

Condiciones operativas para la capacidad y niveles de servicio en las vías de acceso a la ciudad de Puno

Operational conditions for capacity and service levels on access roads to the city of Puno

Félix Rojas Chahuares^{1*} y Iván Neil Parra Roque²

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

² Investigador Independiente.

Resumen

Las vías desempeñan un papel fundamental en la integración nacional y regional, conectando ciudades de diferentes tamaños y generando sinergias que impulsan el desarrollo turístico, social y comercial, por lo que, la capacidad de la red vial y las condiciones operativas de cada tramo influyen significativamente en la eficiencia del sistema de transporte. El objetivo de la investigación fue 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, para lo cual, se consideró las carreteras de la red vial nacional PE-36B Puno-Laraqueri, PE-3S Puno-Ilave y PE-3S Puno-Juliana. La recolección de datos para las condiciones operativas se realizó 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 e incidencia de las condiciones de control para la vía PE-36B, nivel de servicio C con capacidad de 3072 vl/h e incidencia de las condiciones de infraestructura y tránsito para la vía PE-3S (P-J) y nivel de servicio D con capacidad de 3091 vl/h e incidencia de la condición de tránsito para la vía PE-3S (P-I).

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

Abstract

Roads play a fundamental role in national and regional integration, connecting cities of different sizes and generating synergies that drive tourism, social and commercial development, therefore, the capacity of the road network and the operating conditions of each section significantly influence in the efficiency of the transportation system. The objective of this investigation was to determine the impact 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, for which the roads of the city were considered. national road network PE-36B Puno-Laraqueri, PE-3S Puno-Ilave and PE-3S Puno-Juliana. Data collection for the operating conditions was carried out through simple direct observation and was analyzed with the HCM 2016 methodology and multiple linear regressions with the IBM SPSS Statistics 23 software. As a result, a service level B was obtained with a capacity of 3200 vl/h and incidence of the control conditions for the PE-36B road, service level C with a capacity of 3072 vl/h and incidence of the infrastructure and traffic conditions for the route PE-3S (P-J) and service level D with a capacity of 3091 vl/h and incidence of the traffic condition for route PE-3S (P-I).

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

Recibido: 15 abr. 2024

Aceptado: 06 jun. 2024

Publicado: 30 jun. 2024

*Autor para correspondencia: frojas@unap.edu.pe

Cómo citar:

Rojas Chahuares, F., & Parra Roque, I. N. (2024). Condiciones operativas para la capacidad y niveles de servicio en las vías de acceso a la ciudad de Puno. *Revista De Investigaciones*, 13(2), 105-116. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i2.6219>

Introducción

Un sistema de transporte eficiente es esencial para la economía y el funcionamiento de cualquier país (Nascimento & Oliveira, 2022), dando lugar al crecimiento de la población mundial y la expansión de diversas ciudades provocando así un aumento desproporcionado del número de vehículos relacionado con las necesidades y demandas de movilidad de la población (Celi, 2018) y la falta de expansión de la infraestructura vial que provoca retrasos, molestias, pérdidas económicas para los conductores y contaminación del aire; siendo así, la congestión del tráfico un desafío global para desarrollar sistemas de gestión del tráfico robustos y sostenibles (Afrin & Yodo, 2020).

Hoy en día, las causas de la congestión del tráfico se deben a que la demanda excede la capacidad de la carretera (Falcocchio & Levinson, 2015); en ese contexto en Estados Unidos en el año 2014 el costo fue de 160 mil millones de dólares debido a 6,9 mil millones de horas adicionales de viaje y 3,1 mil millones de galones adicionales de combustible comprados (Schrink et al., 2015; Sun et al., 2018). Según (Pishue, 2023) los retrasos en el tráfico superaron los niveles anteriores a la COVID en el 39 % de las áreas urbanas de EE. UU. y el 42 % en Europa. En el Reino Unido, los retrasos en el tráfico aumentaron un 72 % en las zonas urbanas, mientras que, en Alemania el 51 % de las zonas urbanas sufrieron más retrasos que en 2019.

En América del Sur, los mayores problemas a los que se enfrentan actualmente los conductores brasileños en las carreteras son congestión y accidentes (Teixeira et al., 2023); en la ciudad de Concordia, Ecuador, es el desorden vehicular que padece por el volumen de tránsito que ha aumentado en los últimos años (Cordero & Intriago, 2023), y para (Cobos & López, 2019) el mal nivel de servicio en la vía universitaria del cantón Jipijapa provoca grandes congestiones y demora en el recorrido; en Villavicencio, Colombia, las carreteras construidas hace unos años debido al rápido crecimiento poblacional, económico y automovilístico ya tienen una capacidad vial y niveles de servicio insuficientes (Carrillo & Montoya, 2022).

