



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**CONDICIONES OPERATIVAS QUE INCIDEN EN LA  
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LAS VIAS DE  
ACCESO A LA CIUDAD DE PUNO PE-36B Y PE-3S – 2022**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. IVAN NEIL PARRA ROQUE**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

CONDICIONES OPERATIVAS QUE INCIDE  
N EN LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SER  
VICIO DE LAS VIAS DE ACCESO A L

AUTOR

IVAN NEIL PARRA ROQUE

RECUENTO DE PALABRAS

32478 Words

RECUENTO DE CARACTERES

158810 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

138 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 7, 2023 8:09 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 7, 2023 8:11 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
Ing. Félix Rojas Chahuares  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 2051221

  
Ing. Emilio Casullo Aroni  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 920514

Resumen  
Resumen



## DEDICATORIA

*Dedicado a mis padres, familiares y amigos que siempre me apoyan dentro del camino  
y más allá de la meta.*

*En memoria de quienes estuvieron conmigo y hoy perduran en mis recuerdos.*

***Ivan Neil Parra Roque***



## AGRADECIMIENTOS

*La gratitud infinita e incommensurable a mis padres en virtud de la paciencia, el carácter, y el pensamiento que inculcaron en mí, gracias por darme las pautas y la libertad de ser quien soy.*

*A mi familia, por las enseñanzas a lo largo del camino y los puntos de vista de cada uno ellos.*

*A mis amigos, con quienes se viven los momentos más excéntricos y sin los cuales uno no puede superar el embate de la realidad misma, sin ustedes habría sido realmente difícil.*

*A la plana docente y administrativa de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, la gratitud y el reconocimiento por los conocimientos, guías y apoyo demostrado en nuestro camino hacia el crecimiento académico y personal.*

***Ivan Neil Parra Roque***



## INDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**INDICE GENERAL**

**INDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 16**

**ABSTRACT..... 17**

### CAPITULO I

#### INTRODUCCIÓN

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 18**

**1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 20**

1.2.1. Problema general ..... 20

1.2.2. Problemas específicos ..... 20

**1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 20**

**1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 21**

1.4.1. Hipótesis general ..... 21

1.4.2. Hipótesis específicas ..... 21

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 22**

1.5.1. Objetivo general ..... 22

1.5.2. Objetivos específicos..... 22



<b>1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>23</b>
1.6.1. Operacionalización por objetivo general.....	23
1.6.2. Operacionalización por objetivo específico 1 .....	23
1.6.3. Operacionalización por objetivo específico 2 .....	24
1.6.4. Operacionalización por objetivo específico 3 .....	24

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>25</b>
2.1.1. A nivel internacional .....	25
2.1.2. A nivel nacional.....	29
2.1.3. A nivel local .....	31
<b>2.2. BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>32</b>
2.2.1. Red vial.....	32
2.2.1.1. Clasificación de las carreteras de dos carriles según SINAC .....	33
2.2.1.2. Clasificación por condiciones orográficas .....	34
2.2.1.3. Clasificación de las carreteras de dos carriles según HCM 2016 ...	35
2.2.2. Condiciones operativas en carreteras de dos carriles .....	36
2.2.2.1 Condiciones de infraestructura .....	37
2.2.2.2. Condiciones de tránsito.....	38
2.2.2.3. Condiciones de control .....	41
2.2.3. Capacidad .....	42
2.2.4. Nivel de servicio.....	43



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. GENERALIDADES.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>47</b>
3.2.1. Tipo de investigación .....	47
3.2.2. Nivel de investigación .....	47
3.2.3. Diseño de investigación.....	47
3.2.4. Población .....	49
3.2.5. Muestra.....	49
<b>3.3. UBICACIÓN DE LAS VÍAS EN ESTUDIO.....</b>	<b>49</b>
3.3.1. Ruta PE-36B (Carretera Puno - Laraqueri) .....	50
3.3.2. Ruta PE-3S (Carretera Puno – Juliaca y Puno - Ilave).....	51
<b>3.4. METODOLOGÍA HCM 2016 .....</b>	<b>54</b>
3.4.1. Generalidades .....	54
3.4.2. Estimación de la velocidad a flujo libre (FFS).....	58
3.4.3. Ajuste de la demanda para la velocidad de viaje promedio .....	59
3.4.4. Estimación de la velocidad de viaje promedio (ATS).....	62
3.4.5. Ajuste de la demanda para el porcentaje de tiempo en demora .....	63
3.4.6. Estimación del porcentaje de tiempo en demora (PTSF) .....	65
3.4.7. Estimación del porcentaje a velocidad de flujo libre (PFFS).....	68
3.4.8. Determinación del nivel de servicio y la capacidad .....	68



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS MEDIANTE HCM 2016.....</b>	<b>70</b>
4.1.1. Análisis de la vía de acceso PE-36B (Puno – Laraqueri).....	70
4.1.1.1. Sentido de entrada.....	72
4.1.1.2. Sentido de salida .....	76
4.1.2. Análisis de la vía de acceso PE-3S (Puno – Juliaca).....	80
4.1.2.1. Sentido de entrada.....	82
4.1.2.2. Sentido de salida .....	86
4.1.3. Análisis de la vía de acceso PE-3S (Puno – Ilave).....	90
4.1.3.1. Sentido de entrada.....	93
4.1.3.2. Sentido de salida .....	96
<b>4.2. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA .....</b>	<b>100</b>
4.2.1. Ancho de carril y de berma .....	100
4.2.2. Pendiente de la rasante .....	102
<b>4.3. INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE TRÁNSITO .....</b>	<b>103</b>
4.3.1. Composición del tráfico vehicular .....	103
4.3.2. Reparto del tráfico vehicular en los sentidos de circulación.....	108
<b>4.4. INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTROL .....</b>	<b>111</b>
4.4.1. Porcentaje de las zonas con restricción de adelantamiento.....	111
<b>4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>113</b>





4.5.1. Generalidades .....	113
4.5.2. Regresión lineal múltiple en la vía PE-36B (Puno – Laraqueri).....	115
4.5.3. Regresión lineal múltiple en la vía PE-3S (Puno – Juliaca).....	118
4.5.4. Regresión lineal múltiple en la vía PE-3S (Puno – Ilave).....	122
<b>4.6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>125</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>131</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>134</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>139</b>

**Área de Investigación:** Transportes.

**Línea de Investigación:** Transportes y gestión vial.

**Tema de Investigación:** Capacidad y niveles de servicio.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 22 de agosto de 2023



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Carreteras de dos carriles.....	33
<b>Figura 2.</b>	Aforo de vehículos mediante observación directa.....	46
<b>Figura 3.</b>	Toma de medidas geométricas de las vías en estudio. ....	47
<b>Figura 4.</b>	Esquema general de las zonas de estudio. ....	49
<b>Figura 5.</b>	Ruta nacional PE-36B, zona sur de la ciudad de Puno.....	50
<b>Figura 6.</b>	Esquema de recolección de datos de la vía PE-36B Puno – Laraqueri. ....	51
<b>Figura 7.</b>	Ruta nacional PE-3S, zona norte de la ciudad de Puno.....	52
<b>Figura 8.</b>	Ruta nacional PE-3S, zona sureste de la ciudad de Puno.....	52
<b>Figura 9.</b>	Esquema de recolección de datos de la vía PE-3S Puno - Juliaca.....	53
<b>Figura 10.</b>	Esquema de recolección de datos de la vía PE-3S Puno - Ilave.....	54
<b>Figura 11.</b>	Diagrama de flujo para la metodología HCM 2016 en carreteras de dos carriles. ....	57
<b>Figura 12.</b>	Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri. ....	70
<b>Figura 13.</b>	Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri. ....	71
<b>Figura 14.</b>	Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri. ....	71
<b>Figura 15.</b>	Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca. ....	80



<b>Figura 16.</b> Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca. ....	81
<b>Figura 17.</b> Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca. ....	81
<b>Figura 18.</b> Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave. ....	90
<b>Figura 19.</b> Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave. ....	91
<b>Figura 20.</b> Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave. ....	91
<b>Figura 21.</b> Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri, durante el periodo de estudio. ....	104
<b>Figura 22.</b> Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca, durante el periodo de estudio.....	105
<b>Figura 23.</b> Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-3S carretera Puno – Ilave, durante el periodo de estudio.....	106



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de variables por objetivo general .....	23
<b>Tabla 2</b>	Operacionalización de variable por objetivo específico 1 .....	23
<b>Tabla 3</b>	Operacionalización de variable por objetivo específico 2 .....	24
<b>Tabla 4</b>	Operacionalización de variable por objetivo específico 3 .....	24
<b>Tabla 5</b>	Criterios de nivel de servicio para las tres clases de carreteras de dos carriles. .....	56
<b>Tabla 6</b>	Valores de ajuste $fLS$ por ancho de carril y berma. ....	59
<b>Tabla 7</b>	Valores de ajuste $fA$ por cantidad de puntos de acceso a la vía.....	59
<b>Tabla 8</b>	Valores de ajuste $fg.ATS$ para terreno llano, ondulado y pendientes en bajada.....	61
<b>Tabla 9</b>	Equivalente en vehículos ligeros para vehículos pesados y recreativos en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada $ET$ y $ER$ .....	62
<b>Tabla 10</b>	Valores de ajuste $fnp.ATS$ por porcentaje de zonas de no rebase.....	63
<b>Tabla 11</b>	Factor de ajuste por pendiente en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada $fg.PTSF$ . ....	64
<b>Tabla 12</b>	Equivalente en vehículos ligeros para vehículos pesados y recreativos en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada para $PTSF ET$ y $ER$ .....	65
<b>Tabla 13</b>	Coefficientes $a$ y $b$ para la estimación de $BPTSFd$ .....	66
<b>Tabla 14</b>	Factor de ajuste por porcentaje de zonas de no rebase $fnp.PTSF$ .....	67
<b>Tabla 15</b>	Datos de entrada para la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri.....	72
<b>Tabla 16</b>	Datos de entrada para la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca. ....	82



<b>Tabla 17</b>	Datos de entrada para la vía PE-3S carretera Puno – Ilave.....	92
<b>Tabla 18</b>	Factores de ajuste por ancho de carril y berma.....	100
<b>Tabla 19</b>	Pendientes promedio de vías en estudio .....	102
<b>Tabla 20</b>	Incidencia de la pendiente en los índices de servicio de las vías en estudio. .....	102
<b>Tabla 21</b>	Incidencia de vehículos pesados en los índices de servicio de las vías en estudio.....	106
<b>Tabla 22</b>	Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri.....	108
<b>Tabla 23</b>	Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-3S carretera Puno – Juliaca.....	109
<b>Tabla 24</b>	Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-3S carretera Puno – Ilave.....	109
<b>Tabla 25</b>	Incidencia del reparto por sentidos en los índices de servicio de las vías en estudio.....	110
<b>Tabla 26</b>	Porcentaje de zonas de no rebase para las vías en estudio.....	112
<b>Tabla 27</b>	Incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento en los índices de servicio de las vías en estudio.....	112
<b>Tabla 28</b>	Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)	116
<b>Tabla 29</b>	Regresión lineal múltiple para PTSF de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) .....	117
<b>Tabla 30</b>	Regresión lineal múltiple para PFFS de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) .....	117



<b>Tabla 31</b>	Regresión lineal múltiple para Capacidad de la vía PE-3S (Puno - Juliaca) .....	119
<b>Tabla 32</b>	Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-3S (Puno - Juliaca).....	120
<b>Tabla 33</b>	Regresión lineal múltiple para PTSF de la vía PE-3S (Puno - Juliaca).....	121
<b>Tabla 34</b>	Regresión lineal múltiple para PFFS de la vía PE-3S (Puno - Juliaca).....	122
<b>Tabla 35</b>	Regresión lineal múltiple para Capacidad de la vía PE-3S (Puno - Ilave)	123
<b>Tabla 36</b>	Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-3S (Puno - Ilave).....	124
<b>Tabla 37</b>	Regresión lineal para PTSF de la vía PE-3S (Puno - Ilave) .....	124
<b>Tabla 38</b>	Regresión lineal para PFFS de la vía PE-3S (Puno - Ilave).....	125



## ACRÓNIMOS

SINAC	: Sistema nacional de carreteras.
HCM	: Manual de capacidad de carreteras.
FFS	: Velocidad a flujo libre.
ATS	: Velocidad de viaje promedio.
PTFS	: Porcentaje de tiempo en demora.
PFFS	: Porcentaje de velocidad a flujo libre.
PE-3S	: Ruta nacional PE-3S (longitudinal de la sierra sur).
PE-36B	: Ruta eje transversal PE-36B.



## RESUMEN

Las vías comunican ciudades grandes y reciben colectores de tráfico proveniente de ciudades menores sirviendo al desarrollo turístico, social y comercial. Las condiciones operativas de las vías interactúan entre sí afectando la operación de la vía. La presente investigación tiene por objetivo determinar la incidencia de las condiciones operativas en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno en sus condiciones de infraestructura, tránsito y control. La presente investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, considera como población las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S, se midió las condiciones operativas mediante observación directa simple y se analizaron con la metodología HCM 2016 y regresiones lineales múltiples con el software IBM SPSS Statistics 23. Como resultado se obtuvo un nivel de servicio B con capacidad de 3200 vl/h con incidencia de las condiciones de control para la vía PE-36B (zona sur), nivel de servicio C con capacidad de 3072 vl/h con incidencia de las condiciones de infraestructura y tránsito para la vía PE-3S (zona norte) y nivel de servicio D con capacidad de 3091 vl/h con incidencia de las condiciones de infraestructura para la vía PE-3S (zona sureste).

**Palabras clave:** Capacidad de vía, condiciones operativas, infraestructura vial, nivel de servicio.





## ABSTRACT

The roads connect large cities and receive traffic collectors from smaller cities, serving tourism, social and commercial development. The operating conditions of the roads interact with each other affecting the operation of the road. The objective of this investigation is to determine the incidence of operating conditions on the capacity and level of service of the access roads to the city of Puno in their infrastructure, traffic and control conditions. The present research of an applied type, explanatory level, considers the access roads to the city of Puno PE-36B and PE-3S as population, the operating conditions were measured by simple direct observation and were analyzed with the HCM 2016 methodology and linear regressions. with the IBM SPSS Statistics 23 software. As a result, a level of service B was obtained with a capacity of 3200 pc/h with incidence of control conditions for road PE-36B (southern zone), level of service C with a capacity of 3072 pc/h with incidence of infrastructure and traffic conditions for the PE-3S road (north zone) and service level D with a capacity of 3091 pc/h with incidence of infrastructure conditions for the PE-3S road (north zone) southeast).

**Keywords:** Track capacity, operating conditions, road infrastructure, level of service.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras de dos carriles sirven para cumplir con una gran variedad de funciones en todas las regiones geográficas y satisfacen gran parte de las necesidades de acceso a fuentes de recursos económicos, culturales, recreativos, etc. (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2020). Las vías PE-3S y PE-36B son carreteras de dos carriles que pertenecen a la red vial nacional peruana (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2017). Ambas vías sirven de acceso a la ciudad de Puno por tres zonas distintas, recibiendo todo tipo de transportes, desde vehículos ligeros hasta vehículos pesados de pasajeros y de carga.

Según la Junta de Investigación de Transporte (Transportation Research Board [TRB], 2016) El nivel de servicio de una carretera es una medida cualitativa descriptiva del análisis de las condiciones operativas para una vía. Realizar un análisis de capacidad y nivel de servicio permite comprender el comportamiento de la carretera durante su etapa de operación.

Las condiciones operativas de una carretera son el estado actual de la infraestructura, tránsito y control de una vía. Estas condiciones interactúan constantemente durante la operación de la carretera, dichas condiciones afectan la capacidad y nivel de servicio de la misma. Las evaluaciones de la capacidad y el nivel de servicio son necesarias para evaluar y tomar decisiones respecto al tránsito y el planeamiento del transporte (Cerquera Escobar, 2007). El análisis de la capacidad y el nivel de servicio a través del análisis de las condiciones operativas detalla el estado de



operación en que se encuentra una vía, permitiendo hacer un seguimiento de mayor precisión y así reconocer que condiciones tienen mayor incidencia y cuáles ahondar para las decisiones a futuro.

Soto Sanca (2017) en su investigación concluye que la alta presencia de vehículos menores se ha convertido en un problema de incidencia directa en el estudio de tránsito de la ciudad de Juliaca. Por otro lado, Vega Cuevas (2018) indica en las conclusiones de su pesquisa que el reducido espacio de las vías en la ciudad de Cajamarca tanto del carril como de las bermas dificultan el tránsito de buses y vehículos pesados en horas de mayor demanda.

Según el Compendio Estadístico Nacional 2022 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022) el producto bruto interno ha crecido progresivamente desde 431 199 millones de soles en el año 2012 hasta un total de 551 714 millones de soles para el año 2021, lo cual refleja el crecimiento de la actividad comercial en el Perú. En la región Puno según el Compendio Estadístico Departamental 2022 (INEI, 2022) las licencias de comercio otorgadas en el año 2020 fueron de 708 en toda la región (180 para el distrito de Puno) y de igual manera los créditos directos para inversiones mercantil y emprendimientos se ha duplicado en valor con respecto al año 2014. Lo cual nos indica un crecimiento importante de la actividad comercial en el distrito de Puno. También el parque automotor para el año 2021 llega a 3 187 730 unidades a nivel nacional y 55 720 unidades en la región Puno, verificando el incremento del uso del transporte junto con la actividad comercial, y además el uso de vehículos particulares. En consecuencia, debido a la mayor demanda de viaje, crecimiento de actividad comercial y el crecimiento del parque automotor las vías de acceso a la ciudad de Puno presentan la necesidad de verificar su estado operativo y reconocer en base a las condiciones operativas si se debe tomar decisiones para mejorarlo.



## **1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera las condiciones operativas inciden en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022?

### **1.2.2. Problemas específicos**

#### **Problema específico 1:**

¿De qué manera las condiciones de infraestructura inciden en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022?

#### **Problema específico 2:**

¿De qué manera las condiciones de tránsito inciden en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022?

#### **Problema específico 3:**

¿De qué manera las condiciones de control inciden en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El incremento constante del parque automotor y la actividad comercial generan mayor demanda de transporte a través de las vías de acceso de la ciudad de Puno provocando un aumento constante del flujo vehicular, todo ello va generando mayor congestión vehicular y menor confort en la operación de la vía por parte de los usuarios.

Por ello es importante realizar un análisis de las condiciones operativas y su incidencia en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno



y también un análisis de sus condiciones operativas, para así poder conocer el estado de servicio e identificar cuáles son las condiciones operativas más críticas, de qué manera inciden y de esa manera tener una mejor óptica global de cara a futuras decisiones e intervenciones que se hagan sobre las vías en estudio.

## **1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Las condiciones operativas inciden negativamente en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica 1:**

Las condiciones de infraestructura inciden negativamente en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022.

#### **Hipótesis específica 2:**

Las condiciones de tránsito inciden negativamente en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022.

#### **Hipótesis específica 3:**

Las condiciones de control inciden negativamente en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022.



## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la incidencia de las condiciones operativas en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S - 2022.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

#### **Objetivo específico 1:**

Determinar la incidencia de las condiciones de infraestructura en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno

#### **Objetivo específico 2:**

Determinar la incidencia de las condiciones de tránsito en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno

#### **Objetivo específico 3:**

Determinar la incidencia de las condiciones de control en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno

#### **Objetivo específico 4:**

Proponer una alternativa para mejorar las condiciones operativas que inciden en la capacidad y niveles de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno.

## 1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 1.6.1. Operacionalización por objetivo general

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables por objetivo general*

<b>Definición Nominal</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Condiciones Operativas	Condiciones que interactúan entre si durante la operación de una vía	Condiciones de infraestructura	Ancho de carril, ancho de berma y pendiente
		Condiciones de tránsito	Porcentaje de vehículos pesados y reparto por sentidos de circulación
		Condiciones de control	Porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento

*Nota.* Elaboración propia

### 1.6.2. Operacionalización por objetivo específico 1

**Tabla 2**

*Operacionalización de variable por objetivo específico 1*

<b>Definición Nominal</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Unidad</b>
Condiciones de infraestructura	Condiciones de diseño geométrico que interactúan entre si durante la operación de la vía	Ancho de carril	Metros (m.)
		Ancho de berma	Metros (m.)
		Pendiente	Porcentaje (%)

*Nota.* Elaboración propia

### 1.6.3. Operacionalización por objetivo específico 2

**Tabla 3**

*Operacionalización de variable por objetivo específico 2*

<b>Definición Nominal</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Unidad</b>
Condiciones de tránsito	Condiciones de flujo vehicular bajo las cuales opera la vía	Porcentaje de vehículos pesados	Porcentaje (%)
		Reparto por sentidos de circulación	Porcentaje (%)

*Nota.* Elaboración propia

### 1.6.4. Operacionalización por objetivo específico 3

**Tabla 4**

*Operacionalización de variable por objetivo específico 3*

<b>Definición Nominal</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Unidad</b>
Condiciones de control	Condiciones que regulan las maniobras durante la operación de la vía	Porcentaje de zonas de no rebase	Porcentaje (%)

*Nota.* Elaboración propia





## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. A nivel internacional

Arévalo Maldonado (2015) en su pesquisa que tiene como objetivo caracterizar el volumen de tránsito vehicular en las vías Loja – Catamayo y Loja - Zamora mediante métodos estadísticos en Ecuador, este tipo de investigación descriptiva de corte transversal a nivel explicativo efectúa su toma de datos considerando como población las vías de Ecuador siendo su muestra Loja – Catamayo y Loja – Zamora, para la caracterización de dichas vías se realizaron aforos semanales en cada sentido de la vía mediante el equipo METROCOUNT 5600 obteniendo parámetros como distribución y composición del volumen de tránsito vehicular por carriles, variación horaria, densidad de flujo, velocidad media y espaciamiento de vehículos en cada sentido de las vías en estudio y por separado, sus resultados muestran en la vía Loja – Catamayo un TPDS de 2959 vehículos y en la vía Loja – Zamora y TPDS de 1166 vehículos encontrándose en el sentido de Catamayo a Loja un mayor número que el TPDS los días jueves y domingo mientras que durante el resto de la semana tienen tráfico inferior al TPDS. Concluye un TPDA de 6496 para la vía Loja – Catamayo y un crecimiento para el 2014 de 3,97% en vehículos livianos, 1,97% para camiones pequeños y 1,94% para camiones grandes; así mismo; para la vía Loja – Zamora el TPDA es 2529 y presenta un crecimiento de 6,86% en vehículos livianos, 4,15% en camiones pequeños y 5,71% en camiones grandes.

Carpio et al. (2018). En su artículo Determinación de capacidad de carreteras en Cuenca (Ecuador) y comparación con el manual de capacidad HCM. Maskana, 9(1), 115–



124. Realizan una investigación con objetivo de comparar un nivel de servicio observado en campo y el nivel de servicio obtenido a través de la metodología HCM, Realizaron aforos mediante observación directa durante el periodo de agosto del 2015 hasta febrero del 2016, y ejecutaron el manual de capacidad de carreteras obteniendo como resultado un nivel de servicio E, una velocidad de flujo libre promedio de 39 Km/h mediante HCM y 42 Km/h mediante estimación directa. Los investigadores concluyen que dicha diferencia se debe a que el método HCM no se puede aplicar cuando los conductores no están acostumbrados a circular a velocidades altas.

Morral y Werner (1990). En su artículo Medición del Nivel de Servicio de carreteras de dos carriles mediante adelantamientos. *Transportation Research Record*, 1287, 62-69. Realizan una pesquisa con objetivo de calcular el nivel de servicio de carreteras de dos carriles analizando la maniobra de adelantamiento y el porcentaje de zonas de no rebase, Realizaron mediciones de sectores con diferentes porcentajes de zonas de no rebase y a su vez la cantidad de maniobras de adelantamiento ejecutadas, con ello definen la tasa de adelantamiento como la razón entre la cantidad de maniobras de adelantamiento ejecutadas respecto a la cantidad de adelantamientos esperados. Para evaluar el nivel de servicio relacionan la tasa de adelantamiento con el porcentaje de zonas de no rebase y el tiempo de espera de los vehículos para ejecutar la maniobra de adelantamiento obteniendo como resultado una relación inversa de la tasa de adelantamiento respecto al tiempo de demora para ejecutar un adelantamiento. Los investigadores concluyen que cuando la tasa de adelantamiento disminuye respecto al porcentaje de tiempo de retraso en efectuar la maniobra de adelantamiento, la capacidad de la vía se reduce y el nivel de servicio baja, en los niveles de servicio más altos los parámetros de servicio se reducen considerablemente.



Botha et al. (1994). En su artículo Nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles con velocidades de diseño bajas. *Transportation Research Record*, 1457, 17-25. Investigan el comportamiento de los niveles de servicio de las carreteras de dos carriles para situaciones de baja velocidad. Realizaron mediciones de zonas de no rebase y determinación de pendiente de rasante en las carreteras, además de obtener las velocidades de circulación. Para evaluar el nivel de servicio se ajustan al Manual de Capacidad de Carreteras HCM de 1985, con dichos resultados los investigadores concluyen que, si los límites de los Niveles de Servicio deben definirse en términos de la velocidad de circulación a medida que aumentan el volumen y la densidad, entonces los incrementos más pequeños de volumen y densidad provocarían cambios más fuertes en los niveles de servicio en los niveles más bajos que en los niveles más altos.

