

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Durante los últimos 30 años se ha experimentado un crecimiento del parque automotor a nivel mundial, mayor en los países industrializados y con tendencia creciente en los países en vías de desarrollo. Una consecuencia directa de lo anterior es el aumento en la cantidad de desplazamientos por las vías y carreteras lo que genera una serie de externalidades negativas asociadas al transporte por carreteras como la congestión vehicular, la contaminación atmosférica, el aumento del tiempo en los desplazamientos y los accidentes de tráfico, cada una de las cuales causa un desmedro a la calidad de vida de las personas y pérdidas millonarias a los países que deben sus costos. (Torres Flores, 2012)

En los últimos años se ha acrecentado el grave problema del tránsito, motivo por el cual se ha empezado a estudiar otro aspecto: el operacional, y es precisamente la ingeniería de tránsito, como una rama de la ingeniería, la llamada a tratar este aspecto. (Reyes; Cárdenas 1994)

Entre más sombrío se presente el problema de tránsito, con su saldo de accidentes y de congestionamientos, más pronto se tratará de atender el problema. (Reyes; Cárdenas 1994)

Es posible afirmar que no hay persona que no haya experimentado de cerca el resultado negativo que se traduce de un cruento accidente, ya sea personalmente, en un pariente, en un amigo o conocido, o cuando menos, como espectador. Se palpa la gran necesidad de hacer frente al problema que, en todos los lugares de los países, se ha colocado en un plano a escala nacional y de orden vital. (Reyes; Cárdenas 1994)

Para el desarrollo de una investigación designada al estudio vehicular se emplean métodos directos de recolección de datos, dentro del cual el más importante es el conteo vehicular; de tal manera que “se investigan la velocidad, el volumen, la densidad, la capacidad de las carreteras, el nivel de servicio. Así poniendo en evidencia la capacidad y limitación de los usuarios de tránsito” (Wright Dixon, 2011).

La carretera Tarija- Villa Montes inaugurada el 28 de septiembre de 1931, esta data con el diseño original de hace más de 93 años, en la cual se denota un tramo importante que es El

Angosto de Villa Montes es un sector que tiene 12,4 kilómetros de longitud que es una zona de riesgo, cuyo estudio fue encarado por la subgobernación de aquel municipio, quedando alejada su construcción, pese a que es una de las zonas más conflictivas en el tráfico vehicular, ya que se requiere de una gran inversión económica. (Gustavo Márquez / El País)

Se realizó una inspección a la ruta en el año 2018 y en el recorrido personeros de la Subgobernación informaron acerca de un estudio que se había realizado para avanzar en el proyecto, se manifestó que la Administradora Bolivia de Carreteras (ABC), ha solicitado una complementación de los estudios para contar con todas las bases técnicas que permitan la intervención. (Gustavo Márquez / El País)

Desde el Comité Cívico de Villa Montes, la presidenta Gimena Gonzales, recordó que precisamente este tramo ha sido parte del debate de la Cumbre Vial Departamental realizada hace años atrás, donde enfatizó se ha delegado la tarea de poder mejorar sus condiciones, trabajo que aseveró se ha venido realizando “superficialmente”, sin conocerse a la fecha un proyecto serio que implique un cambio sustancial. (Gustavo Márquez / El País)

En el punto cero de la ruta, en el puente Ustarez de Villa Montes, los vehículos de transporte público y privado solo se detienen para que el conductor pague el peaje y muestre su licencia de conducir. Nadie pregunta si lleva botiquín o extintor ni verifica si se carga alcohol en la cabina. Los que ya conocen la vía saben que están en la boca de un animal horizontal angosto que mide 12 kilómetros y que a 10 kilómetros está la garganta.

En realidad, hace una década que ahí se protege la vida humana, desde que Petrobras, que opera el campo gasífero San Antonio, puso cuatro puestos de control, con personal equipado con banderas verdes y rojas y un sistema de radio para evitar que los vehículos se encuentren de frente, así como para avisar a la Policía cuándo alguno terminó en el despeñadero, a orillas del río Pilcomayo.

Julio Pérez, David Sánchez y Beimar Romero son los guardianes de la vida y trabajan para la compañía servicios petroleros de Bolivia, contratista de Petrobras. Su misión es que el ‘plan de cero accidentes’ sea una realidad cotidiana. Por ese tramo circulan los vehículos

de la petrolera, pero el beneficio es para más de 500 motorizados que pasan a diario. Lo malo, coinciden, es que hay conductores de servicio privado que a veces manejan ‘medio ebrios’ y que se pasan de largo, burlando el control. El resultado suele ser catastrófico. Cuando dos motorizados se encuentran de frente, buscan abrirse paso de retro, un pequeño espacio entre el cerro y el precipicio. A 120 metros abajo está el Pilcomayo mirando con sus aguas diáfanas.

El tramo El Angosto de Villa Montes, es prioridad de la ABC, hasta el momento la misma ha realizado tareas de estabilización de taludes, reducción de las pendientes en los sectores denominados “Quebrada Seca” y “El Pibe”, ampliación de los radios de curvatura, la construcción de 15 muros de contención que permitieron ensanchar la calzada en diferentes zonas, se repuso el ripio, se aumentaron delineadores, estos trabajos permitirán reducir las maniobras para la circulación, pero a pesar de los trabajos realizados, este tramo es catalogado como uno de los más inseguros ya que han ocurrido los peores accidentes y en el 2013, el 15% de las 92 desgracias viales que ocurrieron en todo el departamento de Tarija fueron en este sector y en 2023 la plataforma se redujo a 1,8 metros a raíz de los constantes derrumbes que produjeron este daño, para el cual la ABC implementa nuevos muros de contención, ya que no se puede entrar en el talud, porque los estudios geológicos y geotécnicos no lo recomiendan.

El área de estudios del proyecto se ubica en El Angosto de Villa Montes según la entidad reguladora ABC “los estudios básicos de tráfico vehicular en el tramo están desactualizados o inexistentes”, y teniendo en cuenta que El Angosto es parte de la red fundamental del país, se optó por el proyecto “Estudio de tráfico basándose así en la necesidad de una ciudad con cada vez mayor problema vehicular.

1.2 Justificación

En el mundo existen las carreteras como uno de los principales medios de comunicación que tiene el hombre, pero en ellas se producen los accidentes viales que son un flagelo y una de las principales causas de muertes y discapacidades en las personas, según la organización mundial de la salud (OMS) indica que más del 90% de las muertes por accidentes de tránsito se producen en los países de recursos medios y bajos.

En 1932 durante la Guerra del Chaco se creó una carretera que hoy pertenece a la red fundamental que conecta a Tarija con el interior del país, y desde entonces se han realizado pequeñas modificaciones que no son sustanciales, en esta ruta existen sobre todo en temporada de lluvias constantes deslizamientos de sus taludes, también la superficie es deslizante la cual provoca embarrancamientos en sus distintos puntos y su calzada angosta que provoca detenciones de vehículos, aumentando los tiempos de viaje.

El presente proyecto mostrará una evaluación del tráfico, el cual se realizará a través de aforos vehiculares en el tramo El Angosto de Villa Montes, en el cual se analizará las velocidades y los volúmenes en horas pico.

Dada la situación ya mencionada, es conveniente contar con una ruta que permita el confort y la seguridad de quienes transitan en la misma.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problemática

Las carreteras son esenciales para mejorar la comunicación y el desarrollo de los países. En nuestro país, estas infraestructuras han evolucionado a lo largo del tiempo, formando una red vial fundamental. Entre ellas se destaca "El Angosto de Villa Montes", un tramo que, desde su construcción, ha experimentado pocas modificaciones en su diseño geométrico. A pesar de los esfuerzos continuos de mantenimiento por parte de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), este sector sigue presentando deficiencias en su nivel de servicio y un alto índice de accidentes viales, que generan tanto heridos como víctimas fatales. El tramo carece de una señalización adecuada y no cuenta con un control eficiente por parte del personal de tránsito, lo cual resulta necesario debido a que en esta vía se realizan maniobras peligrosas para ceder el paso. Por lo tanto, es crucial implementar un control adecuado de las velocidades de circulación para llevar a cabo estas maniobras con seguridad y precaución.

1.3.2 Formulación de problema

¿Cuál será la incidencia que puede tener una evaluación del estudio de tráfico en el planteamiento de soluciones que mejoren las condiciones de circulación actual del tramo El Angosto de Villa Montes?

1.4 Objetivos de proyecto de aplicación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el flujo de tráfico vehicular, mediante aforos manuales y estudio de velocidades, con los cuales se establecerán resultados para dar solución a las condiciones de circulación actuales del tramo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar zonas críticas de circulación que generan congestión o riesgos, mediante observación directa.
- Identificar las horas de mayor congestión vehicular.
- Determinar los parámetros de tráfico vehicular: volúmenes de tráfico, capacidad, niveles de servicio, densidad, velocidades.
- Realizar un inventario de señalización vertical existente.
- Realizar una propuesta de señalización vertical adecuada para el tramo y alineada con los resultados del estudio.
- Elaborar propuestas técnicas de solución de tráfico para en tramo actual.

1.5 Hipótesis

Si se realiza la evaluación del estudio de tráfico, mediante parámetros de estudio establecidos que ayudaran a determinar el flujo actual, en base a los resultados se podrá determinar alternativas de solución que brindarán una mejor circulación al flujo vehicular tramo El Angosto de Villa Montes.

1.6 Definición de variables independientes y dependientes.

VARIABLES DEPENDIENTES

Evaluación de tráfico vehicular. - Se refiere a una evaluación de los parámetros característicos empleados en un estudio de tráfico aplicado a la circulación de vehículos en una vía.

VARIABLES INDEPENDIENTES

Densidad de Tráfico. - Se refiere al número de vehículos que circulan por una determinada calle o carretera en un determinado periodo de tiempo.

Volumen de Tráfico. - El volumen de tráfico de una carretera está determinado por el número y tipo de vehículos que pasan por un punto dado durante un periodo de tiempo específico.

Velocidad de Trafico. -Se refiere al número de vehículos que pasa por una determinada calle o carretera por unidad de tiempo.

1.6.1 Variables independientes

Tabla1: Variable Independiente

Variable Independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor /Acción
Tráfico vehicular	Es el fenómeno causado por el Flujo de vehículos por una, calle o autopista	Evaluación	Práctico y Teórico	Campo y comprobación

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Variables dependientes

Tabla 2: Variable dependiente

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor /Acción
Densidad de Tráfico	Se refiere al número de vehículos que circulan por una determinada calle o carretera	Cantidad de vehículo en un determinado tiempo	Liviano Mediano Pesado	Tráfico total
Volumen de Tráfico	El número y tipo de vehículos que pasan por un punto dado.	Volumen de vehículos	Liviano Mediano Pesado	Bajo, Medio, Alto
Velocidad de Tráfico	El número de vehículos que pasa por una determinada calle o carretera por unidad de tiempo.	Velocidad de circulación	Liviano Mediano Pesado	Diseño calculada

Fuente: Elaboración propia

1.7 Diseño metodológico

1.7.1 Componentes

1.7.1.1 Unidades de estudio y decisión muestral

Tráfico vehicular.

1.7.1.2 Población

Tráfico vehicular interprovincial de Tarija-Villa Montes.

1.7.1.3 Muestra

Tráfico vehicular en los puntos críticos identificados.

1.7.1.4 Muestreo

Se realizará el muestreo probabilístico del tráfico vehicular, tomando la muestra mediante un aforo del tramo en estudio.

1.7.2 Método y técnicas empleadas

El presente trabajo está compuesto por varios pasos, el primero es la selección de la zona de estudio, el segundo paso corresponderá a la obtención de datos mediante el aforo vehicular, el tercer paso se realizará el procesamiento de la información de campo a partir de los datos de volúmenes de aforos que se han obtenido, el cual se realizará de manera manual. Se aplicará las metodologías de análisis del manual de carreteras INVIAS, para capacidad y nivel de servicio.

1.7.3 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

En los estudios de tráfico, una vez que los datos han sido recolectados en el campo, es necesario procesarlos para su posterior análisis. La evaluación de los resultados debe realizarse utilizando el método estadístico adecuado. Tanto los estudios de campo como los análisis estadísticos deben ejecutarse correctamente, garantizando que las condiciones de tránsito prevalentes sean adecuadamente comprendidas.

1.7.3.1 Distribución de Series de Tiempo

Los eventos que son observados y de los cuales se anota el instante exacto de su ocurrencia, son recolectados a lo largo de períodos de tiempo y su tabulación produce distribuciones de series de tiempo. El intervalo de tiempo adecuado para recolectar los datos se selecciona de acuerdo al propósito del estudio y puede variar de segundos a varios años de duración.

1.7.3.2 Distribuciones Espaciales

Muchas veces la información de tránsito se presenta con referencia a ubicaciones geográficas específicas. Tal es el caso de accidentes sobre segmentos de vía, inventarios de dispositivos para el control de tránsito sobre planos de la ciudad, etc.

1.7.3.3 Estadística aplicada

La estadística aplicada permite realizar inferencias a partir de una o varias muestras de una determinada población como objeto de estudio. De esta manera se puede ofrecer resultados tanto específicos como generalizados.

1.7.3.4 Estadísticas Descriptivas

El objetivo de las estadísticas descriptivas es describir un conjunto de datos de un muestreo utilizando pocos valores. En otras palabras, es un sumario que incluye la tendencia central, la variabilidad y la forma de los datos.

1.7.3.5 Tendencia Central

Existen varias medidas para describir la tendencia central de un conjunto de observaciones.

Las más comúnmente usadas son:

- Media aritmética
- Mediana

Por lo general, la media está ubicada cerca del centro de la distribución de los datos en cuestión. La medida de tendencia central más comúnmente utilizada es la media aritmética.

La siguiente ecuación ilustra su cálculo:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$ = Media aritmética

$\sum X_i$ = Sumatoria de todas las observaciones

N = Número de observaciones

La mediana representa el valor medio de una serie de medidas que han sido ordenadas en orden de magnitud. Si el número de observaciones es impar, entonces la mediana es el valor del medio en la lista de medidas en orden de tamaño. Sin embargo, la mediana es definida como la media aritmética de los dos valores medios si el número de medidas es par.

El valor del 50 percentil es igual a la mediana, esto quiere decir que la mitad de las observaciones se encuentran a cada lado de la media. La mediana es una medida útil porque es menos afectada por los valores extremos que la media aritmética.

1.7.3.6 Variabilidad

Otro valor estadístico descriptivo es la variabilidad o dispersión de los datos de un muestreo en particular. En sumatorias de datos para ingeniería de tránsito se usan a menudo las siguientes medidas de variabilidad:

- Rango
- Desviación estándar

El rango es relativamente fácil de calcular, sin embargo, la desviación estándar es una medida de variabilidad mucho más confiable. El rango es el intervalo entre la más pequeña y la más grande de las observaciones y se calcula de la siguiente forma:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Donde:

R = Rango

X_{max} = Valor máximo de las mediciones

X_{min} = Valor mínimo de las mediciones

El rango depende mucho del tamaño del muestreo y es demasiado sensible a medidas excepcionales o erráticas. El rango no puede ser usado para comparaciones.

