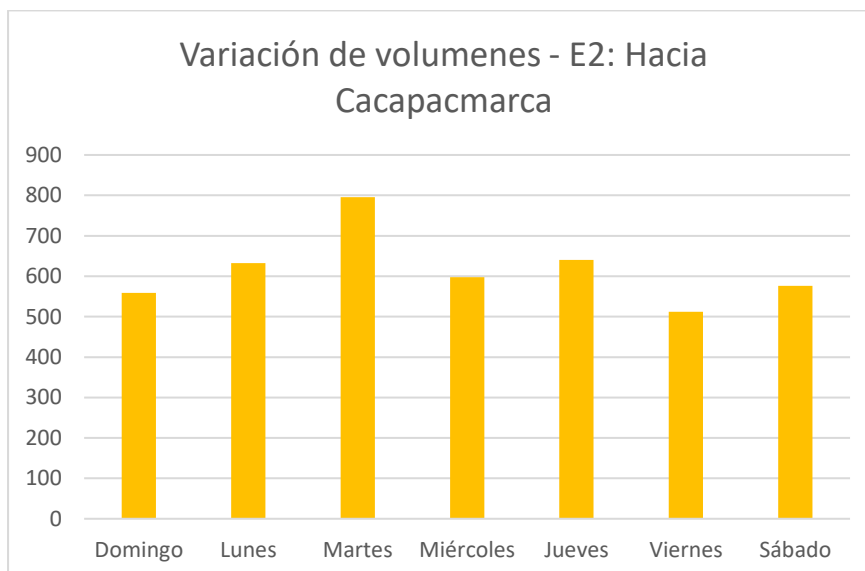
Variación horaria del volumen, Estación E2- sentido Hacia Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

Figura 44

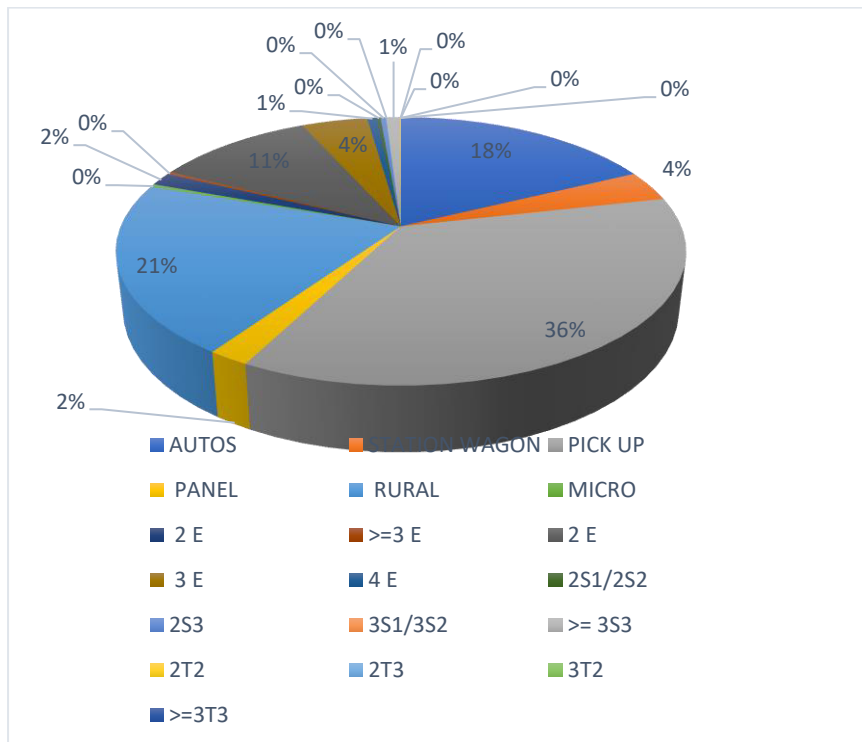
Variación diaria del volumen Estación E2-sentido Hacia Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

Figura 45

Composición del Tráfico – Estación 2: Ccoyobamba - Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

3.9.2.3. Análisis de la prueba

Los datos conseguidos permiten confirmar que los volúmenes de tráfico presentan un comportamiento dinámico, caracterizado por variaciones generalmente rítmicas y repetitivas. Estas variaciones se consideran representativas y válidas, lo que valida la fiabilidad de los resultados provisto por el análisis.

Los datos obtenidos en la estación E1 fueron:

IMDa: 1407

Hacia Yaurisque: 108 Veh/h (Periodo de máxima demanda)

Hacia Ccoyobamba: 104 veh/h (Periodo de máxima demanda)

División direccional: 51/49

Los datos obtenidos en la estación E2 fueron:

IMDa: 1447

Hacia Ccoyobamba: 103 veh/h (Periodo de máxima demanda)

Hacia Ccapacmarca: 103 veh/h (Periodo de máxima demanda)

División direccional: 50/50

3.9.3. Composición vehicular

3.9.3.1. Procesamiento

Se utilizaron vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos de recreo para clasificar la composición de los vehículos. El primer paso consistió en elaborar una tabla resumen de la composición de los vehículos ligeros a lo largo del periodo crucial de estudio:

Tabla 49

Composición de vehículos ligeros

Estación	Día	Sentido	Hora	Vehículo ligero						Sub total
				Auto	Station Wagon	Pick-Up	Panel	Combi	Micro	
E1	Viernes	Hacia Yaurisque	15:00	45	5	14	0	27	5	95
	Jueves	Hacia Ccoyobamba	09:00	9	18	18	0	27	0	72
E2	Viernes	Hacia Ccoyobamba	15:00	20	5	59	0	10	0	93
	Jueves	Hacia Ccapacmarca	10:00	25	0	29	5	20	0	78

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la composición de los vehículos pesados a lo largo del periodo crítico de estudio:

Tabla 50*Composición de vehículos pesados*

Estación	Día	Sentido	Hora	Vehículo pesado				Sub total
				Omnibus	Camión	Semitrailer	Trailer	
E1	Viernes	Hacia Yaurisque	15:00	0	14	0	0	14
	Jueves	Hacia Ccoyobamba	09:00	0	27	5	0	32
E2	Viernes	Hacia Ccoyobamba	15:00	0	10	0	0	10
	Jueves	Hacia Ccapacmarca	10:00	0	25	0	0	25

Fuente: Elaboración propia

La composición vehicular fue determinada con la siguiente ecuación:

$$\%Vehículos\ ligeros = \frac{\sum Vehículos\ ligeros}{\sum Vehículos\ ligeros + \sum Vehículos\ pesados}$$

$$\%Vehículos\ pesados = \frac{\sum Vehículos\ ligeros}{\sum Vehículos\ ligeros + \sum Vehículos\ pesados}$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen del porcentaje de aporte según el tipo de vehículo.

Tabla 51*Porcentaje de participación en la composición vehicular*

Estación	Día	Sentido	Vehículo ligero	% Vehículos ligeros	Vehículo Pesado	% Vehículos Pesados	Total	% T
E1	Viernes	Hacia Yaurisque	95	88%	14	13%	108	100%
	Jueves	Hacia Ccoyobamba	72	70%	32	30%	104	100%
E2	Viernes	Hacia Ccoyobamba	93	90%	10	10%	103	100%
	Jueves	Hacia Ccapacmarca	78	76%	25	24%	103	100%

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de obtener una composición vehicular uniforme en ambas direcciones, se realizó una subdivisión por estación de la composición vehicular.

Tabla 52 *Porcentaje de participación en la composición vehicular por estación*

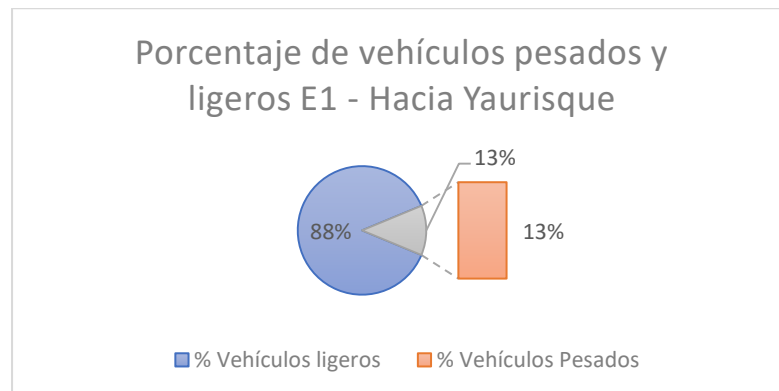
Estación	Sentido	Vehículo ligero	% VL	Vehículo Pesado	% VP	Total	% T
E1	Ambos	167	79%	45	21%	212	100%
E2	Ambos	172	83%	34	17%	206	100%

Fuente: Elaboración propia

3.9.3.2. Diagrama

Figura 46

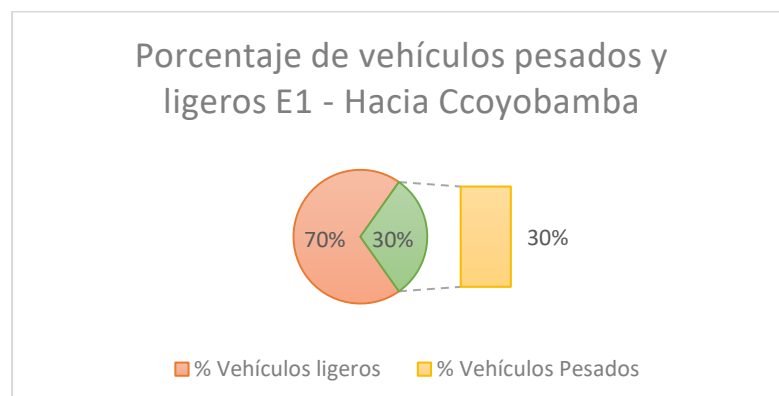
Porcentaje de vehículos pesados estación E1 Hacia Yaurisque



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

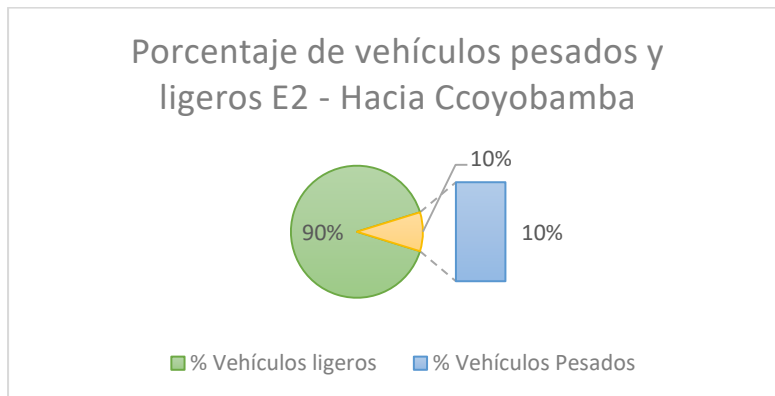
Porcentaje de vehículos pesados estación E2 Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 48

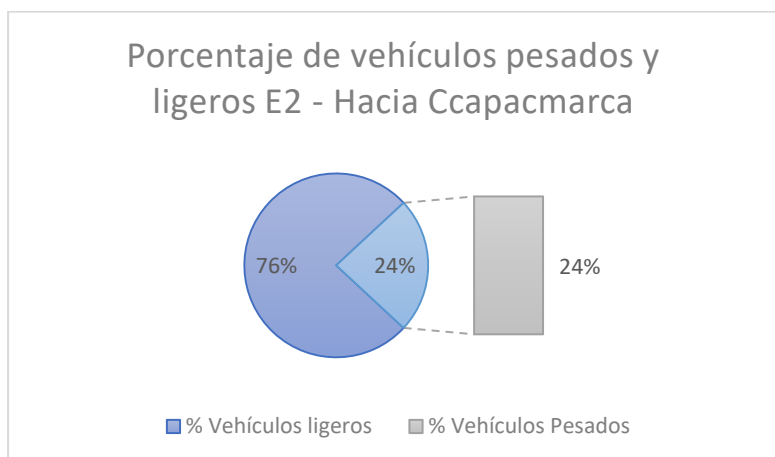
Porcentaje de vehículos pesados estación E3 Hacia Ccoyobamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 49

Porcentaje de vehículos pesados estación E4 Hacia Ccapacmarca



Fuente: Elaboración propia

3.9.3.3. Análisis de la prueba

Basándonos en el análisis realizado, se llegó a la conclusión de los porcentajes de cada grupo según la estación, utilizando los volúmenes vehiculares de ambos sentidos de análisis. Es importante destacar que no se registraron vehículos recreacionales durante todo el periodo de análisis. A continuación, se presentan los datos obtenidos:

Estación E1 – Hacia Yaurisque:

- Vehículos Ligeros: 88%
- Vehículos pesados: 13%

- Vehículos recreacionales: 0%

Estación E1 – Hacia Ccoyobamba:

- Vehículos Ligeros: 70%
- Vehículos pesados: 30%
- Vehículos recreacionales: 0%

Estación E2 – Hacia Ccoyobamba:

- Vehículos Ligeros: 90%
- Vehículos pesados: 10%
- Vehículos recreacionales: 0%

Estación E2 – Hacia Ccapacmarca:

- Vehículos Ligeros: 76%
- Vehículos pesados: 24%
- Vehículos recreacionales: 0%

3.9.4. Análisis de tránsito proyectado

El tráfico proyectado, es un diagnóstico que presenta diversas implicaciones y dificultades debido a su naturaleza. En los hechos, un amplio abanico de variables, muchas de las cuales tienen una evolución imprevista, pueden alterar el tráfico proyectado. Es imposible equilibrar todas estas variables en un proceso de previsión. En otras palabras, la dinámica evolutiva del tráfico y su relación con todos los demás elementos que lo afectan no pueden explicarse mediante una fórmula predeterminada.

La experiencia adquirida en diversos estudios y la realización de evaluaciones de impacto en carreteras han demostrado que el crecimiento del tráfico está estrechamente vinculado al crecimiento económico de un país y al crecimiento de su población.

Estos elementos clave influyen sustancialmente en la expansión del parque automovilístico y, en consecuencia, en el aumento del tráfico en las carreteras. Sin embargo, como hay tantos factores que afectan directamente al crecimiento de la economía (y, por tanto, a la cantidad de tráfico que generará), prever esta evolución es bastante difícil. Además, la disponibilidad limitada de información histórica precisa y confiable dificulta la incorporación de nuevas variables que puedan explicar de manera precisa el comportamiento del tráfico.

De esta manera, podemos observar que el tráfico obtenido se refiere al Tráfico Normal, el cual continuará aumentando independientemente de la ejecución del proyecto de la carretera debido al desarrollo habitual del área de influencia del proyecto. Sin embargo, una vez que la carretera se mejore, se generará un tráfico inducido o adicional. Este último se refiere al tráfico que resulta como consecuencia de las mejoras y políticas de mantenimiento implementadas en la vía.

En la proyección del tráfico se han tenido en cuenta tanto el tráfico normal como el generado. Este último sólo se ha considerado en las zonas en las que se intervendría. No hay constancia de que se haya desviado el tráfico.