Oliveira y Bessa (2022). En su artículo Adaptación del HCM para el análisis de carreteras rurales de dos carriles sin carriles de adelantamiento en Brasil. *Revista Transportes*, 30(3), 1-15. Investiga y analiza pasos restringidos, zonas de adelantamiento con el objetivo de adaptar el método HCM en la carretera BR-040 y validar el modelo Aimsun Next. Simulando escenarios de diferentes condiciones geométricas y de tráfico, estiman los índices de rendimiento ATS y PTSF. Plantearon la metodología HCM, ajustando coeficientes de tráfico teniendo como resultado el que los valores calculados con NCHRP Project 17-65 con y sin adaptaciones presentan y demuestran semejanza. Los investigadores concluyen que el modelo HCM no se ajusta a las condiciones brasileñas en su ajuste con el modelo Aimsun Next.

Luttinen (2001), en su artículo Capacidad y nivel de servicio en las carreteras finlandesas de dos carriles. *Ingeniería de Tráfico y Carreteras*, en su pesquisa tiene por objetivo el análisis de la capacidad y nivel de servicio en las carreteras de dos carriles finlandesas. Empleando la metodología HCM 2000, usan como base las mediciones en



campo de tráfico e infraestructura para el cálculo de los índices de rendimiento ATS y PTFS. El investigador obtiene como resultado que el índice de servicio ATS es determinante en carreteras que operan a una velocidad promedio de 80 km/h, mientras que el índice de servicio PTSF es determinante en carreteras que operan a una velocidad de 80 km/h o menos. El investigador concluye que el impacto de los vehículos pesados es menor en el índice de servicio ATS y mayor en el PTSF, la distribución de tráfico por sentidos es determinante junto con el porcentaje de zonas de no rebase para el índice de servicio PTSF y la pendiente influye en el índice de servicio ATS.

Rodriguez et al. (2023) en el artículo Procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles, Cuba. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 17(1), 1-14. En su investigación tiene por objetivo desarrollar un procedimiento para calcular la velocidad promedio de viaje en las carreteras rurales de dos carriles en Cuba, empleando la metodología HCM 2010 e intentando ajustar la presencia de vehículos de tracción animal establecen los niveles de servicio por medio de la relación Volumen/Capacidad. Los investigadores concluyen que en el procedimiento propuesto es más determinante para la realidad dentro de Cuba con respecto a la metodología HCM 2010.

Al-Kaisy (2006), en su artículo Equivalentes de automóviles de pasajeros para vehículos pesados en autopistas y carreteras de varios carriles: algunos problemas críticos. Revista ITE, 40-43. Investiga el comportamiento del equivalente de vehículos ligeros en la determinación de los niveles de servicio mediante la metodología HCM 1965, HCM 1985 y HCM 2000. Ante lo cual hace un análisis directo de cada metodología y su respectivo criterio de análisis de equivalencia llegando a la conclusión que los factores equivalentes de vehículos de pasajeros para vehículos pesados son un medio eficaz para tener en cuenta la presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico al



realizar análisis de tráfico, además la importancia de dichos factores es que representa también el fenómeno de la congestión y la capacidad de la vía.

Pineda (2009), en su artículo La maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. *Revista Politécnica*, 5(9), 48-57. En su pesquisa tiene por objetivo analizar la maniobra de adelantamiento respecto a la velocidad de operación, velocidad de diseño y velocidad específica, considerando como base los manuales de diseño geométrico. La autora concluye que el adelantamiento seguro demora más tiempo que el inseguro y tienen menor velocidad promedio, por otro lado, el adelantamiento con seguimiento demora más y tiene velocidades promedio menores. Una influencia directa en el adelantamiento se presenta cuando mayor es la diferencia en el reparto por sentidos de la circulación.

### **2.1.2. A nivel nacional**

En Cajamarca, Angaspilco Chinguel (2014) tiene como objetivo determinar el nivel de serviciabilidad en las avenidas: Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, de los Héroes y San Martín de la ciudad de Cajamarca, de tipo descriptivo con corte transversal y a nivel explicativo utiliza como población las Avenidas Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, de los Héroes y San Martín, siendo la muestra de estudio la zona puntual de dichas avenidas que convergen en la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca. Realizó aforos del tránsito vehicular para determinar las horas críticas y los volúmenes de tránsito para cada tramo; así mismo; hizo el aforo de velocidades in situ en las horas de mayor demanda, además de realizar estudios de velocidades de acuerdo a lo establecidos en el Capítulo 11 Arterias Urbanas y Suburbanas del HCM 2000. Sus resultados muestran que los niveles de servicio obtenidos para estas vías son D, E y F, concluyendo en que estas vías presentan problemas de congestión vehicular más serios



en las horas de máxima demanda con velocidades extremadamente bajas con tendencia a 0 km/h. El investigador concluye que los vehículos predominantes en las vías de estudio son mototaxis y que los mismos presenta una alta influencia sobre el tránsito en las vías de estudio, pero que de la misma manera la distribución de flujo es uniforme.

En Cajamarca, Vega Cuevas (2018) tiene como objetivo analizar la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la red vial nacional, la tesis es de tipo descriptivo con corte transversal y a nivel explicativo, define su población las rutas de la red vial nacional, tomando como muestra las vías PE-3N, PE-08 y PE-08B. Efectúa un aforo de tránsito vehicular de las vías en estudio, además de aforos de velocidades, usando el método de HCM 2000 para obtener los resultados de distribución de tránsito y comportamiento de velocidades de tránsito determinando así la capacidad y niveles de servicio. Sus resultados muestran que solo la vía PE-08 presenta un nivel de servicio C mientras que la vía PE-3N y PE-08B presentan niveles de servicio D y A respectivamente. El investigador concluye que el tránsito de camionetas y vehículos pesados se da debido al tránsito hacia las mineras en la hora pico en la vía PE-3N, por otro lado, la vía PE-08 presenta en su hora pico un porcentaje mayor de vehículos menores y livianos respecto a los vehículos pesados, también en la vía PE-08B dichas proporciones son más bien similares. Además, concluye que el reducido espacio de la vía tanto del carril como de las bermas dificultan el tránsito de buses y vehículos pesados en horas de mayor demanda.

También Cubas y Rondon (2020) presentan en su investigación como objetivo determinar la mejor aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras calibrado para los tramos básicos de autopistas limeñas, a partir del estudio de la autopista Panamericana Sur. Investigación de tipo descriptivo de corte transversal a nivel explicativo utiliza como población la Panamericana Sur siendo su muestra el tramo básico II de la Panamericana



Sur altura Puente Peatonal Lechon Km 17 + 760. El investigador recolecta datos in situ y ejecuta un análisis del tránsito vehicular aplicando las versiones HCM 2000, HCM 2010 y HCM 2016 obteniendo como resultado un nivel de servicio D.

### **2.1.3. A nivel local**

En Puno, Soto Sanca (2017) en su investigación tiene como objetivo analizar la caracterización del tránsito para mejorar la circulación del tránsito vehicular mediante la planificación vial en el cercado de la ciudad de Juliaca. Esta tesis es de tipo descriptivo con corte transversal y de enfoque cuantitativo a nivel descriptivo utilizando como población de estudio las vías urbanas de la ciudad de Juliaca siendo su muestra el cercado de la misma ciudad. El investigador analiza el fenómeno del tránsito vehicular en la ciudad de Juliaca realizando aforos de volumen de tránsito vehicular y aforos de velocidades, para luego en trabajo de gabinete aplicando la metodología HCM 2010 poder deducir los niveles de servicio de las vías en estudio obteniendo como resultado una relación de volumen/capacidad de 0.75, llegando con dicho valor a un resultado óptimo para las arterias urbanas de dicha ciudad y siendo concluyente a que la alta presencia de vehículos menores se ha convertido en un problema de incidencia directa en el estudio.

También Apaza Condori y Vilca Añazco (2018) tienen el objetivo de realizar el estudio de impacto vial generado por la puesta en funcionamiento del complejo deportivo universitario en la ciudad universitaria Puno, puesto que el proyecto no cuenta con un estudio de impacto vial. Dicha tesis de nivel descriptivo tiene como población la zona vial del complejo deportivo en la ciudad universitaria de Puno tomando como muestra las vías que dan acceso a la ciudad universitaria. Realizando principalmente una generación de viajes a través de polos de generación de viajes usando el software Synrho obtienen una proyección estimada del transporte, proyección que aplicada a la metodología HCM



2010 les permite obtener los niveles de servicio. Sus resultados muestran niveles de servicio futuros F, A, F y E para las avenidas que ingresan a la ciudad universitaria, mejorando dichos niveles de servicio con un carril extra y el uso de estacionamientos periféricos fuera de la ciudad universitaria. Sus conclusiones indican que la construcción y puesta en funcionamiento del complejo deportivo universitario tendrá efectos de reducción considerables en los niveles de servicio de las vías en estudio.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Red vial**

Las redes viales son todas las carreteras y caminos que forman parte de la infraestructura rural y urbana mediante los cuales los pobladores de la zona puedan movilizarse y desarrollar sus actividades cotidianas. (Apaza Condori y Vilca Añazco, 2018).

Las carreteras de dos carriles tienen un carril para el uso del tráfico en cada sentido. La característica principal que distingue la operación de carreteras de dos carriles de la de otras instalaciones de flujo continuo ininterrumpido es que las maniobras de adelantamiento se realizan en el carril de tráfico opuesto. Las maniobras de adelantamiento están limitadas por la disponibilidad de espacios en el flujo de tráfico opuesto y por la disponibilidad de suficiente distancia visual para que un conductor pueda discernir la aproximación de un vehículo opuesto de manera segura. A medida que la demanda se incrementa y las restricciones geométricas aumentan, las oportunidades de pasar disminuyen. Esto crea columnas de circulación dentro del flujo de tráfico, con los vehículos de cola sujetos a demoras adicionales debido a la incapacidad de rebasar a los vehículos más lentos que van en cabeza. (TRB, 2016)



**Figura 1.**  
*Carreteras de dos carriles*



*Nota.* Elaboración propia.

### **2.2.1.1. Clasificación de las carreteras de dos carriles según SINAC**

De acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), establecidas en el artículo 8 del Reglamento de Jerarquización Vial, las carreteras en el Perú se jerarquizan en las tres siguientes redes viales: (MTC,2018)

- Red vial nacional: Conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
- Red vial departamental o regional: Constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.



- Red vial vecinal o rural: Compuesta por caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones y caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblacionales.

#### **2.2.1.2. Clasificación por condiciones orográficas**

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018 define cuatro tipos de carreteras de dos carriles describiéndolas de la manera siguiente (MTC, 2018):

- Carreteras tipo 1

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.

- Carreteras tipo 2

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

- Carreteras tipo 3

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.



- Carreteras tipo 4

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

### **2.2.1.3. Clasificación de las carreteras de dos carriles según HCM 2016**

El HCM 2016 define tres clases de carreteras de dos carriles describiéndolas e ilustrándolas de la forma siguiente:

- Carreteras de dos carriles Clase I

Son carreteras donde los automovilistas esperan viajar a velocidades relativamente altas. Las carreteras de dos carriles que son las principales rutas interurbanas, los principales conectores de los principales generadores de tráfico, las rutas diarias de pasajeros o los principales enlaces en las redes de carreteras estatales o nacionales generalmente se asignan a la Clase I. Estas instalaciones sirven principalmente para viajes de larga distancia o brindan conexiones entre instalaciones que atienden viajes de larga distancia. (TRB, 2016)

- Carreteras de dos carriles Clase II

Son carreteras donde los usuarios no necesariamente esperan viajar a altas velocidades. Las carreteras de dos carriles que son rutas de acceso a instalaciones Clase I, que sirven como rutas escénicas o recreativas (y no como arterias primarias), o que atraviesan terreno accidentado (donde la operación a alta velocidad sería imposible) se asignan a Clase II. Estas



instalaciones a menudo sirven para viajes relativamente cortos, las porciones iniciales o finales de viajes más largos o viajes en los que el turismo juega un papel importante. (TRB, 2016)

- Carreteras de dos carriles Clase III

Sirven a áreas moderadamente desarrolladas. Pueden ser parte de una carretera Clase I o Clase II que pasan por pueblos pequeños o áreas recreativas desarrolladas. El tráfico local a menudo se mezcla con el tráfico directo en estos segmentos, y el número de accesos y calles secundarias es notablemente mayor que en un área puramente rural. Las carreteras de clase III pueden incluir segmentos de carretera más largos que pasan por áreas recreativas más dispersas, también con densidades de carreteras más altas. Dichos segmentos a menudo van acompañados de límites de velocidad reducidos que reflejan el mayor nivel de actividad. (TRB, 2016)

### **2.2.2. Condiciones operativas en carreteras de dos carriles**

Las condiciones operativas de una carretera son el estado actual de la infraestructura, tránsito y control de una vía. Estas condiciones interactúan constantemente durante la operación de la carretera (Cerquera Escobar, 2007).

Según el HCM 2016, las condiciones básicas ideales para las carreteras de dos carriles son la ausencia de factores restrictivos geométricos, de tránsito o control. Las condiciones base no son las mismas que las condiciones típicas o predeterminadas, las cuales pueden reflejar restricciones comunes (TRB, 2016). Las condiciones base están más cerca de lo que se puede considerar como condiciones ideales (es decir, las mejores condiciones que se pueden esperar dado el diseño normal y la práctica operativa). Las condiciones básicas para carreteras de dos carriles son las siguientes:



- Anchos de carril mayores o iguales a 12 pies (3.60 m).
- Ancho de berma igual o mayor a 6 pies (1.80 m).
- Inexistencia de tramos con prohibición de adelantamiento.
- Todos los vehículos son ligeros
- Terreno llano.
- Ninguna restricción al tráfico como señales de control o de giro de vehículos.

### **2.2.2.1 Condiciones de infraestructura**

Las condiciones de la infraestructura son las medidas de los elementos geométricos de la vía. Estas medidas influyen en la capacidad de un elemento del sistema y pueden afectar un índice de servicio como la velocidad de viaje promedio. (Cerquera Escobar, 2007)

Los anchos de carril más usuales son: 3.65 m, 3.5 m, 3.3 m, 3.0 m, anchos menores no son recomendables (INVIAS, 2020). También las bermas proporcionan soporte lateral al pavimento y a veces pueden incrementar el ancho efectivo de la calzada.

La metodología del manual de capacidad de carreteras HCM 2016 considera como condiciones de infraestructura los siguientes elementos:

- El ancho de carril
- El ancho de las bermas
- Pendiente de la vía

En general, a medida que aumenta la pendiente del terreno, se reducen la capacidad y los caudales de servicio. Esto es importante para las carreteras de dos



carriles, donde la pendiente del terreno puede afectar las capacidades operativas de los vehículos individuales en el flujo de tráfico y restringir las oportunidades para rebasar vehículos lentos. (TRB, 2016)

#### **2.2.2.2. Condiciones de tránsito**

Las condiciones de tránsito que influyen en las capacidades y los niveles de servicio incluyen el tipo de vehículo, el reparto por sentidos y la población de conductores (Cerquera Escobar, 2007).

Respecto al tipo de vehículo el HCM 2016 nos indica que la entrada de vehículos pesados, es decir, vehículos que no sean automóviles de pasajeros, al flujo de tránsito afecta la cantidad de vehículos que pueden recibir servicio. (TRB, 2016)

El Reglamento Nacional de Vehículos (MTC, 2003) en su anexo I clasifica los vehículos con el siguiente detalle:

**Categoría L:** Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas.

L1: Vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm<sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 km/h.

L2: Vehículos de tres ruedas, de hasta 50 cm<sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 km/h.

L3: Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm<sup>3</sup> ó velocidad mayor a 50 km/h.

L4: Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm<sup>3</sup> o una velocidad mayor de 50 km/h.



L5: Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm<sup>3</sup> o velocidad mayor a 50 km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

**Categoría M:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.

M1: Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor.

M2: Vehículos de más de ocho asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos.

M3: Vehículos de más de ocho asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.

Los vehículos de las categorías M2 y M3, a su vez de acuerdo a la disposición de los pasajeros se clasifican en:

Clase I: Vehículos construidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos

Clase II: Vehículos construidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y, también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.

Clase III: Vehículos construidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

**Categoría N:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía.



N1: Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 toneladas o menos.

N2: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3,5 toneladas hasta 12 toneladas.

N3: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas.

***Categoría O:*** Remolques (incluidos semirremolques).

O1: Remolques de peso bruto vehicular de 0,75 toneladas o menos.

O2: Remolques de peso bruto vehicular de más 0,75 toneladas hasta 3,5 toneladas.

O3: Remolques de peso bruto vehicular de más de 3,5 toneladas hasta 10 toneladas.

O4: Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.

***Combinaciones especiales***

Adicionalmente, los vehículos de las categorías M, N u O para el transporte de pasajeros o mercancías que realizan una función específica, para la cual requieren carrocerías y/o equipos especiales, se clasifican en:

SA: Casas rodantes

SB: Vehículos blindados para el transporte de valores

SC: Ambulancias

SD: Vehículos funerarios

Los camiones, autobuses y vehículos recreativos son los tres grupos de vehículos pesados abordados por el manual de capacidad de carreteras; así mismo;





(Vega Cuevas, 2018) nos refiere que los vehículos pesados afectan negativamente el tráfico de dos maneras:

- Son más grandes que los automóviles de pasajeros (ligeros), por lo que ocupan más espacio en la calzada y generan mayores intervalos de tiempo entre los vehículos.
- Tienen capacidades operativas más pobres que los automóviles de pasajeros (ligeros), particularmente con respecto a la aceleración, desaceleración y la capacidad de mantener la velocidad en las pendientes.

Según el HCM 2016 (TRB, 2016) se considera como vehículos ligeros todos los vehículos para transporte de pasajeros que se apoyan en cuatro ruedas, como vehículos recreativos a los vehículos que son casas rodantes y como vehículos pesados a los vehículos de transporte de alto tonelaje cuya capacidad de maniobra sea visiblemente limitada.

Además de la composición vehicular, se tiene que considerar el reparto por sentidos de circulación, que es determinante en carreteras de dos carriles, donde las condiciones ideales se producen cuando la distribución es 50/50 (50% en cada sentido). La distribución entre carriles y entre calzadas en estructuras multicarril y autopistas es importante, ya que en estos casos el análisis se hace en forma independiente para cada sentido de circulación. (Cerquera Escobar, 2007)

### **2.2.2.3. Condiciones de control**

Como condiciones de control se considera a las restricciones de maniobra como son las zonas de no rebase y elementos de restricción de circulación (señales verticales y horizontales) dependiendo del tipo de vía y su entorno que no permiten al conductor circular a la velocidad que desean (Morrall y Werner, 1990).



Las zonas de no-rebase son los lugares donde los vehículos no tienen permitido efectuar la maniobra de adelantamiento, es decir cuando no se puedan ver a los otros autos en sentido contrario previo a realizar la acción (Vega Cuevas, 2018).

### **2.2.3. Capacidad**

Se define como capacidad de una infraestructura de transporte al flujo máximo horario al que se puede razonablemente esperar que los tránsitos atraviesen un punto o sección de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito. (Cerquera, 2007). También se define la Capacidad de una carretera de dos carriles como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito (INVIAS, 2020).

El manual de capacidad de carreteras lo define como el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto determinado durante un período especificado bajo las condiciones predominantes de la vía, el tráfico y el control. (TRB, 2016), la capacidad de una carretera de dos carriles en condiciones base es de 1.700 vl/h en un sentido, con un límite de 3.200 vl/h para el total de ambos sentidos. Debido a las interacciones entre flujos direccionales, cuando se alcanza una capacidad de 1.700 vl/h en una dirección, el flujo máximo opuesto se limita a 1.500 vl/h.

Las condiciones de capacidad rara vez se observan excepto en segmentos cortos. Debido a que la calidad del servicio se deteriora a tasas de flujo de demanda relativamente bajas, la mayoría de las carreteras de dos carriles se mejoran antes de que la demanda se acerque a la capacidad (TRB, 2016). Sin embargo, la evaluación de las operaciones de carreteras de dos carriles a capacidad es importante para la planificación de la evacuación.



planificación de eventos especiales. y evaluación de los impactos aguas abajo de los cuellos de botella del incidente una vez que se eliminan.

El intervalo de tiempo en la mayoría de análisis de capacidad es de 15 minutos, porque se considera que es el intervalo más corto de tiempo durante el cual se presenta flujo estable, es así, que el volumen obtenido en 15 minutos convertido a flujo horario se llama tasa máxima de flujo horario (Cal y Mayor Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales, 2018).

#### **2.2.4. Nivel de servicio**

Los niveles de servicio es una escala cuantitativa de los índices de rendimiento que evalúan la calidad del servicio. Los índices de servicio son las medidas utilizadas para determinar niveles de servicio para los elementos del sistema de transporte. (Cerquera Escobar, 2007).

Se define el Nivel de Servicio de un sector de una carretera de dos carriles como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan al usar la vía (INVIAS, 2020).

El HCM define seis niveles de servicio, que van de la A a la F, para cada índice de servicio o combinación de índices de servicio. El nivel de servicio A representa las mejores condiciones operativas desde la perspectiva del viajero y el nivel de servicio F las peores. Por costo, impacto ambiental y otras razones, las carreteras generalmente no se diseñan para brindar condiciones de nivel de servicio A durante los períodos pico, sino para brindar un nivel de servicio más bajo que equilibre los deseos de los viajeros individuales con los deseos y los recursos financieros de la sociedad. Sin embargo, durante los períodos de bajo volumen del día, un elemento del sistema puede operar con un nivel de servicio A. (TRB, 2016)



- **Nivel de Servicio A:**

Los automovilistas experimentan altas velocidades de operación en las carreteras Clase I y poca dificultad para rebasar. Las columnas de circulación de tres o más vehículos son raras. En las carreteras Clase II, la velocidad se controla principalmente por las condiciones de la carretera, pero se esperaría una pequeña cantidad de columnas de circulación. En las carreteras Clase III, los automovilistas pueden mantener velocidades de operación en o cerca de la velocidad de diseño de la instalación. (TRB, 2016)

- **Nivel de Servicio B:**

La demanda de adelantamiento y la capacidad de dicha maniobra están equilibradas. Tanto en las carreteras de Clase I como de Clase II, el grado de formación de columnas de circulación se vuelve notable. Algunas reducciones de velocidad están presentes en las carreteras Clase I. En las carreteras Clase III, el mantenimiento de la operación a la velocidad de diseño se vuelve difícil, pero la reducción de la velocidad sigue siendo relativamente pequeña. (TRB, 2016)

- **Nivel de Servicio C:**

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La mayoría de los vehículos viajan en columnas de circulación. Las velocidades se reducen notablemente en las tres clases de carretera. (TRB, 2016)

- **Nivel de Servicio D:**

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. Las columnas de circulación aumentan significativamente. La demanda de adelantamiento es alta tanto en las instalaciones de Clase I como de Clase II,



pero la capacidad de adelantamiento se aproxima a cero. Un alto porcentaje de vehículos viaja en columnas de circulación, y se nota el Porcentaje de Tiempo en Demora (PTFS). En las carreteras Clase III, la disminución de velocidad de operación es significativa. (TRB, 2016)

- **Nivel de Servicio E:**

La demanda se acerca a la capacidad. Rebasar en carreteras Clase I y II es virtualmente imposible, y el Porcentaje de Tiempo en Demora (PTFS) es más del 80%. Las velocidades están seriamente restringidas. En las carreteras Clase III, la velocidad es menos de dos tercios de la velocidad de diseño. El límite inferior del nivel de servicio E representa la capacidad. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos. (TRB, 2016)

- **Nivel de Servicio F:**

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la capacidad que puede pasar por él. Las condiciones de operación son inestables y existe una fuerte congestión en todos los tipos de carreteras de dos carriles. (TRB, 2016)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. GENERALIDADES

La presente investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo, considerando como población las vías de acceso a la ciudad de Puno PE-36B y PE-3S, mediante la metodología HCM 2016. Las carreteras de estudio pertenecen a la red vial nacional.

La técnica de obtención de datos de tránsito en campo se realizó mediante observación simple usando como instrumentos de apoyo fichas para el aforo de datos de tránsito. La observación se realizó mediante observación directa y presencial en un lapso de 12 horas continuas cada día durante una semana en formatos impresos (ANEXO 01). Para obtener datos de infraestructura y control se usó equipo topográfico (Estación Total, prisma, trípode, flexómetro).

**Figura 2.**

*Aforo de vehículos mediante observación directa.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 3.**

*Toma de medidas geométricas de las vías en estudio.*



*Nota.* Elaboración propia.

## **3.2. METODOLOGÍA**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

Aplicada

### **3.2.2. Nivel de investigación**

Explicativa

### **3.2.3. Diseño de investigación**

La presente investigación se desarrolla de forma no experimental, tomando la recolección de datos directamente en las zonas de estudio mediante observación directa simple haciendo uso de equipo topográfico para mediciones de infraestructura y control, mientras que se hizo uso de fichas (ANEXO 01) para la obtención de datos de tránsito.



Las condiciones operativas se miden directamente según su unidad en el sistema internacional de unidades y/o porcentajes, el ancho de carril y ancho de berma se miden en metros, mientras que la pendiente, el reparto por sentidos, la presencia de vehículos pesados y zonas de no rebase en porcentaje.

Respecto del tráfico analizado, se agrupó los vehículos observados en los tres grupos de vehículos considerados en la metodología HCM 2016, teniéndose que para vehículos ligeros se considera los tipos L, M1 y M2 que no sean casas rodantes, para vehículos recreativos los tipos M1SA, M2SA, M3SA, N1SA, N2SA, N3SA, O1SA, O2SA, O3SA y O4SA, mientras que para vehículos pesados se considera los tipos M3 y sus clases I, II y III, N1, N2, N3, N4, O1, O2, O3 y O4 que no sean casas rodantes.