La medida de variabilidad más importante es la desviación estándar, que es la raíz cuadrada de la varianza. Para datos no agrupados (que no están agrupados en función de la frecuencia con que ocurren), la desviación estándar está dada por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{N - 1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar

X = Media aritmética

X_i = Observación número "i".

N = Número de observaciones

La siguiente ecuación para desviación estándar es aplicable cuando la información ha sido procesada en un formato de grupos, y frecuencia de ocurrencia de estos grupos:

$$s = \frac{\sum f_i U_i - \frac{(\sum f_i U_i)^2}{\sum f_i}}{\sum f_i - 1}$$

Donde:

s = Desviación estándar

U_i = Valor medio del grupo "i"

f_i = Frecuencia del grupo "i"

Si la forma de los datos se aproxima a la forma de una distribución normal, entonces pueden obtenerse múltiplos de la desviación estándar a cada lado de la media, de manera que representen los límites dentro de los cuales se encuentran varios porcentajes de los valores totales en un muestreo en particular.

El trabajo de evaluación comenzará con el reconocimiento de la zona, los problemas que existen, las zonas más conflictivas para posteriormente realizar un aforo vehicular luego se procederá a realizar las mediciones del ancho del carril y berma una vez obtenidos los datos de campo se procederá a realizar el trabajo en gabinete calculando los volúmenes, capacidad y nivel de servicio. Posterior a ello se verá las posibles soluciones a implementar como ser señalización, reductores de velocidad, etc.

1.7.4 Alcance del estudio de aplicación

- Se obtendrá los elementos necesarios para la justificación plateándose el problema que se pretende solucionar.
- Se planteará el diseño metodológico para luego definir los factores básicos que intervienen en la evaluación del tráfico vehicular en el respectivo tramo, de los cuales se estudiarán y a su vez se evaluarán volúmenes, velocidades y capacidad vial para su correcta aplicación en la rama de la ingeniería civil.
- Se deberá realizar aforos de los parámetros ya mencionados en las 24 Hrs del día durante una semana tanto en el carril de ingreso como en el carril de salida pudiendo así determinar las horas pico que serán de vital importancia en el análisis de algunos parámetros.

- Se brindará alternativas de solución al problema del tráfico vehicular ante todo en la seguridad de los usuarios como así de su comodidad.
- Finalmente se dará a conocer todas las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos por el análisis y/o evaluación que resultan de los cálculos obtenidos de datos de campo y gabinete para así en un futuro tomar en cuenta dichas recomendaciones que ayuden a mejorar el funcionamiento y el buen desempeño de la carretera brindando así comodidad y seguridad a los usuarios y las personas que viven en la zona.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estudio de ingeniería de tráfico

Gómez (2004). La ingeniería de tráfico es un subconjunto de la ingeniería en transporte, y a su vez el proyecto geométrico es una etapa de la ingeniería en tránsito, es una relación entre elementos físicos y características operacionales, por definición, la ingeniera en tráfico es aquella rama de la ingeniería civil que estudia y analiza bajo un enfoque técnico los problemas originados por el movimiento de los vehículos, en estrecha relación con sus componentes que son:

- El Peatón.
- El Conductor.
- El Vehículo.
- La Vía.

Con el objeto de proporcionar al usuario, comodidad y seguridad en las calles, avenidas y carreteras. En esta rama de la ingeniería civil, se analiza pormenorizadamente lo siguiente:

2.1.1 Características del tránsito

Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Son investigados la velocidad, la densidad, la capacidad de las carreteras, nivel de servicio, el funcionamiento de: pasos a desnivel, terminales, se analizan los accidentes, etc.

Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y limitaciones del usuario en el tránsito, se analiza al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico – físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicotécnicos, así como la metodología estadística (Gómez, 2004).

2.1.2 Categorías de tráfico

En primer lugar, se definieron las categorías de tráfico de la siguiente manera:

Tráfico Normal: Es el que ya existe en la carretera y que permanecerá en ella aun cuando no se ejecute el proyecto.

Tráfico Desviado: Es el existente en otras vías alternativas (o modos alternativos) que es atraído a la carretera por los mejoramientos que se hagan en ella como consecuencia del proyecto.

Tránsito Generado: Es el que se produce por efecto de la ejecución del proyecto y que no existía previamente. (Manual de metodología y evaluación de proyectos viales de la ABC, 2011).

2.1.3 Reglamentación del tránsito

La técnica debe establecer las bases para los reglamentos de tránsito, debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Así, por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias, responsabilidad de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; revista periódica, comportamiento en la circulación, etc. Igual atención se da a otras materias, tales como: prioridad del paso; tránsito en un sentido, zonificación de la velocidad, limitaciones en el tiempo de estacionamiento, control policíaco en las intersecciones, procedimiento legal y sanciones relacionadas con accidentes, peatones y transportación pública, etc. (Gómez, 2004).

2.1.4 Señales y aparatos de control

Se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera. (Reyes; Cárdenas 1994).

Los dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

- Señales
- Marcas
- Obras y dispositivos diversos

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales y aparatos de control. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio. Aunque el profesional en tráfico no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia (Gómez, 2004).

2.1.5 Planificación vial

Es indispensable, en la ingeniería de tráfico, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo del camino a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico. Las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra. Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de una región y es por esto que el punto de vista del ingeniero de tráfico debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El profesional a su vez debe acostumbrarse a tener en cuenta en sus trabajos las distintas exigencias de la colectividad de la higiene, de la seguridad, de las actividades comerciales o industriales, etc. (Gómez, 2004).

2.1.6 Administración

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en material vial y su actividad administrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc. (Gómez, 2004).

Finalmente, debe hacerse énfasis en lo siguiente: el ingeniero especializado en tráfico debe estar capacitado para encontrar la mejor solución al menor costo posible.

Naturalmente, puede pensarse en infinidad de soluciones por demás costosas, pero el profesional preparado en la materia debe estar capacitado para encontrar la mejor solución y preparar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin poner restricciones innecesarias al mismo (Gómez, 2004).

2.1.7 Análisis y definición de la consistencia vehicular

-Flota vehicular representativa

Con fines de análisis es necesaria una discretización del flujo vehicular basada en la flota vehicular representativa, que permita observar la incidencia mayor o menor de un tipo de vehículo característico en la carretera. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

-Composición vehicular observada

La clasificación de vehículos se obtiene sobre la base de las Encuestas Origen – Destino, de los conteos manuales efectuados por el consultor.

De los diez tipos de vehículos clasificados, se efectúa una agrupación en tres grupos principales: livianos, medianos y pesados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

2.2 Factores que intervienen en el problema del tránsito

Las ciudades dependen grandemente de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces, estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad, con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte público, acceso a las distintas propiedades o estacionamientos, etc., originando obviamente problemas de tránsito, cuya severidad por lo general se puede medir en términos de accidentes y congestionamiento. (Reyes; Cárdenas 1994).

A pesar de que en los últimos tiempos con los avances tecnológicos se han logrado proyectar y construir sistemas viales más acordes con los vehículos que los utilizan, al igual que diseños urbanos modernistas, los problemas de tránsito en muchos lugares aún persisten. A continuación, se enuncian cinco factores que podrían incrementar estos problemas y que deben ser tomados en cuenta en cualquier intento de solucionarlos:

2.2.1 Diferentes tipos de vehículos en la misma ruta

- Diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.
- Automóviles diversos.
- Camiones y autobuses, de alta velocidad.
- Camiones pesados, de baja velocidad, incluyendo remolques.
- Vehículos tirados por animales, que aún subsisten en algunos países.
- Motocicletas, bicicletas, vehículos de mano, etc.

2.2.2 Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas

- Relativamente pocos cambios en el trazo urbano.
- Calles angostas, torcidas y pronunciadas pendientes.
- Aceras insuficientes.
- Carreteras que no han evolucionado.

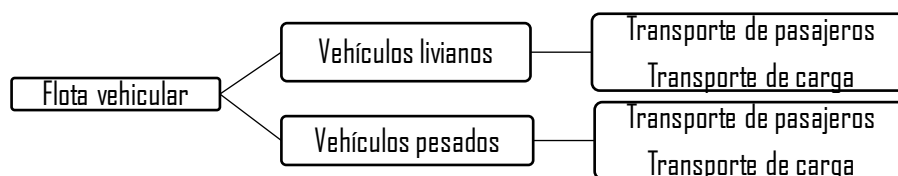
2.2.3 Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario

- Legislación y reglamentos del tránsito anacrónicos que tienden más a forzar al usuario de los mismos, que adaptarse a las necesidades del usuario.
- Falta de educación vial del conductor y del peatón.

2.3 Configuración vehicular por tipo de ejes.

La clasificación vehicular es una ordenación técnico - administrativo de vehículos motorizados que son impulsados de forma mecánica o por electricidad que circulan por la vía pública, en el cual cualquier persona o mercancía puede ser transportada. Consideramos los vehículos livianos y pesados, con una breve descripción de los mismos (Manual de metodología de evaluación de proyectos viales de la ABC, 2011)

Figura 1: Clasificación de la flota vehicular



Fuente: Manual de metodología de evaluación de proyecto de la ABC

2.4 Vehículo

En nuestras vías se observan diferentes variedades de vehículos, conforme pasa el tiempo los vehículos que se fabrican varían en sus características que son su peso, dimensiones, maniobrabilidad y la velocidad que tienen como también el número de vehículos que van aumentando cada día es considerable, esto se debe a la tecnología que el hombre ha ido avanzando (Reyes; Cárdenas, 1994).

2.4.1 Tipos de vehículos

Los tipos de vehículos que circulan por las vías son: Livianos, Medianos y Pesados.

- Livianos se encuentran los automóviles, camionetas, jeeps y furgones que transportan de 1 a 9 personas y una carga útil máxima de 2 toneladas respectivamente.
- Medianos se encuentran los tractores agrícolas y carros de limpieza como lo son los basureros fabricados para realizar una determinada actividad.
- Pesados se encuentran los autobuses, camiones, camiones con remolque y camiones tractor con semirremolque que transportan de 1 a 55 personas y carga útil en gran cantidad respectivamente.

Según la administradora boliviana de carreteras (ABC) tenemos los siguientes tipos de vehículos:

Tabla 3: Vehículo tipo

TIPO DE VEHÍCULOS	
Automóviles y vagonetas	

Camionetas



Minibuses



Microbuses



Bus mediano



Bus grande



Camión mediano



Camión grande (de 2 eje)



Camión grande (de 3 ejes)



Camión Semi-Remolque



Camión Remolque



Fuente: Manual de metodología de evaluación de proyecto de la ABC

Tabla 4: Clasificación vehicular según el tipo de vehículo

CLASIFICACIÓN	TIPO
Livianos	Automóvil
	Vagoneta
	Camioneta
	Microbús
	Minibús
Medianos	Camiones medianos
	Bus mediano
Pesado	Bus grande
	Camión grande (2 ejes)
	Camión grande (3 ejes)
	Camión semirremolque
	Camión remolque

Fuente: Elaboración propia

2.5 Parámetros fundamentales de estudio

2.5.1 Volumen e intensidad de tráfico

El volumen de tráfico vehicular se expresa generalmente en la cantidad de vehículos que pasan por la sección de una vía en un determinado periodo de tiempo, ese volumen de tráfico tiene características espaciales por ocupar un lugar y características temporales porque se observan en un tiempo establecido. El volumen que se determina se considera los que circulan en un solo sentido o en ambos sentidos (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

La intensidad es la cantidad de vehículos que pasan en una fracción de hora donde el tráfico vehicular es más intenso.

La unidad del volumen es expresada en (veh/hr).

- Volumen de tráfico promedio diario (TPD)

Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el

estudio se va a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA) (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

Si bien el concepto de TPD se estableció para estudios cuyo tiempo iba a ser de un año, en la práctica se han dado que normalmente para proyectos específicos de carreteras, aperturas de calles, ampliación de avenidas, etc. Se realicen estudios de volúmenes en periodos cortos menores a un año que sean igualmente significativos en sus valores (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

El volumen de tráfico promedio diario es el número total de vehículos que pasan durante 24 horas o días completos igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

De acuerdo al número de días del periodo se presentan los siguientes volúmenes de tráfico promedio diarios:

Tráfico promedio diario anual

$$\text{TPDA} = \frac{\text{TA}}{365}$$

Tráfico promedio diario mensual

$$\text{TPDM} = \frac{\text{TM}}{30}$$

Tráfico promedio diario semanal

$$\text{TPDS} = \frac{\text{TS}}{7}$$

- Volumen de tráfico promedio horario (TPH)

La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de una hora es el TPH, ese valor es mucho más sensible que el TPD, es decir el TPH nos puede dar valores de variación horaria donde se puede identificar las variaciones de volumen que se producen en cada hora a lo largo del día pudiendo también obtenerse cuales son las horas de mayor volumen u horas pico, cuales las de menor volumen u horas de baja intensidad, etc. El TPH tendrá un valor máximo que teóricamente

tendría que ser utilizado para fines de diseño geométrico, sin embargo, dado la posibilidad de que ese valor sea máximo solo se presente en pocas horas durante el día hacen que no sea un valor recomendable para el diseño (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

2.5.1.1 Medición de volúmenes de tráfico

Determinar la cantidad de vehículos ya sean horarios o diarios, es una necesidad dentro de la ingeniería de tráfico por lo tanto desde el inicio de esta ciencia se han buscado métodos que se adecúen a la realidad de cada estudio y a las posibilidades que se tengan de realizar los mismos (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

A continuación, se enumeran las modalidades más comúnmente usadas para aforos de tránsito.