Hay dos métodos que se emplean para estimar la proyección del tráfico normal:

- Utilizando datos históricos de los índices medios diarios anuales (IMDA) del tráfico previo en la carretera objeto de estudio.
- Utilizando indicadores macroeconómicos, como tasas de crecimiento y otros parámetros relacionados, para calcular las tasas de crecimiento del tráfico.

No se dispone de datos históricos de tráfico para la carretera estudiada, según las estadísticas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y otras fuentes secundarias como el Instituto Nacional de Estadística e Informática y los Gobiernos Regionales. En consecuencia, se ha eliminado el uso de tasas de crecimiento basadas en datos históricos y, en su lugar, se han realizado proyecciones de tráfico utilizando factores macroeconómicos como el PIB y las tasas de crecimiento de la población. Además, se han incluido las tasas de crecimiento de vehículos ligeros y pesados propias de cada sector.

Tabla 53*Indicadores de Crecimiento Empleadas para las Proyecciones de Tráfico*

Indicadores de crecimiento	Cusco
Tasa Población 2017	4.1%
Tasa PBI 2020	3.85%
Tasa de Crecimiento de vehículos ligeros	0.75%
Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	4.43%

Fuente: INEI/ OPP-MTC 2010/2016 “Factor de tasa de motorización vehículos ligeros y pesados”**3.9.4.1. Procesamiento****A. Tráfico normal**

El tráfico normal se calcula extrapolando los niveles de tráfico existentes en la zona utilizando los índices de crecimiento del tráfico descubiertos con los métodos mencionados. Para estimar el tráfico normal, aplique la fórmula siguiente:

$$Tn = To * (1 + Ri)^n$$

Dónde:

Tn	=	Tráfico en el tramo en el año n.
To	=	Tráfico en el tramo, en el año base.
Ri	=	Tasa anual de generación de viajes
n	=	Años del periodo de diseño.

La aplicación de tasas de crecimiento de la generación de tráfico al Índice Medio Diario (IMD) por tipo de vehículo para el año base (2022) fue el enfoque utilizado para predecir el tráfico normal en los tramos considerados homogéneos durante el periodo de análisis, tanto para mercancías como para personas. Utilizando este método, fue factible estimar el volumen de tráfico normal previsto para el horizonte de análisis.

A continuación, se muestra el Tráfico normal en las dos estaciones:

Tabla 54

Tráfico normal, Estación 01: Ccoyobamba

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
AUTO	332	335	337	340	342	345	347	350	353	355	358	361	363	366	369	372	374	377	380	383	386	389	391	394
STATION WAGON	46	46	46	47	47	47	48	48	48	49	49	49	50	50	51	51	51	52	52	52	53	53	54	54
CAMIONETA PICK UP	382	385	388	391	394	397	400	403	406	409	412	415	418	421	425	428	431	434	437	441	444	447	451	454
CAMIONETA PANEL	22	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	27
CAMIONETA RURAL	283	295	308	322	336	351	366	383	400	417	436	455	475	496	518	541	565	590	616	644	672	702	733	766
MICRO	39	40	42	44	46	48	50	52	55	57	60	62	65	68	71	74	77	81	84	88	92	96	100	105
BUS 2 E	9	9	10	10	11	11	11	12	13	13	14	14	15	16	16	17	18	19	19	20	21	22	23	24
BUS >=3 E	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9
CAMION 2 E	175	183	191	200	209	218	227	238	248	259	271	283	295	308	322	336	351	366	383	400	417	436	455	475
CAMION 3 E	78	81	85	89	93	97	101	105	110	115	120	125	131	137	143	149	156	163	170	177	185	194	202	211
CAMION 4 E	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	35	36
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19
SEMI TRAYLER 2S3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
SEMI TRAYLER >= 3S3	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	35	36

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tráfico Normal	1406	1439	1473	1512	1549	1588	1624	1668	1714	1758	1807	1851	1903	1956	2013	2068	2128	2191	2254	2321	2393	2464	2540	2619

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55

Tráfico normal, Estación 02: Ccapacmarca

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
AUTO	258	260	262	264	266	268	270	272	274	276	278	280	282	284	287	289	291	293	295	297	300	302	304	306
STATION WAGON	53	54	54	54	55	55	56	56	57	57	57	58	58	59	59	60	60	60	61	61	62	62	63	63
CAMIONETA PICK UP	523	527	531	535	539	543	547	551	555	559	563	568	572	576	581	585	589	594	598	603	607	612	616	621
CAMIONETA PANEL	29	29	29	29	30	30	30	30	31	31	31	31	32	32	32	32	33	33	33	33	33	34	34	34
CAMIONETA RURAL	297	310	324	339	354	369	386	403	421	439	459	479	500	522	545	570	595	621	649	677	707	739	772	806
MICRO	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14
BUS 2 E	23	24	25	26	27	28	30	31	32	34	35	37	38	40	42	44	46	48	50	52	54	57	59	62
BUS >=3 E	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	13	13
CAMION 2 E	156	163	170	177	185	193	202	211	220	230	240	251	262	274	286	298	312	326	340	355	371	387	404	422

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
CAMION 3 E	65	68	71	74	77	80	84	88	92	96	100	104	109	114	119	124	130	135	141	148	154	161	168	176
CAMION 4 E	10	10	11	11	11	12	13	13	14	14	15	16	16	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9
SEMI TRAYLER 2S3	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	14	14	15	16	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	33	34	36	37
TRAYLER 2T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1447	1480	1514	1547	1584	1619	1661	1701	1744	1785	1829	1878	1925	1976	2029	2084	2142	2200	2262	2325	2390	2462	2532	2606

Fuente: Elaboración propia

B. Trafico proyectado

Para garantizar la capacidad adecuada de una carretera a lo largo de su vida útil, es necesario considerar el tráfico estimado que utilizará la vía. Sin embargo, determinar la vida útil de una carretera implica evaluar diversas variables en cada segmento, lo cual puede resultar complejo debido a cambios imprevistos en el uso del suelo, obsolescencia de la infraestructura y modificaciones en los volúmenes y patrones de tráfico. En términos prácticos, el diseño de la carretera se basa en un horizonte temporal de dos décadas.

La geometría de las nuevas carreteras, así como las mejoras de las existentes, debe tener en cuenta tanto el tráfico proyectado para el futuro como el flujo actual de vehículos. Este enfoque implica considerar los volúmenes de tráfico existentes en el año de inauguración del proyecto y los estimados para el año de diseño, que corresponde al horizonte temporal establecido.

Tabla 56
Tráfico Generado a 20 años-Estación 01: Ccoyobamba

Tráfico Generado a 20 años-Estación 01: Ccoyobamba

[illegible]

VEHICULO	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
TRAYLER 3T2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	0	63	63	65	67	69	71	73	75	76	78	81	84	86	87	91	92	96	98	101	103

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57

Tráfico Generado a 20 años-Estación 02: Ccapacmarca

[illegible]

VEHICULO	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
SEMI TRAYLER 2S1/2S2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
SEMI TRAYLER 3S1/3S2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TRAYLER 2T2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	0	63	63	66	68	69	71	72	74	76	79	81	82	84	86	90	94	95	98	102	105

Fuente: Elaboración propia

C. Tráfico Total

A continuación, se presentan los resultados de la proyección del tráfico total por periodos y por categoría de vehículo, que incluye tanto el tráfico generado como el proyectado.

Tráfico Total – Estación 1: Ccoyobamba

[illegible]

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1406	1439	1473	1512	1612	1651	1689	1735	1783	1829	1880	1926	1979	2034	2094	2152	2214	2278	2345	2413	2489	2562	2641	2722

Elaboración propia

Tabla 59

Tráfico Total – Estación 2: Ccapacmarca

VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
AUTO	258	260	262	264	277	279	281	283	285	287	289	291	294	296	299	301	303	305	307	309	312	314	316	319
STATION WAGON	53	54	54	54	57	57	58	58	59	59	59	60	60	61	61	62	62	62	64	64	65	65	66	66
CAMIONETA PICK UP	523	527	531	535	561	565	569	574	578	582	586	591	595	600	605	609	613	618	623	628	632	637	641	646
CAMIONETA PANEL	29	29	29	29	31	31	31	31	32	32	32	32	33	33	33	33	34	34	34	34	34	35	35	35
CAMIONETA RURAL	297	310	324	339	369	384	402	420	438	457	478	499	521	543	567	593	619	646	676	705	736	769	804	839
MICRO	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	14	14	15
BUS 2 E	23	24	25	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	42	44	46	48	50	52	54	56	59	61	64
BUS >=3 E	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	14	14
CAMION 2 E	156	163	170	177	192	200	210	219	228	239	249	261	272	285	297	309	324	339	353	369	385	402	420	438
CAMION 3 E	65	68	71	74	80	83	87	91	96	100	104	108	113	118	124	129	135	140	146	154	160	167	174	183

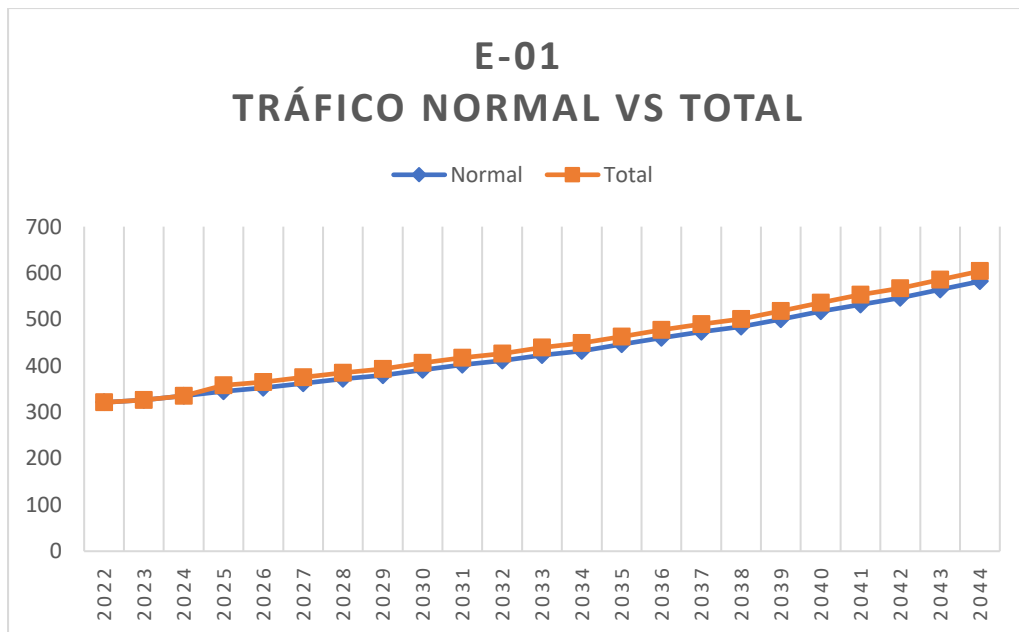
VEHICULO	IMD ANUAL 2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
CAMION 4 E	10	10	11	11	11	12	14	14	15	15	16	17	17	18	19	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9
SEMI TRAYLER 2S3	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	14	14	15	15	16
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	14	14	15	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	34	35	37	38
TRAYLER 2T2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1447	1480	1514	1547	1647	1682	1727	1769	1813	1856	1901	1952	2001	2055	2110	2166	2226	2286	2352	2419	2485	2560	2634	2711

Fuente: Elaboración propia

3.9.4.2. Diagrama

Figura 50

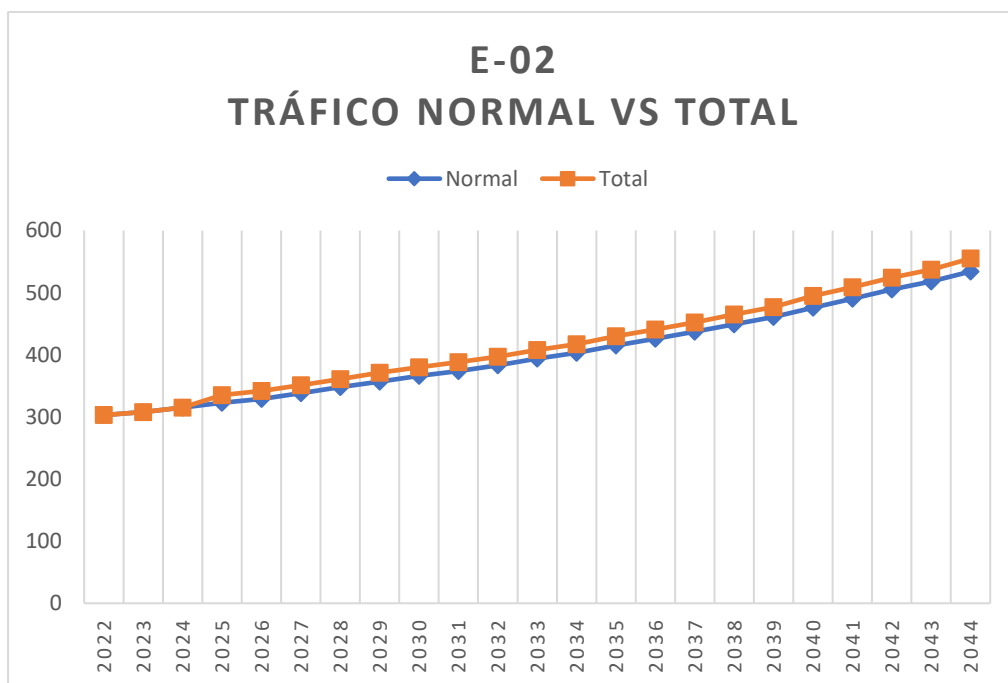
Tráfico generado vs tráfico - Estación 01



Fuente: Elaboración propia

Figura 51

Tráfico generado vs tráfico - Estación 02



Fuente: Elaboración propia

3.9.4.3. Análisis de la prueba

Del análisis se obtuvo las siguientes proyecciones:

- Tramo I:

IMDA 2022: 1406

Tráfico normal 2023: 1439

Tráfico total 2023: 1439

Tráfico normal 2045: 2619

Tráfico total 2045: 2722

- Tramo II:

IMDA 2022: 1447

Tráfico normal 2023: 1480

Tráfico total 2023: 1480

Tráfico normal 2045: 2606

Tráfico total 2045: 2711

3.9.5. Nivel de servicio y capacidad de la vía

3.9.5.1. Procesamiento

Para cumplir los objetivos marcados en el análisis del nivel de servicio del estado actual de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-138, se realizará un análisis específico del Tramo I utilizando el método HCM 2010.