El análisis de dichos datos se efectúa de acuerdo a la metodología del manual de capacidad de carreteras HCM 2016. Para dicho fin, se convierte las unidades de distancia y velocidad (m. y Km/h.) a unidades inglesas (Mi. y MPH) con el fin de homologar los resultados y evitar vicios ocultos al momento de efectuar el análisis. Se efectúan análisis en condiciones reales y luego variando las condiciones operativas a valores ideales con la finalidad de evaluar el impacto de cada condición operativa, dicho manejo de datos se da dentro del trabajo de análisis en gabinete y no se manipula directamente en la zona de observación por lo cual se desarrolla una investigación “no experimental”. Luego de ejecutar la metodología HCM 2016 se analiza los casos obtenidos mediante Regresión Lineal Múltiple con el software IBM SPSS Statistics 23, mediante dicho análisis usando como estadístico de prueba el valor “p” de cada condición operativa se plantea las hipótesis nula y alternativa, para con ello decidir y dar validez a los objetivos propuestos y en conjunto responder a los problemas especificados.



### 3.2.4. Población

Vías pertenecientes a la Red Vial Nacional PE-36B que da salida a Moquegua y PE-3S que da salida hacia Ilave y Juliaca.

### 3.2.5. Muestra

Se analizará la vía PE-36B en su tramo rumbo a Moquegua Km 3+100 hasta el Km 3+600. La vía PE-3S se analizará el tramo comprendido entre el Km 1364 hasta el Km 1364 + 500 salida a Ilave y también su tramo del Km 1355 hasta 1355 + 800 salida a Juliaca.

## 3.3. UBICACIÓN DE LAS VÍAS EN ESTUDIO

Los puntos de estudio fueron zonas de las vías que se encuentran a la salida de la ciudad de Puno cuyo detalle se aprecia en la figura 4.

### Figura 4.

*Esquema general de las zonas de estudio.*



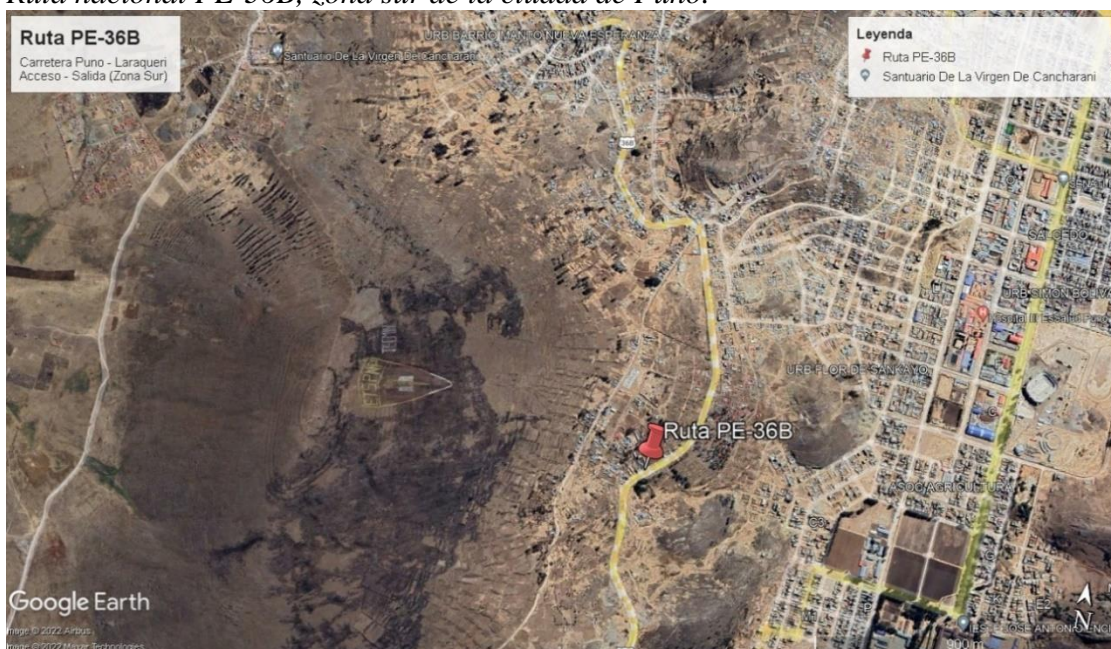
*Nota.* Fuente: Google Earth.

### 3.3.1. Ruta PE-36B (Carretera Puno - Laraqueri)

Según la Hoja Vial publicada en el 2017 por el MTC la Ruta Nacional PE-36B es un ramal del eje transversal PE-36B, que forma parte de la red vial nacional. Dicha ruta pertenece a la Interoceánica Sur y comunica las regiones de Moquegua y Puno. La ruta PE-36B (carretera Puno – Laraqueri) es acceso y salida por la zona sur de la ciudad tal como se muestra en la figura 5.

#### Figura 5.

*Ruta nacional PE-36B, zona sur de la ciudad de Puno.*

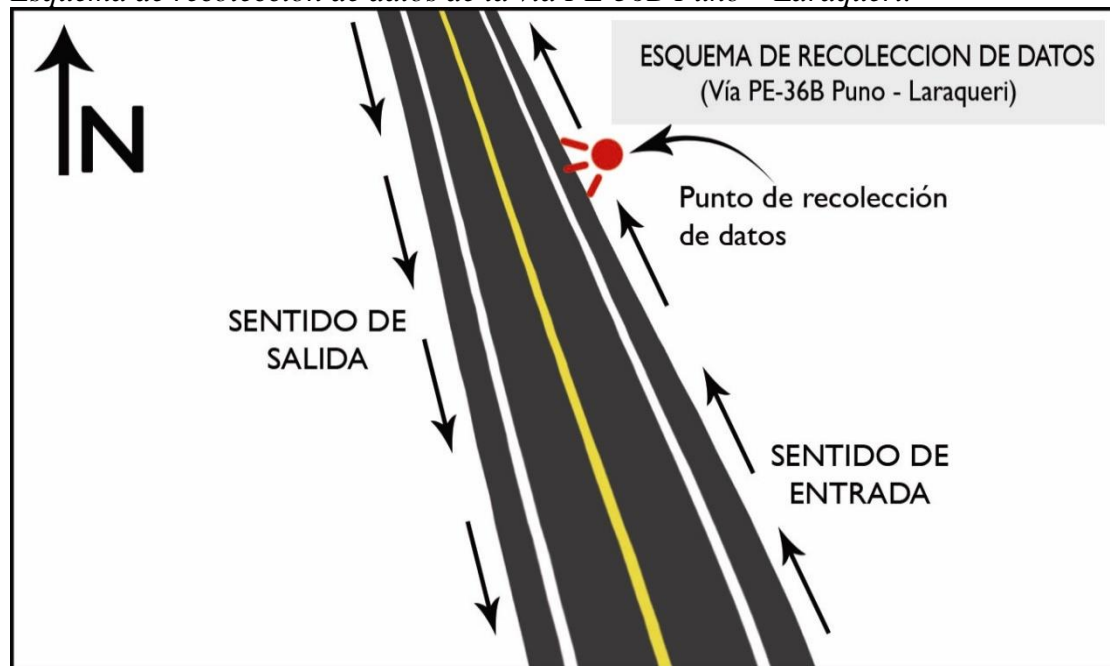


*Nota.* Fuente: Google Earth.

El punto de estudio de dicha carretera se encuentra en las coordenadas geográficas  $15^{\circ}52'30.9''S$ ,  $70^{\circ}00'31.3''W$ , presentándose un ancho de carril promedio de 3.43 m. en el sentido de entrada y 3.40 m. en el sentido de salida, por otro lado, el ancho de berma promedio es de 1.78 m. en el sentido de entrada y 1.28 m. en el sentido de salida. La pendiente promedio de la rasante es de 2.73% y su carpeta de rodadura es pavimento flexible.

**Figura 6.**

*Esquema de recolección de datos de la vía PE-36B Puno – Laraqueri.*



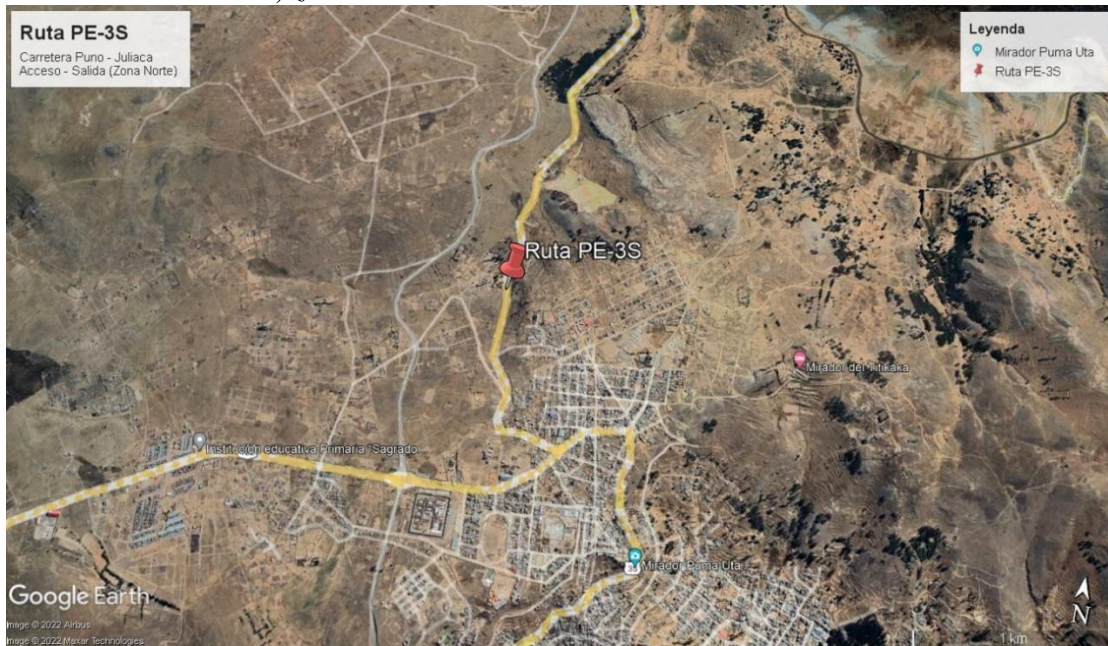
*Nota.* Elaboración propia.

### 3.3.2. Ruta PE-3S (Carretera Puno – Juliaca y Puno - Ilave)

Según la Hoja Vial publicada en el 2017 por el MTC la Ruta Nacional PE-3S es el tramo conocido como Tramo Longitudinal de la Sierra Sur, que forma parte de la red vial nacional. Dicha ruta pertenece a la Carretera Longitudinal de la Sierra y comunica las regiones de Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco y Puno. La ruta PE-3S es acceso y salida por la zona norte de la ciudad tal como se muestra en la figura 7, y también es acceso y salida por la zona sureste de la ciudad tal como se muestra en la figura 8.

### Figura 7.

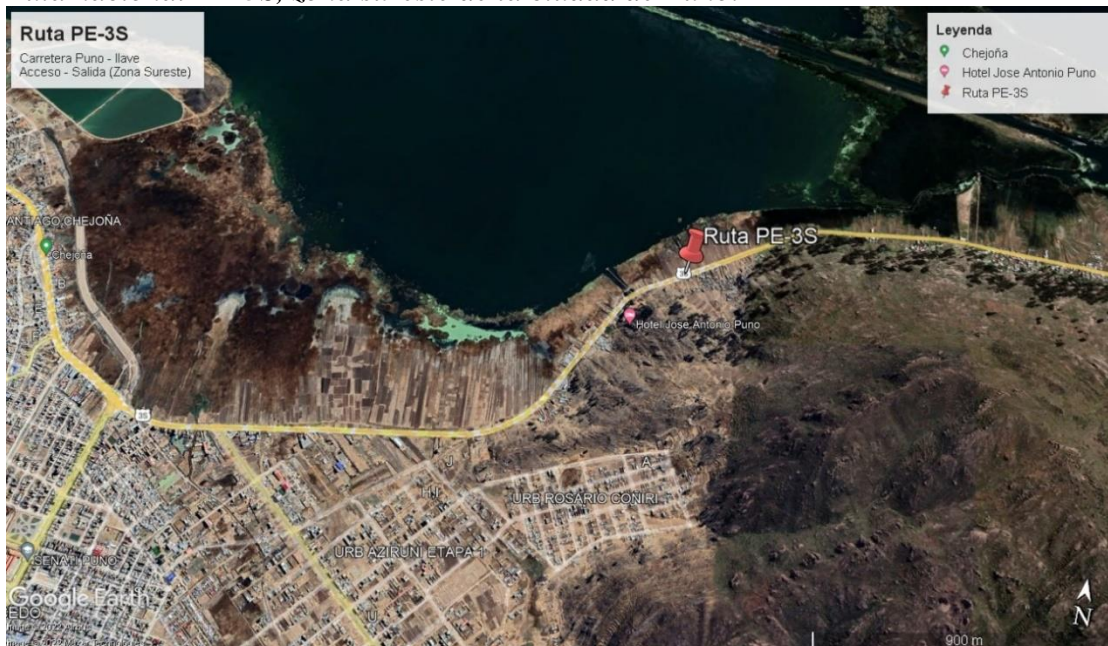
Ruta nacional PE-3S, zona norte de la ciudad de Puno.



Nota. Fuente: Google Earth.

### Figura 8.

Ruta nacional PE-3S, zona sureste de la ciudad de Puno.



Nota. Fuente: Google Earth.

El punto de estudio de dicha carretera en su salida a Juliaca se encuentra en las coordenadas geográficas  $15^{\circ}48'56.4''S$ ,  $70^{\circ}02'02.3''W$ , presentándose un ancho de carril promedio de 3.43 m. en el sentido de entrada y 3.46 m. en el sentido de salida, por otro lado, el ancho de berma promedio es de 0.90 m. en el sentido de entrada y 2.00 m. en el sentido de salida. La pendiente promedio de la rasante es de 3.61% y su carpeta de rodadura es pavimento flexible.

**Figura 9.**

*Esquema de recolección de datos de la vía PE-3S Puno - Juliaca.*

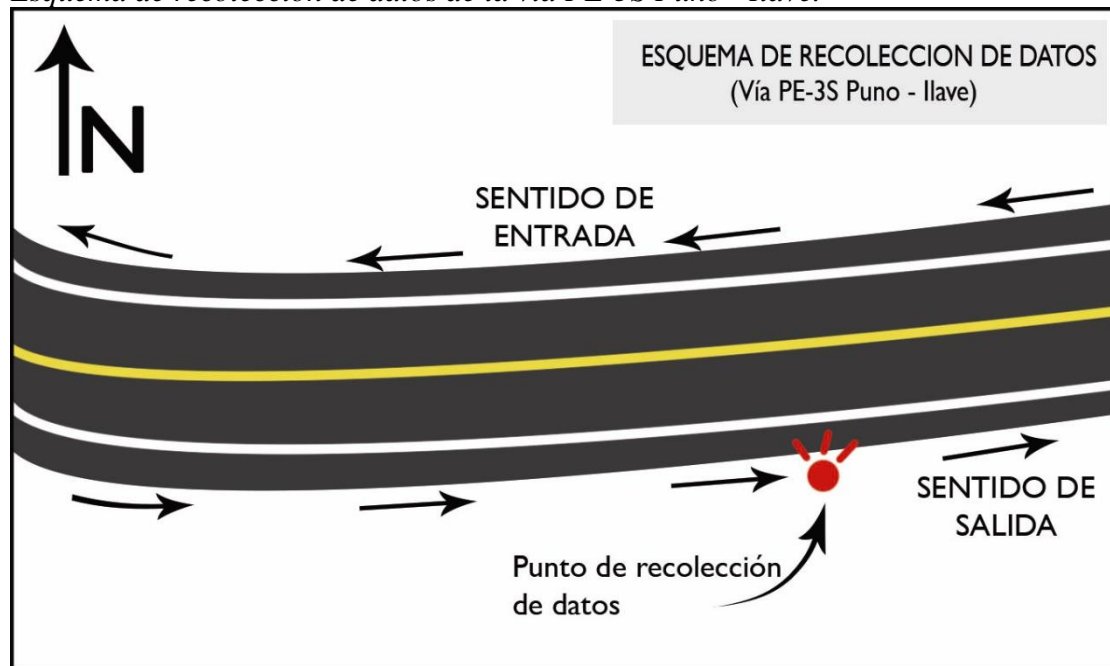


*Nota.* Elaboración propia.

Respecto a su salida hacia Ilave el punto de estudio de dicha carretera se encuentra en las coordenadas geográficas  $15^{\circ}51'53.3''S$ ,  $69^{\circ}59'42.6''W$ , presentándose un ancho de carril promedio de 3.60 m. en el sentido de entrada y 3.50 m. en el sentido de salida, por otro lado, el ancho de berma promedio es de 1.03 m. en el sentido de entrada y 1.49 m. en el sentido de salida. La pendiente promedio de la rasante es de 0.10% y su carpeta de rodadura es pavimento flexible.

**Figura 10.**

*Esquema de recolección de datos de la vía PE-3S Puno - Ilave.*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.4. METODOLOGÍA HCM 2016

#### 3.4.1. Generalidades

La metodología HCM 2016 en su capítulo 15 “Carreteras de dos carriles” permite evaluar la capacidad y nivel de servicio de las vías PE-3S y PE-36B considerando el ancho de carril, ancho de berma, pendiente, composición vehicular, distribución del tráfico en los sentidos de circulación y el porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento. Todas esas condiciones operativas se ven reflejadas en los índices de rendimiento a continuación detallados:

*La Velocidad de Viaje Promedio (ATS)* refleja la movilidad en una carretera de dos carriles. Se define como la longitud del segmento de la carretera dividida por el tiempo promedio de viaje de los vehículos para atravesarlo durante el período de análisis. (TRB, 2016)



*El Porcentaje de Tiempo en Demora (PTSF)* representa la libertad de maniobra y la comodidad y conveniencia de viajar. Es el porcentaje medio de tiempo que los vehículos deben viajar en columnas de circulación detrás de vehículos más lentos debido a la imposibilidad de rebasar. Debido a que esta característica es difícil de medir en el campo, una medida sustituta es el porcentaje de vehículos que viajan con intervalos de menos de 3,0 s en una ubicación representativa dentro del segmento de carreteras, también representa el porcentaje aproximado de vehículos que viajan en columnas de circulación. (TRB, 2016)

*El Porcentaje de Velocidad a Flujo Libre (PFFS)* representa la capacidad de los vehículos para viajar cerca del límite de velocidad señalado o de baja demanda. Es la relación entre ATS y FFS. La relación exacta entre FFS y el límite de velocidad depende en gran medida de las políticas locales sobre el establecimiento de dichos límites y de las prácticas de cumplimiento. (TRB, 2016)

En las carreteras de dos carriles de Clase I, tanto la velocidad promedio como la demora experimentada mientras se espera para rebasar son importantes para los automovilistas. Por lo tanto, el nivel de servicio se define en términos de ATS y PTSF para estas carreteras. En las carreteras Clase II, la velocidad de viaje no es un problema importante para los conductores; por lo tanto, el nivel de servicio se define únicamente en términos de PTSF. En las carreteras Clase III, no se esperan altas velocidades y las restricciones de paso no son una preocupación importante debido a las longitudes relativamente cortas de los segmentos Clase III, en cambio, a los conductores les gustaría lograr un progreso constante al límite de velocidad o cerca del mismo; por lo tanto, PFFS se usa para definir el nivel de servicio en las carreteras de Clase III. La tabla 5 presenta los criterios de nivel de servicio para carreteras de dos carriles según su clase.

**Tabla 5***Criterios de nivel de servicio para las tres clases de carreteras de dos carriles.*

Nivel de Servicio	Clase I		Clase II	Clase III
	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
F	El volumen excede la capacidad de la carretera			

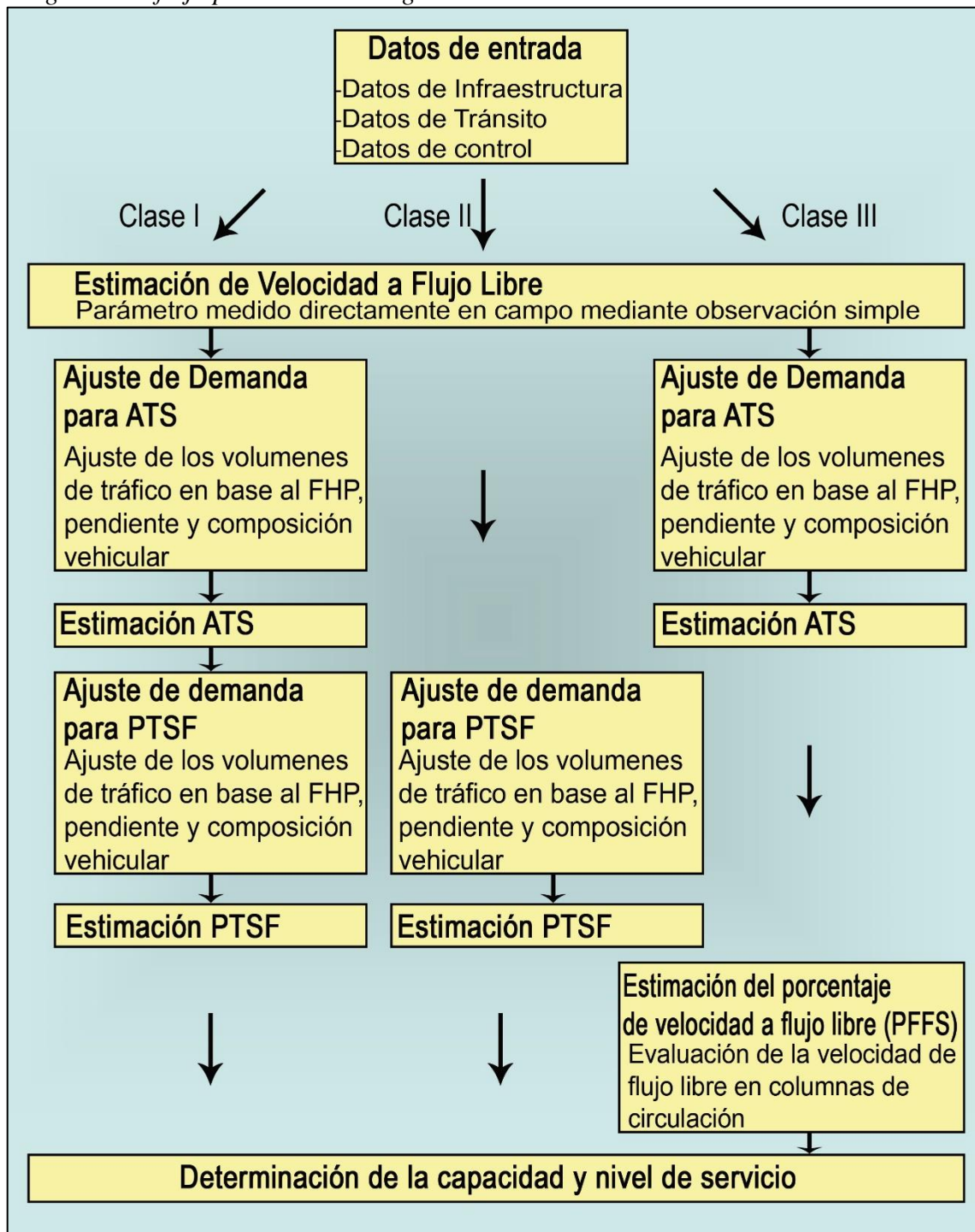
*Nota.* Tomada de TRB (2016).

La figura 11 muestra los pasos mínimos requeridos para la metodología básica de vehículos motorizados. Debido a que las tres clases de carreteras usan diferentes índices de servicio, no se requieren todos los pasos para analizar la capacidad y nivel de servicio para una clase de carretera determinada. En particular, el cálculo del ATS es solo un requisito para carreteras Clase I y III, el cálculo del PTSF es solo un requisito para carreteras Clase I y II, mientras que el cálculo del PFFS es solo un requisito para carreteras Clase III. Sin embargo, para esta investigación se hizo el análisis de los tres índices de servicio para obtener un panorama más completo de las incidencias de las condiciones operativas.



**Figura 11.**

Diagrama de flujo para la metodología HCM 2016 en carreteras de dos carriles.



Nota. Tomada de TRB (2016).

### 3.4.2. Estimación de la velocidad a flujo libre (FFS)

La velocidad es un dato relevante, puesto que indica junto con el entorno de la vía la clase de carretera a la que pertenece, es el punto de partida para el cálculo de indicadores de niveles de servicio. La velocidad a flujo libre (FFS) hace referencia a la velocidad de operación de los vehículos que se encuentran fuera de columnas de circulación y/o ningún tipo de interrupción. La medición de la velocidad a flujo libre se realizó directamente en campo, tomando como referencia la distancia de análisis y controlando el tiempo que demora el vehículo en recorrer dicha distancia.

Cuando las medidas de ancho de carril y ancho de berma de las vías en estudio se encontraban por debajo de las medidas ideales, se tuvo la posibilidad de determinar una velocidad a flujo libre base (BFFS), esta velocidad indica el comportamiento de dicha velocidad en condiciones ideales. Calculando la velocidad a flujo libre base (BFFS) se pudo determinar la incidencia del ancho de berma y del ancho de carril en los índices de servicio y de manera directa en la capacidad y nivel de servicio de las vías en estudio. La velocidad a flujo libre base se determinó en base a la fórmula siguiente:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (01)$$

$FFS$  = Velocidad a flujo libre (mi/h)

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

$f_{LS}$  = Ajuste por ancho de carril y berma

$f_A$  = Ajuste por cantidad de puntos de acceso en la vía

La tabla 6 muestra los factores de ajuste por ancho de carril y berma; así mismo; la tabla 7 brinda los factores de ajuste por cantidad de puntos de acceso en la vía.