- Aforos manuales

Son aquellos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

- Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados.
- La duración del aforo varía con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas.
- El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.
- Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

- Contadores mecánicos

Son aquellos que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos, sin que se requiera de personal permanente. Estos instrumentos se basan en principios como el de la

célula fotoeléctrica, presiones en planchas especiales o por medio de detectores magnéticos o hidráulicos. Atendiendo a su movilidad los contadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos se usan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras que los portátiles son más ligeros y se utilizan para hacer recuentos parciales durante periodos de tiempo limitados. Los contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente, es usado a menudo para estudios de tendencias, pueden ser actuados por células fotoeléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

- Contadores portátiles

Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil. Entre sus ventajas se cuentan: una sola persona puede mantener varios contadores y además proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo del aforo. Entre sus desventajas se cuentan: no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

- Método del vehículo en movimiento

Este método se emplea para obtener volúmenes de tránsito en un tramo de la vía urbana, sirviendo además para determinar tiempos y velocidades de recorrido medias. Para aplicar este método se emplea un vehículo con su conductor, que recorre el tramo de vía considerado a la velocidad media de la corriente de tránsito, acompañado de uno o más observadores que deben registrar el tiempo que tarda el tramo de la vía considerado, los vehículos que se cruzan con él y están en sentido contrario, los vehículos pasados y los que se adelantan a él, en el mismo sentido (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

2.5.1.2 Composición del volumen

Si bien es importante conocer el número de vehículos que circula por una sección de carretera o calle en periodos de tiempo definidos resulta también importante tener una

relación del tipo de vehículo que circulen en ese periodo de tiempo entendiéndose como la composición del tráfico (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

Generalmente los medianos representados buses de mediano tonelaje como ser micros y camiones pequeños diferenciándose por la capacidad de pasajeros o carga que puedan transportar este tipo de vehículos (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

En el tipo Pesados, se tendrá vehículos de alto tonelaje diferenciándose de acuerdo al número de ejes o ruedas y al tipo y cantidad de carga que puedan soportar (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

Este tipo de la clasificación de la composición no es rígida pudiendo establecerse la más adecuada para un proyecto en particular de una carretera. Es necesario conocer los porcentajes de cada tipo de vehículos que circulan para analizar los efectos que éstos producen como ser: el porcentaje de vehículos pesados que ejercerán una disminución de la capacidad de una ruta reducirán las velocidades de circulación requerirán mayor espacio para las maniobras (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

2.5.1.3 Periodo de recuento

De acuerdo a las necesidades de cada proyecto o estudio se pueden tener tres tipos de recuento de acuerdo a la periodicidad:

- Recuentos permanentes

Son aquellos que se realizan generalmente con contadores automáticos que han sido instalados en una sección de la carretera que se van registrando diariamente los volúmenes para luego procesarlos, tener las variaciones semanales, mensuales y anuales. Este tipo de recuento solo es factible en aquellas carreteras de mucha importancia por ejemplo en la actualidad debido a la tendencia de tener carreteras en concesión se hace necesario el registro permanente de los volúmenes de tráfico. Esto obviamente obliga a tener un presupuesto destinado al registro de valores de tráfico (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

- Recuento periódico

Cuando no se puede disponer de equipo permanente para toda la red vial que realice el trabajo del recuento de volúmenes se establecer que es muy útil realizar recuentos

periódicos en ciertas épocas del año que nos den valores contables y significativos cuya correlación nos permita adoptar como valores promedio del año. Estos recuentos se realizan de manera periódica, con una frecuencia máxima de una vez al mes y un total de hasta tres veces al año (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

- Recuento de tiempo específico

La ejecución de estudios de diseño de carreteras, diseño de trazos urbanos, evaluación de carreteras ya existentes, evaluación de trazos urbanos, estudios de variantes y ampliaciones por ser proyectos específicos involucran a un tramo definido o a un sector del trazo urbano definido, se establece que recuentos en tiempos específicos pueden ser útiles en su información para correlacionar con los ya existentes y coadyuvar a la toma de decisiones para dichos proyectos, se pueden tener 5 días o 30 días de recuento constante es decir las 24 horas del día en ese tiempo específico y procesar esa información proyectándola a volúmenes diarios, mensuales y anuales, de acuerdo a la variabilidad que pueda tener el volumen en diferentes épocas del año se elegirán la época más adecuada más significativa (Garber, NJ, y Hoel, LA, 2002).

2.5.2 Velocidad

La velocidad es el espacio que recorre un vehículo y el tiempo que tarda en recorrerlo.

La velocidad es variable que depende de las características mismas del vehículo, del conductor, de la vía, del volumen vehicular que se encuentra circulando y las condiciones atmosféricas. Se puede decir que un vehículo que circula a grandes velocidades ahorra un tiempo es decir que la distancia recorrida es la misma, pero sufre variaciones en el tiempo (Reyes; Cárdenas, 1994).

La unidad de la velocidad es expresada en (km/hr).

La velocidad de los vehículos está afectada por las características y estado de la vía, volumen y composición del tráfico, condiciones climatológicas y otros factores diversos que varían con el tiempo y el lugar (Reyes; Cárdenas, 1994).

2.5.2.1 Velocidad de punto

Llamada también velocidad instantánea es la velocidad con la que un vehículo pasa por un determinado punto de la vía.

Estos estudios tienen como propósito calcular el valor y la distribución de la velocidad de todos (conjunto) los vehículos que circulan por un lugar determinado bajo las condiciones imperantes en el momento de hacer el estudio (Reyes; Cárdenas, 1994).

Las características de la velocidad de punto tienen muchas aplicaciones en la ingeniería de tráfico en las cuales pueden ser:

- En la determinación de tendencias de la velocidad que pueden ser específicas por tipo de vehículo.
- Establecer límites de velocidad tanto máxima como mínima.
- Indicar la velocidad segura en curvas como en intersecciones.
- Establecer longitudes de zonas de rebase prohibido.
- Analizar zonas de protección para peatones en escuelas y universidades.

2.5.2.2 Velocidad de recorrido total

Llamada también velocidad de viaje es la distancia que recorre desde el inicio hasta el final del viaje entre el tiempo total de recorrido correspondiente. El tiempo total de recorrido incluye los tiempos de demora ya sea por disminución de velocidad y paradas a causa del volumen de tráfico en circulación y los dispositivos de control. Al realizar estudios de velocidad de recorrido total es necesario medir los tiempos de recorrido y de las demoras (Reyes; Cárdenas, 1994).

El estudio de estos tiempos se realiza con el siguiente propósito:

- Evaluar la eficiencia de una vía.
- Estimar el consumo de combustible.
- Determinar los lugares donde se retrasan más los vehículos y las causas de estos retrasos.
- Estos tiempos de recorrido se usan para tomar ciertas medidas de control en el tráfico como es prohibir los estacionamientos y coordinar señales.

2.5.2.3 Velocidad de crucero

Llamada también velocidad de marcha que resulta de dividir la distancia que recorre el vehículo entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Ese tiempo de marcha es un periodo de tiempo durante el cual un vehículo se encuentra en movimiento y no así ese tiempo que se tiene debido a las paradas o esperas a causa de la existencia de semáforos (Reyes; Cárdenas, 1994).

Al realizar estudios de velocidad de crucero nos determinan la calidad del movimiento vehicular a lo largo de la ruta.

2.5.2.4 Velocidad de proyecto

Llamada también velocidad directriz es la seleccionada para proyectar las características físicas de una vía que influyen en el movimiento de los vehículos. La velocidad de proyecto es la velocidad máxima a la cual los vehículos individuales pueden circular en un tramo de vía (Reyes; Cárdenas, 1994).

La selección de la velocidad de proyecto depende de la categoría de la futura vía, de la magnitud del volumen de tráfico, de la topografía de la región, del uso del suelo y de la disponibilidad de los recursos económicos (a mayor velocidad mayor costo de la obra) (Reyes; Cárdenas, 1994).

Al proyectar un tramo de una vía es conveniente, aunque no siempre factible mantener un valor constante para la velocidad de proyecto. Pero debido a los cambios de topografía que se presentan, se pueden usar diferentes velocidades de proyecto para distintos tramos (Reyes; Cárdenas, 1994).

2.5.2.5 Métodos de medición de velocidades

Los métodos de medición de velocidades de punto son las siguientes:

- Métodos manuales (cronómetro)
- Métodos automáticos (radar)

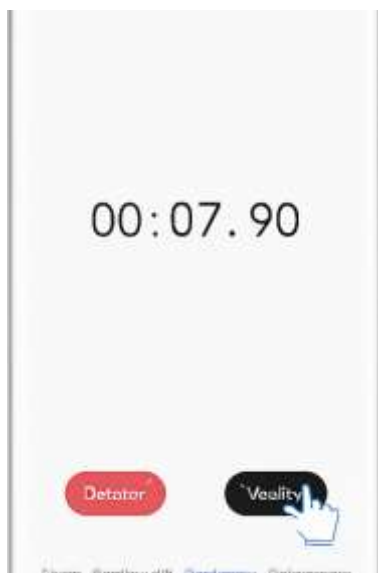
También para medir la velocidad de recorrido total como la velocidad de crucero se utilizan métodos manuales, el instrumento para estas mediciones es el cronómetro que en todo caso

se necesitarían dos cronómetros uno para medir el tiempo de recorrido y el otro para medir la duración de las demoras. Es importante tener un cronómetro que mida el tiempo en segundos y décimas de segundos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

- Métodos manuales

El cronómetro es el más utilizado manualmente para registrar velocidades de punto. Que se mide una distancia sobre la vía y que se marca con pintura dos rayas sobre el mismo, donde se miden los tiempos que tardan los vehículos en recorrer esa distancia. El cronómetro se pone en marcha cuando las ruedas del vehículo pasan la primera marca y se detiene el cronómetro cuando las ruedas delanteras tocan la segunda marca. La distancia que se medirá está determinada por la visibilidad, las características físicas de la vía y la velocidad general de los vehículos que se observan. Estas distancias por lo general están entre 20-100 metros de longitud. Al realizar mediante este método la medición de los tiempos, en las observaciones se pueden cometer errores de paralaje, los cuales se pueden evitar mediante el uso de enoscopios (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

Figura 2: Cronometro



Fuente: <https://www.samsung.com/co/support/mobile-devices/galaxy-s10>

- Métodos automáticos

El radar se trata de un equipo accionado por la batería de un vehículo y que se basa en el principio del radar. El aparato emite ondas de alta frecuencia que rebotan en el vehículo que se acerca. Al regreso de la onda está es registrada en el mismo aparato el cual de acuerdo con la intensidad de la onda, indica la velocidad del vehículo que se aproxima. La medida de velocidades con radar no es fácil cuando el volumen de tráfico es elevado, en cuyo caso es difícil distinguir un vehículo de otro y por otra parte cuando en el campo del aparato hay varios vehículos, siempre señala aquel la velocidad del más rápido. Estos instrumentos mecánicos contribuyen a evitar los errores causados por el tiempo de reacción del observador cuando estos son realizados manualmente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

Figura 3: Radar



Fuente: <https://www.technometrik.com/index.php/speed-guns/velocity>

2.5.3 Densidad

La densidad de tráfico es la cantidad de vehículos que en un instante dado se encuentran en una vía por unidad de longitud. La unidad de la densidad es expresada en veh/km. La densidad puede alcanzar un valor máximo cuando todos los vehículos están parados en fila, sin huecos entre ellos. En estas condiciones a los vehículos les resultaría imposible moverse incluso a pequeña velocidad sin chocar unos con otros. La densidad de tráfico influye de

forma directa en la calidad de la circulación ya que al aumentar la densidad resulta más difícil mantener la velocidad que el conductor desea y este se ve obligado a realizar un mayor número de maniobras (cambios de carril, aceleraciones y frenados) lo que hace la conducción más incomoda. Si la densidad se acerca a su valor máximo, se circula muy lentamente con frecuentes paradas y arranques. Por ello la densidad se utiliza como variable definitoria del nivel de calidad de la circulación en una vía, al estudiar el nivel de servicio en ella (López Maldonado; Pérez Zuriaga & Camacho Torregrosa, F. J., 2019).

- Medición de la densidad (k)

Es el número N, de vehículos que ocupan una longitud específica d, de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o todos los carriles de una calzada (López Maldonado; Pérez Zuriaga & Camacho Torregrosa, F. J., 2019).

$$k = \frac{N}{d}$$

- Determinación de la densidad

(López Maldonado; Pérez Zuriaga & Camacho Torregrosa, F. J., 2019). La densidad se puede determinar mediante la siguiente correlación que se lo conoce como la ecuación fundamental del tráfico vehicular, se lo expresa de la siguiente manera:

$$V = v * k$$

Donde:

V=volumen (Veh/hr)

V=velocidad (Km/hr)

k=densidad (Veh/Km)

2.5.4 Capacidad

Se define como la tasa máxima de flujo que soporta una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo

de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control (Reyes; Cárdenas, 1994).

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable (Reyes; Cárdenas, 1994).

2.5.4.1 Condiciones prevalecientes que influyen en la capacidad

Es necesario tener en cuenta el carácter probabilístico de la capacidad, por lo que puede ser mayor o menor en un instante dado. A su vez, como la definición misma lo expresa, la capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar la modifican, estos se agrupan en tres tipos generales: condiciones de infraestructura vial, condiciones del tránsito y condiciones de control (Reyes; Cárdenas, 1994).

-Factores que se refieren a las características de las vías y tránsito

- **Factores de corrección a la capacidad por pendiente**

Las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que pueden desarrollar en rasante horizontal. La reducción se traduce en un aumento en los intervalos entre vehículos que están en un pelotón y, por ende, en una disminución de la capacidad. Su efecto se considera en el factor de corrección Fpe de la tabla 5.

Tabla 5: Factores de corrección a la capacidad por pendiente

PEND. Asc. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos**

Una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga un carril saturado, aunque el volumen de tránsito sea muy bajo en el otro carril. Además, se deben considerar las verdaderas oportunidades de adelantamiento que ofrece el tramo en análisis, basándose en el porcentaje de zonas de no rebase. El efecto de estas dos variables se considera con el factor de corrección F_a de la tabla 6.

Tabla 6: Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDO A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma**

Los carriles y bermas estrechos, y la ausencia o malas condiciones de éstas, restan confianza a los conductores, lo que se traduce en una disminución de la velocidad, un aumento en los intervalos entre sus vehículos, y la consiguiente reducción de la capacidad de la vía. El factor que cuantifica este efecto es el F_a de la tabla 7.

Tabla 7: Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma

DE BERMA EN METROS	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes**

La capacidad se puede definir como el número máximo de intervalos entre vehículos que pasan por un punto de una vía en una hora. Los vehículos pesados reducen ese número de intervalos:

-Porque su paso demora más debido a su mayor longitud y a la menor velocidad que desarrollan.

- Porque retardan el paso de vehículos más rápidos que los siguen al obligarlos a reducir su velocidad.

-Porque el aumento del paso de un vehículo produce un incremento del intervalo.

-El efecto de la reducción en capacidad que causan los vehículos pesados está dado por el factor F_p , de la tabla 8.

Tabla 8: Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	60
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.9	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
	≥5.0	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75
2	0.5	0.94	0.90	0.85	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
	≥5.0	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72
3	0.5	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75
	1.0	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75
	1.5	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73
	2.0	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	3.0	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70
	4.0	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
	≥5.0	0.84	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69
4	0.5	0.93	0.88	0.83	0.80	0.76	0.74
	1.0	0.89	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	1.5	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.69
	2.0	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68
	3.0	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.66
	4.0	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
	≥5.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

2.5.5 Niveles de servicio

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 éstos al usar la vía.

Se establecieron dos medidas de efectividad que reflejan esa calidad de servicio, siendo la principal la velocidad media de los vehículos que transitan por la carretera, y como medida auxiliar la relación entre el volumen que circula y la capacidad. La velocidad media describe el grado de movilidad, mientras que la relación volumen/capacidad permite vigilar la proximidad a la congestión (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

Se han establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F.

- Nivel de servicio A:

Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

- Nivel de servicio B:

Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

- Nivel de servicio C:

Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con

otros vehículos o existir deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

- Nivel de servicio D:

El flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

- Nivel de servicio E:

Representa la circulación a capacidad cuando las velocidades son bajas pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a capacidad, en condiciones de inseguridad (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

- Nivel de servicio F:

Representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas y las operaciones dentro de éstas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente (Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS, 1996).