A. Paso 1: Ingreso de datos

Se recopilaron los datos necesarios, se muestran a continuación:

Tabla 60*Recopilación de datos geométricos y de tránsito***SISTEMA MÉTRICO**

Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Clasificación de carretera	I		Volumen en el sentido de análisis	108	veh/h
Ancho de carril	3.60	m	Volumen en el sentido opuesto	104	veh/h
Ancho de berma	1.67	m	Factor Hora Punta (PHF)	1	
Densidad de puntos de acceso	0.05	punto/km	División direccional	51/49	
Terreno	Ondulado		% Vehículos pesados	0.17	%
% de zona de no adelantamiento	20	%	% Vehículos recreacionales	0	%
Longitud del segmento	3	km	FFS, en campo	116.00	km/h
Pendiente del segmento	5.2	%	FFS, opuesto	116.00	km/h
Sentido del flujo de análisis	Descenso				

Fuente:

Elaboración propia

Con el fin de cumplir con los estándares establecidos por el Highway Capacity Manual 2010, se realizaron los cálculos utilizando unidades imperiales. Para convertir las medidas al sistema imperial, se utilizaron los factores de conversión proporcionados por el Transportation Research Board (2010). Se empleó la tabla de conversión recomendada por el TRB para este propósito.

Tabla 61*Conversión de unidades métricas*

Símbolo	Unidad de medida	Razón a multiplicar	Unidad de medida	Símbolo
in.	Pulgadas	25.40	Milímetros	mm
ft	Pies	0.31	Metros	m
yd	Yardas	0.91	Metros	m
mi	Millas	1.61	Kilómetros	km

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

La siguiente tabla, que muestra estadísticas geométricas y de tráfico presentadas en medidas imperiales, es el resultado de aplicar factores de conversión para cada medida:

Tabla 62

Recopilación de datos geométricos y de tránsito sistema imperial

SISTEMA IMPERIAL					
Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Clasificación de carretera	I		Volumen en el sentido de análisis	108	veh/h
Ancho de carril	11.812	ft	Volumen en el sentido opuesto	104	veh/h
Ancho de berma	5.479	ft	Factor Hora Punta (PHF)	1	
Densidad de puntos de acceso	0	punto/mi	División direccional	51/49	
Terreno	Ondulado		% Vehículos pesados	0.17	%
% de zona de no adelantamiento	100	%	% Vehículos recreacionales	0	%
Longitud del segmento	1.863	mi	FFS, en campo	72.079	mi/h
Pendiente del segmento	5.2	%	FFS, opuesto	72.079	mi/h
Sentido del flujo de análisis	Descenso				

Fuente: HCM (2010, citado en Vicente & Vicente, 2019)

B. Paso 2: Estimando la velocidad de flujo libre (FFS)

Para la estimación de la velocidad de flujo libre se tomó el valor de 70 mi/h siendo el máximo valor. (Transportation Research Board, 2010)

FFS sentido de dirección = 72 mi/h

FFS sentido opuesto = 72 mi/h

C. Paso 3: Ajuste de la demanda para calcular la velocidad promedio de viaje (ATS)

En condiciones normales, el volumen de demanda debe ajustarse a vehículos ligeros por hora. Para realizar este cambio se utiliza la ecuación 7.

$$v_{i,ATS} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \right)$$

Ecuación 7.

Tanto en dirección a Yaurisque como en dirección a Ccoyobamba, se debe realizar esta modificación. Para este cómputo se tomaron en cuenta las direcciones de análisis "d" hacia Yaurisque y "o" alejándose de Yaurisque hacia Ccoyobamba, con cantidades de demanda de 108 y 104 vehículos por hora, respectivamente.

Para el cómputo de los volúmenes se utilizó la tasa crítica de demanda, la cual sugiere que el factor de hora pico (FPH) es 1.

El factor de ajuste por pendiente $f_{g,ATS}$ se halla desde la Tabla 16 o la Tabla 17 dependiendo del sentido de análisis, del tipo de terreno y la pendiente.

- Determinar el factor de ajuste por pendiente

El análisis se realizó en primer lugar en la dirección de la investigación que le correspondía (hacia Yaurisque). En este caso, el volumen de demanda es de 108 vehículos por hora y la pendiente es del 5,2%. Para calcular los datos necesarios, se utilizó la Tabla 16 y se interpoló la información mediante la fórmula clásica lineal, la cual es la siguiente:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) + y_1$$

Los datos extraídos de la Tabla 16 son los siguientes:

Tabla 63

Datos necesarios para determinar el factor de ajuste por la pendiente para ATS-situación

VHMD Vd	Terreno ondulado
100	0.6700
108	x
200	0.7500

Fuente: Elaboración propia

$$y = \frac{(108 - 100)}{(200 - 100)}(0.75 - 0.67) + 0.67 = 0.6732$$

Obteniendo así el valor de $f_{g,ATS}=0.67$

Tabla 64

Interpolación del factor de ajuste por la pendiente para ATS en el sentido de análisis-situación actual

VHMD Vd	Terreno ondulado
100	0.6700
108	0.6732
200	0.7500

Fuente: Elaboración propia

Para el sentido opuesto, se llevó a cabo el mismo procedimiento, pero en esta ocasión se trató de un ascenso específico con una pendiente del 5.2% y un volumen de demanda de 104 veh/h. Para estos valores, se consultaron los datos correspondientes en la Tabla 17, obteniendo el valor de $f_{g,ATS}=0.52$.

Tabla 65

Interpolación del factor de ajuste por la pendiente en ascenso específico para ATS en el sentido opuesto-situación actual

Pendiente (%)	Longitud (mi)	VHMD, Vd		
		100	106	200
	1.5	0.52	0.53	0.62
$\geq 4.5 < 5.5$	1.86		0.519	
	2	0.51	0.52	0.61

Fuente: Elaboración propia

- Determinar el factor de ajuste por vehículos pesados

Para considerar el impacto de los vehículos pesados en la velocidad media de los vehículos, se deben realizar ajustes. En línea con el marco teórico presentado, estos vehículos disminuyen la velocidad promedio en la vía. Para determinar el factor de ajuste resultante de la presencia de vehículos pesados deben seguirse dos procedimientos:

- (i) Se calcula el factor de equivalencia para vehículos recreativos (ER) y vehículos pesados (ET).
- (ii) La ecuación 8 se utiliza para calcular el factor de ajuste de los camiones pesados

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

Ecuación 8

Para la baja específica en la dirección del análisis con una pendiente del 5,2%, se determinó el factor de equivalencia. La interpolación se realizó utilizando los datos de la tabla 18, y el resultado se redondeó al 0,1 más próximo. Para calcular el factor de equivalencia se utilizan la cantidad de demanda, la pendiente del terreno y otros factores. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 66

Interpolación del factor de equivalencia en descenso específico para ATS en el sentido de análisis-situación actual

Tipo de vehículo	Volumen de demanda	Terreno ondulado
	100	2.7
Pesado (ET)	104	2.7
	200	2.3
Recreativo (ER)	Todos los flujos	1.1

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así los factores de equivalencia ER= 1.1 y ET=2.7

A continuación, se realizó el estudio para el sentido opuesto, con una subida particular de pendiente igual al 5,2% y un volumen de demanda de 104 vehículos por hora. La tabla 19 para los vehículos de recreo (ER) y la tabla 20 para los vehículos pesados (ET) contenían la información necesaria para la interpolación. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 67

Interpolación del factor de equivalencia para vehículos recreacionales (E_R) para ATS en el sentido opuesto-situación actual

Pendiente (%)	Longitud (mi)	Factor ER		
		Volumen de demanda V		
		100	106	200
$\geq 4.5 < 5.5$	≤ 2.50	1.5	1.494	1.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68

Interpolación del factor de equivalencia para vehículos pesados (E_T) para ATS en el sentido opuesto-situación actual

Pendiente (%)	Longitud (mi)	Factor ET		
		Volumen de demanda V		
		100	106	200
$\geq 4.5 < 5.5$	1.5	10.6	10.6	10.6
	1.86		11.472	
	2	11.8	11.8	11.8

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así los factores de equivalencia $E_R = 1.494$ y $E_T = 11.472$

A continuación, se utiliza la ecuación 8 para determinar la dirección del análisis una vez determinados los factores de equivalencia. La información necesaria para este cálculo se muestra a continuación:

$$\begin{array}{ll} PT &= 0.17 \\ ET &= 2.684 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} PR &= 0 \\ ER &= 1.1 \end{array}$$

Aplicados en la formula resultaron:

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.17(2.684 - 1) + 0(1.1 - 1)} = \frac{1}{1.19} = 0.777$$

Y se obtiene un $f_{HV,ATS}$ de 0.777

Para el sentido opuesto se tienen los datos:

$$PT = 0.17$$

$$PR = 0$$

$$ET = 11.472$$

$$ER = 1.494$$

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.17(11.472 - 1) + 0(1.494 - 1)} = \frac{1}{2.75} = 0.360$$

Y se obtuvo un $f_{HV,ATS}$ de 0.360

- Ajuste del volumen de demanda

Se utilizó la ecuación 7 para aplicar los factores de ajuste apropiados para cada sentido de la carretera cuando se habían recogido todos:

$$v_{i,ATS} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \right)$$

Ecuación 7.

Siendo $v_{d,ATS}$ en sentido de análisis y $v_{o,ATS}$ en sentido opuesto

Para el sentido de análisis se obtuvo:

$$v_{d,ATS} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \right)$$

Dónde:

$$v_d = 108 \text{ (Veh/h)}$$

$$f_{g,ATS} = 0.67$$

$$f_{HV,ATS} = 0.777$$

$$PHF = 1$$

$$v_{d,ATS} = \frac{108}{1 \times 0.67 \times 0.777} = 206 \text{ veh/h}$$

Y para el sentido opuesto se obtuvo:

$$v_{d,ATS} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \right)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} v_d &= 104 \text{ (Veh/h)} \\ f_{g,ATS} &= 0.52 \\ f_{HV,ATS} &= 0.360 \\ PHF &= 1 \end{aligned}$$

$$v_{d,ATS} = \frac{104}{1 \times 0.52 \times 0.360} = 557 \text{ veh/h}$$

D. Paso 4: Cálculo de la velocidad promedio de viaje (ATS)

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la velocidad media de viaje (ATS) para las carreteras de clase I.

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Ecuación 10

Interpolando la tabla 22 y utilizando el volumen de demanda ajustado opuesto, el FFS y el porcentaje de zonas sin adelantamiento como datos de entrada, se obtiene el factor de ajuste para zonas sin adelantamiento (f_{np} , ATS). Para obtener el factor de ajuste del porcentaje de zonas sin adelantamiento, se realiza una interpolación en el contexto del presente estudio.

	Para	65 mi/h
	x	100
	200	4.2
	400	2.9
72.079	mi/h	4.2

En la subsección con una FFS menor que la del análisis (55), se realizó una primera interpolación y se obtuvo un valor de 0,7, como se muestra en la tabla. Obteniendo de nuevo un valor de 0,7, se realizó a continuación otra interpolación en la subsección con una SFF mayor que la del análisis (60). Por último, se obtuvo un valor de 0,7 interpolando entre estos valores y una SFF de 57,35.

Se utilizó un procedimiento similar para la dirección opuesta, interpolando el factor de ajuste por el porcentaje de zonas de no adelantamiento en la dirección real del análisis.

	Para	65 mi/h
	x	100
	400	2.9
	600	2
72.079	mi/h	2.2

A continuación, se utiliza la ecuación de correspondencia para calcular la ATS (velocidad media por trayecto) de la carretera una vez establecidos todos los parámetros:

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Ecuación 10

Dónde:

$$FFS = 70.76 \text{ (mi/h)}$$

$$v_{d,ATS} = 206 \text{ (veh/h)}$$

$$v_{o,ATS} = 557 \text{ (veh/h)}$$

$$f_{np,ATS} = 2.2$$

$$ATS_d = 70.76 - 0.00776(206 + 557) - 2.2 = 62.6 \text{ mi/h}$$

De igual manera se realizó la operación para el sentido opuesto:

$$ATS_o = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Ecuación 10

Dónde:

$$FFS = 70.76 \text{ (mi/h)}$$

$$v_{d,ATS} = 557 \text{ (veh/h)}$$

$$v_{o,ATS} = 206 \text{ (veh/h)}$$

$$f_{np,ATS} = 4.2$$

$$ATS_d = 70.76 - 0.00776(557 + 206) - 4.2 = 60.7 \text{ mi/h}$$

De esta forma se obtiene una medida de eficiencia para evaluar el nivel de servicio, y los pasos siguientes involucran el cálculo de otra medida denominada PTSF (por sus siglas en inglés).

E. Paso 5: Ajuste de la demanda para determinar el porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

A pesar de que se empleen diferentes factores de ajuste, el proceso matemático utilizado es conceptualmente igual al utilizado para determinar la velocidad media de viaje ("ATS"). Para realizar este cálculo en condiciones estándar, se utiliza la ecuación 11, donde es necesario ajustar el volumen de demanda a vehículos ligeros por hora.

$$v_{i,PTSF} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \right)$$

Ecuación 11

Para realizar este ajuste, se debe aplicar a cada sentido del flujo, tanto hacia Yaurisque como hacia Ccoyobamba. Con volúmenes de $V_d = 316 \text{ veh/h}$ y $V_o = 492 \text{ veh/h}$, respectivamente, se tomó en cuenta el sentido de análisis "d" hacia Yaurisque y el sentido contrario "o" hacia Ccoyobamba en este caso. Estos volúmenes se calcularon utilizando el

índice de demanda crítica, que indica que el factor de hora punta (FPH) es igual a 1, y se registraron cada 15 minutos.

El cálculo del factor de ajuste por pendiente ($f_{g,PTSF}$) se realiza consultando la Tabla 23 y la Tabla 24, tomando en consideración el sentido de análisis, el tipo de terreno y la pendiente correspondiente.

- Determinar el factor de ajuste por pendiente

En cuanto al análisis, se realizó un estudio preliminar teniendo en cuenta un descenso concreto con una pendiente del 5,33% y un volumen de demanda de 316 vehículos por hora. La tabla 23 contenía la información necesaria para este cálculo, y se utilizó la fórmula lineal convencional para realizar una interpolación:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) + y_1$$

Los datos extraídos de la Tabla 23 son los siguientes.

Tabla 69

Datos necesarios para determinar el factor de ajuste por pendiente para PTSF-situación actual

Volumen de demanda en una dirección	Terreno ondulado
100	0.7300
104	x
200	0.8000

Fuente: Elaboración propia

$$y = \frac{(104 - 100)}{(200 - 100)}(0.80 - 0.73) + 0.73 = 0.73$$

Obteniendo así el valor de $f_{g,PTSF} = 0.73$

Tabla 70

Interpolación del factor de ajuste por pendiente en el sentido de análisis para PTSF-situación

Volumen de demanda en una dirección	Terreno ondulado
100	0.7300
104	0.7328
200	0.7500

Fuente: Elaboración propia

La vía contraria, en este caso una subida específica con una pendiente del 5,2% y un volumen de demanda de 492 vehículos por hora, se examinó en la segunda etapa de esta sección. La información necesaria para este estudio se encontró en la Tabla 24, y se determinó que el valor de $f_{g,ATS}$ es igual a 1.00.