**Tabla 6***Valores de ajuste  $f_{LS}$  por ancho de carril y berma.*

Ancho de Carril (ft)	Ancho de Berma (ft)			
	$\geq 3, < 2$	$\geq 2, < 4$	$\geq 4, < 6$	$\geq 6$
$\geq 9, < 10$	6.4	4.8	3.5	2.2
$\geq 10, < 11$	5.3	3.7	2.4	1.1
$\geq 11, < 12$	4.7	3.0	1.7	0.4
$\geq 12$	4.2	2.6	1.3	0.0

*Nota.* Tomada de TRB (2016).**Tabla 7***Valores de ajuste  $f_A$  por cantidad de puntos de acceso a la vía.*

Puntos de acceso por milla	Reducción en velocidad de flujo libre (FFS)
0	0.00
10	2.50
20	5.00
30	7.50
40	10.00

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

### 3.4.3. Ajuste de la demanda para la velocidad de viaje promedio

La capacidad de una vía se mide en vehículos ligeros por hora (vl/h), entonces fue necesario homologar el volumen de vehículos aforado durante el intervalo de máxima demanda a un volumen de puramente vehículos ligeros, esto haciendo un ajuste en base a las características de la vía y la composición del tráfico vehicular. Se hizo el ajuste del volumen horario en ambos sentidos mediante la siguiente fórmula:

$$v_{i.ATS} = \frac{V_i}{FHP \times f_{g.ATS} \times f_{HV.ATS}} \quad (02)$$



$v_{i.ATS}$  = Volumen en el sentido de análisis para estimar ATS. (vl/h)

$i$  = Sentido de análisis

$V_i$  = Volumen horario mixto en la dirección “i” (v/h)

$f_{g.ATS}$  = Factor de ajuste por pendiente

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

$FHP$  = Factor de hora pico

El factor de ajuste por pendiente  $f_{g.ATS}$  presenta cuatro casos posibles:

- Terreno llano.
- Terreno ondulado
- Pendiente en subida que persistan más de 0.25 mi (400 m.).
- Pendiente en bajada que persistan más de 0.25 mi (400 m.).

La vía PE-36B (Laraqueri) no superó una pendiente del 3%, haciéndose su análisis en adelante como terreno llano, la vía PE-3S (Juliaca) tuvo una pendiente mayor a 3% pero dicha pendiente no persistía más de 400 metros con lo cual se consideró en adelante terreno ondulado, mientras que la vía PE-3S (Ilave) al tener una pendiente de 0.00% en adelante se consideró terreno llano.

**Tabla 8**

Valores de ajuste  $f_{g.ATS}$  para terreno llano, ondulado y pendientes en bajada.

Volumen horario en la dirección de análisis (v/h)	Factor de ajuste	
	Terreno llano y pendientes en bajada	Terreno ondulado
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥ 900	1.00	1.00

Nota. Tomada de TRB (2016).

La tabla 8 muestra los factores de ajuste por pendiente para terrenos llanos, ondulados y pendientes en bajada.

De la fórmula anteriormente detallada, el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.ATS}$  (equivalencia de vehículos pesados en vehículos ligeros) se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (03)$$

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

$P_T$  = Proporción de vehículos pesados en el sentido de análisis

$P_R$  = Proporción de vehículos recreativos en el sentido de análisis

$E_T$  = Equivalente de vehículos ligeros para vehículos pesados

$E_R$  = Equivalente de vehículos ligeros para vehículos recreativos

La tabla 9 contiene los equivalentes en vehículos ligeros para vehículos pesados y recreativos en terrenos llanos, ondulados y pendientes en bajada.

**Tabla 9**

*Equivalente en vehículos ligeros para vehículos pesados y recreativos en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada  $E_T$  y  $E_R$ .*

Tipo de vehículo	Volumen horario en la dirección de análisis(v/h)	Terreno llano y pendientes en bajada	
		Terreno llano y pendientes en bajada	Terreno ondulado
Pesados, $E_T$	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥ 900	1.0	1.3
Recreativos, $E_R$	Todos los volúmenes	1.0	1.1

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

#### 3.4.4. Estimación de la velocidad de viaje promedio (ATS)

Para determinar la velocidad promedio de viaje (ATS) se hizo uso del ajuste anterior y también de la velocidad a flujo libre con la siguiente fórmula:

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{d.ATS} + v_{o.ATS}) - f_{np.ATS} \quad (04)$$

$ATS_d$  = Velocidad de viaje promedio en el sentido de análisis (mi/h)

$FFS$  = Velocidad a flujo libre (mi/h)

$v_{d.ATS}$  = Volumen ajustado para ATS en el sentido de análisis (vl/h)

$v_{o.ATS}$  = Volumen ajustado para ATS en el sentido opuesto (vl/h)

$f_{np.ATS}$  = factor de ajuste por porcentaje de zonas de no rebase

La tabla 10 muestra el factor de ajuste por porcentaje de zonas de no rebase  $f_{np.ATS}$ , es necesario tener cuidado puesto que el valor de entrada en la tabla es el volumen ajustado en el sentido opuesto a la dirección de análisis en vl/h.

**Tabla 10**

Valores de ajuste  $f_{np.ATS}$  por porcentaje de zonas de no rebase.

Volumen contrario ajustado (vl/h)	Porcentaje de zona de no rebase				
	≤20	40	60	80	100
<i>FFS = 50 mi/h</i>					
≤ 100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥ 1600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
<i>FFS ≤ 45 mi/h</i>					
≤ 100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥ 1600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

### 3.4.5. Ajuste de la demanda para el porcentaje de tiempo en demora

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF) también se necesitó homologar el volumen de vehículos aforados in situ a un volumen de vehículos puramente ligeros, para ello se empleó las siguientes ecuaciones:

$$v_{i.PTSF} = \frac{V_i}{FHP \times f_{g.PTSF} \times f_{HV.PTSF}} \quad (05)$$



$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (06)$$

$v_{i.PTSF}$  = Volumen en el sentido de análisis “i” para estimar PTSF (vl/h)

$f_{g.PTSF}$  = Factor de ajuste por pendiente para PTSF

$f_{HV.PTSF}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados para PTSF

Los valores para el factor de ajuste por pendiente  $f_{g.PTSF}$  se encuentra en la tabla 11 para terreno llano, ondulado y pendiente en bajada.

**Tabla 11**

*Factor de ajuste por pendiente en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada*

$f_{g.PTSF}$ .

Volumen horario en la dirección de análisis (v/h)	Factor de ajuste	
	Terreno llano y pendientes en bajada	Terreno ondulado
≤100	1.00	0.73
200	1.00	0.80
300	1.00	0.85
400	1.00	0.90
500	1.00	0.96
600	1.00	0.97
700	1.00	0.99
800	1.00	1.00
≥ 900	1.00	1.00

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

Los valores de equivalencia para  $E_T$  y  $E_R$  se obtienen para terreno llano, ondulado y pendientes en bajada en la tabla 12.



**Tabla 12**

*Equivalente en vehículos ligeros para vehículos pesados y recreativos en terreno llano, ondulado y pendientes en bajada para PTSF  $E_T$  y  $E_R$ .*

Tipo de vehiculo	Volumen horario en la dirección de análisis(v/h)	Terreno llano y pendientes en bajada	Terreno 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 los volúmenes	1.0	1.0

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

### 3.4.6. Estimación del porcentaje de tiempo en demora (PTSF)

El PTSF refleja el porcentaje de tiempo que un vehículo demora viajando detrás de otro más lento antes de ejecutar la maniobra de adelantamiento, es un indicador directo para carreteras de dos carriles de clase I y II. El PTSF se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np.PTSF} \left( \frac{v_{d.PTSF}}{v_{d.PTSF} + v_{o.PTSF}} \right) \quad (07)$$

$PTSF_d$  = Porcentaje de tiempo en demora en el sentido de análisis

$BPTSF_d$  = Porcentaje tiempo en demora base para el sentido de análisis

$f_{np.PTSF}$  = Factor de ajuste por porcentaje de zonas de no rebase (PTSF)

$v_{d.PTSF}$  = Volumen ajustado para PTSF en el sentido de análisis (vl/h)

$v_{o.PTSF}$  = Volumen ajustado para PTSF en el sentido opuesto (vl/h)

El porcentaje de tiempo en demora base BPTSF se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(av_d^b)] \quad (08)$$

Las constantes  $a$  y  $b$  para la ecuación anterior se obtuvieron de la tabla 13.

**Tabla 13**  
*Coefficientes  $a$  y  $b$  para la estimación de  $BPTSF_d$ .*

Volumen horario ajustado en el sentido opuesto (vl/h)	Coefficiente a	Coefficiente b
$\leq 200$	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.87
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
$\geq 1600$	-0.0062	0.817

*Nota.* Tomada de TRB (2016).

La tabla 14 provee los valores para el factor de ajuste por zonas de no rebase

$f_{np.PTSTF}$

**Tabla 14**

Factor de ajuste por porcentaje de zonas de no rebase  $f_{np.PTSF}$ .

Volumen ajustado total de ambos sentidos (vl/h)	Porcentaje de zona de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
<i>Reparto por sentidos = 50/50</i>						
≤ 200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
<i>Reparto por sentidos = 60/40</i>						
≤ 200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
<i>Reparto por sentidos = 70/30</i>						
≤ 200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
<i>Reparto por sentidos = 80/20</i>						
≤ 200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
<i>Reparto por sentidos = 90/10</i>						
≤ 200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

Nota. Tomada de TRB (2016).



### 3.4.7. Estimación del porcentaje a velocidad de flujo libre (PFFS)

El tercer índice de servicio (PFFS) muestra en porcentaje que tan cerca de la velocidad de flujo libre (FFS) se encuentra la velocidad promedio de viaje (ATS) con el fin de representar la capacidad de los vehículos de operar cerca de la velocidad nominal o de baja demanda. Dicho índice de servicio se estimó directamente dividiendo ambos parámetros.

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad (09)$$

### 3.4.8. Determinación del nivel de servicio y la capacidad

El nivel de servicio se obtuvo mediante una comparación directa de los valores obtenidos en los índices de servicio ATS, PTSF y PFFS de acuerdo con la tabla 5.

Para la estimación de la capacidad de la vía, se tiene que en condiciones ideales la capacidad de una carretera de dos carriles (en un sentido) es de 1700 vl/h y no más de 3200 vl/h en ambos sentidos. Se determinó la capacidad de la vía a partir de la capacidad ideal usando factores de ajuste pertenecientes a un volumen mayor a 900 vl/h puesto que ello indica los estados de circulación de máxima demanda total, una vez evaluadas ambas ecuaciones, se tomó en referencia el valor más crítico (menor) resultante.

$$C_{d.ATS} = 1700 \times f_{g.ATS} \times f_{HV.ATS} \quad (10)$$

$$C_{d.PTSF} = 1700 \times f_{g.PTSF} \times f_{HV.PTSF} \quad (11)$$



Además, se tuvo presente que la capacidad máxima en un sentido es 1700 vl/h y la capacidad máxima combinada de ambos sentidos es de 3200 vl/h. Cuando esta condición no se cumplía, se ejecutó el mismo análisis, considerando la capacidad combinada y nuevamente tomando como referencia el valor crítico.

$$C_{ATS} = 3200 \times f_{g.ATS} \times f_{HV.ATS} \quad (12)$$

$$C_{PTSF} = 3200 \times f_{g.PTSF} \times f_{HV.PTSF} \quad (13)$$

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

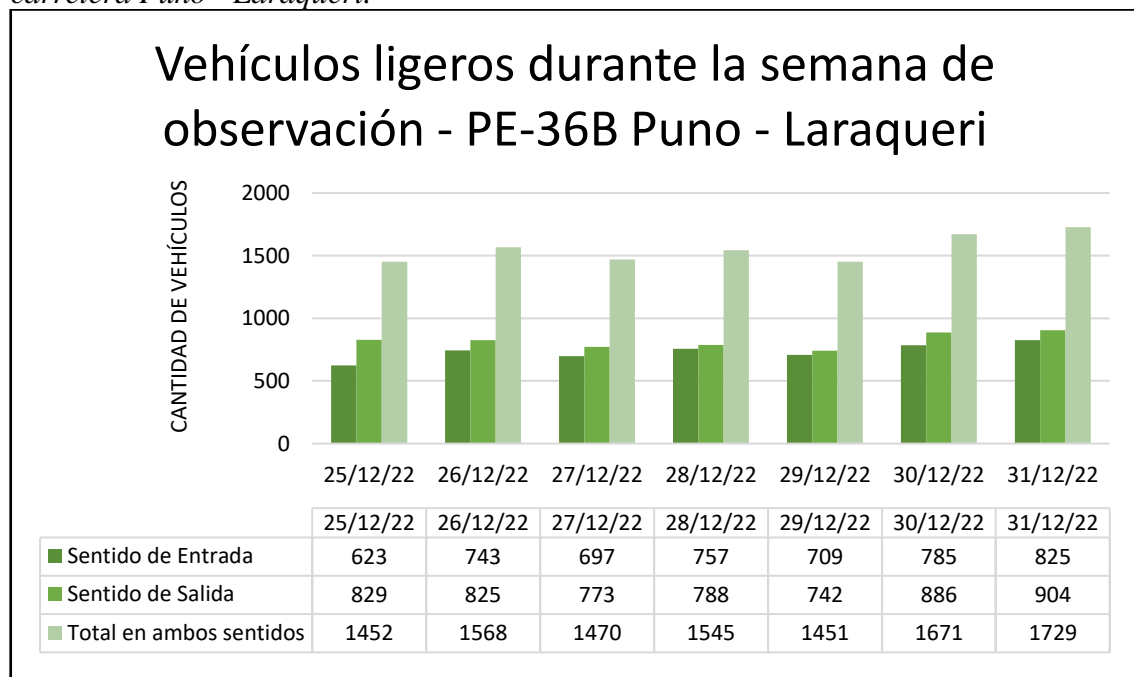
#### 4.1. ANÁLISIS MEDIANTE HCM 2016

##### 4.1.1. Análisis de la vía de acceso PE-36B (Puno – Laraqueri)

Las figuras 12, 13 y 14 muestran el detalle diario del aforo de vehículos ligeros, recreativos y pesados respectivamente en el periodo de estudio por cada sentido de circulación.

**Figura 12.**

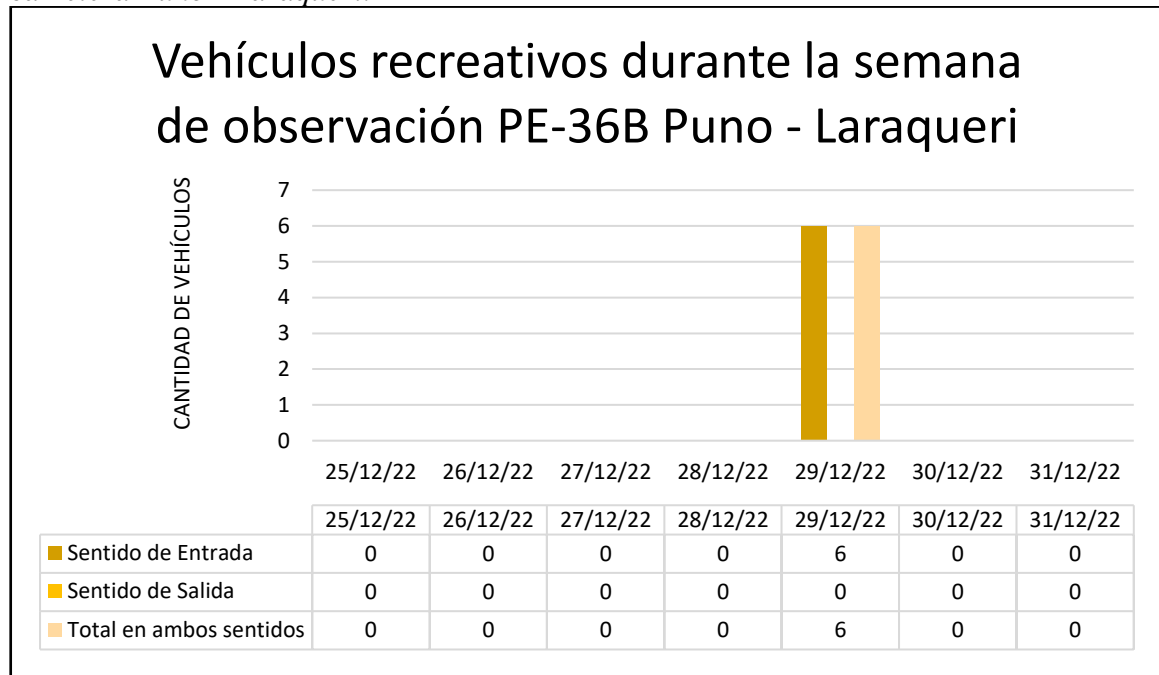
*Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13.**

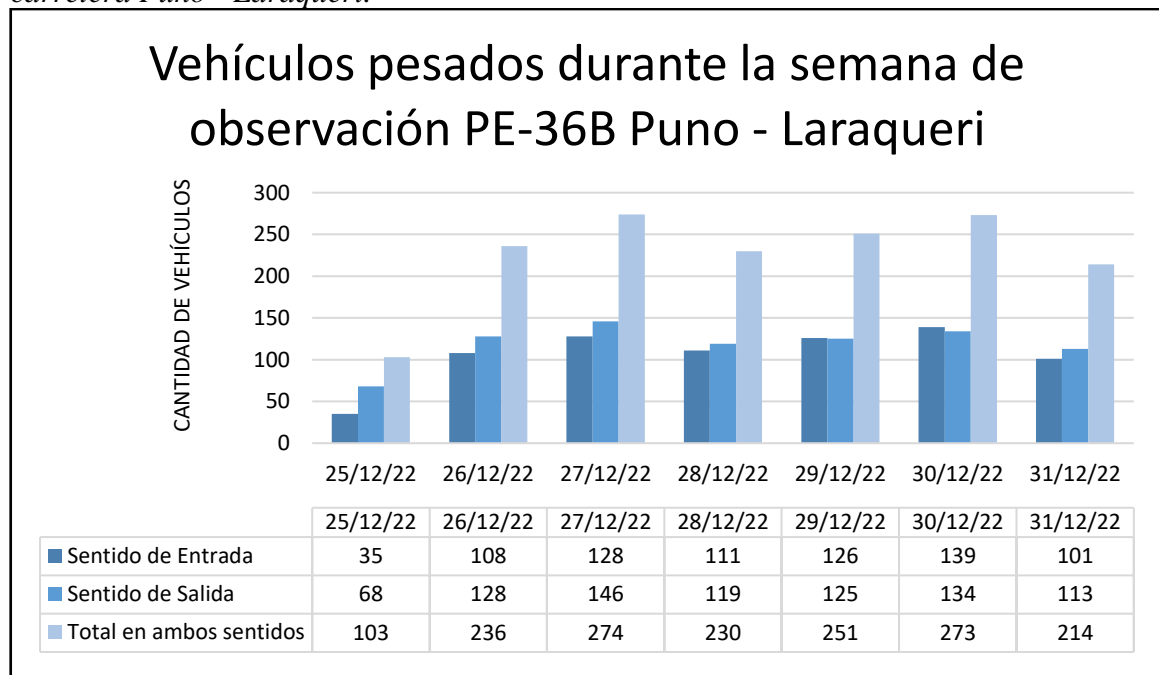
*Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14.**

*Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-36B carretera Puno - Laraqueri.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Paso 1:** Juntamos y organizamos los datos de entrada tales como clase de carretera, anchos de carril y berma, composición de tráfico vehicular, pendiente, porcentaje de zonas de no rebase e intervalo de máxima demanda para estimar el Factor de Hora Pico (FHP) de la vía PE-3S carretera Puno – Ilave. Tenemos una carretera de dos carriles sin accesos aledaños, siendo un tramo que directamente lleva a la zona de alta velocidad de la vía, entonces es una carretera que según la clasificación orográfica sería de tipo 2 y según HCM 2016 de **Clase II** (p. 34), ya que sirve de intermedio entre la zona de velocidad de la vía y el acceso directo a la ciudad de Puno. El índice de nivel de servicio de esta carretera será determinado por el Porcentaje de Tiempo en Demora (PTSF).

**Tabla 15**

*Datos de entrada para la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri.*

VIA PE-36B (SALIDA A LARAQUERI)			Día en análisis	30/12/2022	VIE
CARRETERA DE DOS CARRILES CLASE II			Máx demanda	61	
	C. Entrada	C. Salida	Hora máx. demanda	13:00	
Vehiculos Ligeros	26	27	1er Intervalo	13:00 - 13:15	31
Vehiculos Recreativos	0	0	2do intervalo	13:15 - 13:30	28
Vehiculos Pesados	3	5	3er intervalo	13:30 - 13:45	41
Ancho de carril (ft)	11.25	11.15	4to intervalo	13:45 - 14:00	61
Ancho de Berma (ft)	5.84	4.20	Volumen horario total	$V = 31 + 28 + 41 + 61 = 161$	
Pendiente (%)	-2.73	2.73	Demanda de circ. punta	$Q_{15} = 4 \times 61 = 244$	
% restricción de adelantamiento	40.00	30.00	<b>Factor de Hora Pico</b>	$FHP = V/Q_{15} = 161/244$	<b>0.66</b>

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.1.1.1. Sentido de entrada

**Paso 2:** Estimamos la velocidad a flujo libre mediante observación directa en campo puesto que pudimos observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h.

$$FFS = 39.9 \text{ mi/h (63.9 Km/h)}$$





**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.10$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 116 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 1.8$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.10(1.8 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.926$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.ATS}$ , con la demanda de 116 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g.ATS} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{E.ATS} = \frac{116}{0.66 \times 1.00 \times 0.926} = 190 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis (salida) el cual tiene una demanda ajustada de 219 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np.ATS} = 1.5$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_E = 39.9 - 0.00776(190 + 219) - 1.5 = 35.2 \text{ mi/h (56.3 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.10$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 572 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.1$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.10(1.1 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.990$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 116 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{E.PTSF} = \frac{572}{0.66 \times 1.00 \times 0.990} = 178 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (salida) el cual tiene una demanda ajustada de 197 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0014$  y  $b = 0.973$ .

$$BPTSF_E = 100(1 - \exp(-0.0014 \times 178^{0.973})) = 19.5 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSF_E$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $178 + 197 = 375$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 51.2$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSF_E = 19.5 + 51.2 \left( \frac{178}{178 + 197} \right) = 43.8 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFS_E = \frac{35.2}{39.9} = 88.2 \%$$

**Paso 8:** Al ser una carretera de clase II, el indicador directo es el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos que el carril de entrada de la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri opera a un nivel de servicio B.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.10$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.0$ ,  $E_{R.ATS} = 1.0$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.10(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.10(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.00$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{E.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

$$C_{E.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

Nos quedamos con el valor mínimo el cuál es 1700 vl/h, pero se debe considerar que el reparto por sentidos es 48% en el sentido de entrada y 52% en el sentido de salida, esto implica que si el carril de entrada llega a operar a 1700 vl/h el carril de salida opera a una capacidad de:

$$C_S = 1700 \times 0.52 / 0.48 = 1842 \text{ vl/h}$$



Lo cual nos da una capacidad combinada de  $1700 + 1842 = 3542$  vl/h superando el límite, por otro lado, la capacidad límite de 1700 vl/h en un reparto de 52/48 nos daría:

$$C_S = 1700 / 0.52 = 3269 \text{ vl/h}$$

Ambos indicadores al superar el límite de capacidad nos indican que la vía puede operar al límite de 3200 vl/h sin que ningún carril alcance 1700 vl/h, esto implicaría que en un reparto de 52/48 tenemos:

$$C_E = 3200 \times 0.48 = 1536 \text{ vl/h}$$

$$C_S = 3200 \times 0.52 = 1664 \text{ vl/h}$$

$$C_T = 1536 + 1664 = 3200 \text{ vl/h}$$

Tenemos entonces una capacidad total en la vía de 3200 vl/h bajo la condición de que cuando la capacidad del carril de entrada llega a 1536 vl/h, el carril de salida opera a 1664 vl/h.