Cuentas & Ayala (2019), refieren que el trecho de la vía Arco Tica Tica-Izcuchaca en la región Cusco se encuentra saturado en horas de la mañana y tarde debido al incremento en el número de usuarios; por otra parte, según Surichaqui et al. (2023), en los últimos años la congestión vehicular ha aumentado en la ciudad y el área urbana de Tambo-Huancayo, especialmente por el aumento del número de automóviles particulares.

El desmesurado crecimiento del parque automotor y la alta demanda de transporte han ocasionado el aumento del flujo de tránsito influyendo seriamente en la serviciabilidad de las vías de la Red Vial Nacional que ingresan a la ciudad de Puno por tres zonas distintas: PE-36B (Puno-Laraqueri), PE-3S (Puno-Ilave) y PE-3S (Puno-Juliana), recibiendo desde vehículos ligeros hasta pesados de pasajeros y carga, son carreteras de dos carriles que sirven para cumplir con una gran variedad de funciones (Apaza & Vilca, 2018) y cubrir las necesidades de acceso a fuentes de recursos económicos, culturales, recreativos, etc. (Instituto Nacional de Vías, 2020).

Las principales medidas para determinar la funcionalidad de las vías son la capacidad y el nivel de servicio, que mediante un análisis permite conocer el nivel de calidad que ofrecen las carreteras a los usuarios (Gutiérrez, 2021), son medidas descriptivas de las condiciones operativas de una vía (TRB, 2016), y tienen relación con el crecimiento del parque vehicular y la demanda de viaje que afecta más a los niveles de servicio bajos; así también, el reducido espacio tanto del carril como de las bermas dificultan el tránsito de vehículos pesados (Vega, 2018), generando congestión y reduciendo la oportunidad de adelantamiento y en pendiente el desarrollo de velocidad; por lo que, la presente investigación tiene por objetivo 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.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en las vías de acceso a la localidad de Puno - Perú, las cuales comprenden la ruta nacional PE-36B (Puno-Laraqueri)

15°52'30.9"S, 70°00'31.3"O y la ruta nacional PE-3S en su sector norte (Puno–Juliaca) 15°48'56.4"S, 70°02'02.3"O y su sector sureste (Puno–Ilave) 15°51'53.3"S, 69°59'42.6"O (MTC, 2016).

Descripción de Métodos

El estudio estuvo comprendido en los meses de diciembre 2022 a marzo 2023. La recolección de datos se efectuó directamente en las zonas de estudio mediante observación directa simple haciendo uso de equipo topográfico para mediciones de infraestructura y control, y fichas para obtención de información de tránsito. Los datos se expresan en el sistema internacional de unidades y/o porcentajes, el ancho de carril y berma en metros; mientras que la pendiente, el reparto por sentidos, la presencia de vehículos pesados y zonas de no rebase en porcentaje.

Para análisis del tráfico, los vehículos observados se agruparon en tres grupos según la metodología HCM 2016 y la normativa nacional de clasificación vehicular (MTC, 2006) y (MTC, 2018) los cuales según categoría pueden ser ligeros tipos L, automotores de cuatro ruedas para transporte de pasajeros M, de mercancías N y remolques O. Para el análisis, los datos distancia (m) y velocidad (km/h) se convirtieron a unidades inglesas millas y millas por hora respectivamente.

Para analizar la capacidad y niveles de servicio en condiciones de flujo ininterrumpido como son las vías PE-3S (P-J, P-I) y PE-36B tratados en el presente, se utilizó la metodología HCM de (TRB, 2016), y análisis de condiciones del tránsito vehicular propuesto por (Rodríguez et al., 2023) para carreteras de dos carriles; en la que, Velocidad de Viaje Promedio (ATS) refleja la movilidad en una carretera de dos carriles y 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:

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS} \quad (1)$$

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

El Porcentaje de Tiempo en Demora (PTSF) representa la libertad de maniobra y la comodidad y conveniencia de viajar:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \quad (2)$$

$PTSF_d$ = 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)

y 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:

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad (3)$$

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

FFS = Velocidad a flujo libre (mi/h)

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

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

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

Según lo descrito, se tiene los niveles de servicio base en la tabla 1.