Tabla 71 *Interpolación del factor de ajuste por pendiente en el sentido opuesto para PTSF – situación actual*

Pendiente (%)	Longitud (mi)	Factor ET		
		Volumen de demanda V		
		100	106	200
≥4.5<5.5	1.5	1	1	1
	1.86		11.472	
	2	1	11.8	1

Fuente: Elaboración propia

- Determinar el factor de ajuste por vehículos pesados

El volumen de la demanda, la pendiente y el tipo de terreno se tienen en cuenta a la hora de calcular los factores de ajuste de la pendiente, junto con el factor de ajuste ATS. Existen dos métodos para calcular el factor de ajuste para camiones pesados:

- Se calcula el factor equivalente para vehículos recreativos (ER) y vehículos pesados (ET).

(ii) Se utiliza la Ecuación 12 para determinar el factor de ajuste para vehículos pesados.

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

El estudio comenzó con la determinación del factor de equivalencia para la dirección del análisis, que se refiere a una caída concreta con una pendiente del 5,2%. En la tabla 25 figuran los datos necesarios para la interpolación, y se aconseja redondear la cifra final al 0,1 más próximo. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 72

Interpolación del factor de equivalencia en PTSF en el sentido de análisis-situación actual

Tipo de vehículo	Volumen de demanda	Terreno ondulado
	100	1.9
Pesado (ET)	104	1.9
	200	1.8
Recreativo (ER)	Todos los flujos	1.0

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así los factores de equivalencia ER= 1.0 y ET=1.9

A continuación, se realiza el estudio para el sentido inverso, que corresponde a una subida particular con una pendiente del 5,2% y un volumen de demanda de 492 vehículos por hora. La tabla 26 contiene la información necesaria para ejecutar la interpolación tanto para camiones pesados (ET) como para vehículos recreativos (ER).

Tabla 73

Interpolación de factores de equivalencia en PTSF en el sentido de opuesto-situación actual

Pendiente (%)	Longitud (mi)	Factor ET		
		Demanda direccional		
		100	106	200
≥4.5<5.5	1.5	1.1	1.1	1.1
	1.86		1.7	
	2	1.9	1.99	1.9
			ER	
Todos	Todos los flujos		1.00	

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así los factores de equivalencia ER= 1 y ET=1.7

Tras obtener los factores de equivalencia, se procedió a utilizar la Ecuación 12. En el sentido de análisis, los datos utilizados son los siguientes:

$$PT = 0.17 \quad PR = 0$$

$$ET = 1.9 \quad ER = 1.0$$

Aplicados resultan:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + 0.17(1.9 - 1) + 0(1 - 1)} = 0.868$$

Y se obtiene un $f_{HV,PTSF}$ de 0.87

Para el sentido opuesto se tienen los datos

$$PT = 0.17 \quad PR = 0$$

$$ET = 1.7 \quad ER = 1.0$$

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + 0.17(1.7 - 1) + 0(1 - 1)} = 0.887$$

Y se obtiene un $f_{HV,PTSF}$ de 0.89

- Ajuste del volumen de demanda
- Una vez calculados todos los valores de ajuste necesarios, se procede a aplicar la ecuación correspondiente a cada dirección de la carretera:

$$v_{i,PTSF} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \right)$$

Ecuación 11

En el caso del sentido de análisis, considerando $v_{d,ATS}$ como la velocidad promedio de viaje ajustada y $v_{o,ATS}$ como la velocidad promedio de viaje ajustada en sentido opuesto, los valores son los siguientes:

$$v_{d,PTSF} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \right)$$

Dónde:

$$v_d = 108 \text{ (veh/h)}$$

$$f_{g,PTSF} = 0.73$$

$$f_{HV,PTSF} = 0.87$$

$$PHF = 1$$

$$v_{d,ATS} = \frac{108}{1 \times 0.73 \times 0.87} = 170 \text{ veh/h}$$

Y para el sentido opuesto se tiene:

$$v_{o,PTSF} = \left(\frac{V_i}{PHF \times f_{g,PTSF} \times f_{HV,PTSF}} \right)$$

Dónde:

$$v_d = 104 \text{ (veh/h)}$$

$$f_{g,PTSF} = 1.00$$

$$f_{HV,PTSF} = 0.89$$

$$PHF = 1$$

$$v_{d,ATS} = \frac{492}{1 \times 1.00 \times 0.89} = 117 \text{ veh/h}$$

F. Paso 6: Cálculo del porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

El cálculo del PTSF se llevó a cabo utilizando la siguiente ecuación, que constituye el proceso de cálculo para determinar esta medida.

$$PTSF_i = BTSF_i + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

Ecuación 13

Para determinar el PTSF, se deben calcular la Base del Tiempo Perdido en Colas (BPTSF) y el factor de ajuste por zonas de no rebase ($f_{np,PTSF}$). Todos los demás valores necesarios para el cálculo ya han sido obtenidos en etapas anteriores.

1. Base del porcentaje de tiempo usado viajando en colas (BTSF)

Para determinar el BPTSF se utiliza la Ecuación 14

$$BTSF_i = 100[1 - \exp(-av_d^b)]$$

Ecuación 14

Para obtener los valores de las constantes a y b, se realiza una interpolación utilizando los datos de la Tabla 27. Para llevar a cabo esta interpolación, se requiere el volumen de demanda ajustado opuesto, v_o . En primer lugar, se realiza el cálculo para el

sentido de análisis, utilizando el volumen de demanda ajustado opuesto de 5233 vl/h, tal como se indica en el paso 5. A partir de este cálculo, se obtiene la tabla de interpolación necesaria para determinar los valores de las constantes a y b:

Tabla 74

Interpolación de los coeficientes para el BPTSF en el sentido de análisis -situación actual

Volumen	Coeficiente	Coeficiente
ajustado opuesto, vo	a	b
≤200	-0.0014	0.973

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así un coeficiente a=-0.0014 y un coeficiente b=0.973

A continuación, se realiza el cálculo para el sentido opuesto, el cual cuenta con un volumen de demanda ajustado opuesto de 170 vl/h. Este cálculo nos proporciona el siguiente resultado.

Tabla 75

Estado actual de la interpolación del coeficiente BPTSF en sentido inverso

Volumen	Coeficiente	Coeficiente
ajustado opuesto, vo	a	b
≤200	-0.0014	0.973

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo así un coeficiente a=-0.0014 y un coeficiente b=0.973

El siguiente paso consistió en realizar el cálculo del BPTSF mediante la Ecuación 14

$$BTSF_d = 100[1 - \exp(av_d^b)]$$

Dónde:

$$v = 170$$

$$a = -0.0014$$

$$b = 0.9730$$

$$BTSE_d = 100[1 - \exp(-0.0014 \times 170^{0.9730})] = 18.70 \text{ mi/h}$$

El sentido de análisis arrojó un valor de 18.7 mi/h, mientras que para el sentido opuesto se siguió el mismo procedimiento:

$$BTSE_o = 100[1 - \exp(av_d^b)]$$

Dónde:

$$v = 117$$

$$a = -0.0014$$

$$b = 0.9730$$

$$BTSE_d = 100[1 - \exp(-0.0014 \times 117^{0.9730})] = 18.04 \text{ mi/h}$$

Obteniendo un valor de 18.04 mi/h

El paso siguiente implica calcular el factor de ajuste correspondiente a las zonas de no adelantamiento.

2. Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento

La tabla 28 se interpola para obtener el factor de ajuste para las zonas de no adelantamiento. Es importante recordar que este elemento es relevante para ambas direcciones analíticas. El total de los volúmenes de demanda ajustados en ambas direcciones ($v_d + v_o$ en vl/h), la proporción de zonas de no adelantamiento y la división direccional de carriles son los datos necesarios para la interpolación. El valor debe redondearse a la décima más próxima (0,1).

La suma de los volúmenes de demanda ajustados, v_d+v_o , que en este caso equivale a $(170+117) = 287$ vl/h, se ha tenido en cuenta en un único estudio. La proporción de carriles direccionales es de 51:42, y en este tramo de la carretera hay un 100% de zonas de no adelantamiento. Utilizando el valor inmediatamente superior de la división direccional (70) y el valor inmediatamente inferior (60), se realizaron tres rondas de interpolación.

Tabla 76

Interpolación del factor de ajuste para PTSF en ambas direcciones sin zonas de adelantamiento - condición actual

Volumen de demanda ajustado en ambos sentidos v_d+v_o (veh/h)	Porcentaje de zonas de no adelantamiento		
	20	20	20
División direccional	50		
200	29.2	29.2	29.2
287		34.3	
400	41.0	41.0	41.0
División direccional	51		
287		34.2	
División direccional	60		
200	30.6	29.2	30.6
287		33.0	
400	36.1	41.0	36.1

Fuente: Elaboración propia

Dando como resultado un $f_{np,PTSF}=34.20$

3. Determinar el porcentaje de tiempo usado viajando en colas PTSF

Se emplea la Ecuación 13 una vez que se han determinado los datos de ingreso.

Donde para el sentido de análisis se tiene

$$PTSF_d = BTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

$$BTSF_d = 18.71$$

$$f_{np,PTSF} = 34.20$$

$$v_{d,PTSF} = 170$$

$$v_{o,PTSF} = 117$$

$$PTSF_d = 18.71 + 34.20 \left(\frac{170}{170 + 117} \right) = 38.95 \%$$

Obteniendo así un $PTSF_d=38.95\%$

El cálculo para el sentido opuesto vendría a ser:

$$PTSF_o = BTSF_o + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{o,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

$$BTSF_o = 18.04$$

$$f_{np,PTSF} = 34.20$$

$$v_{d,PTSF} = 170$$

$$v_{o,PTSF} = 117$$

$$PTSF_d = 18.04 + 34.20 \left(\frac{117}{170 + 117} \right) = 32.00 \%$$

Obteniendo así un $PTSF_o=32.00\%$

El nivel de servicio puede entonces determinarse gracias a la adquisición de la segunda medida de eficiencia.

G. Paso 7: Estimando el PFFS

Sólo en las carreteras de clase III se aplica el % de velocidad de flujo libre.

H. Paso 8: Determinar el Nivel de servicio y la capacidad

La Tabla 29 muestra los requisitos de nivel de servicio, que deben contrastarse. Como indicadores de eficiencia para el sentido del análisis, se utilizan en este análisis el ATS (mi/h) y el PTSF (%):

ATS=41.0 (mi/h) y PTSF=62.70(%), los cuales ubicándolos en la tabla se encuentran en:

Tabla 77

Nivel de servicio en el sentido Hacia Yaurisque - 2022

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55 62.07	≤ 35	A
B	> 50 - 55	> 35 - 50 38.95	B
C	> 45 - 50	> 50 - 65	C
D	> 40 - 45	> 65 - 80	D
E	≤40	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
B			

Fuente: Elaboración propia

Se han establecido dos niveles de servicio, uno basado en el ATS y otro en el PTSF. Se elige el nivel de servicio que se considera más importante, en este caso el nivel de servicio B. A continuación, se realiza el mismo procedimiento en el otro sentido utilizando los valores ATS=32,20 (mi/h) y PTSF=72,7 (%).

Tabla 78*Nivel de servicio en el Hacia CCoyobamba, 2022*

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55 62.38	≤ 35 32.00	A
B	> 50 - 55	> 35 - 50	B
C	> 45 - 50	> 50 - 65	C
D	> 40 - 45	> 65 - 80	D
E	≤40	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
A			

Fuente: Elaboración propia

Todos los tramos fueron sometidos a este mismo procedimiento, y los cálculos computacionales se describen en el Anexo N°3: Cálculo computacional de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM 2010 para carreteras de dos carriles: CU-119: Año 2022.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

Tabla 79*Promedio de nivel de servicio para el tramo I en el año 2022*

Nivel de servicio carretera de dos carriles 2022						
Tramo	Hacia Yaurisque	Hacia Ccoyobamba	ATS		PTSF	
			Hacia Yaurisque	Hacia Ccoyobamba	Hacia Yaurisque	Hacia Ccoyobamba
			62.07	62.38	38.95	32.00
Tramo I	108	104	A	B	A	A
			A		A	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80

Promedio de nivel de servicio para el tramo II en el año 2022

Nivel de servicio carretera de dos carriles 2022

Tramo	Hacia Ccoyobamba	Hacia Ccapacmarca	ATS		PTSF	
			Hacia Ccoyobamba	Hacia Ccapacmarca	Hacia Ccoyobamba	Hacia Ccapacmarca
Tramo I	103	103	38.95	32	38.95	32
			A	A	A	A
				A		A

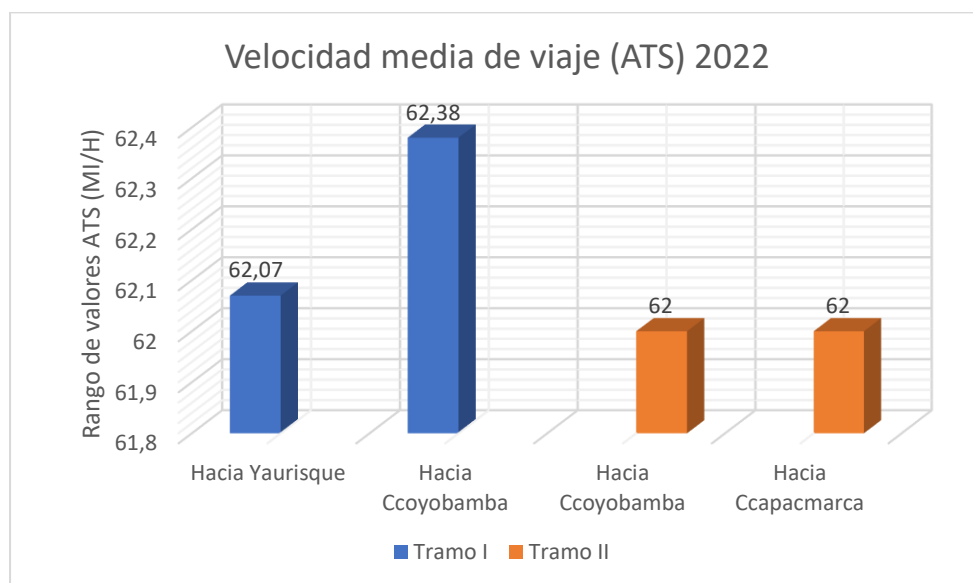
Fuente: Elaboración propia

3.9.5.2. Diagrama

Este proceso fue realizado para todos los tramos, y los cálculos computacionales correspondientes se encuentran detallados en el Anexo N°3: Cálculo computacional de la capacidad y nivel de servicio con la metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles: carretera CU-119: Año 2022. La tabla siguiente muestra los resultados.