#### 4.1.1.2. Sentido de salida

**Paso 2:** Estimamos la velocidad a flujo libre mediante observación directa en campo puesto que pudimos observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h.

$$FFS = 39.1 \text{ mi/h (62.6 Km/h)}$$

**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.16$  y de vehículos



recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 128 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 1.8$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.16(1.8 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.887$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.ATS}$ , con la demanda de 128 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g.ATS} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{S.ATS} = \frac{128}{0.66 \times 1.00 \times 0.887} = 219 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 190 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np.ATS} = 1.2$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_S = 31.9 - 0.00776(219 + 190) - 1.2 = 27.5 \text{ mi/h (44.0 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.16$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 128 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.1$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.16(1.1 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.984$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 128 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{S.PTSF} = \frac{128}{0.66 \times 1.00 \times 0.984} = 197 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 178 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0014$  y  $b = 0.973$ .

$$BPTSF_S = 100(1 - \exp(-0.0014 \times 197^{0.973})) = 21.3 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSF_S$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $197 + 178 = 375$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 44.9$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSF_S = 21.3 + 44.9 \left( \frac{197}{197 + 178} \right) = 44.9 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFS_S = \frac{27.5}{31.9} = 86.2 \%$$

**Paso 8:** Al ser una carretera de clase II, el indicador directo es el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos que

el carril de salida de la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri opera a un nivel de servicio B.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.16$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.0$ ,  $E_{R.ATS} = 1.0$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.16(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.16(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.00$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{S.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

$$C_{S.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

Nos quedamos con el valor mínimo el cuál es 1700 vl/h, pero se debe considerar que el reparto por sentidos es 48% en el sentido de entrada y 52% en el sentido de salida, esto implica que si el carril de salida llega a operar a 1700 vl/h el carril de entrada opera a una capacidad de:

$$C_E = 1700 \times 0.48 / 0.52 = 1569 \text{ vl/h}$$

Lo cual nos da una capacidad combinada de  $1700 + 1569 = 3269$  vl/h superando el límite, esto quiere decir que la vía puede llegar a operar al límite de

3200 vl/h sin que ningún carril alcance 1700 vl/h, esto implica que en un reparto 52/48 tenemos:

$$C_E = 3200 \times 0.48 = 1536 \text{ vl/h}$$

$$C_S = 3200 \times 0.52 = 1664 \text{ vl/h}$$

$$C_T = 1536 + 1664 = 3200 \text{ vl/h}$$

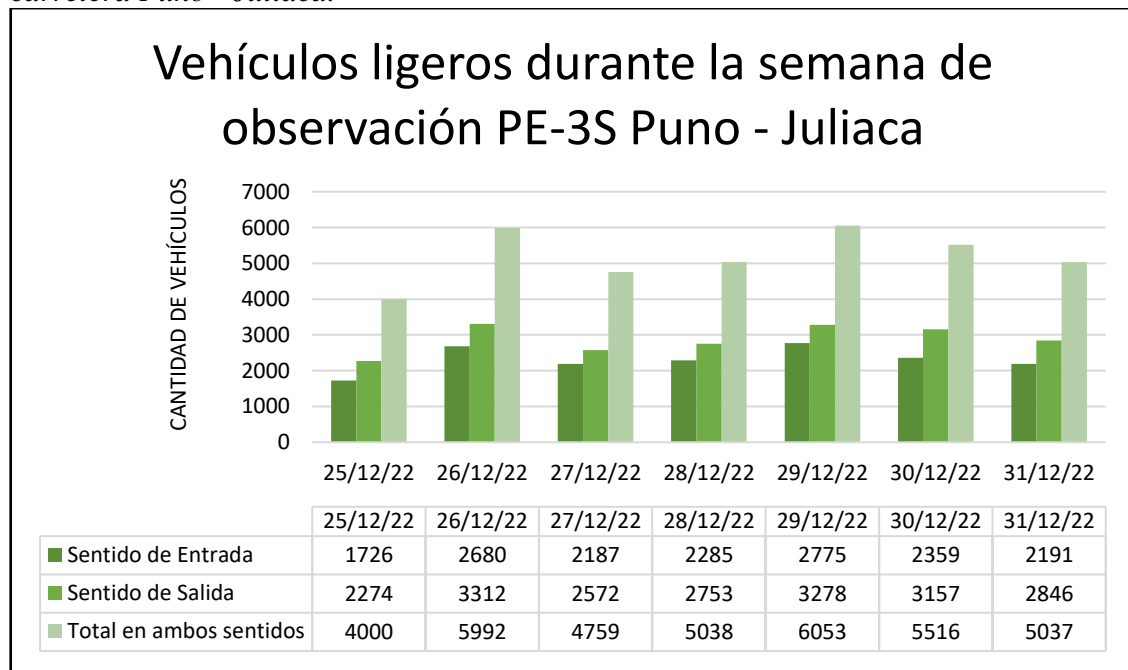
Tenemos una capacidad total en la vía de 3200 vl/h bajo la condición de que cuando la capacidad del carril de entrada llega a 1536 vl/h, el carril de salida opera a 1664 vl/h.

#### 4.1.2. Análisis de la vía de acceso PE-3S (Puno – Juliaca)

Las figuras 15, 16 y 17 muestran el detalle diario del aforo de vehículos ligeros, recreativos y pesados respectivamente por cada sentido de circulación.

#### Figura 15.

*Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca.*

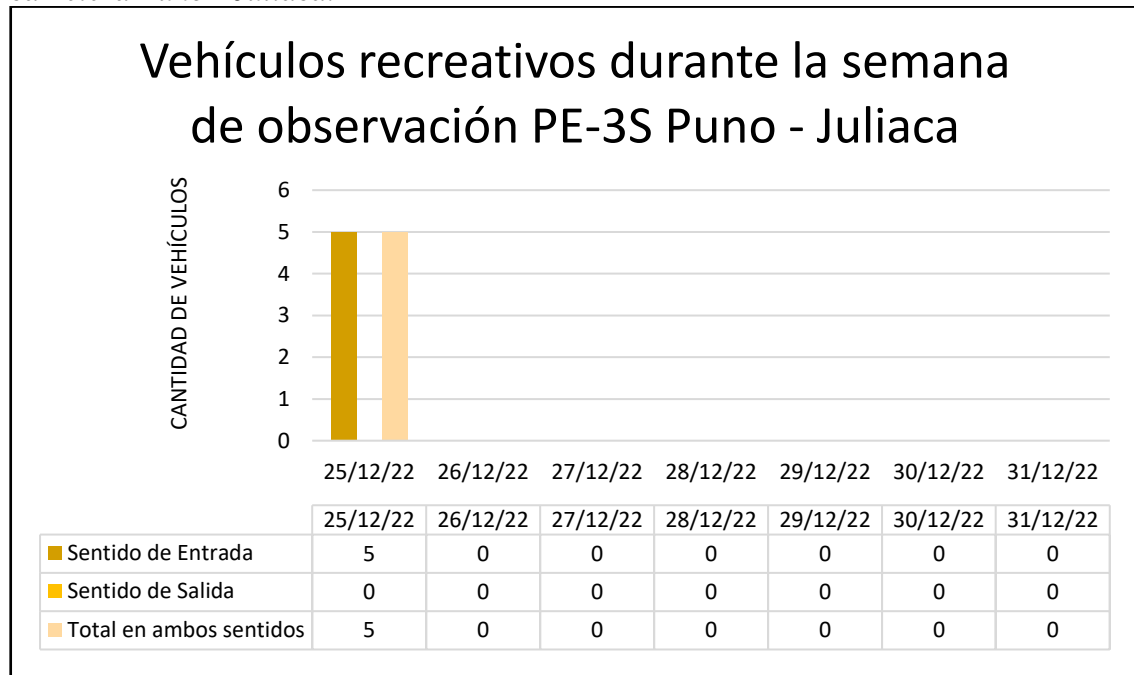


*Nota.* Elaboración propia.



**Figura 16.**

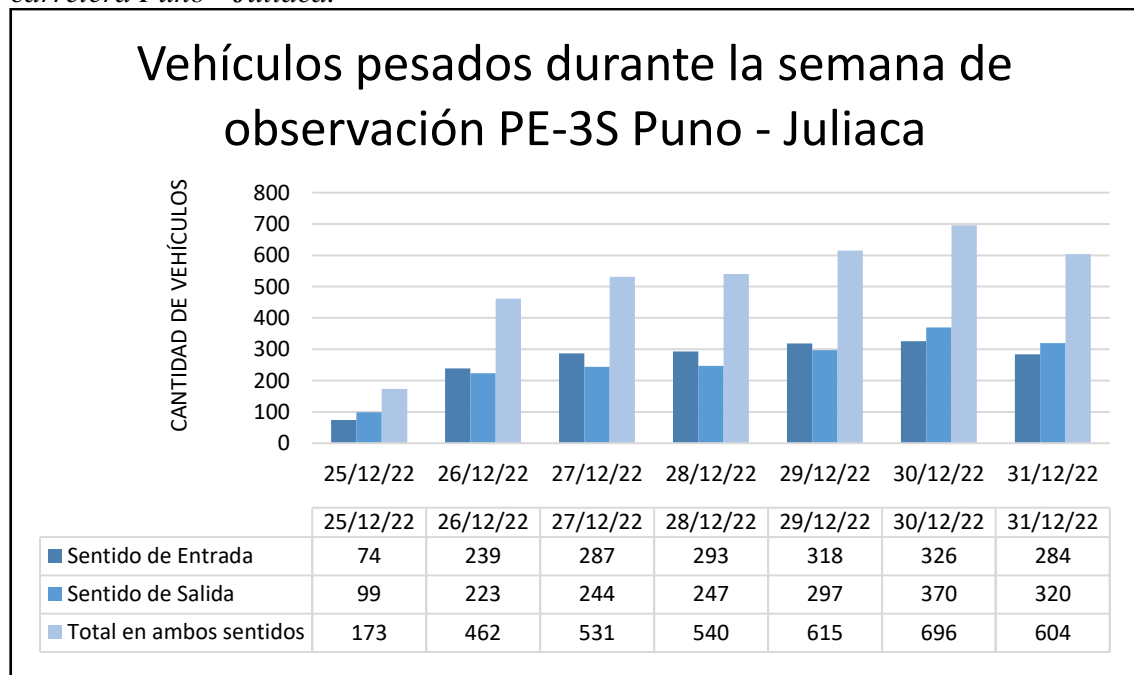
*Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 17.**

*Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Juliaca.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Paso 1:** Juntamos y organizamos los datos de entrada tales como clase de carretera, anchos de carril y berma, composición de tráfico vehicular, pendiente, porcentaje de zonas de no rebase e intervalo de máxima demanda para estimar el Factor de Hora Pico (FHP) de la vía PE-3S carretera Puno – Ilave. Tenemos una carretera de dos carriles sin accesos directos, pero con presencia de zona urbana (Yanamayo); orográficamente sería de tipo 3 y según HCM 2016 es una carretera de **Clase III** (p. 35), si bien no es el tramo más cercano a la ciudad de Puno, si está recorriendo una zona urbana cercana. El índice de nivel de servicio de esta carretera será determinado por el Porcentaje de Velocidad a Flujo Libre (PFFS) porque en este tipo de carreteras si bien no se espera velocidades elevadas, sí se necesita que la velocidad sea constante y lo más próxima a la velocidad de operación normal en intervalos de baja demanda.

**Tabla 16**

*Datos de entrada para la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca.*

VIA PE-3S (SALIDA A JULIACA)			Día en análisis	29/12/2022	JUE
<b>CARRETERA DE DOS CARRILES CLASE III</b>			Máx demanda	175	
	<b>C. Entrada</b>	<b>C. Salida</b>	Hora máx. demanda	09:00	
Vehiculos Ligeros	70	89	1er Intervalo	09:00 - 09:15	145
Vehiculos Recreativos	0	0	2do intervalo	09:15 - 09:30	175
Vehiculos Pesados	11	5	3er intervalo	09:30 - 09:45	145
Ancho de carril (ft)	11.25	11.34	4to intervalo	09:45 - 10:00	174
Ancho de Berma (ft)	2.95	6.56	Volumen horario total	$V = 145 + 175 + 145 + 174 = 639$	
Pendiente (%)	3.61	-3.61	Demanda de circ. punta	$Q_{15} = 4 \times 175 = 700$	
% restricción de adelantamiento	50.00	50.00	<b>Factor de Hora Pico</b>	$FHP = V/Q_{15} = 639/700$ <b>0.91</b>	

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.1.2.1. Sentido de entrada

**Paso 2:** Calculamos la velocidad a flujo libre mediante estimación en alta demanda horaria puesto que no se pudo observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h. Para ello tenemos un volumen total de 40021 vehículos observados, lo

cual en el tiempo de observación hace una demanda media de 476.4 v/h, además en el mismo periodo de tiempo tenemos una velocidad promedio de la muestra de vehículos de 31.9 mi/h y un factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS} = 0.867$  (calculado en el paso 3)

$$FFS = 31.9 + 0.00776 \times (476.4 / 0.867) = 36.2 \text{ mi/h (57.9 Km/h)}$$

**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.14$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 324 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 2.1$  y  $E_R = 1.1$

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.14(2.1 - 1) + 0.00(1.1 - 1)} = 0.867$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV,ATS}$ , con la demanda de 324 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g,ATS} = 0.85$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{E,ATS} = \frac{324}{0.91 \times 0.85 \times 0.867} = 483 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis (salida) el cual tiene una demanda ajustada de 493 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np,ATS} = 1.1$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_E = 36.2 - 0.00776(483 + 493) - 1.1 = 27.5 \text{ mi/h (44.0 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.14$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 324 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.7$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.14(1.7 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.911$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 324 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_g.PTSF = 0.86$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{E.PTSF} = \frac{324}{0.91 \times 0.86 \times 0.911} = 454 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (salida) el cual tiene una demanda ajustada de 478 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0026$  y  $b = 0.902$ .

$$BPTSF_E = 100(1 - \exp(-0.0026 \times 454^{0.902})) = 47.7 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSF_E$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $454 + 478 = 932$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 36.4$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSF_E = 47.7 + 36.4 \left( \frac{454}{454 + 478} \right) = 65.4 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFS_E = \frac{27.5}{36.2} = 76.0 \%$$

**Paso 8:** Al ser una carretera de clase III, el indicador directo es el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos que el carril de entrada de la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca opera a un nivel de servicio C.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.14$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.3$ ,  $E_{R.ATS} = 1.1$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.14(1.3 - 1) + 0.00(1.1 - 1)} = 0.960$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.14(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.00$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{E.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 0.960 = 1632 \text{ vl/h}$$

$$C_{E.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$



Nos quedamos con el menor valor de capacidad para el sentido de entrada que es 1632 vl/h, en el reparto por sentidos de 46/54 implica que la capacidad de la vía es:

$$C_T = 1632 / 0.46 = 3548 \text{ vl/h}$$

Esto supera el límite, entonces calculamos la capacidad total:

$$C_T = 3200 \times 1.00 \times 0.96 = 3072 \text{ vl/h}$$

Esta es la capacidad total máxima de la vía, entonces la capacidad de cada sentido de circulación sería:

$$C_E = 3072 \times 0.46 = 1413 \text{ vl/h}$$

$$C_S = 3072 \times 0.54 = 1659 \text{ vl/h}$$

Lo cual indica que el sentido de entrada podría llegar a operar con una capacidad máxima de 1413 vl/h y al llegar a dicha capacidad el sentido de salida llega a operar a 1659 vl/h.

#### 4.1.2.2. Sentido de salida

**Paso 2:** Calculamos la velocidad a flujo libre mediante estimación en alta demanda horaria puesto que no se pudo observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h. Para ello tenemos un volumen total de 40021 vehículos observados, lo cual en el tiempo de observación hace una demanda media de 476.4 v/h, además en el mismo periodo de tiempo tenemos una velocidad promedio de la muestra de vehículos de 36.5 mi/h y un factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS} = 0.952$  (calculado en el paso 3)

$$FFS = 36.5 + 0.00776 \times (476.4 / 0.952) = 40.4 \text{ mi/h (64.6 Km/h)}$$

**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.05$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 376 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 2.0$  y  $E_R = 1.1$

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.05(2.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.952$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.ATS}$ , con la demanda de 376 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g.ATS} = 0.88$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{s.ATS} = \frac{376}{0.91 \times 0.88 \times 0.952} = 493 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 483 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np.ATS} = 1.1$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_S = 40.4 - 0.00776(493 + 483) - 0.4 = 23.1 \text{ mi/h (37.0 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.05$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 460 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.6$  y  $E_R = 1.0$



$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.05(1.6 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 0.971$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 376 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_{g.PTSF} = 0.89$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{S.PTSF} = \frac{376}{0.91 \times 0.89 \times 0.971} = 478 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 454 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0025$  y  $b = 0.909$ .

$$BPTSF_S = 100(1 - \exp(-0.0025 \times 478^{0.909})) = 49.4 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSF_S$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $478 + 454 = 932$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 36.4$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSF_S = 49.4 + 36.4 \left( \frac{478}{478 + 454} \right) = 68.1 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFS_S = \frac{31.7}{40.4} = 78.5 \%$$



**Paso 8:** Al ser una carretera de clase III, el indicador directo es el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos que el carril de salida de la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca opera a un nivel de servicio C.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.05$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.3$ ,  $E_{R.ATS} = 1.1$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.05(1.3 - 1) + 0.00(1.1 - 1)} = 0.990$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.05(1.0 - 1) + 0.00(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.000$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{S.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 0.990 = 1683 \text{ vl/h}$$

$$C_{S.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

Nos quedamos con el valor mínimo el cuál es 1683 vl/h, pero se debe considerar que en el reparto por sentidos 46/54 la capacidad total sería:

$$C_T = 1683 / 0.54 = 3117 \text{ vl/h}$$

Y la capacidad máxima en el carril de entrada sería:

$$C_E = 3117 \times 0.46 = 1434 \text{ vl/h}$$

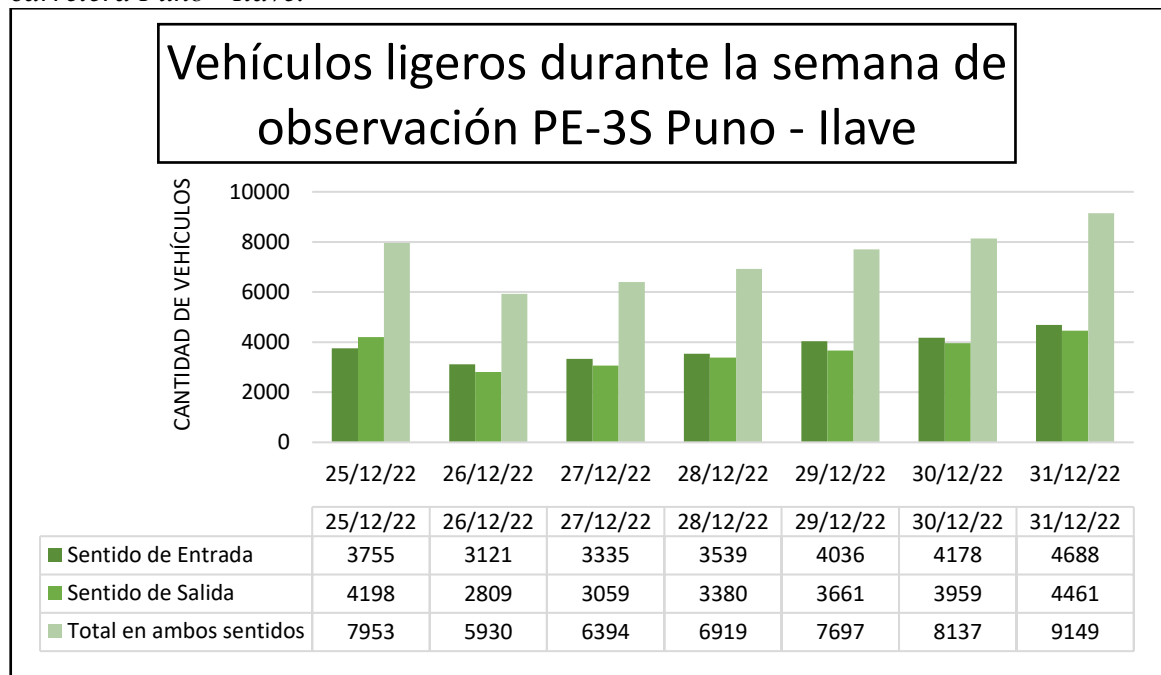
Si bien los valores antes mencionados no exceden el límite de capacidad para carreteras de dos carriles, el panorama más crítico se muestra en el análisis del carril de entrada, por ende, para este caso también se tomará los datos de 1413 vl/h para el sentido de entrada y 1659 vl/h en el sentido de salida como capacidades máximas de la vía.

#### 4.1.3. Análisis de la vía de acceso PE-3S (Puno – Ilave)

Las figuras 18, 19 y 20 muestran el detalle diario del aforo de vehículos ligeros, recreativos y pesados respectivamente en el periodo de estudio por cada sentido de circulación.

**Figura 18.**

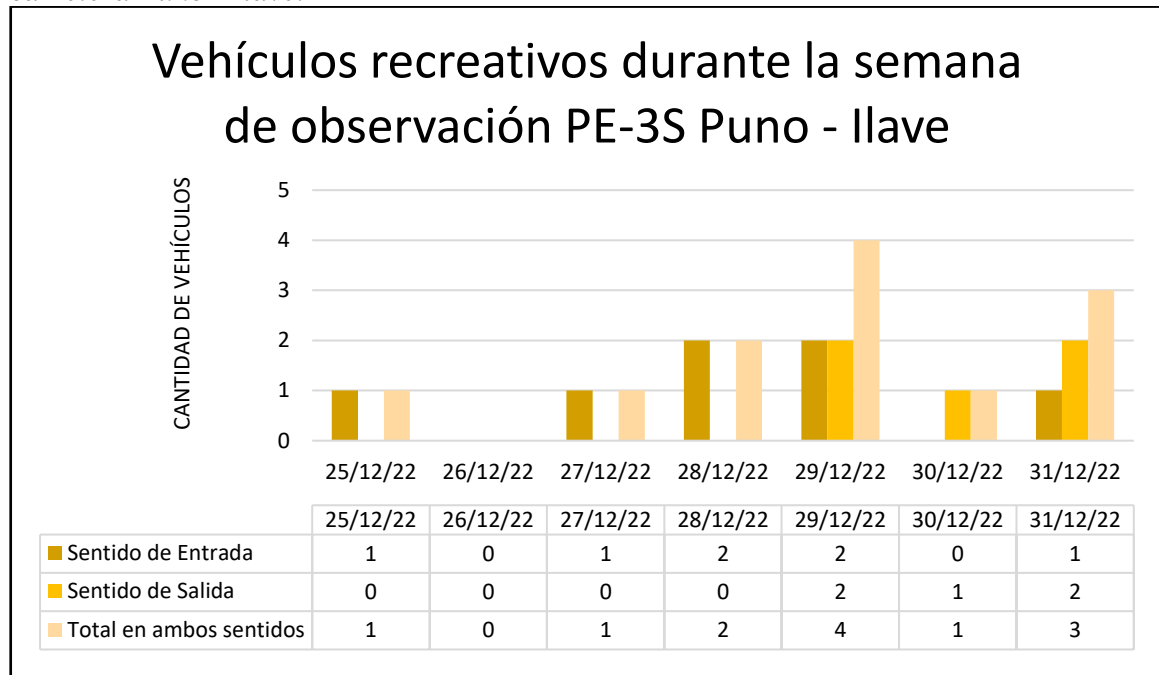
*Aforo de vehículos ligeros por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 19.**

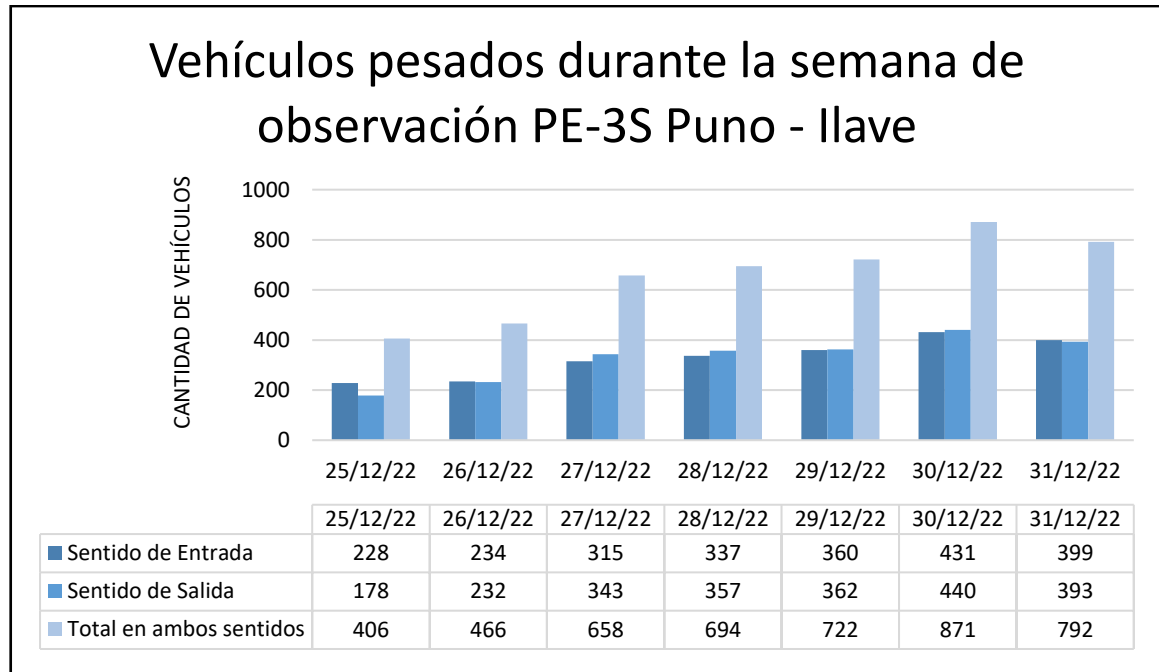
*Aforo de vehículos recreativos por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 20.**

*Aforo de vehículos pesados por sentido durante el periodo de estudio, vía PE-3S carretera Puno - Ilave.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Paso 1:** Juntamos y organizamos los datos de entrada tales como clase de carretera, anchos de carril y berma, composición de tráfico vehicular, pendiente, porcentaje de zonas de no rebase e intervalo de máxima demanda para estimar el Factor de Hora Pico (FHP) de la vía PE-3S carretera Puno – Ilave. Tenemos una carretera de dos carriles con accesos de la zona de Jallihuaya y Salcedo, además presenta zonas residenciales urbanas en el borde de carretera; orográficamente es de tipo 3 y según HCM 2016 es una carretera de **Clase III** (p. 35), ya que recorre zonas urbanas cercanas y es un tramo próximo a la ciudad de Puno. El índice de nivel de servicio de esta carretera será determinado por el Porcentaje de Velocidad a Flujo Libre (PFFS) porque en este tipo de carreteras si bien no se espera velocidades elevadas, si se necesita que la velocidad sea constante y lo más próxima a la velocidad de operación normal en intervalos de baja demanda.