2.5.5.1 Condiciones prevalecientes que incluyen en el Nivel de Servicio

Se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc.

Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

- El índice de regularidad internacional (IRI):

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es una medida cuantitativa de la suavidad longitudinal de una superficie de rodadura. Representa el nivel de comodidad o incomodidad que experimenta un usuario al transitar por una vía, en función de las irregularidades del perfil longitudinal del pavimento.

El IRI se expresa en metros por kilómetro (m/km) y se calcula simulando el comportamiento de un vehículo estándar que circula sobre la superficie medida. Se obtiene normalmente mediante equipos especializados como el perfilómetro láser, o métodos alternativos como vehículos instrumentados y sistemas acelerométricos.

Para caminos no pavimentados, como los de **tierra**, los valores del IRI tienden a ser mucho más altos que en carreteras asfaltadas, se reconoce que los valores pueden superar los 12 m/km, y en zonas con deterioro severo (erosión, deformaciones, falta de drenaje, etc.) se pueden alcanzar valores de hasta 20 m/km o más, lo cual indica una conducción incómoda, lenta y peligrosa (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

- Las características de vía y tránsito:

- **Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes**

Las pendientes ejercen un efecto directo en el nivel de servicio al influir en la velocidad de los vehículos. Las pendientes ascendentes reducen la velocidad y las descendentes pueden aumentarla o disminuirla, pero generalmente las ascendentes son las críticas y así se consideran en este método. A fin de evitar un paso, la tabla 9 da directamente la velocidad a flujo libre de los automóviles para pendientes de distintas longitudes e inclinaciones. Es la velocidad media que se ha observado en Colombia cuando los automóviles transitan sin

interferencia en vías con características ideales excepto que su rasante no es siempre horizontal. Puede considerarse que esta velocidad V , se desarrolla en condiciones casi ideales y su determinación es el punto de partida para el cálculo del nivel de servicio.

Tabla 9: Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes

PEND.	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)											
Asc. %	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad**

Cualesquiera que sean las características de la vía que influyen en la velocidad media de una corriente vehicular, la variedad que existe entre las velocidades a que quieren ir los distintos conductores de vehículos causa interacciones entre ellos. Los conductores más lentos retardan a los más rápidos, mientras que los rápidos no obligan a acelerar a los lentos y, por lo tanto, el efecto de las interacciones es reducir la velocidad media de la corriente vehicular.

Cuando los conductores rápidos pueden adelantar a los lentos, el efecto de las interacciones no es tan grande, pero a medida que la vía se va saturando, los sobrepasos van siendo más difíciles y la velocidad media va disminuyendo. Además, parece que conforme aumenta la densidad los conductores van perdiendo confianza y reducen su velocidad. Lo cierto es que la utilización de la capacidad, medida por la relación volumen/capacidad, ejerce un efecto innegable sobre la velocidad de los vehículos. Este efecto está representado por el factor f ,

de la tabla 10. Como se trata de un factor de corrección al nivel de servicio medio que se brinda durante una hora, la relación volumen/capacidad se calcula dividiendo el volumen de demanda entre la capacidad “Ce” sin multiplicarla por el factor de pico horario FPH. Esta relación es menor que la relación volumen/Cs que se utiliza para observar la probabilidad de ser superada la capacidad durante un pico de cinco minutos.

Tabla 10: Factor de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad

RELACIÓN VOLUMEN/CAPACIDAD Q/C60	FACTOR DE CORRECCIÓN
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1.0	0.50

Fuentes: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie se rodadura**

La incidencia del estado del pavimento en la velocidad es también mayor que en la capacidad, y esta incidencia se acentúa conforme aumenta la velocidad, pues a muy bajas velocidades es prácticamente nula. Está representada por el factor de corrección fsr de la tabla 11.

Tabla 11: Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la rodadura

VELOCIDAD (Km/h) V1	IRI>6mm/m	IRI 4 a 6mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA
	Mayor del 30%	Del 15% al 30%	Menor del 15%
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 o 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado de ancho de carril y berma**

Los efectos de las deficiencias en los anchos de carril y berma se hacen sentir más en la velocidad que en la capacidad. Por esta razón los factores de corrección fcb de la tabla 12, que tienen en cuenta ase efecto, son menores que los correspondientes Fcb de la tabla 7.

Tabla 12: Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma

ANCHO UTILIZABLE DE BERMA EN METROS (m)	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.70
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Factores de corrección al nivel de servicio por presencia de vehículos pesados en pendiente ascendente**

Estos vehículos desarrollan menores velocidades que los vehículos ligeros y su presencia los retarda. La magnitud de este retardo depende de:

- La velocidad de los automóviles a flujo restringido, V1 pues mientras más rápidamente vayan, mayor será su retardo.
 - La inclinación y longitud de la pendiente del sector que se estudia, ya que ambos factores determinan la velocidad de los vehículos pesados.
 - El porcentaje de vehículos pesados, porque según aumenta este porcentaje se eleva la probabilidad de que causen interferencia al resto de los vehículos.
 - El volumen de tránsito en ambos sentidos, que al aumentar disminuye las oportunidades de sobrepaso e incrementa la longitud de los pelotones detrás de los camiones.
- El efecto de los vehículos pesados en el tránsito se tiene en cuenta determinando los factores fp1 y fp2 que aparecen en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13. Factores de corrección al nivel de servicio por presencia de vehículos pesados en pendiente ascendente

Pendiente Ascendente %	Longitud de la Pendiente (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN Km/h (v2)					
		≥90	80	70	60	50	≤40
0	Todas	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.0
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.0
	1.5	0.76	0.82	0.88	0.95	1.00	1.0
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.0
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
	≥3.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
2	0.5		0.00	0.91	0.95	1.00	1.0
	1.0		0.87	0.87	0.93	1.00	1.0
	1.5		0.82	0.85	0.92	0.99	1.0
	2.0		0.79	0.84	0.92	0.98	1.0
	2.5		0.79	0.84	0.92	0.98	1.0
	3.0		0.78	0.84	0.92	0.98	1.0
	≥3.5		0.77	0.84	0.92	0.98	1.0
3	0.5		0.84	0.88	0.92	0.98	1.0
	1.0		0.79	0.84	0.89	0.97	1.0
	1.5		0.75	0.80	0.87	0.95	1.0
	2.0		0.74	0.80	0.87	0.95	1.0
	2.5		0.73	0.79	0.87	0.95	1.0
	≥3.0		0.73	0.79	0.86	0.95	1.0
4	0.5		0.82	0.86	0.91	0.97	1.0
	1.0		0.77	0.81	0.87	0.95	1.0
	1.5		0.72	0.77	0.84	0.92	1.0
	2.0		0.72	0.77	0.83	0.92	1.0
	2.5		0.71	0.76	0.83	0.91	1.0
	3.0		0.71	0.75	0.82	0.91	1.0
	≥3.5		0.70	0.74	0.82	0.91	1.0

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

Tabla 14. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS	VOLÚMENES EN AMBOS SENTIDOS (veh/h)								
	≤ 50	100	200	300	400	500	600	800	≥ 1000
0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00
20	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.95
30	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
40	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
50	0.98	0.97	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
60	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
70	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
100	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

- **Velocidades en Km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno**

Una vez conocido el valor de la velocidad media V , se determina el nivel de servicio de la tabla 13. Esta tabla ofrece una escala separada para cada tipo de terreno y para el nivel de servicio, tiene en cuenta que las exigencias de los conductores disminuyen a medida que la topografía se va haciendo más abrupta. La tabla refleja con facilidad pequeños cambios en el diseño detallado de un sector. Mediante la mejora de algunas características de la vía como ser ancho de carril, berma, radio curvatura, etc.

Tabla 15: Velocidades en Km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno

Tipo de Terreno (Pendiente longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Plano (<3%)	>83	72-83	62-72	52-62	42-52	≤42
Ondulado (≥3-<6%)	>68	59-68	51-59	43-51	34-43	≤34
Montañoso (≥6-<8%)	>52	45-52	39-45	33-39	26-33	≤26
Escarpado(≥8%)	>36	31-36	27-31	23-27	18-23	≤18

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

2.6 Determinación de la capacidad y nivel de servicio

El procedimiento para el cálculo de las capacidades y niveles de servicio de las carreteras de dos carriles, que con fines ilustrativos se describe a continuación se basa en la metodología indicada en el manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras del INVIAS.

a) Resumen de los datos de estudio de tránsito y de las características de la carretera

- Pendiente del terreno en estudio.
- Longitud del terreno en estudio.
- Porcentaje de no rebase.
- Distribución direccional del tránsito.
- Ancho de carril y Bermas en (m), dimensiones de alternativas del estudio.
- Composición del tránsito (vehículos livianos o recreativos, Vehículos medianos y vehículos pesados)

b) El cálculo de la capacidad se realiza mediante la Sgte. Fórmula

$$Cap = 3200 * f_{pe} * f_d * f_{cb} * f_p$$

c) Resumen de los datos de estudio de tránsito y de las características de la carretera

- Pendiente del terreno en estudio.
- Longitud del terreno en estudio.
- Volumen de tránsito en las horas pico (veh por hora)
- Estado de la superficie de la rodadura IRI.
- Ancho de carril y Bermas en (m), dimensiones de alternativas del estudio.
- Composición del tránsito (vehículos livianos o recreativos, Vehículos medianos y vehículos pesados.
- Tipo de terreno conocido por observación o resultados de estudio preliminar.

d) El cálculo del nivel de servicio se realiza mediante la Sgte. Fórmula

$$V1 = Vi * f_u$$

$$V2 = V1 * f_{sr} * f_{cb}$$

$$V3 = V2 * f_{p1} * f_{p2}$$

2.7 Relación de parámetros fundamentales

2.7.1 Relación entre velocidad-volumen

A un aumento de volumen corresponde una reducción de la velocidad media hasta llegar a un punto de densidad crítica que corresponde al máximo volumen. A partir de este punto decrecen ambas: velocidad y volumen.

Este comportamiento se observa en tramos completos mejor que en secciones aisladas y cuanto más largo sean los tramos, los resultados son de mayor consistencia. La velocidad media se deduce del conjunto de las velocidades de cada vehículo que son menos dispersas a medida que la densidad es más alta.

La velocidad depende también de otros factores, independientes del volumen, y que son función unas veces de la vía, características geométricas, control de sus accesos y otras de agentes externos como las condiciones atmosféricas.

La relación velocidad media-volumen en condiciones de circulación continua o ininterrumpida puede representarse por una curva. En condiciones de circulación interrumpida o discontinua que son normales por ejemplo en vías urbanas con semáforos es difícil establecer la relación volumen-velocidad. La velocidad está condicionada por factores muy distintos, límites de velocidad, progresión de los

semáforos o capacidad de intersecciones próximas. Los resultados obtenidos son poco consistentes (Navarro, S., 2018).

2.7.2 Relación entre velocidad-densidad

Aunque la densidad es el número de vehículos por una determinada longitud es un valor instantáneo, puede también expresarse como el valor medio de varias situaciones sucesivas.

La relación de velocidad-densidad es similar a la relación velocidad-volumen en la parte de la curva en que la circulación es estable. Una vez pasado el punto crítico, la densidad continúa aumentando, mientras el volumen decrece. La relación velocidad densidad puede representarse en forma lineal con un grado de correlación aceptable para vías con accesos controlados: en calles sin control de accesos parece que se ajusta mejor una curva con alguna concavidad, para densidades comprendidas entre 15 y 100 vehículos por kilómetro.

En un estudio realizado en la universidad de Yale sobre las relaciones entre densidad, volumen y velocidad, se llegó a la conclusión de que la corriente de tráfico puede encontrarse en tres situaciones distintas: circulación normal, inestable y forzada pudiendo definirse cada zona en términos de probabilidad. La densidad define así el grado de inestabilidad de tráfico. En el caso de corrientes de tráfico discontinuas, los resultados que se obtienen son similares (Navarro, S., 2018).

2.7.3 Relación entre volumen-densidad

La relación entre el volumen de circulación y la densidad tiene forma aproximada de parábola de eje vertical, si la densidad se representa en el eje de abscisas y con el vértice en la parte superior.

La densidad crítica es decir aquella para la que se alcanza la máxima capacidad varía con el tipo de carretera habiéndose observado que cuando las características de esta son más favorables, los conductores tienden a mantener intervalos más reducidos. En las condiciones americanas las densidades críticas se sitúan entre 35 y 45 vehículos por kilómetro de carril.

Hasta llegar a valores próximos a la densidad crítica, a un aumento de densidad corresponde un incremento en volumen, pero no exactamente proporcional, pues los conductores al crecer la densidad van reajustando las velocidades. Al llegar al mínimo intervalo tolerable, que corresponde a la densidad crítica, un aumento de la densidad solo se consigue reduciendo considerablemente la velocidad y consecuentemente, el volumen baja. Cuando se alcanza una situación de congestión y se reduce el volumen, si los vehículos continúan llegando al tramo congestionado en mayor medida que salen de él, se producen acumulaciones que originan una onda de congestión que avanza en sentido contrario a la marcha de los vehículos. Aunque la causa que produjo la congestión haya desaparecido, la acumulación de vehículos creada por ella puede mantener la congestión durante un tiempo considerable, que a veces llega a ser de más de una hora y afectar a tramos que pueden alcanzar algunos kilómetros de longitud (Navarro, S., 2018).

2.8 Señalización

La señalización vial tiene como objetivo organizar y controlar el tráfico, asegurando la seguridad de conductores, peatones y pasajeros. A través de la señalización se indica a conductores y peatones la forma correcta y segura de transitar por la vía, evitando riesgos y demoras. (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

2.8.1 Señalización vertical

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas a los lados o adyacentes a un camino que, mediante símbolos, letras, reglamentan las prohibiciones o restricciones respecto al uso de las vías, previenen a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, así como proporcionan información necesaria para guiar a los usuarios (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

Toda señal vertical debe transmitir un mensaje nítido inequívoco al usuario de la vía, lo que se logra a través de símbolos o leyendas, donde estas últimas comprenden palabras o números (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

- Colocación

La ubicación de una señal vertical corresponde a un tema de gran importancia, considerando que de esto dependerá la visibilidad adecuada y la relación oportuna del usuario de la vía (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

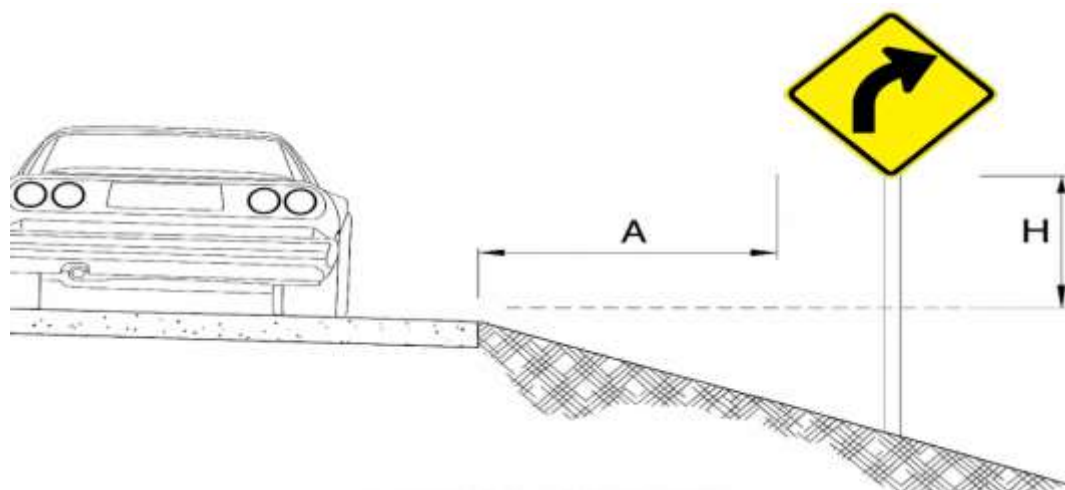
- Ubicación longitudinal

La ubicación de una señal debe garantizar que un usuario que se desplaza a la velocidad máxima que permite la vía, será capaz de interpretar y comprender el mensaje que se le está transmitiendo, con el tiempo suficiente para efectuar las acciones que se requieran para una segura y eficiente operación (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

Las distancias longitudinales correspondientes a la instalación de las señales, serán definidas caso a caso cuando se aborde la función de cada una, esto debido a que cuenta con diferentes criterios de ubicación de acuerdo a su utilidad.

Cuando la instalación de una señal vertical coincide con el emplazamiento de otra señal vertical, las distancias indicadas anteriormente podrán ser modificadas en un $\pm 20\%$ como máximo (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

Figura 4. Ubicación transversal de señales verticales



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Tabla 16. Ubicación transversal de señales verticales distancia y altura

Tipo de Vía	A(m)	H(m)	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
Carreteras	2,0	1,5	2,2
Camino	1,5	1,5	2,2

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Donde A corresponde a la distancia medida desde el borde exterior de la calzada, hasta el canto interior de la señal vertical; H es la distancia entre la rasante a nivel del borde exterior de la calzada y el canto o tangente al punto inferior de la señal (*Manual de Dispositivos de Control de Tránsito*, ABC, 2007).

Las señales verticales se clasifican en las siguientes:

2.8.1.1 Señales Preventivas

Propósito: Alertan a los conductores de posibles peligros en la vía y su entorno.

Características: Generalmente, son señales de color amarillo con formas triangulares o romboides.

Ejemplos: Curvas, zona escolar, pendientes, cruces de peatones.

Figura 5. Señales verticales preventivas



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.8.1.2 Señales Reglamentarias

Propósito: Indican obligaciones, prohibiciones o restricciones que deben ser obedecidas para no infringir la ley.

Características: Suelen ser de color blanco, con detalles en rojo o negro, y formas circulares.

Ejemplos: Prohibido estacionarse, límite de velocidad, pare, ceda el paso.

Figura 6. Señales verticales reglamentarias



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.8.1.3 Señales Informativas

Propósito: Proporcionan información sobre ubicaciones, servicios y direcciones para orientar a los usuarios de la vía.

Características: Son de color azul, verde o marrón, y tienen formas rectangulares o cuadradas.

Ejemplos: Señales de dirección, hospitales, estacionamientos, zonas turísticas.

Figura 7. Señales verticales informativas



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.8.2 Dispositivos de seguridad vial

Propósito: Apoyan la seguridad y la organización del tráfico con elementos físicos.

Barreras: Delimitan zonas de seguridad o desvíos en obras.

Delineadores Verticales: Guían a los conductores en curvas cerradas o tramos de visibilidad reducida.

Líneas en la Carretera: Marcan los carriles, los límites de la vía y áreas de cruce.

Figura 8. Dispositivos de seguridad vial



Fuente: <https://afinsuministros.cl/en/product/barrera-metalica-de-contencion/>

2.8.3 Espejos convexos

Un espejo convexo es aquel cuya superficie reflectante está orientada hacia el exterior de la curva, es decir, la curvatura del espejo se aleja del observador. Los espejos convexos tienen varias aplicaciones, siendo una de las más conocidas en la seguridad vial y en la conducción.

Los espejos convexos se utilizan en zonas de visibilidad limitada, como curvas peligrosas e intersecciones, para aumentar el campo de visión de los conductores, lo que reduce la

probabilidad de accidentes al permitir una mayor observación de los vehículos que se aproximan (Adams, W. H. M.).

Figura 9. Espejos convexos

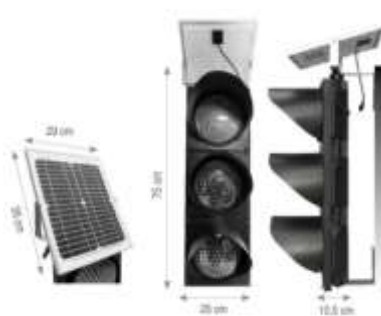


Fuente: <https://porter.com.py/index.php?route=product/search&tag=Convexo>

2.9 Semáforos LED solar

Un semáforo LED solar es un sistema de semáforo que utiliza luces LED para su señalización y energía proveniente de paneles solares. Esto lo hace independiente de la red eléctrica convencional, lo que resulta en un ahorro significativo de energía y una mayor sostenibilidad. Los paneles solares captan la luz del sol durante el día y la convierten en electricidad, que se almacena en baterías para garantizar el funcionamiento del semáforo durante la noche o en días nublados (Omer, H. M., 2015).

Figura 10. Semáforos LED solar



Fuente: <https://tecnol.es/shop/tecnol-urban/es/tq-semaforo-led-solar>

2.10 Tipos de solución

Si el problema del tránsito causa pérdida de vidas y bienes, o sea que equivale a una situación de falta de seguridad para las personas y de ineficiencia económica del transporte,

la solución, lógicamente, se obtendrá haciendo el tránsito seguro y eficiente. (Reyes; Cárdenas 1994).

Hay tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito:

2.10.1 Solución integral

Si el problema es causado por un vehículo moderno sobre carreteras y calles antiguas, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Se necesitará crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario, con calles destinadas a alojar al vehículo moderno, con todas las características inherentes al mismo (Reyes; Cárdenas 1994).

2.10.2 Solución parcial de alto costo

Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene, con ciertos cambios necesarios que requieren fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruceros peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre, muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc. (Reyes; Cárdenas 1994).

2.10.3 Solución parcial de bajo costo

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial; en el sistema de calles con circulación en un sentido; el estacionamiento de tiempo limitado, el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos, la canalización del tránsito a bajo costo, las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos (Reyes; Cárdenas 1994).

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 Ubicación

El presente trabajo de evaluación del tráfico vehicular se realizó, en el municipio de Villa Montes está ubicado en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma de Bolivia, la provincia del Gran Chaco. La ciudad está ubicada en las laderas de la Serranía del Aguarague.

Limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con el municipio de Yacuiba y la República de la Argentina, al este con Paraguay y al oeste con la Provincia O'Connor del departamento de Tarija.

Figura 11: Mapa



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Villa_Montes

Figura 12: Mapa de Tarija



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Villa_Montes

Figura 13: Carretera Tarija-Villa Montes tramo El Angosto



Fuente: Google Earth

Figura 14: Puntos críticos del tramo de estudio

Fuente: <https://nativabolivia.org/ruta-turistica-pilcomayo/>

3.1.1 Coordenadas

Tabla 17: Coordenadas UTM

Coordenadas del Punto inicial		Coordenadas del Punto final	
446685.00 m E	7648827.00 m S	440448.00 m E	7652601.00 m S
Elev. 401 m.s.n.m.		Elev. 477 m.s.n.m.	

Fuente: Elaboración propia

3.2 Características del tramo de estudio

El área de estudio, denominada “El Angosto de Villa Montes”, cuenta con una vía de rodadura de tierra a lo largo de 12,4 km. En los sectores críticos, el ancho de la plataforma es de 4 m para ambos sentidos y carece de bermas; Sin embargo, en otros sectores alcanza hasta 7,8 m de ancho y dispone de bermas. La ruta presenta pendientes que varían entre el 0,5 % y el 5 %, y su señalización se encuentra en estado decadente. La ciudad en la que se encuentra este tramo presenta un clima semiárido cálido y subhúmedo tropical. La vía está expuesta a zonas de derrumbes y soporta un volumen de tráfico diario superior a 400 vehículos por día. Además, forma parte de la red fundamental del país, siendo esta un tramo de la ruta 11.

3.3 Información básica del estudio

3.3.1 Aforo vehicular

Para la obtención de datos se realizó un muestreo aleatorio simple, cada elemento tuvo igual oportunidad de ser seleccionado y cada combinación de los elementos muestrales tuvo igual oportunidad de seleccionarse, es decir, la elección del vehículo a registrarse fue según el orden de llegada a los puntos de aforo.

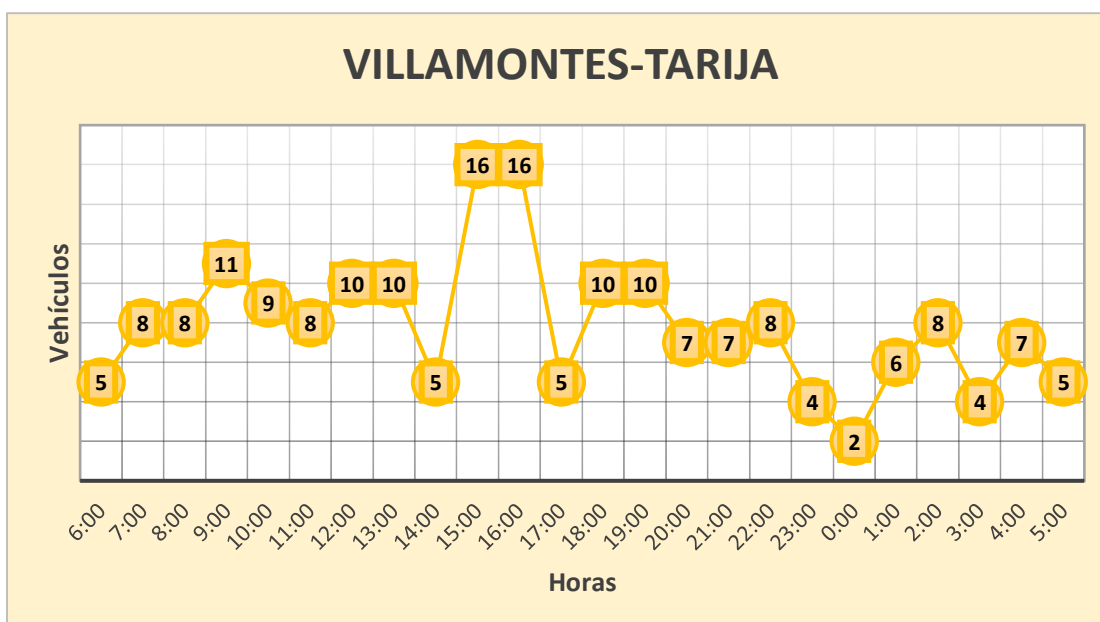
El aforo en el punto consistió en registrar a los diferentes tipos de vehículos como ser: livianos, medianos y pesados, el mismo a su vez se dividió en dos principales partes el primero para encontrar las horas pico y el segundo para obtener los volúmenes en las tres horas de mayor flujo vehicular.

3.3.1.1 Determinación de las horas picos

Para la recolección de datos de las intensidades se ubicó el punto de aforo donde la visibilidad sea clara al punto de aforo. Se utilizaron planillas manuales las cuales fueron elaboradas según el tipo de vehículos y la hora de circulación.

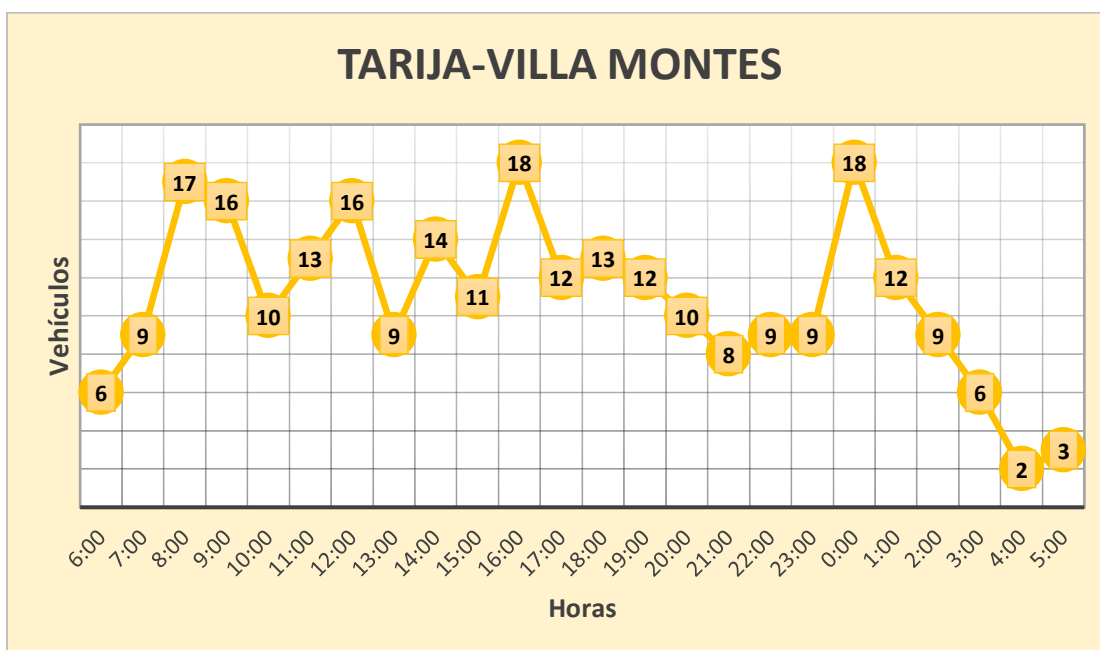
Para las horas picos se procedió con el aforo desde las 6:00 a.m. hasta las 5:00 a.m. de donde se obtuvo luego de un análisis de datos las tres horas de mayor demanda de vehículos. Para Villa Montes-Tarija tenemos las 09:00 a.m., 16:00 p.m. y 19:00 p.m., para Tarija-Villa Montes tenemos las 09:00 a.m., 16:00 p.m. y 00:00 a.m..

Figura 15: Horas picos de Villa Montes -Tarija



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Horas picos de Tarija-Villa Montes



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2 Formulario de aforo

Tabla 18: Formulario de campo para conteo de clasificación de vehículos -simple

1	NRO.	CLASE DE VEHÍCULOS	SENTIDO DE T-V				TOTAL
			08:00 a 08:15	08:15 a 08:30	08:30 a 08:45	08:45 a 09:00	
Liviano	1	automóvil, vagoneta	1	1	2	2	6
	2	camionetas	1				1
	3	minibús	1				1
Mediano	4	microbús					
	5	bus mediano					
	6	camión mediano	1				1
Pesado	7	bus grande					
	8	camión grande (2 ejes)	1	1	2		4
	9	camión grande (3 ejes)					
	10	camión semirremolque	1				1
	11	camión remolque					

Fuente: Elaboración propia

El aforo se realizó dividiendo los vehículos en livianos, medianos y pesados, en un solo punto de aforo, en ambos carriles Tarija Villa Montes y Villa Montes Tarija.

3.3.1.3 Aforo de Volúmenes y Depuración

Tabla 19: Volúmenes Tarija-Villa Montes

VOLÚMENES						
TURNOS	Nº DE MUESTRAS	TL	TM	TP	TPH	TPH de < a >
M	1	8	1	5	14	5
T	2	9	4	2	15	11
N	3	3	0	15	18	11
M	4	11	2	8	21	12
T	5	12	4	3	19	13
N	6	3	0	18	21	13
M	7	10	1	8	19	13
T	8	9	2	11	22	14
N	9	7	0	19	26	14
M	10	9	1	6	16	15
T	11	8	0	10	18	15
N	12	7	0	11	18	15
M	13	11	1	8	20	15
T	14	10	1	5	16	16
N	15	3	1	16	20	16
M	16	8	1	9	18	16
T	17	8	1	9	18	17
N	18	7	1	15	23	18
M	19	8	4	3	15	18
T	20	9	2	4	15	18
N	21	7	0	15	22	18
M	22	8	0	5	13	18
T	23	5	5	1	11	18
N	24	3	1	10	14	18
M	25	5	0	0	5	19
T	26	6	3	3	12	19
N	27	3	0	15	18	19
M	28	9	3	3	15	20
T	29	7	5	1	13	20
N	30	2	0	14	16	21
M	31	12	2	8	22	21
T	32	7	2	2	11	22
N	33	3	0	16	19	22
M	34	16	0	1	17	22
T	35	11	0	2	13	23
N	36	3	0	15	18	26

Fuente: Elaboración propia

volumen	17	Veh/h
---------	----	-------

Tabla 20: Volúmenes Villa Montes-Tarija

VOLÚMENES						
TURNOS	Nº DE MUESTRAS	TL	TM	TP	TPH	TPH de < a >
M	1	8	0	2	10	7
T	2	8	0	8	16	10
N	3	2	0	5	7	11
M	4	7	2	3	12	11
T	5	12	2	3	17	11
N	6	3	0	8	11	11
M	7	8	3	3	14	11
T	8	9	1	1	11	12
N	9	7	0	5	12	12
M	10	9	1	5	15	12
T	11	11	0	2	13	13
N	12	5	0	6	11	13
M	13	13	3	6	22	13
T	14	15	3	1	19	13
N	15	5	0	6	11	13
M	16	11	3	4	18	14
T	17	9	3	0	12	14
N	18	7	1	3	11	14
M	19	14	1	3	18	15
T	20	8	2	3	13	15
N	21	8	0	6	14	16
M	22	11	2	3	16	16
T	23	17	1	3	21	17
N	24	7	0	6	13	18
M	25	12	0	1	13	18
T	26	10	1	3	14	19
N	27	5	0	8	13	19
M	28	15	2	3	20	19
T	29	14	3	2	19	20
N	30	10	0	5	15	21
M	31	17	3	4	24	21
T	32	10	2	7	19	22
N	33	15	0	9	24	24
M	34	26	1	7	34	24
T	35	24	0	2	26	26
N	36	10	0	11	21	34

Fuente: Elaboración propia

volumen	16	Veh/h
---------	----	-------

En esta tabla se presentan los volúmenes de vehículos livianos, medianos y pesados. Para obtener el TPH, se sumaron las tres columnas correspondientes. A partir de estos datos, calculamos la media y la desviación estándar. Para Tarija - Villa Montes una media de 16,97 veh/h y una desviación de 4,10 y para Villa Montes - Tarija una media de 16,08 veh/h y una desviación de 5,45.

Para depurar los valores, a la media restamos dos veces la desviación estándar para eliminar los valores inferiores y sumamos dos veces la desviación para depurar los valores superiores. Luego, ordenamos los valores del TPH de menor a mayor, lo cual facilita el proceso de depuración. A continuación, calculamos una nueva media sin considerar los valores depurados; este resultado representa nuestro volumen de estudio. Todo el procedimiento se realizó para los volúmenes en ambos sentidos.

3.3.1.4 Validación de volúmenes

Para la validación de los volúmenes en ambos sentidos se tomaron los datos de aforo del año 2024 de la administradora boliviana de carreteras (ABC), proporcionados por la gerencia general de la (ABC) Tarija, los cuales fueron procesados en gabinete y se obtuvo valores de gran similitud con los datos de conteo propio. Los datos proporcionados se procesaron de la misma manera que los datos propios calculando volúmenes en ambos sentidos para el tramo en estudio. A continuación, se muestra una tabla de resumen de estos volúmenes.

Tabla 21: Validación de volúmenes obtenidos

CONTEO	VOLÚMENES (VILLAMONTES-TARIJA)	VOLÚMENES (TARIJA- VILLA MONTES)
Conteo Propio	16 veh/h	17 veh/h
Conteo de la ABC	23 veh/h	18 veh/h

Fuente: Elaboración propia

3.4 Capacidad

Se define a la capacidad vehicular como el número de vehículos máximo que pasa por una sección de una calle o carretera en un periodo de tiempo que puede ser normalmente horario o diario y que razonablemente puede esperarse que pasen por dicho tramo de camino o calle. El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15

minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable.

En el estudio se realizó en intervalos de 1 hora para la obtención de datos.

3.4.1 Capacidad en vías ininterrumpidas

Se realizó el cálculo de capacidad según el manual INVIAS que tiene un valor de capacidad ideal de 3200, el cual se corregirá por cuatro factores, los valores de estos factores se encontraran en tablas, para las cuales se necesita de los siguientes datos del “Punto 3” (Galería):

-Volumen= 17veh/h

-Distribución por sentido= 52/48

-% de vehículos pesados=46%

-Pendiente=1,2%

-Longitud del tramo=1km

-Ancho de carril=4,5

-Ancho de berma=0,65

-% de No rebase=25%

Cálculos de la capacidad

-Se corrige por los cuatro factores, que se verá a continuación:

Tabla 22. Factores de corrección a la capacidad por pendiente Fpe

PEND. Asc. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$\begin{array}{ll} X_0=1 & Y_0=0,99 \\ X_1=2 & Y_1=0,98 \\ X=1,20 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,99 + \frac{0,98 - 0,99}{2 - 1}(1,20 - 1) = 0,99$$

-De la tabla Fpe interpolamos entre los valores de pendientes de 1% y 2% para encontrar el valor en 1,20% para una longitud de 1km. Lo cual nos da un Fpe=0,99

Tabla 23. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos Fd

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDO A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$\begin{array}{ll} X_0=50/50=1 & Y_0=1 \\ X_1=60/40=1,5 & Y_1=0,89 \\ X=52/48=1,1 & Y=? \end{array}$$

$$y = 1 + \frac{0,89 - 1}{1,5 - 1}(1,1 - 1) = 0,98$$

$$\begin{array}{ll} X_0=50/50=1 & Y_0=1 \\ X_1=60/40=1,5 & Y_1=0,87 \\ X=52/48=1,1 & Y=? \end{array}$$

$$y = 1 + \frac{0,87 - 1}{1,5 - 1}(1,1 - 1) = 0,98$$

$$\begin{array}{ll} X_0=20 & Y_0=0,98 \\ X_1=40 & Y_1=0,98 \\ X=25 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,98 + \frac{0,98 - 0,98}{40 - 20}(25 - 20) = 0,98$$

-De la tabla Fd interpolamos entre los valores de distribución de 50/50 y 60/40 para encontrar el valor en 52/48 para un porcentaje de no rebase 20% y luego para 40%, con estos valores se interpolan por segunda vez para encontrar el valor en 25%. Lo cual nos da un $F_d=0,98$.

Tabla 24. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma Fcb

DE BERMA EN METROS	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$X_0=0,5 \quad Y_0=0,89$$

$$X_1=1 \quad Y_1=0,90$$

$$X=0,65 \quad Y=?$$

$$y = 0,89 + \frac{0,90 - 0,89}{0,5 - 1} (0,65 - 1) = 0,89$$

-De la tabla Fcb interpolamos entre los valores de berma de 1m y 0,5m para encontrar el valor en 0,65m usando un carril de 2,70m. Lo cual nos da un $F_{cb}=0,89$

Tabla 25. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes Fp

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	60
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.9	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
	≥5.0	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75
2	0.5	0.94	0.90	0.85	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
	≥5.0	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$\begin{array}{ll} X_0=40 & Y_0=0,83 \\ X_1=50 & Y_1=0,80 \\ X=46 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,83 + \frac{0,80 - 0,83}{50 - 40}(46 - 40) = 0,81$$

$$\begin{array}{ll} X_0=40 & Y_0=0,82 \\ X_1=50 & Y_1=0,79 \\ X=46 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,82 + \frac{0,79 - 0,82}{50 - 40}(46 - 40) = 0,80$$

$$\begin{array}{ll} X_0=1 & Y_0=0,81 \\ X_1=2 & Y_1=0,80 \\ X=1,20 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,81 + \frac{0,80 - 0,81}{2 - 1}(1,2 - 1) = 0,81$$

-De la tabla F_p interpolamos entre los valores de porcentaje de vehículos pesados de 40% y luego para 50% para encontrar el valor en 46%, con estos valores se interpola por segunda vez para encontrar el valor con una pendiente de 1,2%. Lo cual nos da un $F_p=0,81$.

-Para el cálculo de la capacidad, tenemos la capacidad inicial para condiciones ideales.

-Primero afectamos ese valor inicial por el factor que influye la pendiente.

-Segundo se afecta por el factor de distribución por sentido.

-Tercero se afecta por el factor de carril y berma.

-Cuarto se afecta por el factor de vehículos pesados, una vez obtenidos los 4 factores se los multiplica por la capacidad ideal y se obtiene la capacidad real.

3.4.2 Resultados de la capacidad

$$cap = 3200 * f_{pe} * f_d * f_{cb} * f_p$$

$$cap = 3200 * 0,99 * 0,98 * 0,89 * 0,81$$

$$cap = 2243veh/h$$

Tabla 26. Resultado de la Capacidad

Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto normal
2027veh/h	2242veh/h	2243veh/h	2523veh/h

Fuente: Elaboración propia

3.5 Nivel de servicio

Se realizó el cálculo de nivel de servicio según el manual INVIA que parte de un valor de velocidad media ideal, después se va afectando por factores de corrección, los cuales se encuentran en las tablas, para las cuales se necesita de los siguientes datos del “Punto 3” (Galería):

-**Volumen**= 17veh/h

-**Distribución por sentido**=52/48

-**% de vehículos pesados**=46%

-**Pendiente**=1,2%

-**Longitud del tramo**=1km

-**Ancho de carril**=4,5

-Ancho de berma=0,65

-Relación volumen/capacidad=0,01

-IRI=16mm/m

-Tipo de terreno= Montañoso

Cálculo del nivel de servicio

-Se inicia obteniendo la velocidad inicial.

Tabla 27. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes Vi

PEND. Asc. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$X_0=1 \quad Y_0=86,00$$

$$X_1=2 \quad Y_1=82,00$$

$$X=1,20 \quad Y=?$$

$$y = 86 + \frac{82 - 86}{2 - 1} (1,20 - 1) = 85,20$$

-De la tabla Vi interpolamos entre los valores de pendientes de 1% y 2% para encontrar el valor en 1,20% para una longitud 1km. Lo cual nos da un Vi=85,20 km/h

Tabla 28. Factor de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu)

RELACIÓN VOLUMEN/CAPACIDAD Q/C60	FACTOR DE CORRECCIÓN
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1.0	0.50

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

-De la tabla fu entramos con un valor de volumen/capacidad de 0,1 y tenemos directamente un valor de fu=0,99.

$$V1 = Vi * fu$$

$$V1 = \frac{85,20km}{h} * 0,99 = 84,3km/h$$

Tabla 29. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la rodadura (fsr)

VELOCIDAD (Km/h) V1	IRI>6mm/m	IRI 4 a 6mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA
	Mayor del 30%	Del 15% al 30%	Menor del 15%
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 o 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$X_0=80 \quad Y_0=0,73$$

$$X_1=90 \quad Y_1=0,63$$

$$X=84,3 \quad Y=?$$

$$y = 0,73 + \frac{0,63 - 0,73}{90 - 80} (84,3 - 80) = 0,69$$

-De la tabla fsr interpolamos entre los valores de velocidad de 80km/h y 90km/h para encontrar el valor en 84,3 usando un IRI de 16mm/m. Lo cual nos da un Fsr=0,69

Tabla 30. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcd)

ANCHO UTILIZABLE DE BERMA EN METROS (m)	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.70
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$\begin{array}{ll} X_0=1 & Y_0=0,69 \\ X_1=0,5 & Y_1=0,66 \\ X=0,65 & Y=? \end{array}$$

$$y = 0,69 + \frac{0,66 - 0,69}{0,5 - 1} (0,65 - 1) = 0,67$$

-De la tabla 12 interpolamos entre los valores de berma de 1m y 0,5m para encontrar el valor en 0,65m usando un ancho de carril de 2,70m. Lo cual nos da un Fcb=0,67

$$V2 = V1 * fsr * fcb$$

$$V2 = \frac{84,3km}{h} * 0,69 * 0,67 = 38,7km/h$$

Tabla 31. Factores de corrección al nivel de servicio por de presencia de vehículos pesados en pendiente ascendente (fp1)

Pendiente Ascendente %	Longitud de la Pendiente (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMOVILES EN Km/h (v2)					
		≥90	80	70	60	50	≤40
0	Todas	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.0
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.0
	1.5	0.76	0.82	0.88	0.95	1.00	1.0
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.0
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
	≥3.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.0
2	0.5		0.00	0.91	0.95	1.00	1.0
	1.0		0.87	0.87	0.93	1.00	1.0
	1.5		0.82	0.85	0.92	0.99	1.0
	2.0		0.79	0.84	0.92	0.98	1.0
	2.5		0.79	0.84	0.92	0.98	1.0
	3.0		0.78	0.84	0.92	0.98	1.0
	≥3.5		0.77	0.84	0.92	0.98	1.0

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

De la tabla fp1 con una velocidad menor a 40Km/h para una pendiente 1,20%. Lo cual nos da un Fp1=1

Tabla 32. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados (fp2)

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS	VOLÚMENES EN AMBOS SENTIDOS (veh/h)								
	≤ 50	100	200	300	400	500	600	800	≥ 1000
0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00
20	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.95
30	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
40	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
50	0.98	0.97	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
60	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
70	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
100	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$X_0=40$$

$$Y_0=1$$

$$X_1=50$$

$$Y_1=0,98$$

$$X=46$$

$$Y=?$$

$$y = 1 + \frac{0,98 - 1}{50 - 40} (46 - 40) = 0,99$$

De la tabla fp2 interpolamos entre los valores de porcentaje de vehículos pesados de 40% y 50% para encontrar el valor en 46% usando un volumen de <50. Lo cual nos da un Fp2=0,99

$$V3 = V2 * fp1 * fp2$$

$$V3 = \frac{38,7km}{h} * 1 * 0,99 = 38,3km/h$$

Tabla 33. Velocidades en Km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno

Tipo de Terreno (Pendiente longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Plano (<3%)	>83	72-83	62-72	52-62	42-52	≤42
Ondulado (≥3-<6%)	>68	59-68	51-59	43-51	34-43	≤34
Montañoso (≥6-<8%)	>52	45-52	39-45	33-39	26-33	≤26
Escarpado(≥8%)	>36	31-36	27-31	23-27	18-23	≤18

Fuente: Manual de capacidad y nivel de servicio del INVIAS

De la tabla NS encontramos con un tipo de terreno plano y un valor de 38,3km/h el nivel de servicio NS=F

3.5.1 Resultado del nivel de servicio

Tabla 34. Resultado de Nivel de Servicio

Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto Normal
E	F	F	D

Fuente: Elaboración propia

3.6 Densidad

Datos

Volumen = 17 veh/h

Velocidad =17,13 km/h

$$Densidad = \frac{Volumen \left(\frac{veh}{h} \right)}{Velocidad \left(\frac{Km}{h} \right)}$$

3.6.1 Resultado de la densidad

$$Densidad = \frac{17(\frac{veh}{h})}{17,13(\frac{Km}{h})} = 0,99 veh/km$$

3.7 Velocidad

3.7.1 Velocidad de recorrido total

Datos

dr=12,4 km

tc=0,5968 hrs

td=0,1272 hrs

$$VR = \frac{dR}{tc + td}$$

$$VR = \frac{12,4 km}{0,5968 hrs + 0,1272 hrs} = 17,13 km/h$$

3.7.2 Velocidad de cruce

Datos

dr=12,4 km

tc=0,5968 hrs

$$Vc = \frac{dr}{tc}$$

$$Vc = \frac{12,4 km}{0,5968 hrs} = 20,78 km/h$$

3.7.3 Velocidad de punto

Tabla 35: Velocidad de Punto (Mañana)

t(s)	distancia(m)	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)
4,61	25	5,42	19,52
2,89	25	8,65	31,14
3,15	25	7,94	28,57
3,35	25	7,46	26,87
3,06	25	8,17	29,41
2,46	25	10,16	36,59
3,47	25	7,20	25,94
2,78	25	8,99	32,37
3,25	25	7,69	27,69
3,05	25	8,20	29,51
3,01	25	8,31	29,90
2,32	25	10,78	38,79

Fuente: Elaboración propia

Velocidad =	31	Km/h
-------------	----	------

Tabla 36: Velocidad de Punto (Tarde)

t(s)	Distancia(m)	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)
3,7	25	6,76	24,32
3,02	25	8,28	29,80
3,42	25	7,31	26,32
3,36	25	7,44	26,79
3,11	25	8,04	28,94
3,56	25	7,02	25,28
4,14	25	6,04	21,74
2,55	25	9,80	35,29
3,93	25	6,36	22,90
2,48	25	10,08	36,29
3,9	25	6,41	23,08
3,03	25	8,25	29,70

Fuente: Elaboración propia

Velocidad =	28	Km/h
-------------	----	------

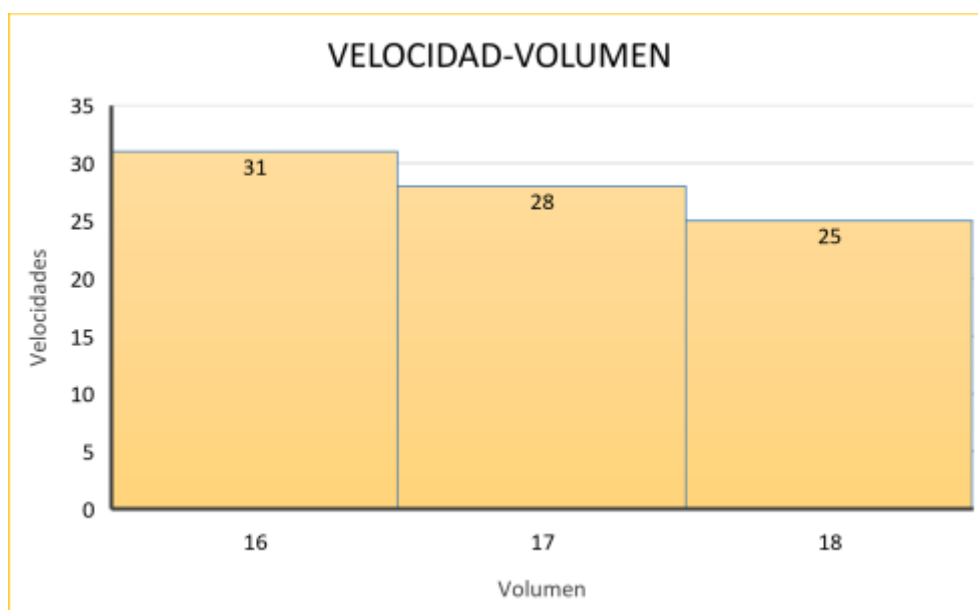
Tabla 37: Velocidad de Punto (Noche)

t(s)	Distancia(m)	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)
2,76	25	9,06	32,61
2,17	25	11,52	41,47
4,87	25	5,13	18,48
4,23	25	5,91	21,28
2,69	25	9,29	33,46
3,87	25	6,46	23,26
3,87	25	6,46	23,26
3,42	25	7,31	26,32
3,29	25	7,60	27,36
6,39	25	3,91	14,08
3,35	25	7,46	26,87
3,36	25	7,44	26,79

Fuente: Elaboración propia

Velocidad =	25	Km/h
-------------	----	------

3.8 Relación entre velocidad-volumen

Figura 17: Relación Velocidad-Volumen

Fuente: Elaboración propia

3.9 Relación entre velocidad-densidad

Figura 18: Relación Velocidad-Densidad



Fuente: Elaboración propia

3.10 Relación entre volumen-densidad

Figura 19: Relación volumen-densidad



Fuente: Elaboración propia

3.11 Señalización

3.11.1 Señales verticales

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto al uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

Tabla 38: Señalización actual de la zona

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Señalización Vertical		
		Este	Norte				SP	SR	SI
1	0+005	446682.00	7648821.00	401		SR-35		1	
2	0+500	446532.78	7648634.56	403			1		
3	0+708	446258.00	7648267.00	411		IS-1			1
4	0+729	446250.00	7648251.00	411		SP-13	1		
5	0+978	446078.00	7648075.00	402		IL			1
6	1+114	445956.00	7648101.00	405		IL			1
7	1+248	445932.00	7648224.00	403		SP-1	1		
8	1+350	445840.00	7648231.00	417		SP-2	1		
9	1+475	445714.00	7648268.00	423					1

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Señalización Vertical		
		Este	Norte				SP	SR	SI
10	1+506	445686.00	7648276.00	421					1
11	1+613	445577.00	7648287.00	428				1	
12	1+675	445524.00	7648311.00	424		IT(E)-1			1
13	1+727	445476.00	7648332.00	426					1
14	2+326	444940.00	7648559.00	444					1
15	2+706	444579.90	7648456.30	430		SP-14	1		
16	2+811	444484.60	7648438.07	429		SR-30		1	
17	2+932	444375.00	7648454.00	435		SP-8	1		
18	3+259	444057.82	7648489.51	468					1
19	3+830	443575.00	7648761.00	453					1

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Señalización Vertical		
		Este	Norte				SP	SR	SI
20	3+855	443550.00	7648771.00	452					1
21	3+862	443545.00	7648768.00	454				1	
22	3+875	443537.00	7648772.00	454		SP-8	1		
23	4+243	443391.00	7648883.00	437					1
24	4+409	443290.00	7648967.00	449					1
25	6+438	443290.85	7650624.02	454		SP-8	1		
26	6+934	442888.00	7650698.00	483					1
27	7+052	442772.09	7650671.41	488		SP-56	1		
28	7+158	442674.65	7650685.53	474		SP-11	1		
29	7+272	442594.00	7650661.00	480		SP-12	1		

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Señalización Vertical		
		Este	Norte				SP	SR	SI
30	8+683	442078.00	7651275.00	469		SP-49	1		
31	9+249	442174.00	7651812.00	483					1
32	9+376	442232.00	7651927.00	453		SP-8	1		
33	9+460	442219.00	7652006.00	453			1		
34	9+535	442182.00	7652020.00	467					1
35	9+640	442095.00	7652081.00	470		SP-49	1		
36	9+968	441895.00	7652356.00	445					1
37	10+080	441833.00	7652310.00	463		SP-49	1		
38	10+100	441799.00	7652311.00	467		DC-5b	1		
39	10+188	441827.00	7652410.00	463					1

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Señalización Vertical		
		Este	Norte				SP	SR	SI
40	10+574	441721.00	7652754.00	481					1
41	10+961	441413.75	7652726.96	492					1
42	10+981	441417.56	7652747.12	487				1	
43	11+251	441316.03	7652988.11	478		SP-1	1		
44	11+440	441175.00	7652986.00	479		IT(E)-1			1
45	11+446	441133.14	7652982.70	481			1		
46	12+358	440520.00	7652601.00	481		SR-30		1	
TOTAL =							19	6	21

Fuente: Elaboración propia

Se cuenta con 46 señales verticales activas la mayoría en buen estado, de las cuales 19 son preventivas, 6 son restrictivas y 21 son informativa. Las informativas en su mayoría son del área turística.

3.11.2 Propuesta de Solución de Señalización

Tabla 39: Señalización propuesta

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Solución
		Este	Norte				
1	1+208	445931.00	7648203.00	404		SR-34	Colocar señal de transitar con luces bajas encendidas
2	2+284	444964.00	7648556.00	445		SP-49	Colocar señal preventiva de zonas de derrumbes
3	3+057	444238.00	7648485.00	477		SP-49	Colocar señal preventiva de zonas de derrumbes
4	3+151	444147.00	7648493.00	483		SR-35	Colocar señal de punto de control
5	3+750	443639.00	7648755.00	447			Colocar barrera de protección
6	4+280	443390.00	7648936.00	430		SP-49	Colocar señal preventiva de zonas de derrumbes
7	4+318	443359.00	7648963.00	433		SR-35	Colocar señal de punto de control
8	4+470	443235.00	7649022.00	461		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
9	5+406	443644.00	7649769.00	456			Colocar delineador vertical.

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Solución
		Este	Norte				
10	5+540	443672.00	7649900.00	453			Colocar delineador vertical.
11	5+797	443612.00	7650135.00	464		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
12	5+897	443571.00	7650228.00	478		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples
13	6+520	443220.00	7650635.00	463		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples
14	6+773	443039.00	7650762.00	462			Colocar delineador vertical.
15	7+230	442615.00	7650705.00	458			Colocar barrera de protección
16	7+350	442553.00	7650602.00	501		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples
17	7+730	442307.00	7650865.00	466		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
18	7+840	442163.94	7650870.33	453			Colocar delineador vertical.
19	8+040	442097.41	7650743.04	470		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Solución
		Este	Norte				
20	8+150	442077.39	7650830.57	462			Colocar delineador vertical.
21	9+015	442088.00	7651578.00	482		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
22	9+085	442108.86	7651646.83	469			Colocar delineador vertical.
23	9+435	442236.00	7651964.00	449			Colocar barrera de protección
24	9+510	442198.00	7652018.00	460		SR-35	Colocar señal de punto de control
25	9+720	442053.00	7652154.00	455		SP-38	Colocar señal preventiva de angostamiento
26	9+770	442004.00	7652166.00	477		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples
27	9+820	441991.00	7652211.00	467			Colocar barrera de protección
28	9+950	441905.00	7652330.00	448		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
29	10+415	441814.00	7652610.00	467		SR-35	Colocar señal de punto de control

N°	Progresiva	Coordenadas		Cota	Señal	Código	Solución
		Este	Norte				
30	10+475	441783.00	7652659.00	482			Colocar delineador vertical.
31	10+640	441693.00	7652781.00	474			Colocar barrera de protección
32	10+685	441647.00	7652791.00	474		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
33	10+945	441423.00	7652687.00	498		DC-5b	Colocar delineador direccional múltiples
34	11+230	441346.00	7652952.00	485			Colocar barrera de protección
35	11+425	441183.00	7652992.00	476		SR-35	Colocar señal de punto de control
36	11+460	441143.00	7652988.00	479		SP-8	Colocar señal preventiva de curvas sucesivas.
37	11+575	441073.82	7653058.81	452			Colocar delineador vertical.
38	11+800	440887.91	7652952.49	468		SP-49	Colocar señal preventiva de zonas de derrumbes
39	12+280	440612.64	7652768.72	457		SR-34	Colocar señal de transitar con luces bajas encendidas
TOTAL =						39	

Fuente: Elaboración propia

En la propuesta se pretende mejorar la señalización vertical del tramo El Angosto de Villa Montes para esto contamos con 39 señales nuevas a implementar, de las cuales 18 son preventivas, 7 son restrictivas y 14 son dispositivos de seguridad, las cuales nos ayudarán a mejorar la circulación del tramo y a disminuir riesgos.

3.12 Propuesta de solución

Se brindarán algunas alternativas de solución para el tráfico actual, que ayuden a mejorar su circulación en el tramo y permitan un flujo más organizado.

3.12.1 Primera propuesta

Sistema de semáforos adaptativos con sensores de movimiento

En zona de tránsito restringido como El Angosto, donde el flujo es unidireccional alternado y la geometría de la vía no permite cruces simultáneos, es fundamental contar con una solución tecnológica que regule el paso de forma eficiente, sin depender estrictamente de horarios fijos. Esta propuesta introduce un sistema de control inteligente del tráfico, basado en semáforos LED solares adaptativos equipados con sensores de movimiento y presencia vehicular, los componentes de la propuesta son los siguientes:

3.12.1.1 Semáforos inteligentes en ambos extremos de cada punto crítico

- Controlarán el acceso al tramo en cada sentido.
- Funcionarán en modo interconectado para habilitar el paso solo a un sentido por vez.
- Indicadores LED visibles de día y noche.

3.12.1.2 Sensores de movimiento y presencia vehicular

- Instalados a unos 30–50 m antes de cada extremo del tramo.
- Detectan la llegada de vehículos en espera.
- Permiten calcular el tiempo requerido para vaciar el tramo antes de cambiar el semáforo.

3.12.1.3 Ciclo de operación adaptativo

- El semáforo permanece en rojo hasta que un vehículo activa el sensor.
- Si no hay vehículos en el sentido contrario, cambia a verde y da paso durante un tiempo estimado en función del tipo de vehículo (liviano/pesado).

- Una vez pasado el flujo, vuelve a rojo automáticamente.
- Si hay vehículos en ambos extremos, el sistema evalúa el lado con mayor acumulación para asignar prioridad.

3.12.1.4 Soporte visual e informativo

- Paneles electrónicos informativos con mensajes como:
 - ❖ “Espere su turno”
 - ❖ “Tramo ocupado – espere luz verde”
 - ❖ “Vehículo aproximándose en sentido contrario”
- Señales verticales reglamentarias reforzando el uso del sistema.

3.12.1.5 Ventajas

- Adaptación en tiempo real a la demanda vehicular.
- Evita esperas innecesarias en horarios de baja afluencia.
- Mayor eficiencia en uso de la vía, especialmente útil fuera de franjas fijas.
- Reducción del riesgo de colisiones frontales en el tramo.
- Compatible con todos los tipos de vehículos, sin distinción de horarios.

3.12.1.6 Recomendaciones técnicas

- El sistema requiere paneles solares autónomos.
- Se debe garantizar visibilidad adecuada de las luces del semáforo y paneles informativos.

3.12.2 Segunda propuesta

En base al análisis realizado sobre la situación actual del tramo El Angosto, ubicado en la carretera Villa Montes – Tarija, se identificaron diversos factores que afectan la fluidez del tráfico, principalmente durante las horas pico y en zonas de difícil maniobrabilidad. La falta de regulación clara en los horarios de circulación, sumado a una señalización insuficiente, ha generado congestión y un alto riesgo de accidentes, especialmente en zonas críticas de paso estrecho.

Con el objetivo de mejorar la circulación vehicular y reducir los niveles de congestión, se propone una solución paliativa con los siguientes lineamientos:

3.12.2.1 Establecimiento de horarios de circulación alternada por sentido:

- Sentido Villa Montes – Tarija: circulación habilitada de 2:00 a.m. a 22:00 p.m.
- Sentido Tarija – Villa Montes: circulación habilitada de 17:00 p.m. a 11:00 a.m.
- Horas de restricción:
 - ❖ Sentido Villa Montes – Tarija: de 22:00 p.m. a 01:00 a.m.
 - ❖ Sentido Tarija – Villa Montes: de 12:00 p.m. a 16:00 p.m.

3.12.2.2 Control semafórico en horario de cruce simultáneo:

- De 16:00 p.m. a 22:00 p.m., se implementará un sistema de control mediante semáforos para permitir el paso alternado de vehículos en ambos sentidos, con tiempos ajustados en función del flujo vehicular por tipo (livianos, medianos y pesados).

3.12.2.3 Instalación de espejos convexos:

- Se propone su instalación en curvas cerradas, accesos sin visibilidad y zonas de paso angosto, con el fin de ampliar el campo visual de los conductores y reducir el riesgo de colisiones por falta de visibilidad frontal.

3.12.2.4 Campañas de concientización y coordinación institucional:

- Involucrar a los conductores y a las autoridades locales en campañas de educación vial, y establecer un sistema de monitoreo y evaluación del comportamiento del tránsito tras la implementación de las medidas.

3.12.2.5 Ventajas de la propuesta

- Fluides de circulación para vehículos pesado con pequeña mejora de tiempos de viaje.
- Menor contaminación y ruido, los vehículos pesados generan más emisiones y ruido, su tránsito nocturno reduce el impacto ambiental.

3.12.2.6 Evaluación de impacto

- Monitorear el flujo de tráfico y la infraestructura vial en periodos de prueba.

3.12.3 Tercera propuesta

Como alternativa a la propuesta de circulación alternada por franjas horarias, se plantea una distribución diferenciada del tránsito vehicular según el tipo de vehículo y su horario

de circulación, con el objetivo de optimizar el uso del tramo El Angosto y reducir la congestión sin necesidad de implementar sistemas de semaforización. Esta propuesta consiste en asignar horarios específicos a vehículos livianos y pesados, aprovechando los momentos de menor demanda y reduciendo la interacción entre distintos tipos de vehículos.

Con el objetivo de mejorar la circulación vehicular y reducir los niveles de congestión, se propone una solución paliativa con los siguientes lineamientos:

3.12.3.1 Asignación horaria por tipo de vehículo:

- Vehículos livianos: circulación prohibida de 20:00 p.m. a 03:00 a.m.
- Vehículos pesados: circulación prohibida de 08:00 a.m. a 10:00 a.m. y de 12:00 p.m. a 14:00 p.m.

3.12.3.2 Coordinación con puntos de control:

- Se recomienda instalar puestos de control en los accesos al tramo, para garantizar el cumplimiento de los horarios establecidos y evitar el ingreso de vehículos fuera del horario correspondiente.

3.12.3.3 Instalación de espejos convexos:

- Se propone su instalación en curvas cerradas, accesos sin visibilidad y zonas de paso angosto, con el fin de ampliar el campo visual de los conductores y reducir el riesgo de colisiones por falta de visibilidad frontal.

3.12.3.4 Ventajas de la segmentación horaria:

- Disminuye la probabilidad de conflictos entre vehículos de distinto tamaño y velocidad.
- Facilita una circulación más fluida durante las horas diurnas para vehículos de uso cotidiano.
- Permite a los vehículos pesados operar durante la noche y madrugada, cuando el flujo general es reducido, disminuyendo el impacto sobre el tránsito general y el desgaste de la vía en horas críticas.

3.12.3.5 Monitoreo y evaluación periódica:

- Establecimiento de un sistema de evaluación continua para analizar el comportamiento del flujo vehicular, con el fin de ajustar los horarios en función de la demanda real y los niveles de servicio observados.

3.12.4 Presupuesto de las alternativas de solución

Las alternativas de solución que son los semáforos Led solares con sensores y los espejos convexos, tienen un costo estimado de 60.000 bs en el cual se incluye mano de obra de instalación de los mismos. Este presupuesto se encuentra a detalle en el anexo 10 del presente proyecto.

3.13 Análisis de resultados

El presente proyecto busca evaluar el flujo de tráfico vehicular en distintas horas del día y los tiempos que transcurre en su circulación a través de las velocidades. El objetivo es entender cómo las variaciones en la densidad del tráfico, particularmente durante las horas pico, afectan los tiempos de traslado.

Para llevar a cabo este análisis, se recopilaban datos de tráfico y tiempos de desplazamiento durante un período de un mes, tres días a la semana. Estos datos fueron recolectados mediante planillas de manera manual, en vehículos livianos, medianos y pesados, en el tramo de estudio.

Se identificaron zonas de estrechamiento donde no es posible el cruce simultáneo de vehículos, especialmente cuando uno o ambos son pesados, con un ancho de carril entre 4m y 4,5m, el primer punto se encuentra a 3,1km, el segundo punto se encuentra a los 9,5km, el tercer punto se encuentra a 10,4km.

Se identificó las horas pico para ambos carriles las cuales fueron 9:00 a.m., 16:00 p.m. y 00:00 a.m. de Tarija a Villa Montes y viceversa cambia la hora pico de la noche a las 19:00 p.m..

El flujo vehicular promedio es moderado del aforo realizado se obtuvo un volumen de 17veh/h de Tarija a Villa Montes y 16veh/h de Villa Montes a Tarija, lo cual nos da un total de 33veh/h en las zonas críticas ya que estas cumplen la función de un carril, pero en

las horas pico se presentan una acumulación significativa, agravada por la falta de regulación dinámica.

El análisis por horarios mostró que los vehículos livianos circulan preferentemente entre las 08:00 a.m. y 14:00 p.m., mientras que los vehículos pesados lo hacen entre las 20:00 p.m. y 03:00 a.m., otra observación es el porcentaje de vehículos pesados que circulan en la noche es de un 35%, generando conflictos cuando coinciden en el tramo.

Se verificó que los tiempos de viaje varían entre 25–35 minutos para livianos y 35–55 minutos para pesados, lo que indica reducción de velocidad efectiva por la geometría del tramo y la falta de control, también tenemos un tiempo promedio de viaje de 44,46 minutos, la velocidad de recorrido total es de 17,13 Km/h, con un 18,49% de demoras, la velocidad de cruce es de 20,78 Km/h la cual nos muestra una velocidad más favorable si no tuviéramos demoras.

La capacidad calculada para las zonas críticas es de 2027veh/h en el punto uno, de 2242veh/h en el punto dos, de 2243veh/h en el punto tres, las cuales son muy similares y diferentes en relación de la capacidad de las zonas normales que cuenta con una capacidad de 2523veh/h.

Los niveles de servicio en los puntos críticos son “E” y “F” en los tres puntos ya que tienen condiciones similares, los puntos críticos operan en condiciones deficientes o fallidas, con demoras excesivas, interrupciones constantes y riesgo de conflicto vehicular, especialmente durante los horarios pico y la coincidencia de vehículos livianos y pesados, también se calculó el nivel de servicio en una zona anterior a la crítica, donde mejoran algunas condiciones y en esta se tuvo un nivel “D”.

Tabla 40: Resumen de capacidad y nivel de servicio

Punto	Capacidad (veh/h)	Nivel de Servicio (NS)
Punto 1	2027 veh/h	E (inestable)
Punto 2	2242 veh/h	F (fallido)
Punto 3	2243 veh/h	F (fallido)
Punto normal	2523 veh/h	D (aceptable)

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de las propuestas de solución:

Propuesta 1: Semáforos adaptativos con sensores

- Sistema inteligente que adapta los ciclos a la demanda real.
- Ideal para horas valle o tráfico irregular.
- Disminuye significativamente los tiempos de espera innecesarios.
- Optimiza la capacidad de los puntos más críticos y reduce el NS hacia valores C o incluso B cuando hay flujo bajo o mediano.

Propuesta 2: Circulación alternada por sentido (franjas horarias)

- Permite distribuir el tránsito por tiempo y sentido, evitando conflictos frontales.
- Mejora la seguridad y organización del tramo.
- El semáforo en horario crítico garantiza control cuando ambos sentidos están activos.
- Reduce significativamente las condiciones de NS F a un probable **nivel D o C** tras la implementación, según simulaciones.

Propuesta 3: Circulación por tipo de vehículo (horarios diferenciados)

- Reduce al mínimo la coincidencia entre livianos y pesados.
- Requiere menos tecnología, pero depende de estricto cumplimiento.
- Puede estabilizar el NS en niveles **D (crítico controlado)**, especialmente en horas de mayor presencia liviana.

Tabla 41: Resumen de capacidad y nivel de servicio

Propuesta	NS inicial	NS estimado post-implementación	Observaciones
Propuesta 1	E-F-F-D	C-C-B-B	Alta eficiencia con tecnología adaptativa
Propuesta 2	E-F-F-D	D-D-C-C	Control por horarios
Propuesta 3	E-F-F-D	D-D-D-C	Mejora notable si se respetan los horarios

Fuente: Elaboración propia

Mejora con implementación de elementos complementarios:

- Espejos convexos aumentan visibilidad en curvas cerradas o zonas de cruce oculto.
- Señalización vertical clara y visible refuerza el cumplimiento de los horarios y reduce la indecisión del conductor.

La señalización del tramo cuenta con un total de 46 señales verticales, 19 preventivas, 6 restrictivas y 21 informativas, las cuales se encuentran en buen estado, pero la mayoría son informativas, lo cual nos indica que no existe una señalización adecuada para el tramo debido a que este cuenta con varias curvas peligrosas y despeñaderos, por lo cual se implementó 18 señales preventivas, 7 restrictivas y 14 dispositivos de seguridad que ayudaras a tener una circulación más adecuada.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se ha cumplido con el objetivo general de evaluar el flujo de tráfico vehicular del tramo “El Angosto” mediante los aforos manuales y el estudio de las velocidades con los cuales se dio soluciones.
- El tramo en estudio se ubicó en la ciudad de Villa Montes desde el retén del puente Ustarez hasta la comunidad a la central donde se determinó 3 puntos críticos ubicados a 3,1 km, 9,5km, 10,4 km desde el retén del puente del puente Ustarez.
- Para determinar las horas pico se aforó desde las 6:00a.m. a las 5:00a.m. de la mañana de la cual se establecieron 3 horas pico para cada sentido estos resultados se validaron mediante aforos de la ABC.

Villa Montes - Tarija	Tarija - Villa Montes
09:00	09:00
16:00	16:00
00:00	19:00

-

Se determinó los volúmenes mediante los aforos en las horas picos los cuales son 16veh/h para Villa Montes Tarija y 17veh/h para Tarija Villa Montes lo cual nos demuestra que en promedio tenemos un volumen moderado y un volumen diario entre 400veh/h y 500veh/h.

- Se determinó la capacidad en cuatro puntos, en el punto uno 2027veh/h, en el punto dos 2242veh/h, en el punto tres 2243veh/h y en el punto normal 2523veh/h, entonces se puede observar que entre los puntos críticos no existe una gran variación, pero sí una pequeña variación entre el crítico y el normal.

- Se determinó un nivel de servicio “E” para el punto uno y “F” para el punto dos y tres, “D” para el punto normal, lo cual nos demuestra la deficiencia de nivel de servicio de nuestro tramo en estudio.

- Podemos decir que la circulación en la zona estudio es lento debido a sus puntos críticos que no permiten el aumento de la velocidad y su tiempo de recorrido es un 13% del total del tiempo de viaje de Villa Montes a Tarija.

- Al realizar un inventario de las señalizaciones verticales existentes, se concluye que no son suficientes las 46 señales para el tramo en estudio debido a sus condiciones actuales, a pesar de eso las señales existentes se encuentran en buenas condiciones.

- Se implementaron 39 señales nuevas de las cuales se colocaron de acuerdo a la necesidad del tramo donde 18 son preventivas 7 restrictivas y 14 dispositivos de seguridad.

- La Propuesta 1, basada en semáforos adaptativos con sensores de movimiento, mostró el mejor desempeño técnico, logrando reducir el nivel de servicio, gracias a su capacidad de adaptación en tiempo real al flujo vehicular. Las Propuestas 2 y 3 también ofrecen mejoras significativas, especialmente en términos de organización y seguridad, con un impacto positivo en el nivel de servicio, si se cumplen los horarios establecidos.

4.2 Recomendación

- Capacitar al personal que va a realizar el aforo, para que tenga un conocimiento básico sobre la identificación del tipo de vehículos y se realice el aforo según las recomendaciones de la normativa aplicada.
- Es recomendable para el aforo escoger los meses de mayo hasta julio que es una época del año concurrida y no realizar los aforos en el mes de enero y febrero por la época de lluvias.
- Tomar en cuenta que en los días de aforo no exista algún inconveniente que pueda afectar al volumen de circulación como bloqueos, paros, días festivos o algún acontecimiento cercano a la zona de estudio.
- Concientizar a los usuarios para ayudar a cumplir con las nuevas alternativas propuestas y así tengan un efecto positivo, con la finalidad de precautelar su integridad y evitar accidentes de tránsito.
- Se recomienda contar con equipo GPS para tener una mayor precisión en el levantamiento de datos como ser las pendientes y el inventario de señalización.
- Desarrollar un plan detallado para la implementación de los semáforos, que incluya un cronograma, asignación de recursos, y consideraciones de seguridad para minimizar las interrupciones en el tráfico existente durante la instalación.
- Tener precaución al obtener los datos geométricos del tramo como ancho de carril, ancho de berma y pendientes, que sean en horas del mínimo volumen vehicular para así no estar expuestos a algún tipo de accidente.