Figura 52

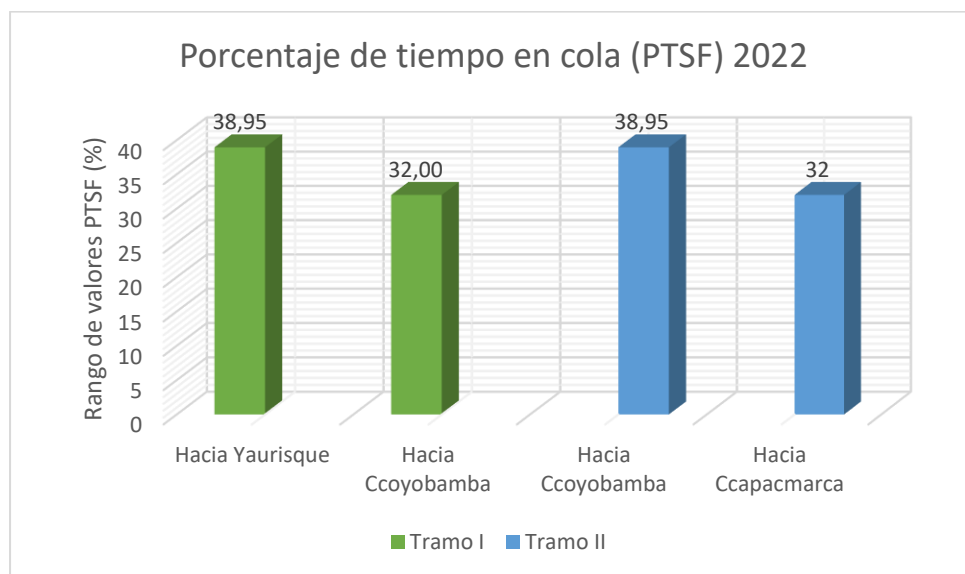
Resultados del análisis de nivel de servicio en ATS de la carretera CU-119



Fuente: Elaboración propia

Figura 53

Resultados del análisis de nivel de servicio en PTSF de la carretera CU-119



Fuente: Elaboración propia

3.9.5.3. Análisis de la prueba

La metodología aplicada dio como resultado que el nivel de servicio del tramo I corresponde a un nivel A respecto al ATS y nivel de servicio B respecto a PTSF; asimismo para el tramo II se obtuvo un nivel A respecto al ATS y nivel de servicio A respecto a PTSF.

3.9.6. Números de ejes equivalentes

3.9.6.1. Procesamiento

El tráfico pesado de autobuses y camiones crea una enorme demanda, que debe tenerse en cuenta al diseñar el pavimento. El número total de repeticiones de carga se determinará utilizando los datos de entrada.

Para cuantificar el impacto del tráfico se utiliza una unidad de medida denominada Ejes Equivalentes (EE), que mide el impacto total de las cargas aportadas al firme a lo largo del período de diseño considerado. Según la AASHTO, un EE es la degradación provocada por un solo eje con dos ruedas convencionales, que transporta un peso de 8,2 toneladas y utiliza neumáticos con una presión de 80 psi.

Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el grado de daño estructural del pavimento provocado por diversas cargas y ejes elevados de vehículos. Para cada tipo de vehículo, se utiliza la siguiente expresión para determinar cuántas veces se repitieron ejes equivalentes de 8,2 toneladas a lo largo de la era de diseño. Sumando las cifras correspondientes a los distintos tipos de camiones pesados considerados, se obtiene el resultado final.

$$Nrep\ de\ EE_{8.2\ tn} = \sum [EE_{día-carril} \times Fca \times 365]$$

Donde:

Tabla 81

Parámetros de Cálculo de ejes equivalentes

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2 Tn	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 Tn
EE _{día-carril}	EE_{día-carril}=Ejes El número de Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día y por carril de diseño, se calcula multiplicando el IMD (Índice Medio Diario) correspondiente a cada tipo de vehículo pesado por el Factor Direccional, el Factor Carril de diseño y el Factor Vehículo pesado. Se aplica la siguiente relación para obtener el número de Ejes Equivalentes para cada tipo de vehículo pesado: $EE_{día-carril} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times Fv_{pi} \times F_{pi}$ IMD_{pi}: Corresponde al índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i) Fd: Factor Direccional Fc: Factor Carril de diseño Fv_{pi}: El Factor Vehículo pesado del tipo seleccionado (i), calculado en función de su composición de ejes, representa el número.
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.
365	Número de días del año
$\sum$	La suma total de los Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículos pesados por día, ajustada por el factor de crecimiento acumulado durante 365 días del año, en el carril diseñado para ello.

Tabla 82

Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

NÚMERO DE CALZADAS	NÚMERO DE SENTIDOS	NÚMERO DE CARRILES POR SENTIDO	FACTOR DIRECCIONAL (FD)	FACTOR CARRIL (FC)	FACTOR PONDERADO FD X FC PARA CARRIL DE DISEÑO
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y pavimentos (2014)

Tabla 83

Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)

Periodo de Análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa Anual de Crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.1
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.2	3.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.8	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.9	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94

Periodo de Análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa Anual de Crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.7	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.6
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.3	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y pavimentos (2014)

El cálculo de los ejes equivalentes se realizará utilizando las relaciones simplificadas que se indican a continuación. Se han correlacionado los valores de las tablas del Apéndice D de la Guía AASHTO'93, teniendo en cuenta las distintas configuraciones de ejes de los vehículos pesados, como autobuses y camiones, y el tipo de firme empleado.

Tabla 84

Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.

Tipo de Eje	Eje equivalente (EE 8.2 TN)
Eje Simple de ruedas simple (EES1)	$EES1 = [P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EES2)	$EES1 = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$EES1 = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas) (EETA2)	$EES1 = [P/15.1]^{4.0}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EETR1)	$EES1 = [P/20.7]^{3.9}$
Eje Tridem (3 ejes ruedas dobles) (EETR2)	$EES1 = [P/21.8]^{3.9}$
P= peso real por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y pavimentos (2014)

En los pavimentos flexibles y semirrígidos, debe emplearse un factor de ajuste que tenga en cuenta esta presión para determinar los efectos adicionales de degradación que crean las presiones de los neumáticos. Para calcular estos factores de presión de los neumáticos se utilizarán los valores de una tabla concreta, que permite la interpolación de valores intermedios. La tabla se creó combinando la información de la Figura IV-4 del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto, "Factor de ajuste EAL para presiones de neumáticos". Nótese que la presión inicial de 80 psi utilizada en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos ha sido ajustada a partir de la presión inicial de 70 psi mostrada en la imagen anterior.

Tabla 85

Parámetros de diseño – Factor ajuste por presión de neumáticos (Fp) para Ejes Equivalentes (EE)

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psc [Presión de inflado del neumático] (pai)					PCN =0.90 X	
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y pavimentos (2014)

3.9.6.2. Cálculo ESAL

A. Cálculo ESAL para el tramo I

Al calcular las cargas equivalentes por eje único (ESAL) se ha tenido en cuenta el índice medio diario (IDA) correspondiente al año 2026, considerando un periodo de diseño de 20 años. Además, se ha tenido en cuenta una tasa de crecimiento del 4,43% para los camiones pesados basándose en los datos de la Tabla 52. Para ilustrarlo, en la tabla siguiente se presentan los valores de eje comparables, en particular para los firmes flexibles:

Tabla 86

Relación de factor camión según tipo de vehículo para el tramo I

	Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
Vehículos ligeros	Autos	Simple	2	1	0.000527	0.001	356	0.375
		Simple	2	1	0.000527			
	Station Wagon	Simple	2	1	0.000527	0.001	49	0.052
		Simple	2	1	0.000527			
	Pick Up	Simple	2	1	0.000527	0.001	410	0.432
		Simple	2	1	0.000527			
	Panel	Simple	2	1	0.000527	0.001	24	0.025
		Simple	2	1	0.000527			
	Rural	Simple	2	1	0.000527	0.001	350	0.369
		Simple	2	1	0.000527			
	Micro	Simple	2	1	0.000527	0.001	48	0.051
		Simple	2	1	0.000527			
Omnibuses	2 E	Simple	2	7	1.265367	4.504	11	49.540
		Simple	4	11	3.238287			
	3 E	Simple	2	7	1.265367	2.631	4	10.525
		Tandem	6	16	1.365945			
Camiones	2 E	Simple	2	7	1.265367	4.504	217	977.293
		Simple	4	11	3.238287			

	Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
Semitraylers	3 E	Simple	2	7	1.265367	3.285	97	318.604
		Tandem	8	18	2.019213			
	4 E	Simple	2	7	1.265367	2.774	17	47.150
		Tridem	10	23	1.508184			
	2S1/2S2	Simple	2	7	1.265367	7.742	8	61.936
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	2	7	1.265367			
	2S3	Simple	4	11	3.238287	6.210	3	18.629
		Tridem	12	25	1.706026			
		Simple	2	7	1.265367			
	3S1/3S2	Tandem	8	18	2.019213	6.523	1	6.523
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	2	7	1.265367			
	>= 3S3	Tandem	8	18	2.019213	4.991	17	84.840
		Tridem	12	25	1.706026			
		Simple	2	7	1.265367			
Traylers	2T2	Simple	4	11	3.238287	10.980	0	0.000
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	2	7	1.265367			
	2T3	Simple	4	11	3.238287	9.761	0	0.000
		Simple	4	11	3.238287			
		Tandem	8	18	2.019213			
	3T2	Simple	2	7	1.265367	9.761	0	0.000
		Tandem	8	18	2.019213			
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	4	11	3.238287			
		Simple	4	11	3.238287			
	>=3T3 (TRAILER)	Simple	2	7	1.265367	8.542	0	0.000

Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
	Tandem	8	18	2.019213			
	Simple	4	11	3.238287			
	Tandem	8	18	2.019213			

Elaboración propia

Tabla 87

Número de ejes equivalentes para el tramo I

Pavimento flexible		
Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados	r (%)	4.43%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados	Fca	30.722
Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido		
Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	1
<i>Número de ejes equivalentes (ESAL)</i>		
$\#EE = 365 * (\sum fIMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	17,676,559.54
Tipo de tráfico pesado expresado en EE		T_{P12}

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cálculo de Número de ejes equivalentes indicado en la tabla 80, se indica que el tramo tiene un ESAL de 17,676,559.54 y corresponde al tipo de tráfico pesado T_{P12} .

B. ESAL para el tramo II

Se han considerado el Índice Medio Diario (IMD) correspondiente al año 2026 y un período de diseño de 20 años para el cálculo de los Equivalent Single Axle Loads (ESAL). Asimismo, se ha tenido en cuenta una tasa de crecimiento del 4.43% para los vehículos pesados, según la Tabla 52. En base a estos datos, se ha desarrollado la siguiente tabla que incluye los valores de ejes equivalentes específicos para pavimentos flexibles:

Tabla 88

Relación de factor camión según tipo de vehículo para el tramo II

	Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
Vehículos ligeros	Autos	Simple	2	1	0.000527	0.001	277	0.292
		Simple	2	1	0.000527			
	Station Wagon	Simple	2	1	0.000527	0.001	57	0.060
		Simple	2	1	0.000527			
	Pick Up	Simple	2	1	0.000527	0.001	561	0.591
		Simple	2	1	0.000527			
	Panel	Simple	2	1	0.000527	0.001	31	0.033
		Simple	2	1	0.000527			
	Rural	Simple	2	1	0.000527	0.001	369	0.389
		Simple	2	1	0.000527			
	Micro	Simple	2	1	0.000527	0.001	6	0.006
		Simple	2	1	0.000527			
Omnibuses	2 E	Simple	2	7	1.265367	4.504	28	126.102
		Simple	4	11	3.238287			
	3 E	Simple	2	7	1.265367	2.631	6	15.788
		Tandem	6	16	1.365945			
Camiones	2 E	Simple	2	7	1.265367	4.504	192	864.702
		Simple	4	11	3.238287			
	3 E	Simple	2	7	1.265367	3.285	80	262.766

Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
Semitraylers	Tandem	8	18	2.019213	2.774	11	30.509
	Simple	2	7	1.265367			
	Tridem	10	23	1.508184			
	Simple	2	7	1.265367	7.742	4	30.968
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	2	7	1.265367	6.210	7	43.468
	Simple	4	11	3.238287			
	Tridem	12	25	1.706026			
	Simple	2	7	1.265367	6.523	0	0.000
	Tandem	8	18	2.019213			
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	2	7	1.265367	4.991	17	84.840
	Tandem	8	18	2.019213			
	Tridem	12	25	1.706026			
	Simple	2	7	1.265367	10.980	1	10.980
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	2	7	1.265367	9.761	0	0.000
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	4	11	3.238287			
Traylers	Tandem	8	18	2.019213	9.761	0	0.000
	Simple	2	7	1.265367			
	Tandem	8	18	2.019213			
	Simple	4	11	3.238287	8.542	0	0.000
	Simple	4	11	3.238287			
	Simple	2	7	1.265367			
	Tandem	8	18	2.019213	8.542	0	0.000
	Tandem	8	18	2.019213			
	Tandem	8	18	2.019213			
	Tandem	8	18	2.019213			

Tipo de vehículos	Tipo de eje	# llantas	Peso (Tn.)	Factor Camión	Total Factor Camion	IMD 2026	f IMDA flexible
	Simple	4	11	3.238287			
	Tandem	8	18	2.019213			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89

Número de ejes equivalentes para el tramo II

Pavimento flexible		
Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados	r (%)	4.43%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados	Fca	30.722
Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido		
Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	1
<i>Número de ejes equivalentes (ESAL)</i>		
$\#EE = 365 * (\sum fIMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	16,500,809.44

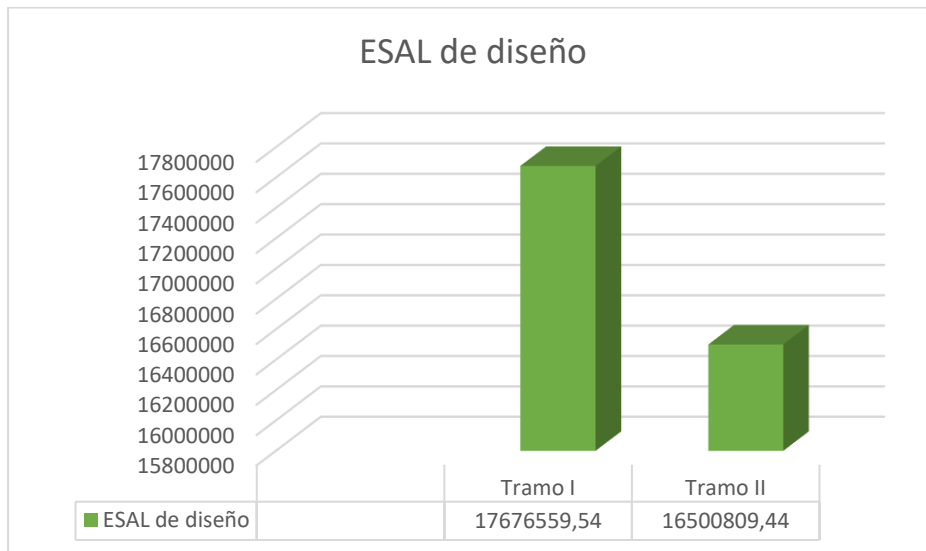
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cálculo de Número de ejes equivalentes indicado en la tabla 80, se indica que el tramo tiene un ESAL de 16,500,809.44 y corresponde al tipo de tráfico pesado T_{P12} .