**Tabla 17**

*Datos de entrada para la vía PE-3S carretera Puno – Ilave.*

VIA PE-3S (SALIDA A ILAVE)			Día en análisis	31/12/2022	SÁB
<b>CARRETERA DE DOS CARRILES CLASE III</b>			Máx demanda	258	
	<b>C. Entrada</b>	<b>C. Salida</b>	Hora máx. demanda	16:00	
Vehiculos Ligeros	132	109	1er Intervalo	16:00 - 16:15	241
Vehiculos Recreativos	0	0	2do intervalo	16:15 - 16:30	183
Vehiculos Pesados	11	6	3er intervalo	16:30 - 16:45	258
Ancho de carril (ft)	11.80	11.48	4to intervalo	16:45 - 17:00	249
Ancho de Berma (ft)	3.38	4.89	Volumen horario total	$V = 241 + 183 + 258 + 249 = 931$	
Pendiente (%)	-0.10	0.10	Demanda de circ. punta	$Q_{15} = 4 \times 258 = 1032$	
% restricción de adelantamiento	0.00	0.00	<b>Factor de Hora Pico</b>	$FHP = V/Q_{15} = 931/1032$ <b>0.90</b>	

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.1.3.1. Sentido de entrada

**Paso 2:** Estimamos la velocidad a flujo libre mediante estimación en alta demanda horaria puesto que no se pudo observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h. Para ello tenemos un volumen total de 56800 vehículos observados, lo cual en el tiempo de observación hace una demanda media de 676.2 v/h, además en el mismo periodo de tiempo tenemos una velocidad promedio de la muestra de vehículos de 27.2 mi/h y un factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS} = 0.992$  (calculado en el paso 3)

$$FFS = 27.2 + 0.00776 \times (676.2 / 0.992) = 32.5 \text{ mi/h (52.01 Km/h)}$$

**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.08$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 572 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 1.1$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.08(1.1 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 0.992$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV,ATS}$ , con la demanda de 572 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g,ATS} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{E,ATS} = \frac{572}{0.90 \times 1.00 \times 0.992} = 641 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis



(salida) el cual tiene una demanda ajustada de 516 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np.ATS} = 0.6$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_E = 32.5 - 0.00776(641 + 516) - 0.6 = 22.9 \text{ mi/h (36.64 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.08$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 572 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.0$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.08(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 572 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{E.PTSF} = \frac{572}{0.90 \times 1.00 \times 1.000} = 636 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (salida) el cual tiene una demanda ajustada de 511 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0028$  y  $b = 0.894$ .

$$BPTSF_E = 100(1 - \exp(-0.0028 \times 636^{0.894})) = 59.3 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSFE$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $636 + 511 = 1147$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 13.4$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSFE = 59.3 + 13.4 \left( \frac{636}{636 + 511} \right) = 66.7 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFSE = \frac{22.9}{32.5} = 70.5 \%$$

**Paso 8:** Al ser una carretera de clase III, el indicador directo es el porcentaje de de velocidad a flujo libre (PFFS), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos que el carril de entrada de la vía PE-3S carretera Puno – Ilave opera a un nivel de servicio D.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.08$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.0$ ,  $E_{R.ATS} = 1.0$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.08(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.08(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.000$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{E.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

$$C_{E.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

Nos quedamos con el valor mínimo el cuál es 1700 vl/h, pero se debe considerar que el reparto por sentidos es 55% en el sentido de entrada y 45% en el sentido de salida, esto implica que la capacidad total de la vía sería:

$$C_E = 1700 / 0.55 = 3091 \text{ vl/h}$$

Y la capacidad máxima en el sentido de salida sería de:

$$C_S = 3091 \times 0.45 = 1391 \text{ vl/h}$$

#### 4.1.3.2. Sentido de salida

**Paso 2:** Estimamos la velocidad a flujo libre median estimación en alta demanda horaria puesto que no se pudo observar intervalos con un volumen menor a 200 v/h. Para ello tenemos un volumen total de 56800 vehículos observados, lo cual en el tiempo de observación hace una demanda media de 676.2 v/h, además en el mismo periodo de tiempo tenemos una velocidad promedio de la muestra de vehículos de 27.2 mi/h y un factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV,ATS} = 0.992$  (calculado en el paso 3)

$$FFS = 27.2 + 0.00776 \times (676.2 / 0.992) = 32.5 \text{ mi/h (52Km/h)}$$

**Paso 3:** Es necesario homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo de la velocidad de viaje promedio (ATS),



primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.ATS}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.05$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 460 v/h en la tabla N° 12 obtenemos  $E_T = 1.2$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.05(1.2 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 0.990$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.ATS}$ , con la demanda de 460 v/h en la tabla N° 10 obtenemos  $f_{g.ATS} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo de ATS.

$$v_{S.ATS} = \frac{460}{0.90 \times 1.00 \times 0.990} = 516 \text{ vl/h}$$

**Paso 4:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer la velocidad promedio de viaje (ATS), usando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 641 vl/h, mediante la tabla N° 16 obtenemos  $f_{np.ATS} = 0.4$  y procedemos a estimar el ATS.

$$ATS_S = 32.5 - 0.00776(516 + 641) - 0.4 = 23.1 \text{ mi/h (37.0 Km/h)}$$

**Paso 5:** También se necesita homologar la demanda mixta a una demanda de vehículos ligeros para el cálculo del porcentaje de tiempo en demora (PTSF), primeramente, necesitamos obtener el factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV.PTSF}$ , tenemos la proporción de vehículos pesados  $P_T = 0.05$  y de vehículos recreativos  $P_R = 0.00$ , ingresando la demanda en el sentido de análisis 460 v/h en la tabla N° 19 obtenemos  $E_T = 1.0$  y  $E_R = 1.0$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.05(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

Una vez obtenido el factor  $f_{HV.PTSF}$ , con la demanda de 460 v/h en la tabla N° 17 obtenemos  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , y procedemos con el ajuste directo de la demanda para el cálculo del PTSF.

$$v_{S.PTSF} = \frac{460}{0.90 \times 1.00 \times 1.000} = 511 \text{ vl/h}$$

**Paso 6:** Una vez ajustada la demanda, es necesario conocer el porcentaje de tiempo en demora (PTSF), de antemano se necesita obtener el porcentaje de tiempo en demora base (BPTSF), ingresando la demanda del sentido opuesto al de análisis (entrada) el cual tiene una demanda ajustada de 636 vl/h en la tabla N° 21 obtenemos los coeficientes  $a = -0.0035$  y  $b = 0.863$ .

$$BPTSF_S = 100(1 - \exp(-0.0035 \times 511^{0.863})) = 53.3 \%$$

Una vez obtenido el  $BPTSF_S$ , ingresamos la suma de las demandas ajustadas, tanto del sentido de entrada y de salida  $636 + 511 = 1147$  vl/h en la tabla N° 22 obtenemos  $f_{np.PTSF} = 13.4$ , y procedemos con el cálculo del PTSF.

$$PTSF_S = 59.3 + 13.4 \left( \frac{511}{511 + 636} \right) = 59.3 \%$$

**Paso 7:** Es importante conocer el comportamiento de los vehículos y sus posibilidades para operar cerca de la velocidad a flujo libre (FFS), entonces calculamos el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS).

$$PFFS_S = \frac{23.1}{32.5} = 71.1 \%$$

**Paso 8:** Al ser una carretera de clase III, el indicador directo es el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS), el cuál cuando comparamos en la tabla 5 vemos



que el carril de salida de la vía PE-3S carretera Puno – Ilave opera a un nivel de servicio D.

Para el análisis e la capacidad de la vía, necesitamos reconsiderar los factores  $f_{HV.ATS}$  y  $f_{HV.PTSF}$  pero para un volumen ajustado por encima de 900 vl/h, esto no cambia las proporciones de vehículos pesados por lo que seguimos teniendo  $P_T = 0.05$  y  $P_R = 0.00$ , pero los equivalentes nuevamente evaluados serían  $E_{T.ATS} = 1.0$ ,  $E_{R.ATS} = 1.0$ ,  $E_{T.PTSF} = 1.0$  y  $E_{R.PTSF} = 1.0$ , con lo cual tenemos:

$$f_{HV.ATS} = \frac{1}{1 + 0.05(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

$$f_{HV.PTSF} = \frac{1}{1 + 0.05(1.0 - 1) + 0(1.0 - 1)} = 1.000$$

Del mismo modo se debe reevaluar los factores de ajuste por pendiente en base a una demanda mayor a 900 vl/h, obteniéndose así nuevos valores de  $f_{g.ATS} = 1.000$  y  $f_{g.PTSF} = 1.00$ , con ello evaluamos la capacidad.

$$C_{E.ATS} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

$$C_{E.PTSF} = 1700 \times 1.00 \times 1.000 = 1700 \text{ vl/h}$$

Nos quedamos con el valor mínimo el cuál es 1700 vl/h, en un reparto por sentidos de 55/45, con el carril de salida en 45% tendríamos una capacidad total de la vía de:

$$C_T = 1700 / 0.45 = 3778 \text{ vl/h}$$

Lo cual claramente está por encima del límite de capacidad para carreteras de dos carriles. Entonces la capacidad total de la vía sería:

$$C_T = 3200 \times 1.00 \times 1.000 = 3200 \text{ vl/h}$$

Entonces para el sentido de salida y entrada la capacidad máxima sería:

$$C_S = 3200 \times 0.45 = 1440 \text{ vl/h}$$

$$C_E = 3200 \times 0.55 = 1760 \text{ vl/h}$$

La capacidad en el sentido de entrada supera la capacidad individual máxima. Entonces deducimos que el carril de entrada puede llegar a operar a su capacidad máxima nominal de 1700 vl/h y cuando esto sucede el carril de salida operara a:

$$C_S = 1700 \times 0.45 / 0.55 = 1391 \text{ vl/h}$$

## 4.2. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA

### 4.2.1. Ancho de carril y de berma

Cuando el ancho de carril de una vía está por debajo de los niveles ideales de operación obliga a los conductores a pasar cerca de los vehículos que vienen en el carril contrario y de igual manera cuando la berma es angosta sucede el mismo efecto con objetos fijos al borde de la carretera todo ello penaliza la velocidad de operación tal como se muestra en la tabla 18. La tabla 18 muestra la comparación de dichas penalizaciones enfrentando a sus condiciones ideales de 12 ft. de carril y 6ft de berma.

**Tabla 18**

*Factores de ajuste por ancho de carril y berma.*

Vía (acceso)	$f_{LS}$ ideal	Sentido de Entrada			Sentido de Salida		
		Carril (ft)	Berma (ft)	$f_{LS}$ real	Carril (ft)	Berma (ft)	$f_{LS}$ real
PE-36B (S)	0.0	11.25	5.84	1.7	11.15	4.20	1.7
PE-3S (N)	0.0	11.25	2.95	3.0	11.34	6.56	0.4
PE-3S (SE)	0.0	11.80	3.38	3.0	11.48	4.89	1.7

*Nota.* Elaboración propia



Vemos que para la vía PE-36B Puno – Laraqueri el ancho de carril en el sentido de entrada a la ciudad es de 3.45 m. (11.25 ft) y el ancho de berma es 1.78 m. (5.84 ft), por otro lado, en el sentido de salida de la ciudad el ancho de carril es 3.40 m. (11.15 ft) y el ancho de berma es de 1.28 m. (4.20 ft). Esto origina una reducción leve de la velocidad de operación en 1.7 mi/h ó 2.7 Km/h en ambos sentidos debido a que las medidas reducidas inducen a los conductores a sentirse más alertas y reducir la velocidad de operación.

Por otro lado, para la vía PE-3S Puno – Juliaca el ancho de carril en el sentido de entrada es de 3.43 m. (11.25 ft) y el ancho de berma de 0.90 m. (2.95 ft), presenta una reducción leve en el ancho de carril y una reducción severa en el ancho de berma reflejando una penalización de 3.0 mi/h ó 4.8 Km/h, esto es interpretable como una mayor demanda de atención por parte de los conductores al momento de operar en dicho sentido y por ende una reducción de velocidad sensible. También, en el sentido de salida el ancho de carril es 3.46 m. (11.34 ft) y el ancho de berma es de 2.00 m. (6.56 ft), puesto que la reducción de carril es leve y el ancho de berma de un lado es óptimo presenta reducciones de velocidad de 0.4 mi/h ó 0.6 Km/h lo cual es prácticamente inapreciable indicando que los conductores no deberían sufrir ningún tipo de presión al operar en la vía.

Caso similar tenemos en la vía PE-3S Puno – Ilave, donde su sentido de entrada presenta un ancho de carril de 3.60 m. (11.80 ft) y un ancho de berma de 1.03 m. (3.38 ft), penalizando así en 3.0 mi/h ó 4.8 Km/h, lo cual implica un panorama también de atención para los conductores y una reducción sensible de velocidad. En cambio, su sentido de salida presenta un ancho de carril de 3.50 m. (11.48 ft) y el ancho de berma de 1.49 m. (4.89 ft), reducciones leves en ambas medidas de carril y berma con una penalización de 1.7 mi/h ó 2.7 Km/h, lo cual indica un efecto negativo menor respecto al

sentido de entrada, pero aun así demanda cierta cautela por parte de los conductores al operar la vía.

#### 4.2.2. Pendiente de la rasante

La tabla 19 detalla las pendientes de rasante promedio de las vías en estudio.

**Tabla 19**

*Pendientes promedio de vías en estudio*

Vía en estudio	Pendiente en el sentido de entrada	Pendiente en el sentido de salida
PE-36B (Puno – Laraqueri)	-2.73 %	+2.73 %
PE-3S (Puno – Juliaca)	+3.61 %	-3.61 %
PE-3S (Puno – Ilave)	-0.10 %	+0.10%

*Nota.* Elaboración propia.

La pendiente de rasante es una condición que incide en los índices de servicio que se usan para identificar el nivel de servicio de una vía. La tabla 20 da una comparación directa de dichos índices de servicio en condiciones reales y en condiciones de pendiente ideal (0.00%) para las vías en estudio.

**Tabla 20**

*Incidencia de la pendiente en los índices de servicio de las vías en estudio.*

Incidencia	Incidencia de la pendiente para las vías en estudio											
	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S(Juliaca)				PE-3S(Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
<b>ATS(mi/h)</b>	35.2	35.2	27.5	27.5	27.5	28.4	31.7	32.7	22.9	22.9	23.1	23.1
<b>PTSF (%)</b>	43.8	43.8	44.9	44.9	65.4	59.3	68.1	64.4	66.7	66.7	59.3	59.3
<b>PFFS (%)</b>	88.2	88.2	86.2	86.2	76	79.3	78.5	81.1	70.5	70.5	71.1	71.1
<b>N.S.</b>	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
<b>Capacidad</b>	1536	1536	1664	1664	1413	1448	1659	1700	1700	1700	1391	1391

*Nota.* Elaboración propia.



Como se puede apreciar tanto para la vía PE-36B Puno – Laraqueri y la vía PE-3S Puno – Ilave, al ser carreteras cuya pendiente es menor al 3%, estas en si ya se encuentran dentro de los valores ideales de pendiente, es así que en ellas no se puede apreciar una diferencia en sus índices de servicio.

Sin embargo, para la vía PE-3S Puno – Juliaca, la cual por características de diseño es terreno ondulado. Se sigue manteniendo en un nivel de servicio B, pero se aprecia diferencias en sus índices de servicio, la primera es una velocidad de viaje promedio (ATS), la cual comparada en condiciones de pendiente ideales tuvo una reducción de 0.9 mi/h (1.6 Km/h) y 1.0 mi/h (1.6 Km/h) respectivamente. También se ve una reducción apreciable en el porcentaje de tiempo en demora (PTSF) sobre todo en el sentido de entrada, esto debido a que, en dicho sentido, la pendiente es en subida y por ello es el sentido de circulación más afectado. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) también mejora, puesto que llega a 79.3% y 81.1% para los sentidos de entrada y salida respectivamente. La capacidad máxima de la via también se modifica permitiendo esta vez alcanzar un total de 3148 vl/h.

### **4.3. INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE TRÁNSITO**

#### **4.3.1. Composición del tráfico vehicular**

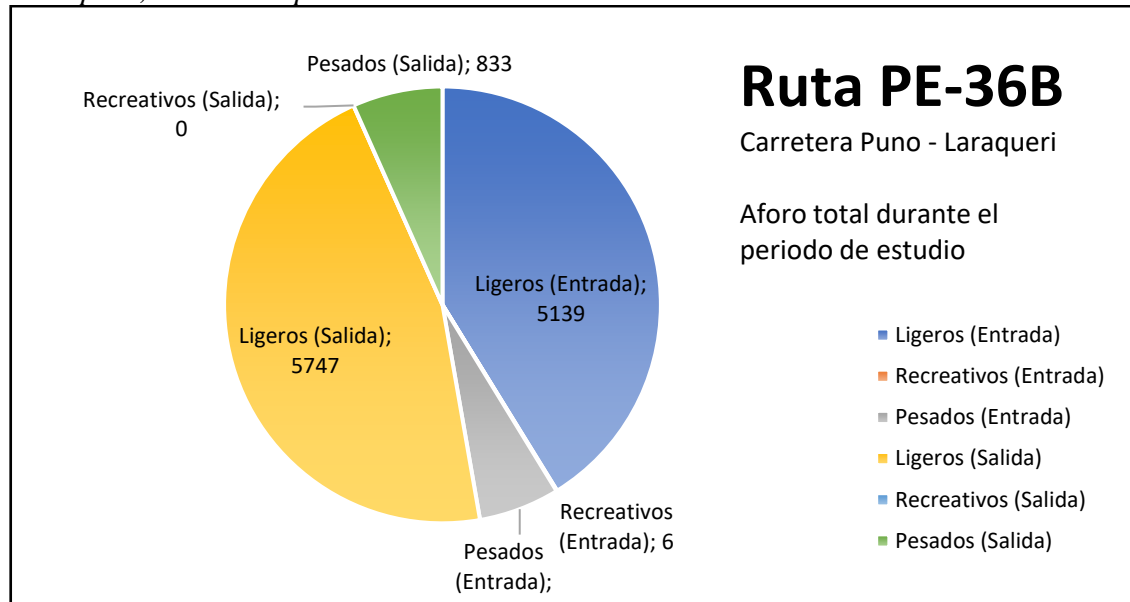
Es preferible una circulación de puros vehículos ligeros, pero la realidad es que las vías soportan también vehículos recreativos (equivalente a casas rodantes con clasificación CRD según norma peruana) y vehículos pesados (buses y camiones).

La figura 21 muestra la distribución de vehículos ligeros, recreativos y pesados para cada sentido de circulación durante el periodo de estudio en la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri. Se ha tenido un aforo total de 12473 vehículos, de los cuales 10886 son vehículos ligeros, 6 son vehículos recreativos y 1581 son vehículos pesados, al ser

los vehículos recreativos una porción minúscula de la composición vehicular, su porcentaje es prácticamente 0.00% haciéndose inapreciable en el gráfico.

**Figura 21.**

*Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri, durante el periodo de estudio.*



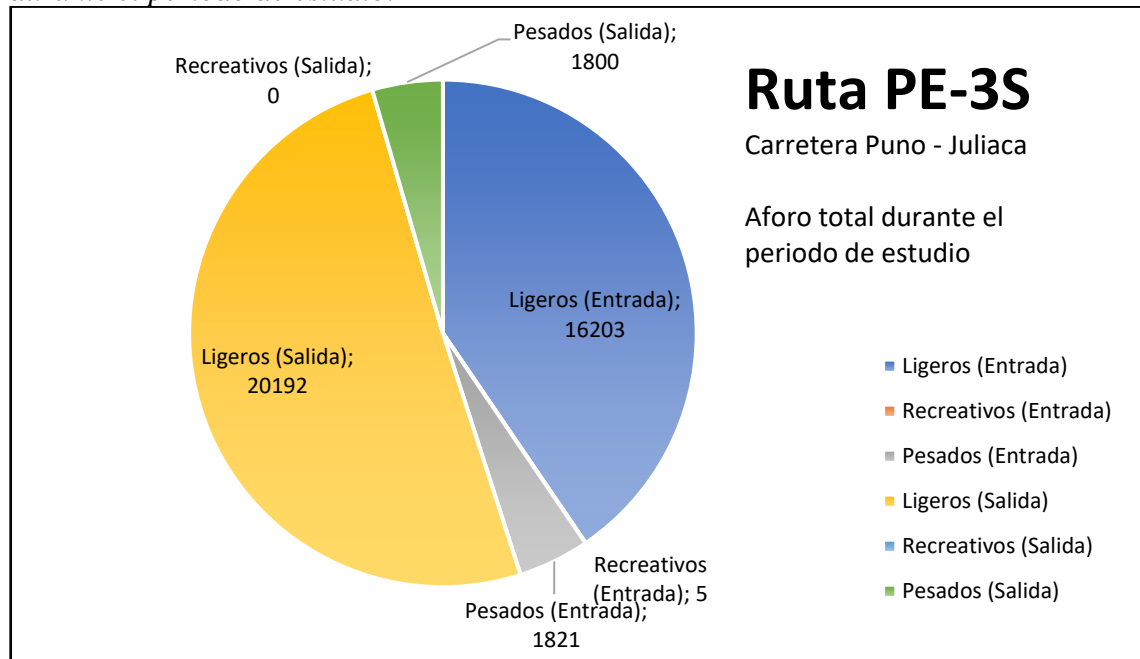
*Nota.* Elaboración propia.

La figura 22 muestra la distribución de vehículos ligeros, recreativos y pesados para cada sentido de circulación durante el periodo de estudio en la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca. Se ha tenido un aforo total de 40021 vehículos, de los cuales 36395 son vehículos ligeros, 5 son vehículos recreativos y 3621 son vehículos pesados, al ser los vehículos recreativos una porción minúscula de la composición vehicular, su porcentaje es prácticamente 0.00% haciéndose inapreciable en el gráfico.



**Figura 22.**

*Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-3S carretera Puno – Juliaca, durante el periodo de estudio.*

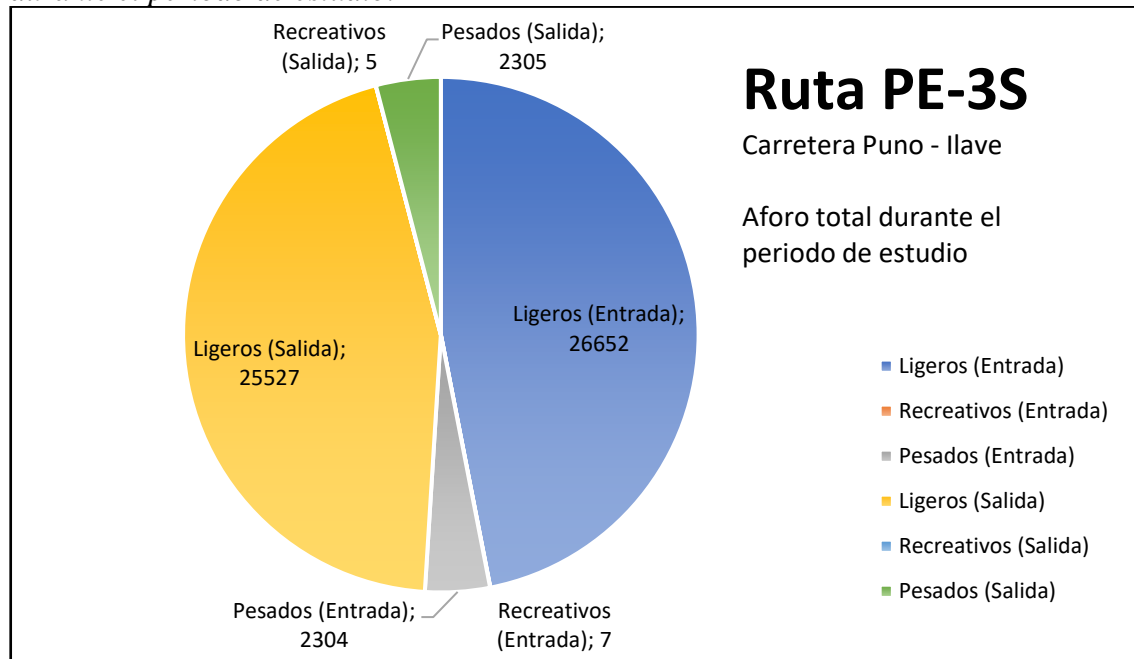


*Nota.* Elaboración propia.

La figura 23 muestra la distribución de vehículos ligeros, recreativos y pesados para cada sentido de circulación durante el periodo de estudio en la vía PE-3S carretera Puno – Ilave. Se ha tenido un aforo total de 56800 vehículos, de los cuales 52179 son vehículos ligeros, 12 son vehículos recreativos y 4609 son vehículos pesados, al ser los vehículos recreativos una porción minúscula de la composición vehicular, su porcentaje es prácticamente 0.00% haciéndose inapreciable en el gráfico.

**Figura 23.**

*Distribución total de vehículos por sentido en la vía PE-3S carretera Puno – Ilave, durante el periodo de estudio.*



*Nota.* Elaboración propia.