Tabla 1

Niveles de servicio para vehículos en carreteras de dos carriles

Nivel de servicio	Clase I		Clase II		Clase III	
	ATS (km/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)		
A	> 88,5	≤ 35	≤ 40	> 91.7		
B	> 80,5 – 88,5	> 35 – 50	> 40 – 55	> 83.3 – 91.7		
C	> 72,5 – 80,5	> 50 – 65	> 55 – 70	> 75 – 83.3		
D	> 64 – 72,5	> 65 – 80	> 70 – 85	> 66.7 – 75		
E	≤ 64	> 80	> 85	≤ 66.7		
F	El volumen excede la capacidad de la carretera					

Nota. Transportation Research Board (2016). Highway Capacity Manual, 6ta edición.

Determinación de Nivel de Servicio y Capacidad

El nivel de servicio para las carreteras en estudio se obtuvo a partir de índices de servicio ATS, PTSF y PFFS, los cuales fueron relacionados con los valores de la tabla 1.

Para la estimación de la capacidad de la vía, de acuerdo con (TRB, 2016) las condiciones ideales para 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 condiciones se tomó en referencia el valor más crítico (menor) resultante.

Variables Analizadas

Las condiciones operativas expresado en dimensiones de *infraestructura* (ancho de carril, berma, y pendiente), *tránsito* (porcentaje de vehículos pesados y reparto por sentidos de circulación) y *control* (porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento) se consideró como variable independiente y, capacidad y niveles de servicio como variable dependiente.

Prueba Estadística Aplicada

Para el análisis de datos se utilizó el método de regresión lineal múltiple para cada nivel de servicio, bajo el modelo:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (4)$$

y = Medida de índice de servicio (ATS, PTSF ó PFFS)

b_i = Coeficientes de la regresión lineal

x_i = Valor medido de cada condición operativa.

Para la hipótesis, el estadístico de prueba fue *valor de p* para cada condición operativa con nivel de significancia $\alpha=5\%$:

H₀ : La condición operativa no tiene incidencia significativa sobre el índice de servicio. Si $p<0.05$ se rechaza.

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

Las carreteras PE-36B y PE-3S en sus tramos de estudio son de dos carriles de clase II y III respectivamente, esto hace que sus niveles de servicio se determinen a través de los índices PTSF y PFFS. Sin embargo, se ha aplicado la regresión lineal para ATS, PTSF y PFFS con la finalidad de analizar la incidencia de las condiciones operativas en todos los índices de servicio.

Para el análisis de la regresión lineal múltiple se usó el software IBM SPSS Statistics versión 23, considerando todas las condiciones operativas combinadas que interactúan entre si durante la operación de las vías en estudio, luego se hizo el análisis de cada una para discutir por separado las condiciones de *infraestructura*, *tránsito* y *control*.

Resultados y Discusión

Incidencias de Condiciones de Infraestructura

Ancho de Carril y de Berma en la Velocidad de Operación

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, enfrentando a sus condiciones ideales de 3,66 m de carril y 1,83 m de berma (Tabla 2).

Tabla 2

Incidencia de ancho de carril y berma en la capacidad y niveles de servicio

Vía (acceso)	f_{LS} ideal	Sentido de Entrada		Sentido de Salida		f_{LS} real	
		Carril (m)	Berma (m)	Carril (m)	Berma (m)		
PE-36B (P-L)	0,0	3,43	1,78	2,73	3,43	1,28	2,73
PE-3S (P-J)	0,0	3,43	0,90	4,83	3,46	2,00	0,64
PE-3S (P-I)	0,0	3,60	1,03	4,83	3,50	1,49	2,73

En la vía PE-36B el ancho de carril en el sentido de entrada a la ciudad es de 3,43 m y la berma de 1,78 m, en el sentido de salida el ancho de carril es 11,25 m y la berma es de 1,28 m. Esto origina una reducción leve de la velocidad de operación (f_{LS}) en 2,74 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.

Para la vía PE-3S (P-J) el ancho de carril en el sentido de entrada es de 3,43 m y la berma de 0,90 m, presenta una reducción leve en el ancho de carril y una reducción severa en el ancho de berma reflejando una penalización de 4,83 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. También, en el sentido de salida el ancho de carril es 3,46 m y la berma de 2,0 m, siendo la reducción de carril leve por lo que presenta reducciones de velocidad de 0,64 km/h lo cual es prácticamente inapreciable indicando que los conductores no deberían sufrir ningún tipo de presión al operar en la vía.

La vía PE-3S (P-I), en sentido de entrada presenta un ancho de carril de 3,60 m y la berma de 1,03 m, penalizando así en 4,83 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 y la berma de 1,49 m, reducciones leves

que generan una penalización de 2,74 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.