3.9.6.3. Diagrama

Figura 54

ESAL de diseño para los tramos I y II



Elaboración propia

3.9.6.4. Análisis de la prueba

El ESAL de diseño más alto corresponde al tramo I: Yaurisque - Ccoyobamba, debido a su cercanía con la provincia del Cusco, la cual tiene una carga mayor de vehículos pesados, mientras que el tramo II: Ccoyobamba - Ccapacmarca, es la que soporta menos flujo de transporte de carga.

La Estación I, a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 17, 676,559.54 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado TP_{12} . y la Estación II, a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 16,500,809.44 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado TP_{12} .

IV. Resultados

4.1. Tramo I:

En cuanto al porcentaje de vehículos pesados, se observa un aumento del 13% al 27% en este tramo, creciendo el número de vehículos pesados en mayor proporción que el de ligeros, sentida hacia Yaurisque, de 30% a 53 %, sentida hacia Ccoyobamba, respecto del año base (2022) y el año proyectado (2045).

Por otro lado, respecto al porcentaje de vehículos ligeros se ve una disminución de 87% a 73 %, sentido hacia Yaurisque, de 70% a 47 %, sentido hacia Ccoyobamba, respecto del año base (2022) y el año proyectado (2045).

Según los resultados del análisis del nivel de servicio contrastando la situación existente con la prevista, se mantiene un nivel B en el sentido Hacia Yaurisque y un nivel A en el sentido Hacia Ccoyobamba.

Tabla 90

Resultados del tramo I

Sentido	Volumen Vehicular	% Pesados	% Ligeros	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
				ATS		PTSF		Crítico
Año 2022								
Hacia Yaurisque	108	13%	87%	62.07	A	38.95	B	B
Hacia Ccoyobamba	104	30%	70%	62.38	A	32	A	A
Año 2045								
Hacia Yaurisque	137	27%	73%	62.07	B	38.95	B	B
Hacia Ccoyobamba	163	53%	47%	62.38	A	32	A	A

Fuente: Elaboración propia

4.2. Tramo II:

En cuanto al porcentaje de vehículos pesados, se observa un aumento del 10% a 21 % en este tramo, creciendo el número de vehículos pesados en mayor proporción que el de ligeros, sentida hacia Ccoyobamba, de 24% a 44 %, sentida hacia Ccapacmarca, respecto del año base (2022) y el año proyectado (2045).

Por otro lado, respecto al porcentaje de vehículos ligeros se ve una disminución de 87% a 73 %, sentido hacia Yaurisque, de 70% a 47 %, sentido hacia Ccoyobamba, respecto del año base (2022) y el año proyectado (2045).

Según los resultados del análisis del nivel de servicio contrastando la situación existente con la prevista, se mantiene un nivel A en el sentido Hacia Yaurisque y un nivel A en el sentido Hacia Ccoyobamba.

Tabla 91

Resultados del tramo II

Sentido	Volumen Vehicular	% Pesados	% Ligeros	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
				ATS		PTSF		Crítico
Año 2022								
Hacia Ccoyobamba	103	10%	90%	62.07	A	38.95	B	B
Hacia Ccapacmarca	103	24%	76%	62.38	A	32	A	A
Año 2026								
Hacia Ccoyobamba	126	21%	79%	62.07	B	38.95	B	B
Hacia Ccapacmarca	150	44%	56%	60.10	A	33.05	A	A

Elaboración propia

4.3. Condiciones de la vía

La carretera CU-119, tramo CU-117 – CU-138, presenta un recorrido de 90.4 km; asimismo, es una vía no pavimentada, afirmada en su totalidad, con una señalización en regulares condiciones.

Tabla 92

Resumen del Estado de la CU-119, tramo CU-117 – CU-138

Departamento	Provincia	Distrito	Vía	Jerarquía	Estado	km	%
Cusco	Chumbivilcas	Ccapacmarca	CU-119	Vía departamental	Afirmado	6.2	7%
Cusco	Paruro	Ccapi	CU-119	Vía departamental	Afirmado	39.9	44%
Cusco	Paruro	Paccarictambo	CU-119	Vía departamental	Afirmado	37.1	41%
Cusco	Paruro	Paruro	CU-119	Vía departamental	Afirmado	7.2	8%
Totales						90.4	100%

Elaboración propia

V. Discusión de resultados

1. La pavimentación de la carretera CU-119, tramo CU-117 – CU-118, mejorará la seguridad vial y reducirá la frecuencia y gravedad de los accidentes de tráfico en la zona.

La pavimentación de la carretera CU-119 podría mejorar la seguridad vial al reducir la frecuencia y gravedad de los accidentes de tráfico en la zona. Debido que, una carretera pavimentada reduce el riesgo de accidentes ya que permite una mejor adherencia de los neumáticos al pavimento, lo que a su vez reduce la distancia de frenado y aumenta la capacidad de maniobra de los conductores. Además, la presencia de señalización adecuada y la gestión del tráfico pueden contribuir a una mayor seguridad vial en la zona.

En los resultados de la presente investigación se ha observado que la carretera presenta actualmente un alto tránsito de vehículos pesados de transporte de carga, lo cual representa un riesgo para la seguridad vial debido a que este tipo de vehículos tienen una mayor dificultad para maniobrar y frenar en una carretera no pavimentada. Por lo tanto, la pavimentación de la carretera CU-119 podría reducir significativamente el riesgo de accidentes de tráfico en la zona, al mejorar las condiciones de tránsito de vehículos de carga y de los demás usuarios de la vía.

2. La construcción de una carretera pavimentada en la zona de estudio podría aumentar la accesibilidad y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales, al facilitar el transporte de bienes y personas.

Al permitir el traslado de productos y personas, la construcción de una carretera asfaltada en la zona de estudio podría impulsar la accesibilidad y mejorar la calidad de vida en las localidades cercanas. El crecimiento social y económico de la región podría beneficiarse de la mejora de la conectividad y la accesibilidad de la zona.

Se ha observado que la falta de carreteras pavimentadas en la región de estudio restringe el acceso a servicios esenciales como la atención médica y educativa, lo que puede tener un impacto perjudicial en el nivel de vida de comunidades locales. La pavimentación de la CU-119 podría mejorar la calidad de vida de los residentes locales, ya que haría estos servicios mucho más accesibles y reduciría el tiempo de desplazamiento.

3. Al fomentar el comercio y la inversión en la zona, la pavimentación de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-118, podría tener un efecto favorable en el crecimiento económico de la región.

Al promover el comercio y la inversión en la zona, la pavimentación de la carretera CU-119 puede tener un buen efecto en el crecimiento económico regional. Una carretera asfaltada permite un movimiento más eficiente de personas y mercancías, lo que puede impulsar el comercio local y las perspectivas de inversión.

Según el estudio, la presencia de una carretera asfaltada podría afectar significativamente al crecimiento económico de la región al mejorar las conexiones locales y facilitar la circulación de productos y servicios. Por lo tanto, esto podría fomentar el crecimiento de la economía local y la creación de empleo.

Es fundamental señalar que, aunque la pavimentación de la carretera CU-119 podría beneficiar a la región estudiada, se requiere un estudio de ingeniería exhaustivo que tenga en cuenta los factores técnicos del proyecto.

VI. Conclusiones

Luego de llevar a cabo la investigación correspondiente para dar solución al problema planteado y contrastar las hipótesis formuladas, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Respecto al Tramo I: Yaurisque – Ccoyobamba corresponde a una vía afirmada de dos carriles, con una extensión de 43.2 km, una elevación máxima de 3,936 m y una pendiente promedio de 5.2%, desarrollada sobre un terreno ondulado. Respecto al Tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca corresponde a una vía afirmada de dos carriles, con una extensión de 46.3 km, una elevación máxima de 4,396 m y una pendiente promedio de 6.8%, desarrollada también sobre un terreno ondulado.
2. Se ha determinado que el IMDa para el Tramo I es de 1407 vehículos, compuesto por un 20.7% de vehículos pesados y un 79.3% de vehículos ligeros. Además, se ha identificado un VHMD de 108 vehículos en sentido hacia Yaurisque y de 104 vehículos en sentido hacia Ccoyobamba.
3. El IMDa para el tramo II: Ccoyobamba – Ccapacmarca es de 1447 vehículos, compuesto por 17.5% de vehículos pesados y 82.5% vehículos ligeros. Además, se identificó un VHMD de 103 veh sentido hacia Ccoyobamba y 103 sentido hacia Ccapacmarca.
4. Se ha proyectado un aumento en el tráfico vehicular para ambos tramos al año 2045. En el caso del Tramo I, se ha estimado una cantidad de 2722 vehículos, con una composición vehicular de 88% de vehículos ligeros y un 13% de vehículos pesados en sentido hacia Yaurisque, mientras que en sentido hacia Ccoyobamba se ha estimado una composición vehicular de 70% de vehículos ligeros y un 30% de vehículos pesados.
5. En el Tramo II, se ha estimado una cantidad de 2711 vehículos, con una composición vehicular de 90% de vehículos ligeros y un 10% de vehículos pesados en sentido hacia Ccoyobamba, y una composición vehicular de 76% de vehículos ligeros y un 24% de vehículos pesados en sentido hacia Ccapacmarca.
6. En cuanto al nivel de servicio, se ha determinado que el Tramo I presenta un nivel A respecto al ATS y un nivel de servicio B respecto a PTSF, mientras que el Tramo II presenta un nivel A

respecto al ATS y un nivel de servicio A respecto a PTSF. Esto indica que ambos tramos presentan niveles de servicio con flujo libre y nulos niveles de interrupción.

7. Los resultados de los EE para el tramo I a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 17,676,559.54 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado T_{P12} . y la Estación II, a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 16,500,809.44 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado T_{P12} .
8. Los resultados de los EE para el tramo I a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 17,676,559.54 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado T_{P12} . y la Estación II, a una proyección de 20 años soportará una carga mayor de 16,500,809.44 ejes equivalentes correspondiente a un tipo de tráfico pesado T_{P12} .

VII. Recomendaciones

Se recomienda utilizar la presente tesis de investigación como sustento para el mejoramiento de la Carretera CU-119: Tramo CU-138 – CU-117 teniendo como base los resultados obtenidos a fin de adecuar el flujo de vehículos y el nivel de servicio existente ante un tráfico proyectado como su composición de vehículos.

Las recomendaciones derivadas de la investigación realizada en la presente tesis:

- **Pavimentación de la vía:** Se recomienda que el Gobierno Regional del Cusco gestione, promueva y coordine el proyecto de pavimentación de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-138, en colaboración con otras entidades gubernamentales competentes en la materia. Asimismo, es necesario que se establezca un cronograma detallado de las acciones necesarias para la implementación de la vía pavimentada, así como de las acciones que mitiguen la interferencia de la vía durante su construcción. Esto incluiría medidas para garantizar la seguridad de los usuarios, como la señalización adecuada y la gestión del tráfico, así como la prevención de impactos ambientales.
- **Mejora de la señalización:** Se recomienda que el Gobierno Regional del Cusco gestione, promueva y coordine el proyecto de mejora de la señalización de la carretera CU-119, tramo CU-117 - CU-138, para mejorar la seguridad vial y reducir los riesgos de accidentes de tráfico. Se debe garantizar la colocación de señales de tráfico, tanto verticales como horizontales, en lugares estratégicos para informar a los conductores de las características de la carretera, como pendientes, curvas peligrosas, cruces y otros obstáculos.
- **Mejora del mantenimiento de la vía:** Se recomienda la mejora del mantenimiento de la vía, especialmente en el Tramo II, para garantizar su uso seguro y sostenible en el futuro. Esto incluye la limpieza y el despeje de la vía, la reparación de imperfecciones y la prevención de la erosión del suelo. Además, se deben realizar inspecciones periódicas para garantizar la seguridad vial y la durabilidad de la vía.
- **Fortalecimiento del control de tráfico:** Se recomienda el fortalecimiento del control de tráfico en ambas vías, especialmente en el Tramo II, para garantizar la seguridad vial y el

cumplimiento de las normas de tráfico. Esto incluye la vigilancia de la velocidad de los vehículos, el control de la sobrecarga, y la verificación del estado técnico de los vehículos.

- Fomento de la educación vial: Se recomienda el fomento de la educación vial en la zona, especialmente entre los conductores de vehículos pesados, para mejorar la seguridad vial y reducir los riesgos de accidentes de tráfico. Esto puede ser llevado a cabo mediante campañas de sensibilización y educación sobre las normas de tráfico, la seguridad vial y el uso responsable de la vía.
- Monitoreo periódico de la vía: Se recomienda la realización de un monitoreo periódico de ambas vías para identificar cualquier problema o cambio en las condiciones de la vía, y tomar las medidas necesarias para garantizar su uso seguro y sostenible en el futuro. Esto incluye la realización de inspecciones técnicas periódicas, la evaluación de los niveles de servicio, y la actualización de las proyecciones de tráfico.

VIII. Referencias

- Asto, C., & Ismael, J. C. (2019). *Diseño de la infraestructura vial para mejorar la transitabilidad usando el método AASHTO 93 en la Urbanización Santa Rosa Ventanilla-Callao, 2019*. Universidad César Vallejo.
- Bañón, A., & Beviá, C. (2000). *Diseño geométrico de carreteras*. Editorial Club Universitario.
- Cal, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Alpha Editorial.
- Colchado León, C. W. E., & Díaz Pita, A. J. (2018). *Investigación de las condiciones de transitabilidad del camino vecinal Simbron - Farrat - Colpa - Sacha Grande, provincia de Gran Chimú - La Libertad*. Universidad Privada Antenor Orrego – UPAO
- Celis, J. (2022). *Análisis de la capacidad vial y necesidad de flujo en la avenida Participación del distrito de Belén – 2021*. [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2263>
- Cruz Angeles, C. S., & Melgarejo Herrera, G. I. (2020). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular del Camino Vecinal Recuay – Huancapampa – Ancash – 2020*. Universidad César Vallejo.
- Fernández, E. (2019). *Propuesta para el mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de los jirones Juan Velasco y Víctor Capristan, distrito de Huamachuco - La Libertad* [Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO].
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2012). *Investigación educativa*. McGraw Hill.
- HCM 2,010. (2010). Transportation Research Board
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6.a ed.). McGraw Hill.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). Perú: Perfil sociodemográfico. Lima, Perú. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1532/libro.pdf

- Larrota-Limas, B y Gomez-Moreno, C. (2020). Transitabilidad de la vía terciaria en la vereda el Cucharal, municipio de Fusagasugá. Universidad Católica de Colombia.
- López, E., Fernández, P., & Baptista, P. (2012). Metodología de la investigación (5ta ed.). McGraw-Hill.
- Méndez Cruz, J. P., & Wang Oropeza, M. C. J. (2019). Estudio y propuesta de mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de la avenida los incas en la ciudad de Trujillo - la libertad. Universidad Privada Antenor Orrego – UPAO.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología y pavimentos 2014
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2020). Estadística
- Naranjo Herrera, V. (2008). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales.*
- Ocoro Possu (2014). *Análisis de capacidad y nivel de servicio del corredor vial Cali – Jamundí*
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2011). *Traffic engineering*. Pearson.
- Salas Miranda, I. B. (2017). Metodología para mejorar la evaluación del nivel de servicio de carreteras concesionadas.
- Salvador, N. (2021). *Propuesta de diseño de pavimento a nivel de afirmado para la via vecinal LO 549: SHUCUSHYACU - Lago Cuipari - Libertad de Cuiparillo - Gloria, distrito Teniente Cesar Lopez Rojas, provincia De Alto Amazonas – Perú, 2021* [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1489>
- Valencia Alaix, V. (2001). Caracterización de las maniobras de adelantamiento y sus efectos en las normas del manual de diseño geométrico para carreteras de Colombia.

Vicente Vargas, E. X., & Vicente Vargas, V. F. (2019). *Estudio de impacto vial del Aeropuerto Internacional de Chinchero en la carretera Chinchero - Urubamba de acuerdo con la metodología HCM 2010*. Universidad Andina del Cusco.

IX. Anexos

ANEXO N°01 CONTEO DE TRÁFICO

ESTACIÓN E1

TRAMO: YAURISQUE – CCOYOBAMBA

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:			CU-119				
ESTACION:	E1											DISTRITO:			CCAPI				
DIA:	MARTES											PROVINCIA:			PARURO				
FECHA:	14/06/2022											DEPARTAMENTO:			CUSCO				
TRAMO	YAUQUISQUE - CCOYOBAMBA										SENTIDO:			HACIA CCOYOBAMBA					
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	32
06:00 - 07:00	0	9	0	18	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	36
07:00 - 08:00	0	14	5	23	5	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	54
08:00 - 09:00	0	18	0	0	5	0	5	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	41
09:00 - 10:00	0	9	5	27	9	14	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	77
10:00 - 11:00	5	5	0	5	9	5	0	0	0	5	5	0	0	0	5	0	0	0	41
11:00 - 12:00	0	5	0	9	0	0	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	27
12:00 - 13:00	0	14	5	5	0	5	5	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	50
13:00 - 14:00	0	18	0	18	0	9	0	0	0	9	14	0	0	0	0	0	0	0	68
14:00 - 15:00	5	14	0	18	0	18	5	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	72
15:00 - 16:00	0	23	9	27	0	5	9	0	0	9	5	0	0	0	9	0	0	0	95
16:00 - 17:00	0	9	0	18	0	0	9	0	0	5	5	5	0	0	0	9	0	0	59
17:00 - 18:00	0	14	0	14	0	5	14	0	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	59
18:00 - 19:00	5	23	5	23	0	5	9	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	81
19:00 - 20:00	0	9	0	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
20:00 - 21:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
21:00 - 22:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
22:00 - 23:00	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	14	194	32	221	32	68	59	0	0	122	63	5	0	0	23	0	0	0	828
%	1.6%	23.4%	3.8%	26.6%	3.8%	8.2%	7.1%	0.0%	0.0%	14.7%	7.6%	0.5%	0.0%	0.0%	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:		CU-119						
ESTACION:	E1											DISTRITO:		CCAPI						
DIA:	MIÉRCOLES											PROVINCIA:		PARURO						
FECHA:	15/06/2022											DEPARTAMENTO:		CUSCO						
TRAMO	YAIRISQUE - CCOYOBAMBA										SENTIDO:		HACIA CCOYOBAMBA							
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	23
06:00 - 07:00	0	5	5	5	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
07:00 - 08:00	0	9	5	18	0	23	0	0	0	27	5	0	0	0	0	0	0	0	0	86
08:00 - 09:00	0	5	0	14	0	0	0	0	0	18	5	0	0	0	0	9	0	0	0	50
09:00 - 10:00	0	9	5	23	0	27	0	0	0	9	0	0	0	0	0	18	0	0	0	90
10:00 - 11:00	0	5	0	23	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
11:00 - 12:00	0	9	5	14	0	14	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	59
12:00 - 13:00	5	14	5	5	0	18	0	0	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	59
13:00 - 14:00	0	5	0	0	0	9	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
14:00 - 15:00	5	5	0	9	5	18	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54
15:00 - 16:00	5	14	0	9	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	36
16:00 - 17:00	5	5	0	5	0	18	14	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	54
17:00 - 18:00	0	5	0	14	0	9	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
18:00 - 19:00	0	9	0	14	0	14	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
19:00 - 20:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
TOTAL	18	108	23	153	5	153	27	0	0	140	41	0	0	0	0	32	0	0	0	698
%	2.6%	15.5%	3.2%	21.9%	0.6%	21.9%	3.9%	0.0%	0.0%	20.0%	5.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.5%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:		CU-119						
ESTACION:	E1											DISTRITO:		CCAPI						
DIA:	JUEVES											PROVINCIA:		PARURO						
FECHA:	16/06/2022											DEPARTAMENTO:		CUSCO						
TRAMO	YAUQUISQUE - CCOYOBAMBA											SENTIDO:		HACIA YAUQUISQUE						
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	5	18	0	9	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	36
06:00 - 07:00	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	14
07:00 - 08:00	0	9	5	5	0	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
08:00 - 09:00	0	0	0	9	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	18
09:00 - 10:00	0	5	0	5	0	9	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
10:00 - 11:00	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	23
11:00 - 12:00	0	14	0	9	0	5	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	41
12:00 - 13:00	5	18	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
13:00 - 14:00	0	5	0	9	0	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
14:00 - 15:00	0	23	0	9	0	32	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72
15:00 - 16:00	5	5	0	5	0	23	5	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	50
16:00 - 17:00	0	27	0	9	0	14	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
17:00 - 18:00	0	14	0	14	0	9	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	54
18:00 - 19:00	0	18	0	9	0	9	9	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
21:00 - 22:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	9	149	9	122	0	153	14	5	0	68	36	5	0	0	0	5	0	0	0	572
%	1.6%	26.0%	1.6%	21.3%	0.0%	26.8%	2.4%	0.8%	0.0%	11.8%	6.3%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119	TRAMO:										CU-119								
ESTACION:	E1	DISTRITO:										CCAPI								
DIA:	JUEVES	PROVINCIA:										PARURO								
FECHA:	16/06/2022	DEPARTAMENTO:										CUSCO								
TRAMO	YAIRISQUE - CCOYOBAMBA	SENTIDO:										HACIA CCOYOBAMBA								
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	9	5	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
06:00 - 07:00	0	9	0	14	0	0	0	0	0	5	9	0	0	5	0	0	0	0	0	41
07:00 - 08:00	0	5	5	5	0	5	0	0	0	18	5	0	0	0	0	0	0	0	0	41
08:00 - 09:00	0	5	5	14	5	9	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54
09:00 - 10:00	9	9	18	18	0	27	0	0	0	14	14	0	0	0	0	5	0	0	0	113
10:00 - 11:00	5	9	0	36	0	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	63
11:00 - 12:00	0	9	0	27	0	9	5	0	0	9	9	9	0	0	0	5	0	0	0	81
12:00 - 13:00	5	18	0	18	0	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
13:00 - 14:00	5	32	0	5	0	18	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
14:00 - 15:00	0	27	0	5	0	18	5	0	0	5	9	0	5	0	0	0	0	0	0	72
15:00 - 16:00	0	9	0	14	0	0	0	0	0	9	18	0	0	0	0	0	0	0	0	50
16:00 - 17:00	5	14	0	14	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
17:00 - 18:00	5	18	0	9	0	18	9	0	0	18	5	0	0	0	0	0	0	0	0	81
18:00 - 19:00	0	27	0	9	0	14	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	59
19:00 - 20:00	0	5	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
20:00 - 21:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
TOTAL	32	207	32	194	5	135	23	0	0	126	81	14	5	5	0	9	0	0	0	864
%	3.6%	24.0%	3.6%	22.4%	0.5%	15.6%	2.6%	0.0%	0.0%	14.6%	9.4%	1.6%	0.5%	0.5%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:			CU-119					
ESTACION:	E1											DISTRITO:			CCAPI					
DIA:	VIERNES											PROVINCIA:			PARURO					
FECHA:	17/06/2022											DEPARTAMENTO:			CUSCO					
TRAMO	YAUQUISQUE - CCOYOBAMBA													SENTIDO:		HACIA YAUQUISQUE				
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	9	5	9	0	14	0	0	0	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	50
06:00 - 07:00	0	5	0	9	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	18
07:00 - 08:00	0	9	5	9	0	14	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	41
08:00 - 09:00	0	9	9	14	0	9	0	0	0	9	0	9	0	5	0	0	0	0	0	63
09:00 - 10:00	5	9	0	5	5	14	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54
10:00 - 11:00	0	5	0	23	0	32	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	68
11:00 - 12:00	0	9	5	9	0	27	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	59
12:00 - 13:00	5	9	5	18	0	5	5	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	54
13:00 - 14:00	9	5	0	18	5	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
14:00 - 15:00	0	5	0	23	0	23	5	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	68
15:00 - 16:00	0	45	5	14	0	27	5	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
16:00 - 17:00	0	32	0	9	0	5	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
17:00 - 18:00	9	23	0	45	0	18	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104
18:00 - 19:00	0	27	0	36	0	14	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81
19:00 - 20:00	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
20:00 - 21:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	27	203	32	257	9	198	18	0	0	95	14	32	0	5	0	5	0	0	0	891
%	3.0%	22.7%	3.5%	28.8%	1.0%	22.2%	2.0%	0.0%	0.0%	10.6%	1.5%	3.5%	0.0%	0.5%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:				CU-119					
ESTACION:	E1											DISTRITO:				CCAPI					
DIA:	SÁBADO											PROVINCIA:				PARURO					
FECHA:	18/06/2022											DEPARTAMENTO:				CUSCO					
TRAMO	YAUQUISQUE - CCOYOBAMBA														SENTIDO:				HACIA YAUQUISQUE		
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION				SEMI TRAILER				TRAILER			TOTAL
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
05:00 - 06:00	5	14	0	18	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
06:00 - 07:00	5	5	0	18	5	5	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
07:00 - 08:00	0	0	5	9	0	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
08:00 - 09:00	0	5	0	5	9	9	0	0	0	5	0	0	0	0	5	14	0	0	0	0	50
09:00 - 10:00	9	0	0	27	9	14	0	0	0	0	9	0	0	0	0	5	0	0	0	0	72
10:00 - 11:00	14	9	0	5	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
11:00 - 12:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
12:00 - 13:00	0	18	0	14	5	9	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
13:00 - 14:00	0	5	0	9	0	5	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
14:00 - 15:00	5	5	0	9	0	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
15:00 - 16:00	9	18	0	23	0	5	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
16:00 - 17:00	0	32	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
17:00 - 18:00	5	5	0	18	0	0	0	0	0	9	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
18:00 - 19:00	0	5	0	9	0	9	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
19:00 - 20:00	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
20:00 - 21:00	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
21:00 - 22:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	50	131	5	194	32	99	5	5	0	68	45	0	0	0	0	5	18	0	0	0	653
%	7.6%	20.0%	0.7%	29.7%	4.8%	15.2%	0.7%	0.7%	0.0%	10.3%	6.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	2.8%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:		CU-119						
ESTACION:	E1											DISTRITO:		CCAPI						
DIA:	DOMINGO											PROVINCIA:		PARURO						
FECHA:	19/06/2022											DEPARTAMENTO:		CUSCO						
TRAMO	YAUQUISQUE - CCOYOBAMBA											SENTIDO:		HACIA CCOYOBAMBA						
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
05:00 - 06:00	0	14	9	9	0	9	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
06:00 - 07:00	0	5	0	9	0	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
07:00 - 08:00	0	9	0	18	0	14	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
08:00 - 09:00	0	14	9	14	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
09:00 - 10:00	0	9	0	9	0	9	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
10:00 - 11:00	0	5	0	14	0	27	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
11:00 - 12:00	0	5	0	5	0	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
12:00 - 13:00	0	18	0	18	0	14	5	0	0	5	9	0	0	0	0	5	0	0	0	72
13:00 - 14:00	0	14	0	9	0	18	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
14:00 - 15:00	0	27	0	9	0	18	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
15:00 - 16:00	0	14	9	9	0	18	5	0	0	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	72
16:00 - 17:00	0	18	9	18	5	9	0	0	0	5	18	0	0	0	0	0	0	0	0	81
17:00 - 18:00	0	9	0	23	0	14	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
18:00 - 19:00	0	9	0	14	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
19:00 - 20:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
22:00 - 23:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	189	41	189	5	171	14	36	18	41	32	0	0	0	0	5	0	0	0	738
%	0.0%	25.6%	5.5%	25.6%	0.6%	23.2%	1.8%	4.9%	2.4%	5.5%	4.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

ANEXO N°02 CONTEO DE TRÁFICO

ESTACIÓN E1

TRAMO: CCOYOBAMBA – CCAPACMARCA

CARRETERA:	CU-119				TRAMO:										CU-119							
ESTACION:	E1				DISTRITO:										CCAPACMARCA							
DIA:	MARTES				PROVINCIA:										CHUMVIBILCAS							
FECHA:	14/06/2022				DEPARTAMENTO:										CUSCO							
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA				SENTIDO:										HACIA COYOBAMBA							
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION				SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04:00 - 05:00	0	10	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	25	
05:00 - 06:00	0	10	0	15	5	10	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54	
06:00 - 07:00	5	10	0	15	0	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	
07:00 - 08:00	0	10	0	15	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	
08:00 - 09:00	0	15	10	20	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	59	
09:00 - 10:00	5	10	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	34	
10:00 - 11:00	0	15	0	10	0	5	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	
11:00 - 12:00	0	5	0	39	0	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	
12:00 - 13:00	5	5	0	10	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
13:00 - 14:00	0	10	5	5	5	5	0	0	0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	
14:00 - 15:00	5	15	5	15	0	15	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	
15:00 - 16:00	0	10	0	25	0	25	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	
16:00 - 17:00	5	5	0	34	0	25	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	
17:00 - 18:00	0	10	0	10	0	5	0	0	0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	
18:00 - 19:00	0	5	0	10	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
19:00 - 20:00	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
20:00 - 21:00	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	15	
21:00 - 22:00	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	15	
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	25	147	25	255	15	127	15	0	0	108	29	10	0	0	0	20	0	0	0	0	774	
%	3.2%	19.0%	3.2%	32.9%	1.9%	16.5%	1.9%	0.0%	0.0%	13.9%	3.8%	1.3%	0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:			CU-119					
ESTACION:	E1											DISTRITO:			CCAPACMARCA					
DIA:	MARTES											PROVINCIA:			CHUMVIBILCAS					
FECHA:	14/06/2022											DEPARTAMENTO:			CUSCO					
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA										SENTIDO:			HACIA CCAPACMARCA						
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	5	0	10	0	5	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
06:00 - 07:00	0	15	0	15	0	5	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
07:00 - 08:00	0	10	0	20	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
08:00 - 09:00	0	5	5	44	0	10	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78
09:00 - 10:00	0	10	0	15	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
10:00 - 11:00	0	10	0	25	0	10	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
11:00 - 12:00	0	10	10	20	0	5	0	0	0	10	0	0	0	5	0	5	0	0	0	64
12:00 - 13:00	5	5	0	5	0	5	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
13:00 - 14:00	0	5	15	5	0	15	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
14:00 - 15:00	5	10	0	15	0	15	0	0	0	15	0	0	0	20	0	0	0	0	0	78
15:00 - 16:00	0	5	5	29	0	25	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	83
16:00 - 17:00	0	15	10	34	0	5	0	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0	0	93
17:00 - 18:00	5	5	5	20	5	15	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
18:00 - 19:00	0	5	5	25	0	25	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
20:00 - 21:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	10
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	15	123	54	284	5	167	0	0	0	157	15	15	15	25	0	10	0	0	0	882
%	1.7%	13.9%	6.1%	32.2%	0.6%	18.9%	0.0%	0.0%	0.0%	17.8%	1.7%	1.7%	1.7%	2.8%	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119														TRAMO:			CU-119		
ESTACION:	E1														DISTRITO:			CCAPACMARCA		
DIA:	MIERCOLES														PROVINCIA:			CHUMVIBILCAS		
FECHA:	15/06/2022														DEPARTAMENTO:			CUSCO		
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA														SENTIDO:			HACIA CCAPACMARCA		
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION				SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
05:00 - 06:00	0	5	0	10	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
06:00 - 07:00	0	10	0	15	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
07:00 - 08:00	0	15	0	20	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
08:00 - 09:00	0	10	0	15	5	5	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
09:00 - 10:00	0	15	0	20	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
10:00 - 11:00	0	5	0	10	5	20	0	10	0	5	0	0	0	0	0	25	0	0	0	78
11:00 - 12:00	0	20	0	20	0	5	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54
12:00 - 13:00	10	0	0	25	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
13:00 - 14:00	5	10	0	15	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
14:00 - 15:00	0	5	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
15:00 - 16:00	0	10	0	10	0	20	0	0	0	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	64
16:00 - 17:00	0	5	0	25	0	15	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
17:00 - 18:00	0	0	0	10	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
18:00 - 19:00	0	5	0	10	0	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	29
19:00 - 20:00	0	5	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	15	132	0	221	20	123	0	29	0	93	25	0	0	0	0	25	0	0	0	681
%	2.2%	19.4%	0.0%	32.4%	2.9%	18.0%	0.0%	4.3%	0.0%	13.7%	3.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119				TRAMO:										CU-119					
ESTACION:	E1				DISTRITO:										CCAPACMARCA					
DIA:	VIERNES				PROVINCIA:										CHUMVIBILCAS					
FECHA:	17/06/2022				DEPARTAMENTO:										CUSCO					
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA				SENTIDO:										HACIA COYOBAMBA					
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
05:00 - 06:00	0	10	0	15	10	20	0	0	0	5	5	0	0	0	0	5	0	0	0	69
06:00 - 07:00	0	10	0	25	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	39
07:00 - 08:00	5	5	0	34	10	10	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	74
08:00 - 09:00	5	10	0	20	0	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	49
09:00 - 10:00	0	5	0	5	5	29	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
10:00 - 11:00	0	5	0	44	5	25	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	93
11:00 - 12:00	0	15	0	49	0	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	78
12:00 - 13:00	5	0	0	10	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
13:00 - 14:00	5	5	0	29	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
14:00 - 15:00	5	10	0	29	5	15	0	0	0	25	0	5	0	5	0	0	0	0	0	98
15:00 - 16:00	0	20	5	59	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
16:00 - 17:00	0	0	5	44	0	5	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	64
17:00 - 18:00	5	5	5	59	0	10	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98
18:00 - 19:00	5	5	0	15	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
19:00 - 20:00	5	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
20:00 - 21:00	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
21:00 - 22:00	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
22:00 - 23:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
TOTAL	39	137	15	456	34	157	5	0	0	98	44	5	0	5	0	5	0	0	0	1000
%	3.9%	13.7%	1.5%	45.6%	3.4%	15.7%	0.5%	0.0%	0.0%	9.8%	4.4%	0.5%	0.0%	0.5%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119											TRAMO:		CU-119						
ESTACION:	E1											DISTRITO:		CCAPACMARCA						
DIA:	VIERNES											PROVINCIA:		CHUMVIBILCAS						
FECHA:	17/06/2022											DEPARTAMENTO:		CUSCO						
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA											SENTIDO:		HACIA CCAPACMARCA						
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
06:00 - 07:00	0	5	0	10	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
07:00 - 08:00	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	20
08:00 - 09:00	5	15	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	39
09:00 - 10:00	0	10	0	15	0	10	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
10:00 - 11:00	0	5	0	15	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	29
11:00 - 12:00	5	5	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
12:00 - 13:00	5	5	0	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
13:00 - 14:00	0	10	5	10	0	15	0	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	54
14:00 - 15:00	0	5	0	25	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
15:00 - 16:00	0	10	0	15	0	15	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	54
16:00 - 17:00	0	0	0	29	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
17:00 - 18:00	5	0	0	34	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
18:00 - 19:00	0	10	5	20	0	15	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	59
19:00 - 20:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20:00 - 21:00	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	20	108	10	216	10	113	0	5	0	59	34	5	0	0	0	5	0	0	0	583
%	3.4%	18.5%	1.7%	37.0%	1.7%	19.3%	0.0%	0.8%	0.0%	10.1%	5.9%	0.8%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119		TRAMO:	CU-119															
ESTACION:	E1		DISTRITO:	CCAPACMARCA															
DIA:	DOMINGO		PROVINCIA:	CHUMVIBILCAS															
FECHA:	19/06/2022		DEPARTAMENTO:	CUSCO															
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA		SENTIDO:	HACIA COYOBAMBA															
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
05:00 - 06:00	0	10	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
06:00 - 07:00	0	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	29
07:00 - 08:00	5	10	0	20	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	59
08:00 - 09:00	0	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
09:00 - 10:00	0	5	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
10:00 - 11:00	5	10	0	5	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
11:00 - 12:00	5	5	0	15	5	15	0	0	0	10	0	0	5	0	0	0	0	0	59
12:00 - 13:00	0	10	5	25	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	59
13:00 - 14:00	5	0	0	15	0	25	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	54
14:00 - 15:00	10	15	0	20	0	10	0	0	0	10	0	0	5	0	0	0	0	0	69
15:00 - 16:00	15	10	0	15	0	15	0	0	0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	74
16:00 - 17:00	5	10	0	25	0	25	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	74
17:00 - 18:00	0	5	0	10	0	15	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
18:00 - 19:00	10	10	10	5	0	20	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	59
19:00 - 20:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
20:00 - 21:00	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
TOTAL	59	127	15	206	10	176	0	0	0	74	5	5	10	0	0	25	0	0	711
%	8.3%	17.9%	2.1%	29.0%	1.4%	24.8%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.7%	0.7%	1.4%	0.0%	0.0%	3.4%	0.0%	0.0%	100.0%

CARRETERA:	CU-119														TRAMO:				CU-119			
ESTACION:	E1														DISTRITO:				CCAPACMARCA			
DIA:	DOMINGO														PROVINCIA:				CHUMVIBILCAS			
FECHA:	19/06/2022														DEPARTAMENTO:				CUSCO			
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA														SENTIDO:				HACIA CCAPACMARCA			
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL			
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2	>=3T3	
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15		
05:00 - 06:00	5	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34		
06:00 - 07:00	5	5	5	10	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34		
07:00 - 08:00	5	0	0	20	0	5	5	15	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	54		
08:00 - 09:00	0	15	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34		
09:00 - 10:00	0	0	0	10	5	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29		
10:00 - 11:00	5	5	0	20	0	10	0	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64		
11:00 - 12:00	5	0	0	10	0	5	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34		
12:00 - 13:00	10	5	0	10	0	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44		
13:00 - 14:00	0	10	0	5	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29		
14:00 - 15:00	0	0	0	10	0	15	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39		
15:00 - 16:00	0	5	0	15	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29		
16:00 - 17:00	0	10	10	25	0	15	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69		
17:00 - 18:00	0	15	0	10	0	10	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49		
18:00 - 19:00	0	5	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25		
19:00 - 20:00	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10		
20:00 - 21:00	0	0	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15		
21:00 - 22:00	0	10	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25		
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAL	34	113	25	191	5	113	5	113	34	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	637		
%	5.4%	17.7%	3.8%	30.0%	0.8%	17.7%	0.8%	17.7%	5.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%		

CARRETERA:	CU-119				TRAMO:										CU-119					
ESTACION:	E1				DISTRITO:										CCAPACMARCA					
DIA:	LUNES				PROVINCIA:										CHUMVIBILCAS					
FECHA:	20/06/2022				DEPARTAMENTO:										CUSCO					
TRAMO	CCOYOBAMBA - CCAPACMARCA				SENTIDO:										HACIA COYOBAMBA					
HORA	MOTO LINEAL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA		COMBI	MICRO	OMNIBUS		CAMION			SEMI TRAILER			TRAILER			TOTAL	
				PICK UP	PANEL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
05:00 - 06:00	0	5	10	25	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
06:00 - 07:00	5	5	0	5	0	10	0	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	39
07:00 - 08:00	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	25
08:00 - 09:00	0	5	5	15	0	10	0	0	0	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	54
09:00 - 10:00	0	5	10	20	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
10:00 - 11:00	0	5	0	15	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
11:00 - 12:00	5	5	0	10	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	25
12:00 - 13:00	0	0	0	5	5	10	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	34
13:00 - 14:00	0	5	0	15	0	20	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
14:00 - 15:00	5	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
15:00 - 16:00	0	5	0	25	0	15	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	49
16:00 - 17:00	0	10	0	5	5	10	0	0	0	10	5	0	0	0	0	5	0	0	0	49
17:00 - 18:00	0	15	0	20	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
18:00 - 19:00	0	5	0	10	0	20	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
19:00 - 20:00	0	5	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
21:00 - 22:00	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
22:00 - 23:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23:00 - 24:00	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
TOTAL	15	83	34	230	10	137	0	0	0	74	39	5	0	0	0	5	5	0	0	637
%	2.3%	13.1%	5.4%	36.2%	1.5%	21.5%	0.0%	0.0%	0.0%	11.5%	6.2%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.8%	0.0%	0.0%	100.0%

ANEXO N°03 CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

ESTACIÓN E2

TRAMO: CCOYOBAMBA – CCAPACMARCA

Nivel de servicio y capacidad de la vía del tramo II:

4.3.1.1. Procesamiento

C. Paso 1: Ingreso de datos

Se recopilaron los datos necesarios, según la siguiente tabla:

Recopilación de datos geométricos y de tránsito

Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Clasificación de carretera	I		Volumen en el sentido de análisis	103	veh/h
Ancho de carril	3.60	m	Volumen en el sentido opuesto	103	veh/h
Ancho de berma	1.67	m	Factor Hora Punta (PHF)	1	
Densidad de puntos de acceso	0.05	punto/km	División direccional	50/50	
Terreno	Ondulado		% Vehículos pesados	0.1	%
% de zona de no adelantamiento	100	%	% Vehículos recreacionales	0	%
Longitud del segmento	3	km	FFS, en campo	116.00	km/h
Pendiente del segmento	6.8	%	FFS, opuesto	116.00	km/h
Sentido del flujo de análisis	Descenso				

Aplicando los factores de conversión para cada medida se obtiene la siguiente tabla con los datos geométricos y de tránsito en el sistema de medida imperial:

Recopilación de datos geométricos y de tránsito sistema imperial

Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Clasificación de carretera	I		Volumen en el sentido	103	veh/h
Ancho de carril	11.812	ft	Volumen en el sentido opuesto	103	veh/h
Ancho de berma	5.479	ft	Factor Hora Punta	1	
Densidad de puntos de acceso	0	punto/mi	División direccional	50/50	
Terreno	Ondulado		% Vehículos pesados	0.1	%
% de zona de no adelantamiento	100	%	% Vehículos	0	%
Longitud del segmento	1.863	mi	FFS, en campo	72.079	mi/h
Pendiente del segmento	6.8	%	FFS, opuesto	72.079	mi/h
Sentido del flujo de análisis	Descenso				

D. Paso 2: Estimando la velocidad de flujo libre (FFS)

Para la estimación de la velocidad de flujo libre se tomó el valor de 70 mi/h siendo el máximo valor. (Transportation Research Board, 2010)

FFS sentido de dirección = 72 mi/h

FFS sentido opuesto = 72 mi/h

E. Paso 3: Ajuste de la demanda para determinar la velocidad promedio de viaje (ATS)

Factores	Vd	Vo
fg,ATS	0.6724	0.35

Et	2.688	2.688
Er	1.1	1.1
Pt	0.1	0.1
Pr	0	0
fhv, ATS	0.856	0.462
VATS	179	187

F. Paso 4: Cálculo de la velocidad promedio de viaje (ATS)

La ATS se calcula para carreteras de Clase I a partir de la siguiente ecuación.

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Factores	Vd	Vo
FFS	70.76	70.76
V ATS	179	187
fhv, ATS	0.856	0.462
ATS	59.8	58.7

G. Paso 5: Ajuste de la demanda para determinar el porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

Factores	Vd	Vo
PHF	1	1
fg,PTSF	0.732	0.71
fhv, PTSF	0.918	0.93
Vi,PTSF	153	111

H. Paso 6: Calculo del porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

El proceso de cálculo para determinar el PTSF se realizó a partir de la siguiente ecuación.

$$PTSF_i = BTSF_i + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

Factores	Vd	Vo
fnp,PTSF	32.8	31.4
VTSF	153	111
PTSF	34.1	34.9

I. Paso 7: Estimando el PFFS

El porcentaje de velocidad a flujo libre solo se aplica para carreteras de Clase III.

J. Paso 8: Determinar el Nivel de servicio y la capacidad

Nivel de servicio en el sentido Hacia Ccoyobamba – 2022

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55 59.8	≤ 35 34.1	A
B	> 50 - 55	> 35 - 50	B
C	> 45 - 50	> 50 - 65	C
D	> 40 - 45	> 65 - 80	D
E	≤40	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
A			

Nivel de servicio en el sentido Hacia Ccapacmarca – 2022

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55 58.7	≤ 35 34.90	A
B	> 50 - 55	> 35 - 50	B
C	> 45 - 50	> 50 - 65	C
D	> 40 - 45	> 65 - 80	D
E	≤40	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
A			

ANEXO N°04 PANEL FOTOGRÁFICO

ESTACIÓN E1

TRAMO: YAURISQUE - CCOYOBAMBA





ESTACIÓN E2

TRAMO: CCOYOBAMBA – CCAPACMARCA