Los vehículos pesados (buses, y camiones) y recreativos tienen menor capacidad de aceleración y poca oportunidad de ejecutar maniobras en pendiente o de adelantamiento. La tabla 21 muestra la incidencia de vehículos pesados en comparación con una circulación ideal de puramente vehículos ligeros de las vías en estudio.

**Tabla 21**

*Incidencia de vehículos pesados en los índices de servicio de las vías en estudio.*

Incidencia	Incidencia de vehículos pesados para las vías en estudio											
	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S(Juliaca)				PE-3S(Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
<b>ATS(mi/h)</b>	35.2	35.5	27.5	27.8	27.5	27.6	31.7	32.1	22.9	23.0	23.1	23.1
<b>PTSF (%)</b>	43.8	43.1	44.9	44.4	65.4	63.5	68.1	67.7	66.7	66.7	59.3	59.3
<b>PFFS (%)</b>	88.2	89.0	86.2	87.1	76.0	77.5	78.5	79.9	70.5	71.0	71.1	71.3
<b>N.S.</b>	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
<b>Capacidad</b>	1536	1536	1664	1664	1413	1448	1659	1700	1700	1700	1391	1391

*Nota.* Elaboración propia.



Cuando se considera un tráfico vehicular de puros vehículos ligeros para la vía PE-36B Puno – Laraqueri observamos mejoras leves de 0.3 mi/h (0.5 Km/h) en el ATS de cada sentido de circulación. También una mejora leve en el PTSF reduciéndose en 0.7% y 0.5% en el carril de entrada y salida respectivamente. Y en cuanto al PFFS también se tienen mejoras leves llegando a 89.0% y 87.1% respectivamente. La incidencia de esta condición en esta vía es mínima y por lo tanto no modifica el nivel de servicio que se mantiene en B.

El análisis a puros vehículos ligeros para la vía PE-3S Puno – Juliaca, también presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0.1 mi/h (0.2 Km/h) en el sentido de entrada y 0.4 mi/h (0.6 Km/h) en el sentido de salida. El PTSF también recibe mejoras leves con diferencias de 0.9% y 0.4% en el carril de entrada y salida respectivamente. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) también mejora en un 1.5% y 1.4% para los sentidos de entrada y salida respectivamente. El nivel de servicio se mantiene en C, pero la capacidad máxima de la vía mejora pudiendo llegar a 3148 v/h.

Para la vía PE-3S Puno – Ilave el análisis en condiciones ideales de puros vehículos ligeros también presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0.1 mi/h (0.2 Km/h) en el sentido de entrada y ninguna en el sentido de salida. El PTSF se mantiene igual en ambos sentidos de circulación. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) mejora en un 0.5% y 0.3% para los sentidos de entrada y salida respectivamente. El nivel de servicio se mantiene en D, y de la misma forma la capacidad máxima de la vía se mantiene en 3091 v/h.

#### 4.3.2. Reparto del tráfico vehicular en los sentidos de circulación

Es necesario conocer el reparto de la circulación en los sentidos de la vía, esto con el fin de conocer el comportamiento de la capacidad de la vía limitado a los 1700 v/h por sentido y 3200 v/h como total en ambos sentidos.

La tabla 22 detalla el panorama del reparto por sentido dentro del intervalo de máxima demanda para la vía PE-36B Puno - Laraqueri. El intervalo de máxima demanda se da entre las 13:45 hrs y las 14:00 hrs, con una demanda en ambos sentidos de 61 vehículos en total, lo cual implica una demanda horaria máxima de 244 v/h.

**Tabla 22**

*Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-36B carretera Puno – Laraqueri.*

<b>PE-36B carretera Puno – Laraqueri, reparto por sentidos de circulación</b>				
<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Sentido de Entrada</b>		<b>Sentido de Salida</b>	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Ligeros	26	49.06 %	27	50.94 %
Recreativos	0	0.00 %	0	0.00 %
Pesados	3	37.50 %	5	62.5 %
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>48 %</b>	<b>32</b>	<b>52 %</b>

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 23 detalla el panorama del reparto por sentido dentro del intervalo de máxima demanda para la vía PE-3S Puno - Juliaca. El intervalo de máxima demanda se da entre las 09:15 hrs y las 09:30 hrs, con una demanda en ambos sentidos de 175 vehículos en total, lo cual implica una demanda horaria máxima de 700 v/h.

**Tabla 23***Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-3S carretera Puno – Juliaca.*

<b>PE-3S carretera Puno – Juliaca, reparto por sentidos de circulación</b>				
<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Sentido de Entrada</b>		<b>Sentido de Salida</b>	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Ligeros	70	44.03 %	89	55.97 %
Recreativos	0	0.00 %	0	0.00 %
Pesados	11	68.75 %	5	31.25 %
<b>TOTAL</b>	<b>81</b>	<b>46 %</b>	<b>94</b>	<b>54 %</b>

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 24 detalla el panorama del reparto por sentido dentro del intervalo de máxima demanda para la vía PE-3S Puno - Ilave. El intervalo de máxima demanda se da entre las 16:30 hrs y las 16:45 hrs, con una demanda en ambos sentidos de 258 vehículos en total, lo cual implica una demanda horaria máxima de 1032 v/h.

**Tabla 24***Reparto del tráfico por sentidos de circulación, vía PE-3S carretera Puno – Ilave.*

<b>PE-3S carretera Puno – Ilave, reparto por sentidos de circulación</b>				
<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Sentido de Entrada</b>		<b>Sentido de Salida</b>	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Ligeros	132	54.77 %	109	45.23 %
Recreativos	0	0.00 %	0	0.00 %
Pesados	11	64.71 %	6	35.29 %
<b>TOTAL</b>	<b>143</b>	<b>55 %</b>	<b>115</b>	<b>45 %</b>

*Nota.* Elaboración propia

Un reparto del porcentaje de circulación en ambos sentidos del 50/50 garantiza una condición ideal de tránsito además de generar un mejor aprovechamiento de la capacidad de la vía. La tabla 25 muestra la incidencia del reparto por sentidos de circulación en comparación con un reparto ideal de 50/50 en las vías en estudio.

**Tabla 25**

*Incidencia del reparto por sentidos en los índices de servicio de las vías en estudio.*

Incidencia del reparto por sentidos de circulación para las vías en estudio												
Incidencia	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S(Juliaca)				PE-3S(Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
<b>ATS(mi/h)</b>	35.2	35.1	27.5	27.4	27.5	27.4	31.7	32.0	22.9	22.9	23.1	22.9
<b>PTSF (%)</b>	43.8	46.7	44.9	43.4	65.4	68.5	68.1	68.5	66.7	63.9	59.3	63.9
<b>PFFS (%)</b>	88.2	88.0	86.2	85.9	76.0	76.1	78.5	78.8	70.5	70.5	71.1	70.5
<b>N.S.</b>	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
<b>Capacidad</b>	1536	1600	1664	1600	1413	1552	1659	1552	1700	1600	1391	1600

*Nota.* Elaboración propia.

En un reparto 50/50 para la vía PE-36B Puno – Laraqueri observamos deficiencias leves en el ATS de 0.1 mi/h (0.2 Km/h) para ambos sentidos de circulación. También una fluctuación leve en el PTSF incrementándose en 2.9% en el carril de entrada, pero reduciéndose en 1.5% en el carril de entrada y salida respectivamente. Y en cuanto al PFFS se tiene deficiencias leves de 0.2% y 0.3% en los carriles de entrada y salida respectivamente. La incidencia de esta condición en esta vía es mínima y por lo tanto no modifica el nivel de servicio que se mantiene en B pero la capacidad es balanceada y llegaría a un máximo de 3200 vl/h.

El análisis a un reparto de 50/50 para la vía PE-3S Puno – Juliaca, también presenta fluctuaciones leves en la ATS siendo una deficiencia de 0.1 mi/h (0.2 Km/h) en el sentido de entrada y una mejora de 0.3 mi/h (0.5 Km/h) en el sentido de salida. El PTSF también recibe deficiencias leves con diferencias de 3.1% y 0.4% en el carril de entrada y salida respectivamente. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) también mejora levemente en un 0.1% y 0.3% para los sentidos de entrada y salida respectivamente. El nivel de servicio se mantiene en C, pero la capacidad máxima de la vía mejora pudiendo llegar a 3200 vl/h.



Para la vía PE-3S Puno – Ilave el análisis en condiciones ideales de reparto por sentidos 50/50 también presenta fluctuaciones leves en la ATS manteniéndose en el sentido de entrada y reduciéndose 0.2 mi/h (0.3 Km/h) en el sentido de salida. El PTSF presenta una mejora del 2.8% en el sentido de entrada, pero una deficiencia de 4.6% en el sentido de salida. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) se mantiene en el sentido de entrada, pero se reduce en un 0.6% en el sentido de salida. El nivel de servicio se mantiene en D, pero la capacidad máxima de la vía mejora a 3200 v/h.

Es necesario aclarar que la condición operativa de reparto por sentidos genera fluctuaciones positivas y negativas a la vez contrastando entre su situación real y la situación ideal, esto es interpretable ya que el reparto por sentidos en el cálculo de ATS y PTSF incide en la homologación de la demanda de vehículos mixta a vehículos ligeros, cuando el reparto por sentidos es 50/50 las demandas homologadas son las mismas en ambos sentidos de circulación haciendo visible fluctuaciones positivas y negativas al mismo tiempo respecto a la interacción real en repartos por sentido distintos al ideal.

#### **4.4. INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTROL**

##### **4.4.1. Porcentaje de las zonas con restricción de adelantamiento**

En carreteras de dos carriles la maniobra de adelantamiento para adelantar otros vehículos más lentos se realiza en el carril de sentido contrario, una condición ideal se presenta cuando no existen restricciones a dicha maniobra. La tabla 26 muestra los porcentajes de zona de no rebase en los sentidos de entrada y salida.

**Tabla 26**

*Porcentaje de zonas de no rebase para las vías en estudio.*

Porcentajes de zonas de no rebase.		
Vía en estudio	Sentido de Entrada	Sentido de Salida
PE-36B (Puno – Laraqueri)	40.00 %	30.00 %
PE-3S (Puno – Juliaca)	50.00 %	50.00 %
PE-3S (Puno – Ilave)	0.00 %	0.00 %

*Nota.* Elaboración propia.

Cuando existen restricciones a la maniobra de adelantamiento, los vehículos ligeros tienen que esperar más tiempo para poder ejecutar dicha maniobra produciéndose columnas de circulación. La tabla 27 muestra la incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento en comparación con una situación ideal con 0.00% de restricción de adelantamiento en las vías en estudio.

**Tabla 27**

*Incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento en los índices de servicio de las vías en estudio.*

Incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento para vías en estudio												
Incidencia	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S(Juliaca)				PE-3S(Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
<b>ATS(mi/h)</b>	35.2	35.8	27.5	27.9	27.5	27.9	31.7	32.1	22.9	22.9	23.1	23.1
<b>PTSF (%)</b>	43.8	27.1	44.9	29.7	65.4	54.7	68.1	56.7	66.7	66.7	59.3	59.3
<b>PFFS (%)</b>	88.2	89.7	86.2	87.5	76.0	77.1	78.5	79.5	70.5	70.5	71.1	71.1
<b>N.S.</b>	B	A	B	A	C	C	C	C	D	D	D	D
<b>Capacidad</b>	1536	1536	1664	1664	1413	1413	1659	1659	1700	1700	1391	1391

*Nota.* Elaboración propia.

Cuando se considera 0.00% de zonas con restricción de adelantamiento para la vía PE-36B Puno – Laraqueri observamos mejoras leves de 0.3 mi/h (0.5 Km/h) y 0.4 mi/h (0.6 Km/h) en el ATS de los sentidos de entrada y salida respectivamente. También una mejora notable en el PTSF reduciéndose en 16.7% y 15.2% en el carril de entrada y salida





respectivamente. Y en cuanto al PFFS también se tienen mejoras leves de 1.5% y 1.3% respectivamente. La incidencia de esta condición en esta vía es notable reflejando un nivel de servicio A.

El análisis a 0.00% de zonas con restricción de adelantamiento para la vía PE-3S Puno – Juliaca, también presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0.4 mi/h (0.6 Km/h) en el sentido de entrada y 0.4 mi/h (0.6 Km/h) en el sentido de salida. El PTSF recibe mejoras notables con diferencias de 10.7% y 11.4% en el carril de entrada y salida respectivamente. El porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) también mejora en un 1.1% y 1.0% para los sentidos de entrada y salida respectivamente. El nivel de servicio se mantiene en C.

Para la vía PE-3S Puno – Ilave el análisis en condiciones ideales de zonas con restricción de adelantamiento 0.00% no crea diferencias, ya que en estado real dicha vía efectivamente no presenta zonas con restricción de adelantamiento.

## 4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

### 4.5.1. Generalidades

Para la validación de las hipótesis se ha realizado el método de regresión lineal múltiple para cada índice de servicio bajo el modelo:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

$y$  = Índice de servicio (ATS, PTSF ó PFFS)

$b_i$  = Coeficientes de la regresión lineal

$x_i$  = Valor medido de cada condición operativa.



Mediante el análisis de regresión lineal múltiple es posible determinar cómo se comporta una variable a partir de un grupo de variables combinadas (González E. M., 2008).

El estadístico de prueba será el “valor p” para cada condición operativa dentro de la regresión lineal múltiple y junto a un nivel de significancia  $\alpha=5\%$  se establecen la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_A$ ) de la siguiente forma:

$H_0$  : La condición operativa no tiene incidencia significativa sobre el índice de servicio.

$H_A$  : La condición operativa tiene incidencia significativa sobre el índice de servicio.

Mediante el criterio del valor “p” se puede decir que las condiciones operativas son estadísticamente distintos de cero ( $p < 0,05$ ), por lo que presentan una incidencia significativa, mientras que si las condiciones operativas no son estadísticamente distintas de cero (Sig.  $> 0,05$ ), entonces no tienen incidencia significativa. (González J. A., 2009). Cuando el valor “p” es menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ) se podrá rechazar la hipótesis nula, mientras que si el valor “p” es mayor al nivel de significancia ( $p > 0.05$ ) no se podrá rechazar la hipótesis nula.

Las regresiones lineales se efectuaron considerando todas las condiciones operativas (infraestructura, tránsito y control) combinadas puesto que interactúan entre sí durante la operación de las vías en estudio y luego se hizo el análisis de cada una para poder luego discutir por separado las condiciones de infraestructura, tránsito y control.

Las carreteras PE-36B y PE-3S en sus tramos de estudio son carreteras de dos carriles de clase II y clase III respectivamente, esto hace que sus niveles de servicio se determinen a través de los índices PTSF y PFFS respectivamente. Sin embargo, se ha



aplicado la regresión lineal para los tres índices de servicio (ATS, PTSF y PFFS), esto con motivos de poder analizar la incidencia de las condiciones operativas en todos los índices de servicio.

Para el análisis de la regresión lineal múltiple se hizo uso del software IBM SPSS Statistics 23. Las regresiones lineales se efectuaron considerando todas las condiciones operativas (infraestructura, tránsito y control) combinadas puesto que interactúan entre sí durante la operación de las vías en estudio y luego se hizo el análisis de cada una para poder luego discutir por separado las condiciones de infraestructura, tránsito y control.

#### **4.5.2. Regresión lineal múltiple en la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)**

En la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) se observa que la condición operativa “pendiente” quedó excluida del análisis estadístico de índices de servicio, esto se debe a que dicha condición presenta valores ideales y no presenta variación alguna con el índice de servicio analizado. Por otro lado, las condiciones observadas tampoco presentan incidencia alguna sobre la capacidad de la vía, manteniéndose siempre en 3200 vl/h.

La tabla 28 muestra la regresión lineal múltiple para la velocidad promedio de viaje (ATS) de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri). El valor de  $R^2 = 0.819$  nos indica que el modelo es predictivo en un 81.9% (modelo altamente confiable), Para la hipótesis específica 1 vemos que el valor “p” de la condición operativa “ancho de berma” es 0.010, valor que es menor a 0.05 con lo cual podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que esta condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional en el ATS, sin embargo el “ancho de carril” no nos permite rechazar la hipótesis nula, con lo cual no podemos afirmar estadísticamente que dicha condición de infraestructura incida negativamente en el ATS, respecto a hipótesis específica 2 y la hipótesis específica 3 el “porcentaje de

vehículos pesados” y “porcentaje de zonas de no rebase” presentan un valor “p” de 0.263 y 0.956 respectivamente, ambos mayores a 0.05 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que tales condiciones operativas no tienen incidencia significativa sobre el ATS.

**Tabla 28**

*Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)*

<b>PE-36B (Puno - Laraqueri) - Regresión lineal múltiple para ATS - R<sup>2</sup>: 0.819</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	35.754		0.000
Ancho de carril	3.151	0.299	0.311
Ancho de berma	-4.855	-1.029	0.010
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	-0.174	-0.252	0.263
Porcentaje zona no rebase	-0.003	-0.012	0.956

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 29 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de tiempo en demora (PTSF) de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri). El valor de  $R^2 = 0.898$  nos indica que el modelo es predictivo en un 89.8% (modelo altamente confiable), respecto de la hipótesis específica 1 el análisis estadístico no tiene significancia alguna, por otro lado, para la hipótesis específica 2 el “porcentaje de vehículos pesados” y el “reparto por sentidos” presentan valores “p” por encima de 0.05 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que tales condiciones operativas no tienen incidencia significativa sobre el PTSF. Entre tanto respecto a la hipótesis específica 3 la condición operativa “porcentaje de zonas de no rebase” presenta un valor “p” de 0.001, valor que es menor a 0.05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que esta condición operativa incide negativamente de manera directamente proporcional en el PTSF de la vía.

**Tabla 29***Regresión lineal múltiple para PTSF de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)*

<b>PE-36B (Puno - Laraqueri) - Regresión lineal múltiple para PTSF - R<sup>2</sup>: 0.898</b>			
	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	28.245		0.000
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	0.146	0.128	0.407
Reparto por sentidos	-0.159	-0.039	0.791
Porcentaje zona no rebase	0.426	0.965	0.001

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 30 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri). El valor de  $R^2 = 0.863$  nos indica que el modelo es predictivo en un 86.3% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 el “ancho de berma” presenta un valor “p” de 0.009”, para la hipótesis específica 2 el “porcentaje de vehículos pesados” presenta un valor “p” de 0.039 y en cuanto a la hipótesis específica 3 el “porcentaje de zonas de no rebase” presentan un valor “p” de 0.045 respectivamente, con lo cual se puede rechazar la hipótesis nula para las tres condiciones operativas y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que las tres condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el PFFS.

**Tabla 30***Regresión lineal múltiple para PFFS de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)*

<b>PE-36B (Puno - Laraqueri) - Regresión lineal múltiple para PFFS - R<sup>2</sup>: 0.863</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	90.572		0.000
Ancho de carril	0.536	0.171	0.492
Ancho de berma	-1.304	-0.931	0.009
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	-0.099	-0.485	0.039
Porcentaje zona no rebase	-0.039	-0.496	0.045

*Nota.* Elaboración propia.



#### 4.5.3. Regresión lineal múltiple en la vía PE-3S (Puno – Juliaca)

En la vía PE-3S (Puno – Juliaca) no se observa ninguna condición operativa excluida del análisis, esto se debe a que todas las condiciones presentan valores fuera del rango ideal.

La tabla 31 muestra la regresión lineal múltiple para la Capacidad de la vía PE-3S (Puno – Juliaca). El valor de  $R^2 = 0.783$  nos indica que el modelo es predictivo en un 78.3% (modelo confiable), Respecto de la hipótesis específica 1 la condición operativa “pendiente” presenta un valor “p” de 0.010 el cual es menor a 0.05 lo cual nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que dicha condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad de la vía. Por otro lado, respecto a la hipótesis específica 2 la condición operativa “porcentaje de vehículos pesados” presenta un valor “p” de 0.032 el cual es menor a 0.05 lo cual nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que dicha condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad de la vía; sin embargo la condición operativa “reparto por sentidos” presenta un valor “p” de 0.336 el cual es menor a 0.05 lo cual no nos permite rechazar la hipótesis nula, entonces no podemos afirmar estadísticamente que esta condición de tránsito incide negativamente en la capacidad de la vía. Respecto de la hipótesis específica 3, las condiciones de control hacen constante la Capacidad de la vía, por lo cual el análisis estadístico no tiene significancia.

**Tabla 31***Regresión lineal múltiple para Capacidad de la vía PE-3S (Puno - Juliaca)*

<b>PE-3S (Puno - Juliaca) - Regresión lineal múltiple para Capacidad - R<sup>2</sup>: 0.783</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	3202.426		0.000
Pendiente	-18.185	-0.720	0.010
Porcentaje veh. pesados	-3.642	-0.544	0.032
Reparto por sentidos	-2.479	-0.217	0.336

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 32 muestra la regresión lineal múltiple para la velocidad promedio de viaje (ATS) de la vía PE-3S (Puno – Juliaca). El valor de  $R^2 = 0.979$  nos indica que el modelo es predictivo en un 97.9% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 las condiciones operativas “ancho de berma” y “pendiente” presentan un valor “p” de 0.000 y 0.038, ambos valores menores a 0.05 nos permiten rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que ambas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el ATS; sin embargo el “ancho de carril” presenta un valor “p” mayor a 0.05 con lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula para esta condición operativa. Por otro lado, para la hipótesis específica 2 el “porcentaje de vehículos pesados” presenta un valor “p” de 0.237 y junto a la hipótesis específica 3 el “porcentaje de zonas de no rebase” presenta un valor “p” 0.297 ambos valores son mayores a 0.05 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que tales condiciones operativas no tienen incidencia significativa en el ATS.

**Tabla 32***Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-3S (Puno - Juliaca)*

PE-3S (Puno - Juliaca) - Regresión lineal múltiple para ATS - R <sup>2</sup> : 0.979			
Modelo	Coefficientes	Beta ( $\beta$ )	p - value
Constante	33.053		0.000
Ancho de carril	0.544	0.069	0.420
Ancho de berma	-1.376	-0.984	0.000
Pendiente	-0.276	-0.171	0.038
Porcentaje veh. pesados	-0.039	-0.095	0.237
Porcentaje zona no rebase	-0.008	-0.073	0.297

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 33 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de tiempo en demora (PTSF) de la vía PE-3S (Puno – Juliaca). El valor de  $R^2 = 0.895$  nos indica que el modelo es predictivo en un 89.5% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 la condición operativa “pendiente” presenta un valor “p” de 0.043 lo que nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que ambas condiciones operativas inciden negativamente de manera directamente proporcional en el PTSF. Para la hipótesis específica 2 as condiciones operativas “porcentaje de vehículos pesados” y “reparto por sentidos” presentan un valor “p” de 0.245 y 0.164, ambos valores son mayores a 0.05 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que tales condiciones operativas no tienen incidencia significativa en el PTSF. En cuanto a la hipótesis específica 3 el “porcentaje de zonas de no rebase” presenta un valor “p” de 0.000, valor que al ser menor a 0.05 nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que dicha condición operativa incide negativamente de manera directamente proporcional en el PTSF.



**Tabla 33***Regresión lineal múltiple para PTSF de la vía PE-3S (Puno - Juliaca)*

PE-3S (Puno - Juliaca) - Regresión lineal múltiple para PTSF - R <sup>2</sup> : 0.895			
Modelo	Coefficientes	Beta ( $\beta$ )	p - value
Constante	55.580		0.000
Pendiente	1.122	0.328	0.043
Porcentaje veh. pesados	-0.148	-0.163	0.245
Reparto por sentidos	-0.316	-0.205	0.164
Porcentaje zona no rebase	0.204	0.827	0.000

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 34 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) de la vía PE-3S (Puno – Juliaca). El valor de  $R^2 = 0.949$  nos indica que el modelo es predictivo en un 94.9% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 el “ancho de berma” y la “pendiente” presentan un valor “p” de 0.003 y 0.000, ambos valores al ser menores a 0.05 nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que las tres condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el PFFS. En cuanto a la hipótesis específica 2 el “porcentaje de vehículos pesados” presenta un valor “p” de 0.029, lo cual nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que las tres condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el PFFS. Por otro lado, respecto a la hipótesis específica 3 el “porcentaje de zonas de no rebase” presenta un valor “p” de 0.086, al ser mayor a 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula entendiéndose que tales condiciones operativas no tienen incidencia significativa en el PFFS.

**Tabla 34***Regresión lineal múltiple para PFFS de la vía PE-3S (Puno - Juliaca)*

PE-3S (Puno - Juliaca) - Regresión lineal múltiple para PFFS - R <sup>2</sup> : 0.949			
Modelo	Coefficientes	Beta ( $\beta$ )	p - value
Constante	82.667		0.000
Ancho de carril	0.248	0.045	0.731
Ancho de berma	-0.615	-0.632	0.003
Pendiente	-0.751	-0.691	0.000
Porcentaje veh. pesados	-0.094	-0.326	0.029
Porcentaje zona no rebase	-0.016	-0.207	0.086

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.5.4. Regresión lineal múltiple en la vía PE-3S (Puno – Ilave)

En la vía PE-3S (Puno – Ilave) se observa que las condiciones operativas “pendiente” y “porcentaje de zonas de no rebase” quedaron excluidas del análisis, esto se debe a que dichas condiciones presentan valores ideales y no presentan variación alguna con el índice de servicio analizado.