Pendiente en la capacidad y niveles de servicio

Se describe la pendiente de los tramos de las vías en estudio en dos direcciones: Entrada y Salida (Tabla 3). La “Vía en estudio” hace referencia a la carretera evaluada, mientras que la “Pendiente” indica la inclinación de la vía, expresada como un porcentaje. Un valor positivo (+) señala una subida, y un valor negativo (-) indica una bajada. Las direcciones de flujo del tráfico en la vía se definen como Entrada y Salida.

Tabla 3

Pendientes promedio de vías

Vía en estudio	Pendiente Entrada	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%

Se muestra una comparación directa de los índices de servicio en condiciones reales y de pendiente ideal (0,00 %) para las vías en estudio (Tabla 4).

Tanto para la vía PE-36B y la vía PE-3S (P-I), la pendiente es menor al 3%, es así que en ellas no se puede apreciar una diferencia en sus índices de servicio. Sin embargo, para la vía PE-3S (P-J),

Tabla 4

Incidencia de la pendiente en los índices de servicio

Incidencia	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S (Juliacaca)				PE-3S (Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
ATS km/h)	10,7	10,7	8,38	8,38	8,38	8,66	9,66	9,97	6,98	6,98	7,04	7,04
PTSF (%)	43,8	43,8	44,9	44,9	65,4	59,3	68,1	64,4	66,7	66,7	59,3	59,3
PFFS (%)	88,2	88,2	86,2	86,2	76	79,3	78,5	811	70,5	70,5	71,1	71,1
N. Servicio	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
Capacidad	1536	1536	1664	1664	1413	1448	1659	1700	1700	1700	1391	1391

cuyo desarrollo es en terreno ondulado, se aprecia diferencias en sus índices de servicio, la ATS comparada en condiciones de pendiente ideales tuvo una reducción de 1,45 km/h y 1,61 km/h respectivamente. También se ve una reducción apreciable en el PTSF y PFFS puesto que llega a 76,0 % y 78,5 % para los sentidos de entrada y salida respectivamente. La capacidad máxima de la vía también se modifica a 3072 vl/h.

Las condiciones de infraestructura de la vía PE-36B para el ancho de berma nos presenta *valor-p* < 0,05, $\beta = -1,029$ y $-0,931$ respectivamente, con lo afirmamos que esta condición operativa incide significativamente en la ATS y PFFS de manera inversamente proporcional a la velocidad. Para la vía PE-3S (P-J) se tiene *valor-p* < 0,05 para ancho de berma y pendiente, así también $\beta = -0,984$ y $-0,171$ para ATS, $\beta = 0,328$ para pendiente en PTSF y $\beta = -0,632$ y $-0,691$ para berma y pendiente en PFFS, con lo cual señalamos que estas dos condiciones operativas inciden negativamente de manera inversamente proporcional al tiempo y velocidad. Para la vía PE-3S (P-I) se tiene *valor-p* < 0,05 para ancho de carril y berma, por otra parte, $\beta = -0,576$, $-0,678$ para ATS y $-0,547$, $-0,760$ para PFFS, con lo cual, se observa que el ancho de carril y berma inciden fuertemente en el ATS y PFFS, siendo PFFS el índice 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. Las demás condiciones operativas que tienen *valor p* > 0,05, nos indican que no tiene incidencia significativa en las condiciones de infraestructura.

En efecto, las condiciones de infraestructura (ancho de carril, 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 por (Vega, 2018) y (Carpio et al., 2018), quienes determinaron 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, nuestro estudio también coincide con los estudios desarrollados por (Calheirosa & de Oliveira, 2018) en Brasil; y el análisis de capacidad y nivel de servicio realizado en carreteras de dos carriles Finlandesas por (Luttinen, 2001), donde el autor refiere que la pendiente influye en el índice de servicio ATS reduciéndolo, generando disminución de velocidad y colas de circulación en la operación de la vía. La incidencia de estas condiciones operativas lo vemos también a través de modelos que superan el 80% de confiabilidad estadística, además de estar en la misma línea de conclusión de los casos estudiados en Cajamarca Vega, 2018), Finlandia (Luttinen, 2001) y en Brasil por (Sangi de Oliveira & Bessa, 2022). Por lo que, podemos afirmar que las condiciones de infraestructura inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías PE-3S (P-J) y PE-3S (P-I), y también inciden en el desarrollo de velocidad de la vía PE-36B con la diferencia de que no son significativas para su capacidad y nivel de servicio.

Incidencia de las Condiciones de Tránsito

Composición del tráfico vehicular

De los aforos realizados por siete días, se tiene: ruta PE-36B 12473 vehículos, de los cuales 10886

son ligeros, 6 recreativos y 1581 pesados, ruta PE-3S (P-J) 40021 vehículos, de los cuales 36395 son ligeros, 5 recreativos y 3621 pesados, ruta PE-3S (P-I) 56800 vehículos, de los cuales 52179 son ligeros, 12 recreativos y 4609 pesados.

Tabla 5
Incidencia de vehículos pesados en los índices de servicio

Incidencia	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S (Juliacá)				PE-3S (Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
ATS(km/h)	56,64	57,12	44,27	44,74	44,27	44,44	51,03	51,66	36,84	37,01	37,17	37,17
PTSF (%)	43,8	43,1	44,9	44,4	65,4	63,5	68,1	67,7	66,7	66,7	59,3	59,3
PFFS (%)	88,2	89,0	86,2	87,1	76,0	77,5	78,5	79,9	70,5	71,0	71,1	71,3
N. Servicio	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
Capacidad	1536	1536	1664	1664	1413	1448	1659	1700	1700	1700	1391	1391

Cuando se considera un tráfico vehicular de puro vehículos ligeros, para la vía PE-36B observamos mejoras leves de 0,48 km/h en el ATS de cada sentido de circulación., asimismo en el PTSF reduciéndose en 0,7 % y 0,5 % en el carril de entrada y salida respectivamente; en cuanto al PFFS las mejoras leves llegan a 89,0 % y 87,1 %. 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.

La vía PE-3S (P-J), también presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0,16 km/h en el sentido de entrada y 0,64 km/h en la salida. El PTSF tiene mejoras leves con diferencias de 0,9 % y 0,4% en ambos sentidos. El PFFS mejora en un 1,5 % y 1,4 % para los sentidos de entrada y salida. El nivel de servicio se mantiene en C, pero la capacidad máxima de la vía mejora pudiendo llegar a 3148 v/h.

La vía PE-3S (P-I), de igual forma presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0,16 km/h

La incidencia de vehículos pesados en comparación con una circulación ideal de puramente vehículos ligeros de las vías en estudio (Tabla 5).

en el sentido de entrada y ninguna en la salida. El PTSF se mantiene igual en ambos sentidos de circulación. El PFFS mejora en un 0,5 % y 0,3 % para ambos sentidos. 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.

Reparto del tráfico vehicular en los sentidos de circulación

El panorama del reparto por sentido dentro del intervalo de máxima demanda y horaria máxima para las vías es: PE-36B se da entre 13:45 y 14:00 horas, 61 vehículos en ambos sentidos que implica 244 v/h; PE-3S (P-J), se presenta entre las 09:15 a 09:30 hrs, 175 vehículos que representa 700 v/h; PE-3S (P-I), se produce de 16:30 a 16:45 hrs, 258 vehículos, vale decir 1032 v/h (Tabla 6).

La incidencia del reparto por sentidos de circulación en comparación con uno ideal de 50/50 en las vías (Tabla 7).

Tabla 6

Reparto del tráfico por sentidos de circulación en las vías

Tipo de vehículo	Sentido de Entrada		Sentido de Salida	
	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 %
TOTAL	29	48 %	32	52 %
PE-3S carretera Puno – Juliaca				
Ligeros	70	44,03 %	89	55,97 %
Recreativos	0	0,00 %	0	0,00 %
Pesados	11	68,75 %	5	31,25 %
TOTAL	81	46 %	94	54 %
PE-3S carretera Puno – Ilave				
Ligeros	132	54,77 %	109	45,23 %
Recreativos	0	0,00 %	0	0,00 %
Pesados	11	64,71 %	6	35,29 %
TOTAL	143	55 %	115	45 %

Tabla 7

Incidencia del reparto por sentidos en los índices de servicio

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
ATS(km/h)	56,64	35,1	44,27	44,09	44,27	44,09	51,03	51,50	36,91	36,91	37,17	36,84
PTSF (%)	43,8	46,7	44,9	43,4	65,4	68,5	68,1	68,5	66,7	63,9	59,3	63,9
PFFS (%)	88,2	88,0	86,2	85,9	76,0	76,1	78,5	78,8	70,5	70,5	71,1	70,5
N.Servicio	B	B	B	B	C	C	C	D	D	D	D	D
Capacidad	1536	1600	1664	1600	1413	1552	1659	1552	1700	1600	1391	1600

En un reparto 50/50 para la vía PE-36B se tiene deficiencias leves en el ATS de 0,16 km/h para ambos sentidos de circulación. También una fluctuación leve en el PTSF incrementándose en 2,9 % en el carril de entrada y reduciéndose en 1,5 % en la de salida. En cuanto al PFFS se tiene deficiencias leves de 0,2 % y 0,3 % en los carriles de entrada y salida. La incidencia de esta condición 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.

La vía PE-3S (P-J), también presenta fluctuaciones leves en la ATS siendo una deficiencia de 0,16 km/h en el sentido de entrada y una mejora de 0,48 km/h en salida. El PTSF recibe deficiencias leves con diferencias de 3,1 % y 0,4 % en ambos

sentidos. El PFFS mejora levemente en un 0,1 % y 0,3 % para entrada y salida. El nivel de servicio se mantiene en C, pero la capacidad máxima de la vía mejora pudiendo llegar a 3200 vl/h.

Para las condiciones de tránsito, las tablas 9, 10 y 11 nos indican que, en la vía PE-36B el porcentaje de vehículos pesados incide fuertemente en el PFFS ($valor-p < 0,05$), dicho índice de servicio no determinan el nivel de servicio de la vía, sin embargo, esta condición operativa incide negativamente de manera inversamente proporcional ($\beta = -0,485$), 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; igual sucede en la vía PE-3S (P-J) $valor-p < 0,05$ y $\beta = -0,326$, mientras

que la vía PE-3S (P-I) ninguna condición de tránsito presentó incidencia significativa en los tres índices de servicio.

Por tanto, en las condiciones de tránsito, solo el porcentaje de vehículos pesados es determinante para las vías PE-36B y PE-3S (P-J) cuyo índice de servicio principal se basa en el desarrollo de la velocidad de operación (PFFS), lo señalado, concuerda con lo estudiado por (Peñafiel et al., 2022) quienes afirman que el impacto de los vehículos pesados es menor en el índice de servicio ATS y mayor en el PTSF, afirmación que concuerda con (Gonzales et al., 2020) y es próximo al determinado por (Calheiros & de Oliveira, 2018); por otra parte, la distribución de tráfico por sentidos es determinante junto con el porcentaje de zonas de no rebase para el índice de servicio

PTSF (Sangi de Oliveira & Bessa, 2022), pero como podemos observar difiere en la intensidad, puesto que en este trabajo se demuestra que incide más la presencia de vehículos pesados (Moreno & García, 2017) y no el reparto por sentidos.

Por tanto, podemos afirmar que las condiciones de tránsito inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de la vía PE-3S (P-J), pero no son significativas para las vías PE-3S (P-I), y PE-36B.

Incidencia de las Condiciones de Control

A continuación, se muestra la incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento (en comparación con una situación ideal con 0,00 % (Tabla 8).

Tabla 8

Incidencia del porcentaje de zonas con restricción de adelantamiento en los índices de servicio

Incidencia	PE-36B (Laraqueri)				PE-3S (Juliacá)				PE-3S (Ilave)			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal	Real	Ideal
ATS(km/h)	56,64	57,63	44,26	44,88	44,26	44,88	51,02	51,65	36,85	36,85	37,18	37,18
PTSF (%)	43,8	27,1	44,9	29,7	65,4	54,7	68,1	56,7	66,7	66,7	59,3	59,3
PFFS (%)	88,2	89,7	86,2	87,5	76,0	77,1	78,5	79,5	70,5	70,5	71,1	71,1
N.Servicio	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
Capacidad	1536	1536	1664	1664	1413	1413	1659	1659	1700	1700	1391	1391

Cuando se considera 0,00 % de zonas con restricción de adelantamiento para la vía PE-36B observamos mejoras leves de 0,48 km/h y 0,64 km/h en el ATS en ambos sentidos, también una mejora notable en el PTSF reduciéndose en 16,7 % y 15,2 % en el carril de entrada y salida; en 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.

La vía PE-3S (P-J), también presenta mejoras leves en la ATS siendo la diferencia de 0,64 km/h en entrada y salida, el PTSF recibe mejoras notables con diferencias de 10,7 % y 11,4% en el carril de entrada y salida; por su parte, el PFFS también mejora en un 1,1 % y 1,0 % a la entrada y en salida. El nivel de servicio se mantiene en C.

En tanto, la vía PE-3S (P-I) no tiene diferencias, ya que en estado real dicha vía efectivamente no presenta zonas con restricción de adelantamiento.

Asimismo, de las tablas 9, 10 y 11 inferimos que, en la vía PE-36B el porcentaje zonas de no rebase incide fuertemente en el PTSF y PFFS (*valor-p < 0,05*), 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 ($\beta=0,965$) 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; en la vía PE-3S (P-J) incide significativamente en

el PTSF, así también negativamente de manera directamente proporcional ($\beta = 0,827$) ya que cuanto crece la presencia de zonas de no rebase en la vía se incrementa el PTSF, señalándonos que afecta en la posibilidad de ejecutar la maniobra de adelantamiento, siendo significativo para su nivel de servicio,. Para la vía PE-3S (P-I) la condición de control no pudo ser estudiada puesto que no presenta restricción de adelantamiento alguna.

En consecuencia, la condición de control incide significativamente en la vía PE-36B 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 por (Silva, et al., 2022), y (Luttinen 2001) quienes concluyen que la distribución de tráfico por sentidos es determinante junto con el porcentaje de zonas de no rebase para el índice de servicio PTSF, así también con (Morrall & Werner, 1990) quienes 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. 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 (P-I) la cual no presenta restricciones a la maniobra de adelantamiento, además de estar en la línea de conclusión del estudio realizado por (Morral y Werner 1990). Por tanto, podemos afirmar que las condiciones de control inciden negativamente de manera inversamente proporcional en la capacidad y nivel de servicio de las vías PE-36B, pero no es significativa para las vías PE-3S.

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 (coeficiente β), ya que cuanto mayor es la presencia de dichas condiciones operativas más también se reduce la capacidad y nivel de servicio

de dichas vías, complementado con la prueba estadística de regresiones lineales múltiples a través de *valor p* demuestran que en la vía de acceso PE-36B las condiciones de infraestructura y de tránsito no presentan efectos negativos, mientras que las condiciones de control inciden negativamente reduciendo su nivel de servicio de A a B con una capacidad de 3200 vl/h. Respecto a la vía de acceso PE-3S (P-J) las condiciones de infraestructura y tránsito reducen la capacidad de 3200 a 3072 vl/h, mientras que las condiciones de control no presentan efectos negativos. En cuanto a la vía PE-3S (P-I) las condiciones de infraestructura y de control no presentan efectos negativos, pero las condiciones de tránsito reducen la capacidad de la vía de 3200 a 3091 vl/h.

Contribución de los autores

Conceptualización, F. Rojas Ch. (60%) e I.N. Parra R. (40%); Curación de datos, F. Rojas Ch. (50%) e I.N. Parra R. (50%); Análisis formal, F. Rojas Ch. (40%) e I.N. Parra R. (60%); Adquisición de fondos, F. Rojas Ch. (80%) e I.N. Parra R. (20%); Participación en la investigación, F. Rojas Ch. (50%) e I.N. Parra R. (50%); Metodología, F. Rojas Ch. (70%) e I.N. Parra R. (30%); Administración del proyecto, F. Rojas Ch. (60%) e I.N. Parra R. (40%); Recursos, F. Rojas Ch. (50%) e I.N. Parra R. (50%); Software, F. Rojas Ch. (60%) e I.N. Parra R. (40%); Supervisión, F. Rojas Ch. (80%) e I.N. Parra R. (20%); Validación, F. Rojas Ch. (60%) e I.N. Parra R. (40%); Visualización, F. Rojas Ch. (70%) e I.N. Parra R. (30%); Redacción—borrador original, F. Rojas Ch. (70%) e I.N. Parra R. (30%); Redacción—revisión y edición, F. Rojas Ch. (80%) e I.N. Parra R. (20%). Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

- Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12114660>
- Apaza, C., & Vilca, J. (2018). *Estudio de impacto vial, generado por la puesta en funcionamiento del complejo deportivo universitario en la ciudad universitaria – Puno, al 2038* [Universidad

- Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9939>
- Calheiros, A., & de Oliveira, M. (2018). ANÁLISE DA CAPACIDADE VIÁRIA E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DO TRECHO NORTE DA RODOVIA AL-101 PELO MÉTODO DO HCM 2010. *Engenharia e Tecnologia*, 10(3). <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/12401>
- 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), 115–124. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.11>
- Carrillo, D., & Montoya, O. (2022). *Análisis técnico de la capacidad vial y nivel de servicio de la intersección, glorieta barrio Porfía, ubicada en el corredor que conduce de Villavicencio al municipio de Acacias – Meta* [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/47172>
- Celi, S. F. (2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. *Revista Espacios*, 39. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n18/a18v39n18p10.pdf>
- Cobos, D., & López, J. (2019). *Diagnóstico de Capacidad y Nivel de Servicio de la Avenida Universitaria en la Ciudad de Jipijapa* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1681>
- Cordero, G. , M., & Intriago P., G. (2023). *Análisis de capacidad y nivel de servicio de la calle Loja del cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5232>
- Cuentas, C. , M., & Ayala, C. , J. (2019). *Determinación de la capacidad vial y nivel de servicio, según manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en la vía pe-3s tramo arco Tica Tica-Izcuchaca* [Universidad Andina del Cusco]. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/2904>
- Falcocchio, J. C., & Levinson, H. S. (2015). Visión general de las causas de la congestión. In *Congestión del tráfico rodado: una guía concisa* (Springer, Cham, Vol. 7). <https://hdl.handle.net/20.500.12557/2904>
- Gutiérrez, E. (2021). *Evaluación comparativa de la superficie de rodadura en la estimación del nivel de servicio y capacidad vial de la Carretera Pisac – Ollantaytambo, 2020* [Universidad Andina del Cusco]. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4560>
- Instituto Nacional de Vías. (2020). *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. 3ra. Cauca* (Universidad de Cauca, Ed.; 3ra Versión). <https://www.invias.gov.co/index.php/139-documento-tecnicos/457>
- Luttinen, R. T., & Finnish National Road Administration. (2001). *Capacity and level of service on finnish two-lane highways*. https://www.researchgate.net/publication/302431760_Capacity_and_Level_of_Service_on_Finnish_Two-Lane_Highways
- Moreno, V., & García, L. (2017). *Diseño de Zonas de Adelantamiento para la Mejora de la Seguridad y la Funcionalidad de Carreteras Convencionales MEMORIA*. <https://www.premioinnovacioncarreterasjfc.org/monograficos/1.pdf>
- Morrall, J., & Werner, A. (1990). Measuring Level of service of Two-Lane Highways by Overtakings. *Transportation Research Record*, 1, 62–69. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1990/1287/1287-008.pdf>
- MTC (2006). Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/282132-002-2006-mtc-15>
- MTC (2016). Actualización del clasificador de rutas del SINAC. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/9953-011-2016-mtc>

- MTC (2018). Reglamento nacional de vehículos. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/308446-019-2018-mtc>
- Nascimento, N., & Oliveira, C. (2022). INSPEÇÃO VISUAL REGULAR DE PONTES DE CONCRETO. *Sodebras*, 17, 48–60. <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.200.48>
- Peñafiel, J. M., Sánchez, C. E., & Medina, Y. P. (2022). Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio de las vías de ingreso de la ciudad de Machala. *Revista Ciencia y Construcción*, 3, 65–76. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/133/106>
- Pishue, B. (2023). 2022 INRIX Global Traffic Scorecard KEY FINDINGS. https://lesvoitures.fr/wpcontent/uploads/2023/01/2022_INRIX_Traffic_Scorecard_Report.pdf
- Rodríguez, Y., García, R. A., & Gálvez, 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), 1–12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8977779>
- Sangi de Oliveira, J. K., & Bessa Júnior, J. E. (2022). Adaptação do HCM para análise de rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil. *Transportes*, 30(3). <https://doi.org/10.14295/transportes.v30i3.2690>
- Schrank, D., Eisele, B., Lomax, T., & Bak, Ji. (2015). URBAN MOBILITY SCORECARD. *Texas A&M Transportation Institute*. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-scorecard-2015-wappx.pdf>
- Silva, F. A., Bessa, J. E., Costa, A. L., Cunha, A. L., & Velho, D. M. (2022). Análisis de zonas de prohibición de adelantamiento para evaluar el nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles en Brasil. *Estudios de Casos Sobre Políticas de Transporte*, 10(1), 248–256. <https://www.premioinnovacioncarreterasjafc.org/monograficos/1.pdf>
- Sun, F., Dubey, A., & White, J. (2018). *DxNAT - Deep Neural Networks for Explaining Non-Recurring Traffic Congestion*. <http://arxiv.org/abs/1802.00002>
- Surichaqui, M., Matamoros, F., Sillo, A., Manrique, A., Mayhua, W., & Surichaqui, F. (2023). *Capacidad vehicular y nivel de servicio con la metodología Highway Capacity Manual (HCM)* (INUDI Perú). <https://doi.org/10.35622/inudi.b.098>
- Teixeira, N. N., Menezes, L. S., Vieira, J. R. S., de Jesus, D. S., & Coutinho, E. S. (2023). DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DA RODOVIA FEDERAL BR-415 PELA METODOLOGIA HCM 2000. *Revista Contemporânea*, 3(5), 4455–4480. <https://doi.org/10.56083/rcv3n5-054>
- TRB. (2016). *Highway capacity manual*. Transportation Research Board. <https://pdfcoffee.com/hcm-2016-vol-2pdf-pdf-free.html>
- Vega, Z. Y. (2018). *Análisis de la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca perteneciente a la red vial nacional* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1834>