La tabla 35 muestra la regresión lineal múltiple para la Capacidad de la vía PE-3S (Puno – Ilave). El valor de  $R^2 = 1.000$  nos indica que el modelo es predictivo en un 100.00% (modelo altamente confiable), Respecto de la hipótesis específica 1 la condición operativa “pendiente” fue descartada del análisis estadístico puesto que hace constante la capacidad de la vía, no pudiéndose afirmar que dicha condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad de la vía. Por otro lado, respecto a la hipótesis específica 2 la condición operativa “reparto por sentidos” presenta un valor “p” de 0.000 que siendo menor a 0.05 nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que dicha condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad de la vía; sin embargo la condición operativa “porcentaje de vehículos pesados” presenta un valor “p” de 1.000 el cual al ser mayor a 0.05 no nos permite

rechazar la hipótesis nula, entonces no podemos afirmar estadísticamente que esta condición de tránsito incide negativamente en la capacidad de la vía. Respecto de la hipótesis específica 3, las condiciones de control hacen constante la Capacidad de la vía, por lo cual el análisis estadístico no tiene significancia.

**Tabla 35**

*Regresión lineal múltiple para Capacidad de la vía PE-3S (Puno - Ilave)*

<b>PE-3S (Puno - Ilave) - Regresión lineal múltiple para Capacidad - R<sup>2</sup>: 1.000</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	3200.000		0.000
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	0.000	0.000	1.000
Reparto por sentidos	-10.900	-1.000	0.000

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 36 muestra la regresión lineal múltiple para la velocidad de viaje promedio (ATS) de la vía PE-3S (Puno – Ilave). El valor de  $R^2 = 0.930$  nos indica que el modelo es predictivo en un 93.0% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 las condiciones operativas “ancho de carril” y “ancho de berma” presentan un valor “p” de 0.015 y 0.007 respectivamente, valores que al ser menores a 0.05 nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra que ambas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el ATS. Por otro lado, en cuanto a la hipótesis específica 2 la condición operativa “porcentaje de vehículos pesados” tiene un valor “p” de 0.876, con lo cual al ser mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que dicha condición operativa no tiene incidencia significativa en el ATS.

**Tabla 36***Regresión lineal múltiple para ATS de la vía PE-3S (Puno - Ilave)*

<b>PE-3S (Puno - Ilave) - Regresión lineal múltiple para ATS - R<sup>2</sup>: 0.930</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	25.298		0.000
Ancho de carril	-2.936	-0.576	0.015
Ancho de berma	-0.694	-0.678	0.007
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	0.008	0.023	0.876
Porcentaje zona no rebase	-	-	-

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 37 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de tiempo en demora (PTSF) de la vía PE-3S (Puno – Ilave). El valor de  $R^2 = 0.105$  nos indica que el modelo es predictivo en un 10.5% (modelo muy deficiente y poco confiable), esto a partir de que la vía en análisis presenta las condiciones operativas “pendiente” y “porcentaje de zonas de no rebase” con valores ideales siendo excluidos del análisis por no presentar variación alguna en el índice de servicio analizado.

**Tabla 37***Regresión lineal para PTSF de la vía PE-3S (Puno - Ilave)*

<b>PE-3S (Puno - Ilave) - Regresión lineal múltiple para PTSF - R<sup>2</sup>: 0.105</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Beta (<math>\beta</math>)</b>	<b>p - value</b>
Constante	61.521		0.000
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	0.340	0.324	0.509
Reparto por sentidos	0.001	0.001	0.999
Porcentaje zona no rebase	-	-	-

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 38 muestra la regresión lineal múltiple para el porcentaje de velocidad a flujo libre (PFFS) de la vía PE-3S (Puno – Ilave). El valor de  $R^2 = 0.943$  nos indica que el modelo es predictivo en un 94.3% (modelo altamente confiable), respecto a la hipótesis específica 1 las condiciones operativas “ancho de carril” y “ancho de berma” presentan

un valor “p” de 0.012 y 0.003 respectivamente, valores que al ser menores a 0.05 nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis, además el coeficiente  $\beta$  nos muestra ambas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional en el PFFS. Por otro lado, en cuanto a la hipótesis específica 2 la condición operativa “porcentaje de vehículos pesados” tiene un valor “p” de 0.156, con lo cual al ser mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula entendiéndose que dicha condición operativa no tiene incidencia significativa en el índice de servicio.

**Tabla 38**

*Regresión lineal para PFFS de la vía PE-3S (Puno - Ilave)*

PE-3S (Puno - Ilave) - Regresión lineal múltiple para PFFS - $R^2$ : 0.943			
Modelo	Coefficientes	Beta ( $\beta$ )	p - value
Constante	73.163		0.000
Ancho de carril	-2.341	-0.547	0.012
Ancho de berma	-0.653	-0.760	0.003
Pendiente	-	-	-
Porcentaje veh. pesados	-0.064	-0.219	0.156
Porcentaje zona no rebase	-	-	-

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.6. DISCUSIÓN

Mediante el método de regresión lineal múltiple y su estadístico de prueba el valor “p” se demostró que las condiciones operativas inciden negativamente, pero dependiendo de la vía en análisis.

Respecto de las condiciones de infraestructura (ancho de carril, ancho de berma y pendiente), para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) el “ancho de berma” incide fuertemente en el ATS y el PFFS, ambos índices de servicio no determinan el nivel de servicio de la vía, estas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional ya que cuanto más se aleja de la medida ideal se va reduciendo



el ATS y el PFFS, indicándonos que afecta en el desarrollo de velocidad de la vía, pero no es significativo para su nivel de servicio. Para la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “ancho de berma” y la “pendiente” inciden fuertemente en el ATS y el PFFS, además de que la “pendiente” también incide en el PTSF, siendo PFFS el índice de servicio que determina el nivel de servicio de la vía, estas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional ya que cuanto más se alejan de la medida ideal se va reduciendo el ATS y PFFS siendo significativamente negativo para el nivel de servicio de la vía. Para la vía PE-3S (Puno – Ilave) el “ancho de carril y “ancho de berma” inciden fuertemente en el ATS y el PFFS, siendo PFFS el índice de servicio que determina el nivel de servicio de la vía, estas condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional ya que cuanto más se alejan de la medida ideal se va reduciendo el ATS y PFFS siendo significativamente negativo para el nivel de servicio de la vía. además de que su incidencia sobre el ATS. Es entendible entonces que las condiciones de infraestructura (ancho de carril, ancho de berma y pendiente) son determinantes para las vías cuyo índice de servicio principal se basa en el desarrollo de la velocidad de operación (ATS y PFFS), esto concuerda con lo encontrado en Cajamarca (Vega Cuevas, 2018), donde el investigador concluye que el reducido espacio de la vía tanto del carril como de las bermas dificultan el tránsito de buses y vehículos pesados en horas de mayor demanda, y a su vez en el análisis de capacidad y nivel de servicio realizado en carreteras de dos carriles Finlandesas (Luttinen, 2001) donde el autor refiere que la pendiente influye en el índice de servicio ATS reduciéndolo, generándose reducciones de velocidad y colas de circulación en la operación de la vía. Respecto de la hipótesis específica 1 vemos que se cumple, de acuerdo con los resultados obtenidos vemos la incidencia sino también la manera (directa o inversamente proporcional) a través de modelos que superan el 80% de confiabilidad estadística, además de estar en la misma



línea de conclusión de los fenómenos estudiados en Cajamarca (Vega Cuevas, 2018) y Finlandia (Luttinen, 2001). Podemos entonces responder al problema específico 1 afirmando que las condiciones de infraestructura inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías PE-3S (Puno – Juliaca) y PE-3S (Puno – Ilave), y también inciden en el desarrollo de velocidad de la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) con la diferencia de que no son significativas para su capacidad y nivel de servicio.

Respecto de las condiciones de tránsito (porcentaje de vehículos pesados y reparto por sentidos), para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) el “porcentaje de vehículos pesados” incide fuertemente en el PFFS, dicho índice de servicio no determinan el nivel de servicio de la vía, se entiende entonces que esta condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional ya que cuanto crece la presencia de vehículos pesados en la vía se va reduciendo el PFFS, indicándonos que afecta en el desarrollo de velocidad de la vía, pero no es significativo para su nivel de servicio. Para la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “porcentaje de vehículos pesados” incide fuertemente en el PFFS, siendo PFFS el índice de servicio que determina el nivel de servicio de la vía, esta condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional ya que cuanto crece la presencia de vehículos pesados en la vía se va reduciendo el PFFS siendo significativamente negativo para el nivel de servicio de la vía. Para la vía PE-3S (Puno – Ilave) ninguna condición de tránsito presentó incidencia significativa en alguno de los tres índices de servicio. Es entendible entonces que de las condiciones de tránsito (porcentaje de vehículos pesados y reparto por sentidos), solo el porcentaje de vehículos pesados es determinante para las vía PE-3S (Puno – Juliaca) cuyo índice de servicio principal se basa en el desarrollo de la velocidad de operación (PFFS), respecto a la condición operativa “reparto por sentidos” y su no incidencia significativa en los índices



de servicio se puede explicar desde el punto de que la distribución del tráfico por sentidos de circulación observado en las vías en estudio presentaba un comportamiento casi simétrico siendo los porcentajes de Entrada/Salida 48/52 para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri), 46/54 para la vía PE-3S (Puno – Juliaca) y 55/45 para la vía PE-3S (Puno – Ilave), esto concuerda con lo estudiado y analizado en Finlandia (Luttinen, 2001) donde el autor concluye que el impacto de los vehículos pesados es menor en el índice de servicio ATS y mayor en el PTSF, la distribución de tráfico por sentidos es determinante junto con el porcentaje de zonas de no rebase para el índice de servicio PTSF, pero como podemos observar difiere en la intensidad, puesto que en este trabajo se demuestra que incide más la presencia de vehículos pesados y no el reparto por sentidos, aclarar en ese sentido que en Finlandia se obtuvo una mayor asimetría en el reparto por sentido de las vías estudiadas, lo cual puede generar una incidencia significativa de dicha condición además de modificar la incidencia de los vehículos pesados, puesto que las condiciones operativas interactúan entre si durante la operación de la vía. Respecto de la hipótesis específica 2 vemos que se cumple, de acuerdo con los resultados obtenidos vemos la incidencia sino también la manera (directa o inversamente proporcional) a través de modelos que superan el 80% de confiabilidad estadística, además de estar en la línea de conclusión del estudio en Finlandia (Luttinen, 2001) aclarando siempre la diferencia puntual con la condición del reparto por sentidos frente a la cuál sería recomendable efectuar los análisis en carreteras con mayor diferencia en la distribución del tráfico por sentidos de circulación. Podemos entonces responder al problema específico 2 afirmando que las condiciones de tránsito inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de la vía PE-3S (Puno – Juliaca), pero no son significativas para las vías PE-3S (Puno – Ilave), y PE-36B (Puno – Laraqueri).





Respecto de la condición de control “porcentaje de zonas de no rebase”, para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) el “porcentaje zonas de no rebase” incide fuertemente en el PTSF y PFFS, siendo que el índice de servicio PTSF determina el nivel de servicio de la vía, se entiende entonces que esta condición operativa incide negativamente de manera directamente proporcional ya que cuanto crece la presencia de zonas de no rebase en la vía se incrementa el PTSF, indicándonos que afecta en la posibilidad de ejecutar la maniobra de adelantamiento, siendo significativo para su nivel de servicio, además que al limitar la maniobra de adelantamiento genera columnas de circulación reduciendo la velocidad de operación PFFS. Para la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “porcentaje zonas de no rebase” incide fuertemente en el PTSF, dicho índice de servicio no determina el nivel de servicio de la vía, se entiende entonces que esta condición operativa incide negativamente de manera directamente proporcional ya que cuanto crece la presencia de zonas de no rebase en la vía se incrementa el PTSF, indicándonos que afecta en la posibilidad de ejecutar la maniobra de adelantamiento, siendo significativo para su nivel de servicio,. Para la vía PE-3S (Puno – Ilave) la condición de control no pudo ser estudiada puesto que no presenta restricción de adelantamiento alguna. Es entendible entonces que la condición de control “porcentaje de zonas de no rebase”, incide significativamente en la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) cuyo índice de servicio principal se basa en la facilidad para ejecutar la maniobra de adelantamiento (PTSF), y también incide en el PFFS de dicha vía, puesto que al limitar la maniobra de adelantamiento es posible encontrar colas de circulación y/o velocidades reducidas, esto concuerda con lo estudiado y analizado en Finlandia (Luttinen, 2001) donde el autor concluye que la distribución de tráfico por sentidos es determinante junto con el porcentaje de zonas de no rebase para el índice de servicio PTSF, además de los estudios realizados a través de adelantamientos (Morrall & Werner, 1990) los investigadores concluyen que cuando la



tasa de adelantamiento disminuye respecto al porcentaje de tiempo de retraso en efectuar la maniobra de adelantamiento, la capacidad de la vía se reduce y el nivel de servicio baja, en los niveles de servicio más altos los parámetros de servicio se reducen considerablemente. Respecto de la hipótesis específica 3 vemos que se cumple, de acuerdo con los resultados obtenidos vemos la incidencia sino también la manera (directa o inversamente proporcional) a través de modelos que superan el 80% de confiabilidad estadística excepto para la vía PE-3S (Puno – Ilave) la cual no presenta restricciones a la maniobra de adelantamiento, además de estar en la línea de conclusión del estudio en Finlandia (Luttinen, 2001) y lo hallado en el estudio de adelantamientos (Morral & Werner, 1990). Podemos entonces responder al problema específico 3 afirmando que las condiciones de control inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías PE-36B (Puno – Laraqueri), pero no es significativa para las vías PE-3S (Puno – Juliaca), y PE-3S (Puno – Ilave).



## V. CONCLUSIONES

- Las condiciones operativas inciden negativamente en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno y de manera inversamente proporcional ya que cuanto mayor es la presencia de dichas condiciones operativas más también se reduce la capacidad y nivel de servicio de dichas vías. Las regresiones lineales múltiples junto con el estadístico de prueba valor “p” demuestran que en la vía de acceso PE-36B (Puno – Laraqueri) las condiciones de infraestructura y de tránsito no presentan efectos negativos, mientras que las condiciones de control inciden negativamente reduciendo su nivel de servicio “A” a “B” con una capacidad de 3200 vl/h. Respecto a la vía de acceso PE-3S (Puno – Juliaca) las condiciones de infraestructura reducen la capacidad de 3200 vl/h a 3148 vl/h, las condiciones de tránsito reducen la capacidad hasta 3104 vl/h, mientras que las condiciones de control no presentan efectos negativos. En cuanto a la vía PE-3S (Puno – Ilave) las condiciones de infraestructura y de control no presentan efectos negativos, pero las condiciones de tránsito reducen la capacidad de la vía de 3200 vl/h a 3091 vl/h.
- Las condiciones de infraestructura inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno, en la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “ancho de berma” reduce el ATS en 3.0 mi/h (4.8 Km/h) y 0.4 mi/h (0.6 Km/h), el PFFS en 1.8% y 0.2% para los sentidos de entrada y salida respectivamente, también, la pendiente en el carril de entrada reduce el ATS en 0.9 mi/h (1.4 Km/h), el PFFS en 3.3% e incrementa el PTSF en 6.1% y en el carril de salida reduce el ATS en 1.0 mi/h (1.6 Km/h), el PFFS en 2.6% e incrementa el PTSF en 3.7% sin alterar el nivel de servicio “C” pero reduciendo la capacidad de la carretera de 3148 vl/h a 3072 vl/h (Tabla 20), mientras que para la vía PE-3S (Puno – Ilave) el “ancho de carril y “ancho de berma” reducen el ATS en



3.0 mi/h (4.8 Km/h) en el carril de entrada y 1.7 mi/h (2.7 Km/h) en el carril de salida, también redujo el PFFS en 2.5% y 1.4% para los carriles de entrada y salida respectivamente. Por otro lado, para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) la condición “ancho de berma” reduce los índices de servicio ATS en 1.7 mi/h (2.7 Km/h) y PFFS en 0.5% y 0.6% en sus sentidos de entrada y salida respectivamente sin alterar la capacidad de 3072 vl/h y el nivel de servicio “C”.

- Las condiciones de tránsito inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno, en la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “porcentaje de vehículos pesados” reduce el PFFS en 1.5% y 1.4% para los sentidos de entrada y salida respectivamente lo cual reduce su capacidad de 3148 vl/h a 3072 vl/h manteniendo el nivel de servicio “C”. Por otro lado, en la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) el “porcentaje de vehículos pesados” reduce el índice de servicio PFFS en 0.8% y 0.9% en sus sentidos de entrada y salida respectivamente sin alterar la capacidad de 3200 vl/h y el nivel de servicio “B”, además, la vía PE-3S (Puno – Ilave) no tuvo incidencia significativa de las condiciones de tránsito (Tabla 21).
- Las condiciones de control inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno, en la vía PE-36B (Puno – Laraqueri) el “porcentaje zonas de no rebase” incrementó significativamente el índice de servicio PTSF en 16.7% y 15.2% en sus sentidos de entrada y salida respectivamente sin alterar la capacidad de la vía de 3200vl/h pero reduciendo su nivel de servicio “A” a “B”. Por otro lado, en la vía PE-3S (Puno – Juliaca) el “porcentaje zonas de no rebase” incrementó el PTSF en 10.7% en el carril de entrada y 11.4% en el carril de salida sin alterar la capacidad de la vía de 3072 vl/h y el nivel de servicio “C”, además, en la vía PE-3S (Puno – Ilave) el



“porcentaje zonas de no rebase” no pudo ser estudiado puesto que no presenta restricción de adelantamiento alguna (Tabla 27).

- El nivel de servicio en la vía de acceso PE-36B (Puno – Laraqueri) es bastante alto, aun así, se identificó que las restricciones de adelantamiento son determinantes en su nivel de servicio, al no poder eliminarse dicha restricción una alternativa sería la implementación de un tercer carril (carril de adelantamiento) para cuando la vía empiece a recibir mayor cantidad de tránsito y reducir su nivel de servicio. Respecto a la vía de acceso PE-3S (Puno – Juliaca), esta vía ya se encuentra en proceso de mejora de infraestructura de carretera de dos carriles a autopista lo cual ayudara a aliviar los efectos de las condiciones de infraestructura y tránsito, efectos que justamente son los más significativos en su capacidad y nivel de servicio. En cuanto a la vía PE-3S (Puno – Ilave) el nivel de servicio D ya muestra que se está entrando en un nivel de servicio no óptimo y siendo que la presencia de vehículos pesados es el principal reductor del nivel de servicio y capacidad, se debería ya pensar en una mejora de infraestructura a autopista para bajar la demanda por carril, un tercer carril (de adelantamiento) para aliviar el efecto de vehículos pesados o la implementación de una vía alterna para vehículos pesados.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar las vías también en zonas lejanas a la ciudad donde se circula a altas velocidades, lo que brindaría un panorama más completo sobre el comportamiento de las condiciones operativas en la capacidad y nivel de servicio mediante la velocidad de viaje promedio (ATS).
- Es recomendable realizar el estudio en zonas recreativas para poder determinar la incidencia de los vehículos recreativos (casas rodantes) en la capacidad y nivel de servicio de una vía. La escasez de dichos vehículos en la distribución del tráfico de análisis no permitió analizar su incidencia en la capacidad y nivel de servicio de las vías de acceso a la ciudad de Puno.
- Es recomendable poder hacer un análisis con zonas de pendiente pronunciada persistente, la ausencia de tramos de vía con esas características en los puntos de estudio fue una limitante en la investigación no pudiéndose determinar y observar de mejor manera la incidencia de dicha condición operativa en la capacidad y nivel de servicio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Kaisy, A. (2006). Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles at Freeways and Multilane Highways: Some Critical Issues. *ITE Journal*, 40-43.
- Angaspilco Chinguel, C. R. (2014). *Nivel de serviciabilidad en las avenidas Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, De los Héroes y San Martín de la ciudad de Cajamarca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Arévalo Maldonado, D. F. (2015). *Caracterización del volumen de tránsito vehicular en las vías Loja-Catamayo y Loja-Zamora*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Botha, J. L., Sullivan, E. C., & Zeng, X. (1994). Level of Service of Two-Lane Rural Highways with Low Design Speeds. *Transportation Research Record*, 1457, 17-25.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones* (9na ed.). Colombia: Alfaomega.
- Carpio, F., Avilés, J., & Morillo, D. (2018). Determinación de capacidad de carreteras en Cuenca (Ecuador) y comparación con el manual de capacidad HCM. *Maskana*, 9(1), 115-118.
- Cerquera Escobar, F. Á. (2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Cubas Gonzales, T. L., & Rondon Alcedo, R. R. (2020). *Calibración y comparación de los Manuales de Capacidad de Carreteras HCM 2000, HCM 2010 y HCM 2016; y selección de un modelo de capacidad calibrado para la aplicación en*



*tramos básicos de la autopista Panamericana Sur de Lima Metropolitana*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

González, E. M. (2008). *Manual de uso de SPSS* (1ra Edición ed.). Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

González, J. A. (2009). *Manual Básico SPSS*. Talca, Chile: Universidad de Talca.

Hernández Sampieri, C. R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2020). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México: McGraw Hill.

Instituto Nacional de Vías. (2020). *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles* (3ra ed.). Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.

Luttinen, T. (2001). Capacity and Level of Service on Finnish Two-Lane Highways. *Finnra Reports*, 18, 2-243.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Mayo de 2017). Hoja Vial Ruta PE-36B. *Inventarios Viales*. Lima, Perú: SINAC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Mayo de 2017). Hoja Vial Ruta PE-3S. *Inventario Vial*. Lima, Perú: SINAC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Lima: MTC.





- Morral, J. F., & Werner, A. (1990). Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings. *Transportation Research Record*, 1287, 62-69.
- Oliveira, J. K., & Bessa Júnior, J. E. (2022). Adaptação do HCM para análise de rodovias de pista simple sem faixas adicionais no Brasil. *Transportes*, 30(3), 1-15.
- Pineda Uribe, B. E. (2009). La maniobra de adelantamiento en carreteras de dos carriles en Colombia. *Revista Politécnica*, 5(9), 48-57.
- Rodríguez Gutierrez, Y., García Depestre, R. A., & Gálvez Herrera, L. E. (2023). Procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles, Cuba. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 17(1), 1-14.
- Soto Sanca, D. E. (2017). *Análisis y planificación vial del tránsito vehicular en el cercado de la ciudad de Juliaca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Puno.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis* (6th ed., Vol. 1). Washington, D.C., United States of America: Transportation Research Board.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis* (6th ed., Vol. 2). Washington, D.C., United States of America: Transportation Research Board.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis* (6th ed., Vol. 4). Washington, D.C., United States of America: Transportation Research Board.



Vega Cuevas, Z. Y. (2018). *Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional.*

Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Vilca Añazco, J. M., & Apaza Condori, C. T. (2018). *Estudio de impacto vial, generado por la puesta en funcionamiento del complejo deportivo universitario de la*

*ciudad universitaria - Puno al 2038.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Puno.



## ANEXOS

- Anexo 01: Ficha para aforo de tránsito y velocidad mediante observación simple
- Anexo 02: Análisis HCM 2016 para la vía PE-36B (Puno – Laraqueri)
- Anexo 03: Análisis HCM 2016 para la vía PE-3S (Puno – Juliaca)
- Anexo 04: Análisis HCM 2016 para la vía PE-3S (Puno – Ilave)
- Anexo 05: Panel fotográfico



### ACTA DE DICTAMEN DE REVISIÓN DE BORRADOR DE TESIS

En el local de la sala de Docentes de la Escuela Profesional de INGENIERIA CIVIL, siendo las 8:15 horas de la mañana del día 02 de agosto del año 2023 se reunieron los miembros del Jurado Dictaminador:

PRESIDENTE: M.Sc. ZENON MELLADO VARGAS  
PRIMER MIEMBRO: M.Sc. NESTOR ELOY GONZALES SUCASAIRE  
SEGUNDO MIEMBRO: M.Sc. SILVIA LEONOR INGALUQUE ARAPA  
DIRECTOR/ASESOR: D.Sc. FELIX ROJAS CHAHUARES

Quienes revisaron el borrador de tesis intitulado: "CONDICIONES OPERATIVAS QUE INCIDEN EN LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDAD DE PUNO PE-36B Y PE-3S - 2022"

Presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil: IVAN NEIL PARRA ROQUE. El cual ha sido debidamente evaluado de acuerdo al Reglamento de Titulaciones y Normas de la UNA-PUNO, habiéndose emitido las observaciones por parte de los miembros del jurado, siendo absueltas en su oportunidad, en mérito de lo cual la comisión ha considerado la APROBACIÓN del mencionado borrador de Tesis.

El jurado Dictaminador previa coordinación propone ejecutar el Acto de Sustentación y defensa del bachiller para el día 22 de agosto del 2023, a horas 9:00 am, en la Sala de Sustentaciones de la Escuela Profesional. Siendo las 9:00 am horas del mismo día, se dio por concluida la presente reunión de trabajo, firmando para refrendar la presente.

  
PRESIDENTE

  
SEGUNDO MIEMBRO

  
PRIMER MIEMBRO

  
DIRECTOR/ASESOR



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Ivan Neil Parra Roque  
identificado con DNI 74 2046 89 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"CONDICIONES OPERATIVAS QUE INCIDEN EN LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

DE LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDAD DE PUNO PE-36B Y PE-35 - 2022

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 09 de agosto del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Ivan Neil Parra Roque  
identificado con DNI 74204689 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"CONDICIONES OPERATIVAS QUE INCIDEN EN LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDAD DE PUNO PE-368 Y PE-35 - 2022"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 09 de agosto del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella