

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la ciudad de Tarija ha experimentado un notable crecimiento demográfico, acompañado por un aumento significativo en su parque automotor. Esta evolución ha intensificado la demanda de movilidad urbana, generando congestiones y demoras cada vez más frecuentes, particularmente en los principales corredores de acceso a la ciudad. En este escenario, el puente Tomatitas, sus zonas aledañas y el sector proyectado para la construcción del puente nuevo Tomatitas se han consolidado como áreas clave de confluencia vehicular. Por estas vías transitan diariamente vehículos particulares, unidades de transporte público y un volumen creciente de vehículos pesados provenientes de comunidades del norte y zonas periurbanas.

El presente estudio, titulado “Estudio de Tráfico de las Zonas de Aporte al Puente nuevo de Tomatitas”, tiene como objetivo subsanar esta deficiencia mediante un diagnóstico integral de las condiciones actuales del tránsito en dicha zona. Para ello, se realizarán aforos de volúmenes y velocidades en las carreteras adyacentes a este puente nuevo, incluyendo las vías que conectarán con el nuevo puente. Asimismo, se llevará a cabo la evaluación de la capacidad vial y del nivel de servicio en los tramos críticos, aplicando los lineamientos del Highway Capacity Manual (HCM) y las metodologías propuestas por Cal y Mayor Ingeniería de Tráfico. Se incluirá además un análisis detallado de la señalización existente y la operación semafórica, con el propósito de identificar oportunidades de mejora en el diseño de carriles, la programación de semáforos y la implementación de nueva señalización.

Con base en la recolección y análisis de datos relacionados con el flujo vehicular, velocidad y capacidad, esta investigación permitirá identificar los segmentos e intersecciones con mayor nivel de congestión, diagnosticar las principales causas de los cuellos de botella —ya sea por deficiencias geométricas, fallas en la regulación semafórica y formular propuestas de mejora orientadas a optimizar la fluidez del tránsito y elevar la capacidad vial.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge como respuesta a la necesidad de mejorar la gestión del tráfico vehicular en la ciudad de Tarija, donde el crecimiento acelerado del parque automotor ha sobrepasado la capacidad de la infraestructura vial existente. Este fenómeno, impulsado tanto por el aumento poblacional como por los procesos de urbanización y migración hacia la ciudad, ha generado una creciente presión sobre las vías principales, especialmente durante las horas de mayor demanda, ocasionando serios problemas de congestión que afectan directamente la movilidad urbana y la calidad de vida de los ciudadanos.

En este contexto, las zonas de influencia de aporte al puente nuevo de Tomatitas se presenta como puntos estratégicos cuyo comportamiento vial debe ser evaluado de manera técnica y sistemática. Existen dos razones fundamentales que justifican este estudio. Por un lado, la evidente saturación del sistema vial en los accesos actuales, donde ya se observan puntos críticos de congestión que requieren atención prioritaria. Por otro lado, las proyecciones de crecimiento del flujo vehicular en esta zona aseguran un escenario aún más complejo en los próximos años, debido a la progresiva integración entre las áreas urbanas y periurbanas. Esto refuerza la necesidad de una planificación vial articulada, que considere no solo la infraestructura existente, sino también el comportamiento dinámico del tránsito.

Ante la ausencia de estudios técnicos previos en el área de influencia directa del puente nuevo, este proyecto, titulado Estudio de Tráfico de las Zonas de Aporte al Puente nuevo Tomatitas, se propone llenar ese vacío. Su propósito es proporcionar un análisis integral de las condiciones actuales del tránsito mediante las herramientas propias de la ingeniería de tráfico, a fin de generar alternativas de solución concretas y viables.

La elaboración de este estudio busca brindar un soporte técnico que oriente decisiones estratégicas, tanto a nivel de diseño vial como de operación del sistema de transporte. Se pretende no solo mejorar la fluidez vehicular, sino también garantizar una circulación segura, cómoda y confiable para todos los usuarios de la vía.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación Problemática

El acelerado crecimiento del parque automotor en Tarija ha ejercido una creciente presión sobre la infraestructura vial existente, la cual resulta hoy insuficiente para absorber el volumen actual de tráfico. Esta situación ha derivado en elevados niveles de congestión, especialmente en los accesos principales a la ciudad y en aquellas zonas con mayor actividad económica y social.

En este contexto, la construcción del nuevo puente de Tomatitas se plantea como una intervención estratégica para mejorar la conectividad entre Tarija y las comunidades del norte del departamento, al tiempo que busca descongestionar las vías urbanas más saturadas. Sin embargo, su efectividad dependerá de una gestión coordinada y eficiente del flujo vehicular. En particular, el tránsito de vehículos pesados por rutas no diseñadas para soportar cargas elevadas no solo acelera el deterioro de la infraestructura, sino que también contribuye significativamente a los embotellamientos.

Si no se acompaña de una planificación adecuada del tránsito —que considere los patrones de movilidad, los volúmenes de tráfico y la adaptación de la infraestructura de soporte—, el nuevo puente corre el riesgo de transformarse en un nuevo punto crítico de congestión, en lugar de una solución. Por ello, resulta fundamental que esta obra se articule dentro de una estrategia de movilidad urbana que garantice eficiencia operativa, ordenamiento del flujo vehicular y sostenibilidad del sistema vial. De no ser así, la inversión podría fracasar en su propósito fundamental: mejorar la movilidad y reducir la congestión en Tarija y sus alrededores.

1.3.2 Delimitación temporal

- **Periodo de Estudio**

El aforo vehicular se llevó a cabo entre el 31 de marzo y el 27 de abril de 2025, periodo seleccionado con el propósito de contar con un horizonte de análisis amplio, representativo y estadísticamente confiable. Esta delimitación temporal permitió registrar con precisión las variaciones diarias y semanales del flujo vehicular, incluyendo tanto días hábiles como fines de semana, con el fin de reflejar de manera fiel el comportamiento real del tránsito en las zonas de influencia del nuevo puente de Tomatitas.

La primera semana del estudio, comprendida entre el 31 de marzo y el 6 de abril, se destinó específicamente a la determinación de los horarios de máxima demanda (horas pico), mediante la observación continua de los volúmenes vehiculares en distintos tramos y horarios. Esta etapa inicial permitió definir con exactitud las franjas de mayor intensidad de tráfico, fundamentales para el desarrollo posterior de los aforos y simulaciones. Se consideró un aforo de 13:00 horas, comprendidas desde las 07:00 a 20:00 horas para la determinación de las hora pico.

1.3.3 Delimitación espacial

- **Área de Estudio**

Ubicación: El área de estudio abarca tanto la carretera de Tomatitas como la carretera de San Mateo.

Tramos Específicos:

Carretera Tomatitas

- Tramo 1 (Cruce Tomatitas-San Mateo) - (Ruta a Coimata)
- Tramo 2 (Ruta a Coimata) – (Ruta a Erquis)
- Tramo 3 (Ruta a Erquis) – (Final de Carretera Tomatitas)

Carretera San Mateo

- Tramo 1 (Cruce Tomatitas-San Mateo) - (San Mateo Calle 3)
- Tramo 2 (San Mateo Calle 3) - (San Mateo Calle 7)
- Tramo 3 (San Mateo Calle 7)- (San Mateo Calle 12)

1.3.4 Formulación del problema

¿De qué manera un estudio de tráfico en las zonas de aporte al puente nuevo de Tomatitas puede contribuir a diagnosticar la situación actual del flujo vehicular y proponer soluciones para optimizar la circulación en el sector?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar un estudio del tráfico vehicular en las zonas de aporte al puente nuevo de Tomatitas, mediante el análisis de los parámetros de volumen, velocidad, capacidad y nivel de servicio, con el fin de diagnosticar la situación actual del flujo vehicular y proponer medidas que optimicen la circulación en el sector.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar aforos vehiculares por el método manual.
- Calcular los parámetros en gabinete; volumen de tráfico, velocidad de punta, capacidad, nivel de servicio y analizar señalización y semaforización.
- Analizar los resultados obtenidos del procesamiento de información para identificar los puntos de congestión vehicular.
- Proponer alternativas de solución para reducir el congestionamiento vehicular.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis

La realización de un estudio de tráfico en las zonas de aporte al puente nuevo de Tomatitas, basado en el análisis de los parámetros de volumen, velocidad, capacidad y nivel de servicio, permitirá diagnosticar con precisión la situación actual del flujo vehicular y a partir de dicho diagnóstico, proponer una intervención (ajustes en señalización y semaforización, entre otras) que optimicen la circulación en el sector.

1.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

1.6.1 Variable independiente

Tabla 1. Variable independiente

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/ Acción
Congestión vehicular	Es el grado de flujo de tráfico que se reduce debido a la saturación de la vía, manifestado por una disminución en la velocidad y el incremento del tiempo de viaje	Vehículos	Tiempo de demora	Mejorar condiciones de congestionamiento vehicular

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Variable dependiente

Tabla 2. Variable dependiente

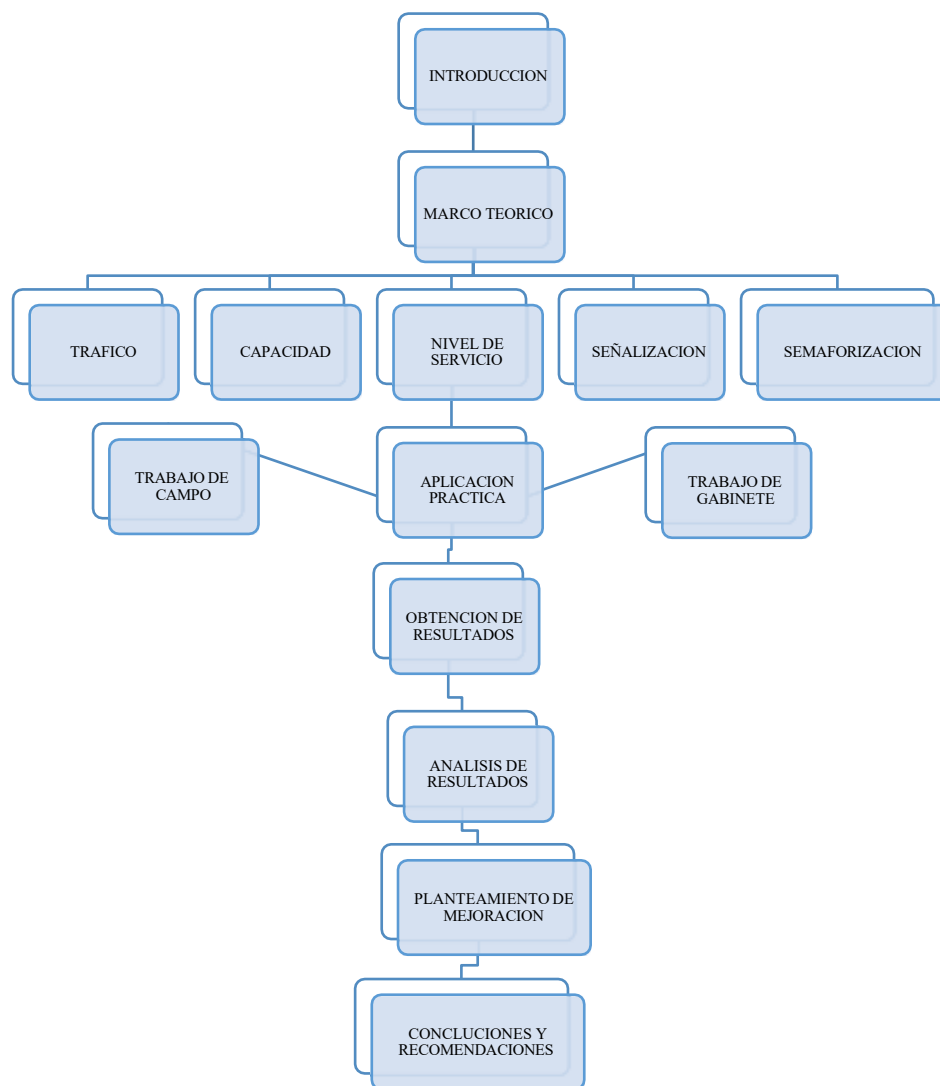
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/ Acción
Capacidad	Se refiere a la cantidad máxima de vehículos que pueden pasar por una sección de carretera en un período determinado, por lo general se mide en vehículos por hora.	Vehículos	veh/h	Observable

Volumen Vehicular	Es el número de vehículos que pasan por un punto específico de la vía en un período	Vehículos	veh/h	Observable
Nivel de Servicio	Es un indicador cualitativo que mide cómo los conductores perciben la calidad de su experiencia de conducción en función de la fluidez y la velocidad.	NS	-	Observable

Fuente: Elaboración propia

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

Figura 1. Diseño metodológico



Fuente: Elaboración Propia

1.7.1 Metodología

La presente metodología tiene como objetivo determinar la capacidad y el nivel de servicio de los tramos en estudio, con el fin de clasificarlos según su desempeño operativo.

En primer lugar, se abordarán los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del trabajo, destacando su relación directa con el nivel de servicio. A continuación, se procederá al análisis de los tramos en función de sus características geométricas, físicas, señalización existente, y el aforo vehicular registrado.

Una vez obtenidos los volúmenes de tránsito para cada tramo, se llevará a cabo un análisis comparativo entre estos valores y su respectiva capacidad. Esto permitirá evaluar el nivel de servicio y determinar cuáles tramos funcionan eficientemente y cuáles requieren la implementación de medidas correctivas o de mejora.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad de Estudio

La unidad de estudio corresponde a los tramos seleccionados de las carreteras analizadas.

1.8.2 Población

La población está compuesta por los tramos pertenecientes a las carreteras Tomatitas y San Mateo, sobre los cuales se analizará su capacidad y nivel de servicio, utilizando datos de aforo vehicular.

1.8.3 Muestra

La muestra está conformada por la totalidad de los tramos en estudio, sumando un total de seis (6) tramos.

Para cada uno de los tramos se aplicará el siguiente plan de recolección y análisis:

- Aforo de volúmenes vehiculares.
- Recolección de velocidades operativas.
- Levantamiento de datos geométricos. (Ancho de Carril y Ancho de Berma)
- Inspección de la señalización horizontal y vertical.

En gabinete se procesarán los datos obtenidos para determinar:

- Volumen vehicular medio por tramo.
- Velocidad media por tramo.
- Capacidad estimada de cada tramo.
- Nivel de servicio correspondiente.
- Elaboración de un mapeo categorizado según el desempeño de cada tramo.

1.9 Análisis Estadístico

Para el tratamiento de datos como Volúmenes y Velocidad se utilizó según la norma AASHTO indicadores estadísticos como la media aritmética y la desviación estándar que nos sirvió para hacer la depuración de datos si en algún caso se dispersen; también se utilizó un rango de depuración óptimo para tener mejores resultados de aforos de vehículos.

Describe el conjunto estudiado mediante parámetros estadísticos, los cuales son:

1.9.1 Media aritmética

La media aritmética es el valor promedio de las muestras y es independiente de las amplitudes de los intervalos. Se simboliza como \bar{X} y se encuentra sólo para variables cuantitativas. Se encuentra sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos.

La fórmula general para n elementos es:

Media aritmética:

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

Donde:

\bar{X} = Media aritmética.

x_i = Valores de la variable x.

N = Número de valores observados.

1.9.2 Desviación estándar

La desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

\bar{x} = Media aritmética

x_i = Valores de la variable x

N = Número de observaciones.

1.9.3 Rango de depuración Óptima

El rango de depuración óptima puede entenderse como el intervalo de valores dentro del cual los datos recolectados (volúmenes, velocidades, tiempos de recorrido, etc.) se consideran válidos y representativos del comportamiento de la vía

Rango de depuración Óptima:

$$\bar{x} \pm \sigma$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

σ = Desviación estándar

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{x} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{x} - \sigma$$

CAPÍTULO II

**ASPECTOS GENERALES DEL
ANÁLISIS OPERACIONAL DE
TRÁFICO**

2.1 ASPECTOS GENERALES

El análisis operativo de tráfico es fundamental para la ingeniería de tráfico transporte y planificación urbana ya que se encarga de evaluar y comprender el funcionamiento de los sistemas viales y el tráfico. Para de esta forma analizar los resultados de un análisis en la toma de decisiones.

2.1.1 Ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico es una disciplina de la ingeniería civil que se enfoca en el diseño, planificación y gestión de sistemas de transporte y tráfico con el objetivo de mejorar la movilidad, la seguridad vial y la eficiencia del desplazamiento de personas en las vías y carreteras. Esta disciplina abarca desde el análisis y diseño de intersecciones y vías urbanas hasta la implementación de sistemas de gestión de tráfico, utilizando herramientas como la micro simulación, la gestión de datos y la aplicación de normativas de comportamiento vial.

Desde el planteamiento de (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018) “En los últimos años, con el aumento cada vez mayor del parque vehicular, la circulación en las calles y carreteras se ha tornado más compleja, motivo por el cual, cobra gran importancia la realización de análisis de planeamiento, proyecto y de operación, más detallados de los sistemas viales, donde es precisamente la ingeniería de tránsito, aquella rama de la ingeniería, la llamada a tratar estos aspectos.”

2.1.2 Estudio de tráfico

El estudio de tráfico es el análisis y comprensión de cómo se mueven los vehículos, los peatones y otros medios de transporte en una red de carreteras, calles o vías públicas. Este estudio implica la recopilación y análisis de datos de tráfico, incluyendo la cantidad de vehículos que pasan por un punto determinado en un momento dado, la velocidad a la que se mueven los vehículos, el tiempo que tardan en recorrer un tramo de carretera y las condiciones de tráfico en general.

El tráfico se refiere al movimiento de vehículos, peatones y otros medios de transporte en una red vial. El tráfico puede ser vehicular o peatonal, y se puede medir y analizar de diversas maneras, como la cantidad de vehículos que pasan por un punto en un momento dado, la velocidad a la que se mueven los vehículos y la densidad del tráfico en una determinada zona.

2.1.3 Análisis Operacional

Un análisis operacional en ingeniería de tráfico se refiere a la evaluación detallada y sistemática de funcionamiento actual de una vía o un sistema de transporte en término de su capacidad, flujo vehicular, velocidad, niveles de servicio y eficiencia. Este tipo de análisis se centra en comprender cómo los usuarios interactúan con la infraestructura vial y como los vehículos se mueven a lo largo de la red en condiciones realistas.

Según la HCM2010 indica que “Dependiendo de las particularidades de un lugar y un análisis determinados, las longitudes de las colas, las relaciones entre demanda y capacidad, las velocidades medias de viaje, los indicadores de seguridad y otras medidas de rendimiento pueden ser igual o incluso más importantes, independientemente de, si se mencionan específicamente en una norma de un organismo” (HCM, 2010, Capítulo 8)

2.1.4 Rendimiento del tráfico vehicular

El rendimiento de tráfico vehicular se refiere a la medida de eficiencia y fluidez con la que los vehículos se desplazan a lo largo de una vía o sistema de transporte en un periodo de tiempo determinado. Esta medida evalúa la capacidad de la infraestructura vial para mantener un flujo de tráfico de manera eficiente y segura. Así como la experiencia de los usuarios.

2.1.5 Dispositivos para el control tránsito

Los dispositivos de control de tráfico son elementos físicos o sistemas utilizados para regular y gestionar el flujo de vehículos y peatones en carreteras y vías públicas. Estos

dispositivos desempeñan un papel crucial en la seguridad vial y en la gestión eficiente del tráfico. Aquí te presento algunos de los dispositivos de control de tráfico más comunes.

2.1.5.1 Clasificación de los dispositivos 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 una 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.

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

2.1.5.1.1 Señales Horizontales

Según (Asociación Argentina de Carreteras, 2013), las marcas viales o demarcación horizontales son las señales de tránsito aplicadas sobre la calzada, con la finalidad de guiar el tránsito vehicular, regular la circulación y advertir determinadas circunstancias. La regulación incluye la transmisión de órdenes y/o indicaciones de zonas prohibidas.

- Líneas longitudinales: Son aquellas que se ubican en forma paralela al eje de la carretera. Suministran una guía “positiva” al delinear al usuario de la carretera, los límites de las áreas de la calzada donde es seguro circular. Asimismo, suministra una guía “negativa”; esto es, indica áreas donde no es seguro viajar o directamente donde está prohibido circular.
- Líneas de borde de pavimento
- Líneas de eje
- Líneas de carril
- Demarcación de bermas pavimentadas
- Demarcación de canalización

- Líneas transversales: Son las que se ubican en forma perpendicular al eje de la carretera. Se emplean para indicar sectores de reducción de velocidad ante un punto de riesgo (curva peligrosa, cruce, empalme) y para indicar la existencia de líneas límites, entendiendo por tales, las líneas que no pueden ser sobrepasadas sin efectuar una acción en relación al derecho de paso.
- Demarcación de líneas de “pare”
- Demarcación de pasos peatonales
- Símbolos y Leyendas: Los símbolos en la señalización horizontal son elementos gráficos que se utilizan para transmitir información importante a los conductores en la carretera de una manera visual y rápida. Estos símbolos suelen estar pintados en el pavimento y tienen un significado específico que los conductores deben entender y seguir.
- Otras demarcaciones: Son aquellas que, por su singular conformación física tanto en planta como en alzada, constituyen un subtipo aún más diferenciado dentro de las marcas especiales. La singularidad en planta es tal que estas marcas, se ubican tanto en forma perpendicular, como paralela a la carretera, y hasta oblicuas.
- Demarcación de carriles exclusivos para buses
- Flechas

2.1.5.1.2 Señales Verticales

El concepto dado por (Asociación Argentina de Carreteras, 2017) conceptualiza como, las señales verticales son señales de tránsito colocadas al costado del camino (laterales) o elevadas sobre la calzada, mediante pórticos o ménsulas(aéreas), con la finalidad de guiar el tránsito, regular la circulación, y advertir determinadas circunstancias. La regulación incluye la transmisión de órdenes, y/o restricciones de distinta índole, entre las cuales:

- **Señales Preventivas (SP):** Su propósito es advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes.

Señales Preventivas que consideran otros colores además del amarillo y el negro:

- SP-34. Semáforo (amarillo, negro, rojo y verde)
- SP-35. Prevención de pare (amarillo, negro, rojo y blanco)
- SP-36. Prevención de ceda el paso (amarillo, negro, rojo y blanco)

Figura 2. Señal Preventiva - Giro a la Derecha



Tabla 3. Longitud de lado para señales preventivas

Lado (mm)	Velocidad Máxima Permitida (km/h)
600	≤50
800	60-70
1000	80-90

Fuente: Manual de Carreteras ABC

Fuente: Manual de Carreteras ABC

- **Señales Restrictivas (SR).** Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes. Su transgresión constituye infracción a las normas del tránsito.

Figura 3. Señal Restrictiva
Prohibido estacionar



Fuente: Manual de Carreteras ABC

Tabla 4. Distancia mínima de visibilidad para
señales restrictivas

Velocidad máxima vía principal (km/h)	Distancia mínima de visibilidad "y" (m)
>90	Usar señal PARE
90	180
80	140
70	120
60	90
50	70

Fuente: Manual de Carreteras ABC

Tabla 5. Dimensiones de ancho y alto para señales restrictivas

Ancho (mm)	Alto (mm)	Velocidad Máxima Permitida (km/h)
600	800	≤ 50
700	1000	60-70
1000	1400	80-90
1200	1600	>100

Fuente: Manual de Carreteras ABC

Figura 4. Señal Restrictiva PARE



Fuente: Manual de Carreteras ABC

Figura 5. Señal Restrictiva CEDA EL PASO



Fuente: Manual de Carreteras ABC

- **Informativas (SI):** Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios a través de la zona de trabajos, entregándoles la información necesaria para que puedan transitar por ella de la forma más segura, simple y directa posible.

Figura 6. Señal Informativa Aeropuerto



Fuente: Manual de Carreteras ABC

Fuente: Manual de Carreteras ABC



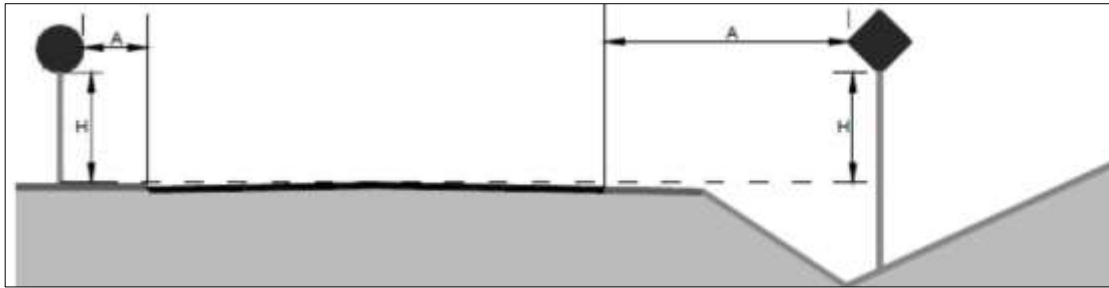
Figura 7. Señalización Informativa de Dirección en vías urbanas

Ubicación lateral

La ubicación lateral de una señal vertical, dependerá de la distancia, medida desde el borde de la calzada, a la cual será instalada. Para esto, es importante tener presente que el conductor de un vehículo tiene una visibilidad en la forma de un cono de proyección, el que se abre en un ángulo de alrededor de 10° con respecto a su eje visual. Por lo tanto, se deberá asegurar que la señal quedará instalada en esa zona. Bajo ninguna circunstancia se podrá instalar una señal sobre la berma cuidando, además, que el borde de la placa más cercano a la calzada, no invada la zona correspondiente a ésta.

Para una mejor interpretación de la ubicación lateral de una señal vertical, tanto en distancia desde la calzada como en altura, se incluye a continuación la figura 8 y tabla 6

Figura 8. Ubicación transversal de señales verticales (distancia y altura)



Fuente: Manual de Carreteras ABC

Tabla 6. 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
Caminos	1.5	1.5	2.2
Vías Urbanas	0.6	2.0	2.2

Fuente: Manual de Carreteras ABC

Condiciones

El señalamiento vertical debe ser uniforme en su diseño, posición y aplicación. Es necesaria su uniformidad a fin de que las señales sean reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía; esto es, fácil para leer, fácil para entender.

Los dispositivos del sistema de señalamiento vertical que salgan de uso por un cambio en las condiciones o restricciones de circulación, deberán ser retirados o bien cubiertos cuando dichas condiciones sean transitorias, respectivamente.

Atributos

Las señales deben poseer ciertos atributos que ofrezcan garantías de que los usuarios las reconozcan, las entiendan, sean respetadas, y en consecuencia reduzcan la posibilidad de demandas. Los atributos son:

- Necesidad: Que su contenido e instalación resulten imprescindibles.
- Conspicuidad: Que llamen la atención del usuario.
- Claridad: Que sean leídas y comprendidas inequívocamente.
- Visibilidad: Que sean visibles, con la debida antelación para poder responder.
- Conciso. El mensaje debe ser lo más breve y claro posible.

Requisitos fundamentales para el control del tránsito:

- Satisfacer una necesidad importante para la circulación vial.
- Llamar la atención de los usuarios que transitan por carreteras y calles.
- Transmitir un mensaje claro y conciso al usuario.
- Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras.
- Estar ubicado en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo al usuario para reaccionar

También deben cumplir los siguientes requisitos técnicos:

- **Forma:** Cada tipo de señal debe tener asociada una forma o conjunto de formas para facilitar al usuario la interpretación de los mensajes que se pretende transmitir.
- **Color:** Para cada tipo de señal, debe existir un color característico de los elementos que componen a la señalización.
- **Dimensiones:** Se deben asociar al tipo de vialidad donde se instalan.
- **Reflexión:** Toda la señalización debe cumplir con un nivel de reflexión para que durante los periodos de baja visibilidad, pueda ser claramente observada.

Para asegurarse que los dispositivos de control sean efectivos, entendibles y satisfaga los requisitos fundamentales anteriores. Estos factores son:

- **Diseño:** La combinación de las características tales como forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberán llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro.
- **Ubicación:** El dispositivo de control deberá estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.
- **Conservación:** Los dispositivos deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, esto es, limpios, legibles y visibles, lo mismo que deberán colocarse o retirarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.(Cal y Mayor & Cardenas, 2018, pp. 140-141)

2.2 FLUJO VEHICULAR

Se refiere a la cantidad de vehículos que pasan por un punto específico de una vía en un período de tiempo determinado. Esta medida es esencial para comprender y evaluar la capacidad y el rendimiento de una vía o sistema de transporte, así como para tomar decisiones informadas sobre diseño, planificación y gestión del tráfico. (HCM, 2010, pp. 3-14)

Algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en sus tres variables principales: el flujo, la velocidad y la densidad. Mediante la deducción de relaciones entre ellas, se puede determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o Nivel de Servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial. A su vez, estas tres variables pueden ser expresadas en términos de otras, llamadas variables asociadas. El volumen, el intervalo, el espaciamiento, la distancia y el tiempo.

Las tres características principales que se pueden explicar matemáticamente por (Mozo Sánchez, 2011) son:

- El volumen o intensidad de tránsito.
- La densidad.
- La velocidad.

El flujo vehicular se expresa generalmente en vehículos por hora (veh/h) y puede variar significativamente según el tipo de vía, la hora del día y las condiciones del tráfico. Se clasifica en tres categorías principales:

2.2.1 Volumen o intensidad de tránsito (Q)

Se define como la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada, durante un período de tiempo determinado. La unidad de medida de esta variable puede ser expresada en vehículos o vehículos por unidad de tiempo.

El volumen se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

Q = Volumen de tránsito

N = Número de vehículos

T = Tiempo

De acuerdo con el intervalo de tiempo, se establecen diferentes tipos de volúmenes de tránsito:

- **Tasa de flujo o flujo (q):** Se define como el número total de vehículos que pasan cuando el intervalo de tiempo es menor a una hora. $T < 1$ hora.
- **Tránsito horario (TH):** Se define como el número total de vehículos que pasan cuando el intervalo de tiempo es igual a una hora. $T = 1$ hora.
- **Tránsito diario (TD):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un día. $T = 1$ día.
- **Tránsito semanal (TS):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a una semana. $T = 1$ semana.
- **Tránsito mensual (TM):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un mes. $T = 1$ mes.
- **Tránsito anual (TA):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un año. $T = 1$ año.
- **Tránsito 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 a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA)

- **Tránsito 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.

2.2.2 Densidad vehicular

Es cantidad de vehículos que circulan por una vía por una unidad de longitud normalmente, este parámetro puede ser determinado o medido en el caso que sea determinado en base a los dos parámetros anteriores velocidad y volumen teniendo la relación:

La densidad se expresa en términos de vehículos por kilómetro y medio por carril y se suele considerar un indicador inequívoco de congestión, reconocido como un indicador inequívoco de la congestión. La densidad se utiliza como determinante de NS(LOS) A a E para segmentos de autopistas y carreteras multicarril. Es conceptualmente fácil de definir y estimar, pero la cuestión es cómo aplicar la densidad a la sección correcta de la carretera durante el periodo de tiempo adecuado. (HCM, 2010, Capítulo 7)

2.2.3 Velocidad

La velocidad es un factor crítico para llevar a cabo estudios de tráfico, ya que es una medida fundamental de la calidad del servicio que se proporciona al usuario de la vía. Se utiliza como una de las medidas de eficacia más importantes para definir los niveles de servicio en una amplia variedad de tipos de vías.

Los estudios de velocidad se realizan con el propósito de estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en una ubicación específica, ya sea en una calle o en una carretera. Este análisis proporciona información valiosa sobre el comportamiento del tráfico en el área, lo que permite a los expertos en tráfico tomar decisiones informadas sobre la planificación y diseño de la infraestructura vial. Las características de velocidad que se determinan pueden usarse para:

- Establecer parámetros para la operación y el control del tránsito, como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control de tránsito, tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas.
- Evaluar y/o determinar lo adecuado de las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.
- Determinar si son válidas las quejas acerca de incidentes de exceso de velocidad.

2.2.3.1 Velocidad media de viaje

Es la velocidad en un tramo definido basado en la longitud de estudio por el tiempo medio gastado en recorrerlo, este a su vez incluye el tiempo de demoras ocasionados por la detención de vehículo.

2.2.3.2 Velocidad de flujo libre (free-flow speed, FFS)

Los vehículos se desplazan con facilidad y sin restricciones, manteniendo una distancia segura entre ellos y alcanzando velocidades cercanas o iguales a los límites de velocidad establecidos. (HCM, 2010, Capítulo 4)

2.2.4 Flujo interrumpido

Se refiere a la situación en la que el movimiento de vehículos a lo largo de una vía o carril se ve afectado por factores que causan detenciones temporales o reducciones significativas en la velocidad de los vehículos. En otras palabras, en un flujo interrumpido, los vehículos no pueden moverse de manera continua y constante debido a la presencia de señales de tráfico, intersecciones, semáforos, congestionamientos u otros eventos que requieren detenerse o disminuir la velocidad.

El flujo interrumpido se caracteriza por momentos de aceleración y desaceleración, así como por la necesidad de detenerse en intervalos regulares debido a condiciones del tráfico o infraestructura vial. Esto puede resultar en una reducción en la capacidad de la vía y en una menor eficiencia en términos de fluidez y tiempos de viaje.(HCM, 2010, pp. 3-13)

2.2.5 Flujo condicionado

Los vehículos pueden experimentar algunas restricciones debido a la presencia de otros vehículos o factores como semáforos, señales de tráfico o intersecciones. Aunque los vehículos aún pueden moverse de manera constante, las velocidades pueden variar más en comparación con el flujo libre. (HCM, 2010, Capítulo 18)

2.2.6 Flujo congestionado

La cantidad de vehículos en una vía supera su capacidad máxima, se produce congestión. En este estado, los vehículos se mueven a velocidades más bajas, a menudo de manera intermitente, y se forman bloqueos que resultan en mayores tiempos de viaje y una experiencia de conducción menos eficiente.

2.3 CONGESTIONAMIENTO DEL TRÁFICO

La congestión surge donde la demanda de tráfico es mayor que la capacidad de la calzada, lo que obliga tiempos de viajes excesivos, dependiendo del tipo de transporte, ubicación geográfica y la hora del día.

“Habitualmente se entiende como la condición en que existen muchos vehículos circulando y cada uno de ellos avanza lenta e irregularmente” (Bull, 2003)

2.3.1 Causas de congestión vehicular

De acuerdo a (Thomson & Bull, 2001), las causas de la congestión vehicular son variadas. Sin embargo, entre los factores que la provocan se encuentran factores de corto y de largo plazo, a continuación, se hace mención de algunas de ellas:

2.3.1.1 Causas de corto plazo

- **Rápido crecimiento poblacional y de trabajo:** El rápido crecimiento en el número de hogares y trabajos en un área inevitablemente incrementa el flujo diario de automóviles a través de dicha área.
- **Un uso más intensivo de vehículos automotores:** La disminución del precio de los automóviles y el acceso al crédito han hecho más accesible la posesión de autos particulares.
- **Deficiente construcción de infraestructura vial:** Existen casos en los que hay zonas con alta densidad poblacional, pero con baja conectividad.

2.3.1.2 Causas de largo plazo

- **Concentración de los viajes de trabajo en el tiempo:** La mayoría de las organizaciones empiezan y terminan sus horas de trabajo a la misma hora, de modo que sus empleados pueden interactuar con empleados de otras organizaciones. Los empleados tienen que viajar al mismo tiempo. Aunque muchos otros viajes (no de trabajo) están también concentrados en las horas pico, por ejemplo, cuando se lleva a los hijos a la escuela.
- **Deseo de escoger dónde vivir y dónde trabajar:** Muchos conductores están dispuestos a viajar largas distancias o a tolerar la pérdida de tiempo por el tráfico con el fin de trabajar y vivir donde ellos escojan.
- **Deseo de vivir en zonas con baja densidad de población:** Un objetivo para muchos ciudadanos es el de poseer un hogar con espacios abiertos, lo que requiere establecerse en grandes zonas alejadas del centro de las ciudades. De aquí que la mayor parte del nuevo crecimiento ocurre en zonas de baja densidad poblacional, lo que genera un mayor tiempo de viaje por residente que en zonas con mayor densidad de población.

- Deseo de viajar en vehículos privados: La mayoría de los ciudadanos prefiere viajar en vehículos privados, usualmente solos, porque dicha forma de viajar provee conveniencia, confort, privacidad, y, muchas veces, una velocidad superior a la del transporte público. Esta preferencia incrementa el número de vehículos en las vialidades durante las horas pico.

2.4 CAPACIDAD

Se define como capacidad de una infraestructura de transporte al “flujo máximo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito”. (Cerquera Escobar, 2007, p. 2)

La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo. (Cal y Mayor & Cardenas, 2018, p. 181)

2.5 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. Una composición casi del tipo universal es la que se subdivide en automóviles camiones autobuses y motocicletas y bicicletas. Entendiéndose por automóviles a todos aquellos que generalmente están compuestos de 2 ejes y 4 ruedas como los autos, jeeps y camionetas pequeñas.

- En camiones, se tendrá los pequeños, medianos y grandes diferenciándose por su capacidad de carga.

- Los autobuses livianos y pesados serán diferenciados por la capacidad de pasajeros que puedan transportar.

Todo esto de acuerdo a los vehículos y sus características que circulan en nuestro medio, pero según el manual de la norma AASHTO se tiene seis vehículos tipo que según la nomenclatura utilizada en dicha norma son los siguientes, El vehículo tipo P corresponde a la categoría de vehículos livianos, que representa el automóvil. El vehículo representativo de las unidades de transporte colectivo, representado por el autobús sencillo, corresponde al tipo bus. El camión de tres ejes no aparece en la clasificación de la AASHTO, pero puede asimilarse al camión sencillo de dos ejes identificado como SU, por ser más restrictivo que los vehículos articulados. En la categoría de vehículos articulados de carga se puede escoger para diseño, por semejanza, el vehículo tipo WB-19 (Semirremolque Interestatal), que utiliza un semirremolque de 14.6 metros de largo (48 pies) y fue adoptado como vehículo de diseño según la ley federal norteamericana de Transporte por Superficie de 19821, aunque igualmente se puede considerar el vehículo tipo WB-20 que está provisto de un semirremolque de 16.2 metros de longitud (53 que está provisto de un semirremolque de 16.2 metros de longitud (53 pies), que en algunas esporádicas ocasiones ha hecho presencia en la carreteras de la región. *American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).*

2.6 DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS (METROS)

Tabla 7. Dimensiones de los vehículos según la norma AASHTO

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1(2.1)	2.6	2.6(2.6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo Delantero	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
Distancia entre Ejes Extremos, WB1	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1

Distancia entre Ejes Extremos, WB2				9.1(9.2)	12.8	14.3
---------------------------------------	--	--	--	----------	------	------

Fuente:AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets

Este tipo de la clasificación de la composición no es rígida pudiendo establecerse la más adecuada para un proyecto en particular de una carretera o una calle.

Es necesario conocer los porcentajes de cada tipo de vehículos que circulan para analizar los efectos que estos 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.

2.7 EL TRÁNSITO DE LA HORA PICO O DE PUNTA

Siendo el TPD una medida muy genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, se vuelve necesario tomar en debida cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento vehicular a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras.

2.8 EL FACTOR DE HORA PICO, FHP

El factor de hora pico o FHP, se expresa como la relación que siempre será igual o menor que la unidad, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor registrado durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. O sea que, al afectar los volúmenes horarios de diseño por este factor, se están asumiendo las condiciones más exigentes de la demanda, a las cuales debe responder la propuesta de solución de reconstrucción, mejoramiento o ampliación de una carretera determinada.

La decisión de afectar o no el volumen horario de diseño por este factor, muy utilizado en los cálculos de capacidad y niveles de servicio, depende del grado en que las fluctuaciones del movimiento vehicular durante la hora máxima, por su relevante significación, afectan las decisiones operativas y de diseño de la carretera. En muchas soluciones viales en el

área rural, los analistas se limitan a examinar las condiciones promedio durante la hora pico. En general, se considera que cuando el FHP es menor de 0.85, las condiciones operativas de la carretera variarán sustancialmente.

2.9 VARIACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO

Nos referiremos a las variaciones periódicas que sufre el volumen de tráfico en las horas del día, los días de la semana, los meses del año y en el sentido de la circulación.

Variaciones horarias

Durante un mismo día, el tráfico presenta fluctuaciones significativas entre las distintas horas, generalmente asociadas a los patrones de actividad de la población. Se identifican:

- Horas pico o de máxima demanda (por ejemplo, ingreso y salida laboral o escolar).
- Horas valle o de tráfico moderado a bajo.

Estas variaciones horarias son fundamentales para determinar los volúmenes horarios de diseño (VHD) y para establecer el nivel de servicio (LOS) en intersecciones y segmentos viales (*TRB, 2016; INVIAS, 2018*).

Variaciones por sentido

En vías de doble sentido, si bien se espera una distribución relativamente equilibrada, ciertas condiciones pueden generar asimetrías, como:

- Flujo pendular urbano–residencial (mañana hacia la ciudad, tarde hacia barrios).
- Eventos especiales o desvíos temporales.
- Restricciones de acceso para ciertos tipos de vehículos.

Estas diferencias deben considerarse al momento de diseñar carriles reversibles, intersecciones o señalización diferenciada por sentido (*INVIAS, 2018*).

2.10 CONTEOS O AFOROS VEHICULARES

El conteo o aforo vehicular es una forma de caracterizar el tránsito. Este procedimiento se debe realizar en días típicos (laborales, no laborales, festivos, fines de semana, etc.) En los cuales se puedan obtener resultados representativos para la caracterización del tránsito en la zona en estudio.

Recuento manual

Si se quiere tener una información mucho más explícita sobre el tipo de vehículos, el número de ejes, el volumen por cada sentido, el volumen por cada carril, etc.

El recuento manual resulta ser más efectivo, aunque ello requiere de mucho más personal; como ser operadores o aforadores, en definitiva, representa un mayor presupuesto. Los recuentos manuales en la actualidad solo son usados para proyectos específicos de corta duración o en forma periódica realizada en algunos tramos de carreteras importantes.

Dada la importancia de tener valores de volúmenes tanto en carreteras como en calles cualquiera sea el método automático y manual es indispensable la información de volúmenes para realizar un análisis del problema de tráfico.

2.11 PERIODO DE RECuento

El recuento de volúmenes vehiculares es una etapa fundamental en los estudios de tránsito, ya que permite conocer con precisión la magnitud y variabilidad del tráfico en una vía determinada. Según el tipo de estudio, recursos disponibles y la importancia funcional de la carretera, los recuentos pueden clasificarse en función de su periodicidad en tres categorías principales:

Recuento periódico

Se trata de campañas de aforo programadas en ciertas épocas del año, usando equipos automáticos o manuales en ubicaciones específicas de la red vial. Estos recuentos se realizan por intervalos (por ejemplo, tres veces al año) y permiten obtener valores

promedio representativos del comportamiento del tráfico si se aplican los factores de ajuste correspondientes.

Generalmente se emplean en redes regionales, carreteras secundarias o terciarias donde no es viable instalar estaciones permanentes. Las campañas suelen durar entre 7 y 30 días continuos, con mediciones 24 horas/día. MOP Chile (2018); HCM (2016); INVIAS (2018).

Recuento de tiempo específico

Este tipo de recuento se realiza como parte de proyectos de evaluación o diseño específicos, tales como:

- Diseño de carreteras nuevas.
- Ampliación de trazos urbanos.
- Estudios de variantes.
- Evaluación funcional de un tramo existente.

Los datos recolectados durante un periodo definido (por ejemplo, 5, 15 o 30 días) son utilizados para estimar volúmenes diarios, mensuales o anuales a través de factores de corrección estacional o temporal. Es clave seleccionar una época representativa del comportamiento real del tránsito, evitando eventos atípicos o meses extremos.

AASHTO (2018); PIARC (2016); INVIAS (2018)

2.12 NIVELES DE SERVICIO

El nivel de servicio es un indicador cualitativo utilizado para medir la calidad y las condiciones del flujo vehicular, descrito en factores como velocidad, seguridad, comodidad, libertad del conductor para maniobrar, tiempo de recorrido, entre otros elementos que permitan evaluar el servicio de la vía.

De acuerdo a la norma HCM 2000 que es la base para el desarrollo de la norma boliviana de la (ABC) Administradora Boliviana de carreteras, los niveles de servicio son los siguientes.

Nivel de servicio A

Es aquel que por sus condiciones de circulación son de flujo libre, bajos volúmenes y altas velocidades hay poco o nada de limitación de maniobras por la presencia de otro vehículo, existiendo pocos o nulos retardos.

Figura 9. Nivel de servicio A



Fuente. Elaboración propia.

Nivel de servicio B

Es aquel cuyas condiciones de circulación tiene un flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser restringidas, pero con cierta libertad para definir su velocidad y su carril. Al existir un mayor volumen se hace algo más restringidas las maniobras de los vehículos.

Figura 10. Nivel de servicio B



Fuente. Elaboración propia.

Nivel de servicio C

Corresponde a las condiciones de circulación aun en un flujo estable, pero con velocidades en maniobras que resultan más controladas por los mayores volúmenes, ya no existe libertad para elegir la velocidad, cambiar carriles o realizar acciones de rebase. Sin embargo, se considera todavía en condiciones apropiadas de circulación y por ello se ha establecido que este nivel de servicio es el más adecuado y equilibrado para fines de diseño.

Figura 11. Nivel de servicio C



Fuente. Elaboración propia

Nivel de servicio D

Las condiciones de circulación se acercan a un flujo inestable, con velocidades de circulación bajas, las fluctuaciones de volúmenes son mayores y por tanto las restricciones de maniobras muy frecuentes. Highway Capacity Manual HCM (2000). Transportation Research Board. Washington DC

Figura 12. Nivel de servicio D



Fuente. Elaboración propia

Nivel de servicio E

Las condiciones de tráfico prácticamente son inestables las velocidades de operación son bajas, los volúmenes ya están cerca de la capacidad de la carretera y calle y pueden existir demoras o paradas de duración pequeña.

Figura 13. Nivel de servicio E



Fuente. Elaboración propia

Nivel de servicio F

En este nivel las condiciones de circulación son de flujo forzado, velocidades bajas, detenciones frecuentes y mayores lapsos de tiempo considerándose a este nivel prácticamente de tráfico congestionado.

Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio, se describen sumariamente de la siguiente manera.

Figura 14. Nivel de servicio F



Fuente. Elaboración propia

Tabla 8. Descripción de los niveles de servicio

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

Fuente. TRB, Highway Capacity Manual (HCM).

2.13 TIPOS DE VÍAS Y SUS CARACTERÍSTICAS NORMA AASTHO

La clasificación funcional de las carreteras se basa en el tipo de servicio que brindan, el cual está vinculado a la naturaleza de los viajes que soportan. En un trayecto típico, los usuarios pasan por una jerarquía vial que combina carreteras de distintos niveles de movilidad y acceso. Así, las vías pueden clasificarse según si privilegian la movilidad, el acceso, o un equilibrio entre ambos.

Cuando la prioridad es la movilidad, como en el caso de las autopistas, se facilita el desplazamiento a mayores distancias, con altos volúmenes de tránsito y velocidades elevadas, pero se restringen los accesos. En contraste, las vías orientadas al acceso, como calles locales o caminos vecinales, presentan una red densa con mayor conexión a propiedades cercanas, menor tránsito de paso y velocidades más bajas.

Autopistas

Las autopistas son carreteras cuya función principal es de movilidad, no de acceso. En un sistema vial desarrollado.

Las autopistas según su ubicación se dividen en dos grupos:

Autopistas urbanas

Las autopistas urbanas son capaces de soportar elevados volúmenes de tránsito. Estas autopistas pueden llegar a contar con un sinnúmero de carriles de circulación, aunque la solución más frecuente consta de dos y tres carriles en una sola dirección.

Autopistas rurales

Siendo catalogada una autopista como la categoría superior en la tipología de las carreteras regionales, debe proyectársele para altas velocidades de diseño, con un máximo razonable de 110 kilómetros por hora. Una velocidad tal de diseño debe usarse.

Carreteras troncales

Las carreteras troncales suburbanas

Están concebidas fundamentalmente para atender demandas de tránsito que, al término del período de diseño, alcanzarán volúmenes comprendidos entre 10,000 y 20,000 vehículos promedio diario. Se localizan entre las ciudades dormitorio y las capitales, de las cuales dichas ciudades son tributarias, o entre áreas proyectadas para alcanzar un llamativo desarrollo económico.

Los accesos se permiten directamente, excepto cuando se desea introducir algún grado de control de los mismos para favorecer la fluidez del tránsito de paso, reservándose espacios y diseños adecuados para estacionamiento y movimientos peatonales longitudinales. La construcción de calles marginales a estas carreteras es altamente recomendable, cuando se desea destacar su función de movilidad.

Las carreteras troncales rurales

Constituyen los ejes principales y de mayor significación en la estructura de la red regional de un País o Departamento. Se desarrollan con recorridos que se extienden a lo largo y ancho de todo el estado, por lo que el entorno que les corresponde es variable, así como también son variables los rangos en los volúmenes de tránsito que sirven y que, al año de diseño, podrían llegar hasta los 20 ,000 vehículos por día promedio

Carreteras Colectoras

Las carreteras colectoras suburbanas

Mantienen un sensible balance entre su función de acceso a las propiedades colindantes y su importante función complementaria de movilidad. Atiende, por consiguiente, una demanda de tránsito similar a las troncales rurales, ya que por el límite superior pueden alcanzar hasta los 10,000 vehículos por día. Al mismo tiempo, estas carreteras están ligadas a los movimientos generados por las áreas urbanas, canalizando tránsito hacia otras vías y dando acceso a terrenos y propiedades colindantes, por lo que su demanda vehicular puede disminuir sensiblemente. Este tipo de vías estará dotado de una sección transversal provista de dos a cuatro carriles de circulación, para la atención del tránsito en ambos sentidos.

Las carreteras colectoras rurales

Generalmente sirven al tránsito con recorridos de menores distancias relativas, que se mueve entre ciudades, pueblos, sirve así mismo como alimentador de las arterias troncales y de las colectoras suburbanas. La velocidad en estas vías es moderada comparada con las arterias de tránsito mayor.

Las colectoras amplían la zona de influencia de la red principal, por cuanto mueven el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderas importantes, centros de educación con significativo movimiento de estudiantes y áreas industriales. Sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 10,500 vehículos promedio diario. Administradora Boliviana de Carreteras (2014). Manual de control de tránsito. La Paz, Bolivia.

El siguiente cuadro muestra la guía recomendada por la AASHTO, para seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su tipología y las características del terreno.

Tabla 9. Nivel de servicio según la tipología del terreno

Tipo de carretera	Tipo de área y nivel de servicio apropiado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano Suburbano
Autopista Especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Fuente. American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

2.14 TIPOS DE VÍAS Y SUS CARACTERÍSTICAS SEGÚN HCM 2000

Carreteras Clase I

Estas son carreteras en donde los conductores esperan viajar a una velocidad relativamente alta y son las principales arterias que conectan los mayores generadores de tránsito. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes largos, entre estas están las de tipo CA. Para el cálculo de los niveles de servicio en este tipo de carreteras se usa el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje.

Carreteras Clase II

Estas son carreteras en donde los conductores no necesariamente esperan viajar a una velocidad alta y funcionan como acceso a las carreteras de clase I, generalmente son rutas recreacionales que no son arterias primarias. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes cortos, entre estas están las rutas departamentales y rutas nacionales. Para el cálculo de los niveles de servicio en este tipo de carreteras se usa únicamente el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo, ya que la movilidad es menos crítica.

Para la presente investigación, y siguiendo las condiciones de análisis establecidas en el HCM 2000, se consideran las vías en estudio como Carreteras de Clase II y Clase II, por lo que se seguirán los criterios para el análisis del Nivel de Servicio establecidos en el manual.

2.15 DETERMINACIÓN DE CAPACIDADES Y NIVELES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES

2.15.1 Determinación de la Capacidad

Bañón L. y Beviá J. (2000, p-180), basados en el HCM 2000 determinan una expresión empleada para el cálculo de las intensidades de servicio utilizando los factores de corrección en función del nivel de servicio que se desee obtener.

Según esto, si la Intensidad de tráfico definida por el nivel de servicio C siempre coincide con la capacidad de la vía en estudio, en vías que no cumplan las condiciones ideales se calculara la capacidad utilizando la siguiente ecuación:

El procedimiento para el cálculo de las capacidades de las carreteras de dos carriles, que con fines ilustrativos se describe a continuación, se basa en la metodología establecida en el indicado Manual de Capacidad de las Carreteras.

El cálculo de (C) de para carreteras que no cumplan las condiciones ideales se basa en la siguiente expresión:

$$C = 2800 * (v/c)_c * f_d * f_w * f_{hv}$$

Donde:

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora. V/C = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

F_d = Factor de distribución direccional del tránsito.

F_w = Factor para anchos de carril y hombros.

F_{hv} = Factor de vehículos pesados.

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1) + PR (ER - 1)]}$$

Las equivalencias en automóviles para Camiones Pesados (ET), para autobuses (EB) y vehículos recreacionales (ER), afectadas por el alineamiento horizontal, son tomadas de las tablas del Manual de Capacidades. Los factores PT, PB y PR corresponden a la fracción decimal de la proporción de camiones, autobuses y vehículos recreacionales en el volumen de tránsito total.

Tabla 10. Nivel de Servicio (VC) para carreteras de dos carriles

Nivel de Servicio (NS)	Terreno plano						Terreno Ondulado						Terreno Montañoso					
	Restricción de paso, %						Restricción de paso, %						Restricción de paso, %					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
A	.15	.12	.09	.07	.05	.04	.15	.10	.07	.05	.04	.03	.14	.09	.07	.04	.02	.01
B	.27	.24	.21	.19	.17	.16	.26	.23	.19	.17	.15	.13	.25	.20	.16	.13	.12	.10
C	.43	.39	.36	.34	.33	.32	.42	.39	.35	.32	.30	.28	.39	.33	.28	.23	.20	.16
D	.64	.62	.60	.59	.58	.57	.62	.57	.52	.48	.46	.43	.58	.50	.45	.40	.37	.33
E	1	1	.00	.00	1	1	.97	.94	.92	.91	.90	.90	.91	.87	.84	.82	.80	.78

Fuente: HCM. 1994, tabla 8.1, página 283 versión español

Tabla 11. Factor de ajuste por distribución Direccional

Separación Direccional	
(%)	Factor
50/50	1
60/40	0,94
70/30	0,89
80/20	0,83
90/10	0,75
100/0	0,71

Fuente. (Cuadro 2.6, Sección 2.19 SIECA)

Tabla 12. Automóviles Equivalentes por Camiones y Automóviles en función del tipo de terreno, Carreteras de dos carriles

Tipo de Vehículo	Nivel Servicio	Tipo de Terreno		
		Plano	Ondulado	Montañoso
Camiones, Et	A	2.0	4.0	7.0
	B-C	2.2	5.0	10.0
	D-E	2.0	5.0	12.0
Buses, Eb	A	1.8	3.0	5.7
	B-C	2.0	3.4	6.0
	D-E	1.6	2.9	6.5
Vehículos Recreativos, ER	A	2,2	3,2	5
	B-C	2,5	3,9	5,2
	D-E	1,6	3,3	5.2

Fuente. (SIECA 2-20, Tabla 8.6. pág 289. HCM - español.)

Tabla13. Factor ajuste por efeto combinado de ancho carril y hombro

Hombro (m)	Carril de 3.65m		Carril de 3.35m		Carril de 3.05m		Carril de 2.75m	
	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E
1,8	1	1	0,93	0,94	0,83	0,87	0,7	0,76
1,2	0,92	0,97	0,85	0,92	0,77	0,85	0,65	0,74
0,6	0,81	0,93	0,75	0,88	0,68	0,81	0,57	0,7
0	0,7	0,88	0,65	0,82	0,58	0,75	0,49	0,66

Fuente. (SIECA 2-20, Tabla 8.6. pág 289. HCM - español.)

Tabla 14, HCM. Pag, 289. Versión española

Volumen Horario (Veh/hora)	FHP
100	0,83
200	0,87
300	0,9
400	0,91
500	0,91
600	0,92
700	0,92
800-900	0,93
1000-1400	0,94
1500-1800	0,95
1900	0,96

Fuente: HCM. 1994, tabla 8.1, página 283 versión español

2.15.2 Determinación del Nivel de Servicio

La metodología del HCM 2000 para el análisis bidireccional en carreteras de dos carriles, estima las medidas de operación de tránsito a lo largo de una sección de carretera, con base en el tipo de terreno, diseño geométrico y las condiciones del tránsito. El terreno se clasifica como llano y ondulado ya que el terreno montañoso se aborda mediante el análisis operacional en pendientes específicas en ascenso y descenso.

De acuerdo a lo mencionado, el proceso de cálculo del Nivel de Servicio es el siguiente:

- Primero se realiza la determinación de la velocidad de flujo libre, que es medida en el tránsito en condiciones de bajo volumen (hasta 200 automóviles/hora en ambos sentidos) y puede ser obtenida mediante la medición directa en campo o por estimación.
- Luego, para la determinación del flujo vehicular deben realizarse tres ajustes al volumen horario de demanda, con base en los conteos manuales de tránsito o en estimaciones, para así llegar al flujo horario expresado en vehículos equivalentes.
- La velocidad promedio de viaje se estima a partir de la velocidad a flujo libre, el flujo de demanda y un factor de ajuste por el porcentaje de zonas de no rebase.
- A continuación, se determina el porcentaje de tiempo perdido por seguimiento a partir del flujo de demanda, de la distribución direccional del tránsito y del porcentaje de zonas de no rebase.
- Llegados a este punto, el primer paso para determinar el nivel de servicio es comparar el flujo equivalente en automóviles, con la capacidad de 3.200 autos equivalentes/hora en ambos sentidos en condiciones ideales de la carretera. Si el valor del flujo equivalente es mayor que la capacidad, entonces la carretera opera en sobresaturación y el nivel de servicio es F. Si el valor del flujo equivalente es menor que la capacidad, el nivel de servicio se determina localizando los rangos del porcentaje del tiempo empleado en seguimiento y la velocidad media de viaje, presentados en las tablas correspondientes para carreteras de Clase I o de Clase II.

Determinación de la Velocidad a Flujo Libre (FFS)

La velocidad media de un vehículo se la denomina velocidad de flujo libre o Free Flow Speed (FFS), siempre y cuando no sea interrumpido por otro usuario. La velocidad de flujo libre se la puede determinar con mediciones de campo o estimándola a partir de la velocidad base de flujo libre o Base Free Flow Speed (BFFS).

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo a la siguiente ecuación, es:

$$FFS = V_{mc} + 0,0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre.

V_{mc} = Velocidad según medición de campo.

V = Volumen total en ambos sentidos.

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos.

Determinación de la Demanda de Tasa de Flujo (V_p)

Para la determinación de la tasa de flujo se debe realizar tres ajustes a los volúmenes horarios, para lograr convertirla en una tasa de flujo de vehículos equivalentes livianos, los mismos que puedan ser usados en los criterios para la determinación del nivel de servicio. Los ajustes son: el factor de hora pico, el factor de ajuste debido al porcentaje de pendiente del tramo en estudio y el factor de ajuste debido a los vehículos pesados, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos

FHP = Factor hora pico

f_g = Factor de ajuste por pendiente

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados

Factor de Ajuste por Pendiente (f_g)

Este factor indica el efecto del terreno sobre las velocidades de desplazamientos de los vehículos y el porcentaje de seguimiento de un vehículo a otro, inclusive si no existen vehículos pesados presentes. En la Tabla 13 se presentan los valores f_g de para estimar las velocidades promedio de viaje y en la Tabla 14 para estimar el porcentaje de tiempo de seguimiento.

Tabla 15. Factor de ajuste por pendiente (f_g) para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y direccionales

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.71
> 600 - 1200	> 300 - 600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 16. Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccionales

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de Terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.77
> 600 - 1200	> 300 - 600	1.00	0.94
> 1200	>600	1.00	1.00

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (f_{HV})

La presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico disminuye la velocidad de flujo libre, para lo cual, el volumen de tráfico se debe ajustar a un caudal equivalente expresado en los vehículos livianos por hora, este ajuste se lleva a cabo utilizando el factor de f_{HV} .

El factor de ajuste para vehículos pesados se determina mediante la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados.

PT = Proporción de caminos en la tráfico de tráfico.

ET = Equivalencia de pasajero—. carro por camión.

Tabla 17. Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar la velocidad en segmentos en dos sentidos y direccionales

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	> 600 -1200	> 300 -600	1.2	1.9
	> 1200	>600	1.1	1.5
E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.1
	> 1200	>600	1.0	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 18. Equivalencias del número de vehículos livianos por pesados y recreacionales, para determinar el porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos de dos sentidos y direccionales

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_t	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600 -1200	> 300 -600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
E_r	0-600	0-300	1.0	1.0
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.0
	> 1200	> 600	1.0	1.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Determinación de la Velocidad Promedio de Viaje (ATS)

Para la determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS) o Average Travel Speed, se estima tomando en cuenta la velocidad de flujo libre, la demanda de tasa de flujo, y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas de no rebase o no adelantamiento. La velocidad promedio de viaje se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_p) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido.

FFS = Velocidad a flujo libre.

Fnp = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento.

Vp = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano.

Tabla 19. Ajuste (f_{np}) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no- rebase en segmentos direccionales

Intensidad Horaria (Veh/h)	Reducción en la velocidad promedio de viaje (km/h)					
	Zonas de no-rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0	0	0	0	0
200	0.0	1	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2	2.6	3	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1	1	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Determinación del Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTSF)

El porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS) o Percentage of Time Spent Following, se determina a partir de la demanda de razón de flujo, la distribución de tráfico direccional y el porcentaje de zonas de no-rebase.

Este porcentaje se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

Intensidad Horaria (Veh/h)	Porcentaje de Tiempo de seguimiento (%)					
	Zonas de no-rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
Reparto por sentidos = 50/50						
≤ 200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Reparto por sentidos = 60/40						
≤ 200	0.0	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.0	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.5	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Reparto por sentidos = 70/30						
≤ 200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Reparto por sentidos = 80/20						

≤ 200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Reparto por sentidos = 90/10						
≤ 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥ 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 21. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES–CLASE I

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF	Velocidad Media de viaje ATS (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35–50	> 80–90
C	> 50–65	> 70–80
D	> 65–80	> 60–70
E	> 80	≤ 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 22. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES–CLASE II

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF
A	≤ 40
B	> 40–55
C	> 55–70
D	> 70–85
E	> 85

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.16 SEMAFORIZACIÓN.

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos, que se usan para facilitar el control de tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como lo son el rojo, el amarillo y verde.

Su función principal es la de permitir el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

Clasificación de los semáforos.

Los semáforos se clasifican de acuerdo a su función operacional en:

- Semáforo de tiempo predeterminado.
- Semáforo accionado por el tráfico.

Semáforo de tiempo predeterminado.

Son aquellos semáforos vehiculares que han sido diseñados para ejercer un control a través de señales luminosa cuyo tiempo de fase haya sido previamente determinado en función de las características volumétricas de la intersección.

Semáforo accionado por el tráfico.

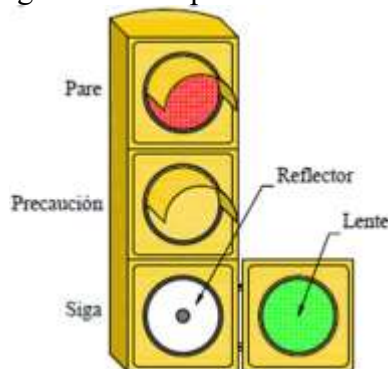
Son aquellos que ya sea que en forma manual o automática su operacionalidad dependerá del volumen de tráfico que circula en los accesos los que directamente determinara el tiempo de cada fase.

Además de estos semáforos se tienen:

- Los semáforos peatonales.
- Los semáforos especiales.

Componentes de un semáforo

Figura 15. Componentes de un semáforo.



Fuente: Ingeniería de Tráfico, Madrid España.

La cara: Es el conjunto de unidades ópticas como ser: el lente, reflector, lámpara, y porta lámpara.

El lente: Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de un semáforo tenga por lo menos tres lentes: rojo, amarillo y verde.

El reflector: Es un aparato de forma cónica que lanza la luz de la lámpara o foco en una determinada dirección.

Función de los colores

El color rojo: Significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz roja deberán detenerse.

El color verde: Significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz verde pueden continuar su marcha sin detenerse.

El color amarillo: Significa precaución ya que la luz roja está a punto de encenderse y por lo tanto vehículos y peatones deberán detenerse.

Ubicación de los semáforos

Los semáforos de acuerdo al tipo de intersección deben ser ubicados en cada uno de los accesos de la intersección totalmente visible a los conductores.

Condiciones de un semáforo de tiempo predeterminado

Un semáforo de tiempo predeterminado en el cual se va a establecer como base inauguración del ciclo predeterminado que varía entre 30-120 segundos, ese ciclo tiene una duración predeterminada cuyo valor deberá ser proyectada en función a las características físicas de la intersección.

Análisis operacional de un semáforo predeterminado

Los parámetros más importantes que se toman en cuenta para la instalación de un semáforo de tiempo predeterminado son:

- El número de vehículos que entran en la intersección por hora desde cada vía de acceso debiendo obtenerse este valor de las estadísticas de volúmenes de las 16 horas de mayor tránsito en el día.
- Volúmenes de vehículos por cada movimiento de tráfico clasificado de acuerdo al tipo de vehículo, pesado, livianos, de transporte público y automóviles particulares durante periodos de 15 minutos de 2 horas en la mañana y 2 horas en la tarde donde el tráfico es mayor.
- Relevamiento plan altimétrico de las características físicas de la intersección.
- Diagrama de accidentes detallando tipo, ubicación y dirección del movimiento de por lo menos un periodo anual.

Ciclos y fases

Un semáforo deberá tener un análisis sobre la duración total del ciclo y la distribución de tiempos entre las fases. La opción del tiempo de ciclo es delicado y muy difícil de determinar en forma óptima, solo la experiencia del proyectista y la experiencia en otros trazos urbanos ya semaforizadas podrá dar una pauta para la adopción del tiempo de ciclo. La elección del tiempo que dure el ciclo se ha establecido que el rango de duración de un ciclo varía entre 30-120 seg. Pueden proveer dos o tres distribuciones de tiempo que dará cabida a diferentes volúmenes de demanda en distintos periodos del día. En la determinación de los tiempos debe prestarse mucha atención a las siguientes variables:

- Volumen de demanda vehicular.
- Composición del tráfico.
- Volumen de demanda peatonal.
- Movimiento de giro.

Duración total del ciclo.

Es difícil de determinar en formas optima el tiempo de ciclo, sin embargo, para fines de diseño con las experiencias recogidas se establece el rango en el cual puede adoptarse el tiempo de ciclo de 30-120 segundos.

Tiempo de fase amarilla.

Su objetivo es de prevención al conductor a que aparezca la fase roja o verde en la cual debe detenerse y arrancar el vehículo respectivamente, debe tener suficiente tiempo para que el conductor perciba el aviso y reaccione produciendo la acción.

Valores de tiempo de fase amarilla.

Como se puede ver los valores para la fase amarilla están entre 3 y 5 segundos.

2.16.1 Determinación de la Distribución de fase verde y fase roja.

Estos tiempos deben estar muy en relación con la demanda y esa demanda está dado por los volúmenes en cada uno de los accesos de la intersección, si los volúmenes los consideramos como valores totales la relación de equilibrio será:

$$\frac{VA}{tVA} = \frac{VB}{tVB}$$

Donde:

VA= Volumen acceso A.

VB = Volumen acceso B.

tVA =Tiempo de verde en acceso A.

tVB = Tiempo de verde en acceso B.

En esta correlación ya se conoce o se da por entendido que los valores del ciclo estarán dados por los tiempos de fase verde en ambos sentidos y los tiempos de fase amarilla en ambos accesos dándonos como tiempo resultante para la asignación de tiempo de fase verde y fase roja al valor de C, las ecuaciones son las siguientes:

$$C = ciclo - ta - ta'$$

$$ciclo = tVA + tVB + ta + ta'$$

Donde:

C = Tiempo sobrante para asignar fase verde y fase roja.

ta =Tiempo de fase amarilla.

ta' = Tiempo de fase amarilla del otro acceso.

Si en la ecuación de equilibrio coloco todo en función de una sola variable tendré que la relación es la siguiente:

$$\frac{VA * ta}{C - tVA} = \frac{VB * ta'}{tVB}$$

Esta ecuación de equilibrio que nos permite asegurar los tiempos de fase roja y verde varía si los tiempos de fase amarilla son diferentes teniéndose la siguiente relación:

$$\frac{VA * ta}{tVA} = \frac{VB * ta'}{tVB}$$

Cuando existen un conjunto de semáforos ubicados en varias intersecciones que están relacionadas entre sí por el comportamiento de la circulación del tráfico resulta más complejo debido a que es muy posible que cada intersección del conjunto tenga que disponer de diferentes fases o de tiempo de fase en los semáforos.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto denominado “Estudio de Tráfico de las Zonas de Aporte al Puente Nuevo de Tomatitas” se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado. Este estudio involucra a dos comunidades vecinas: la comunidad de Tomatitas y la comunidad de San Mateo.

Figura 16. Ubicación geográfica del proyecto



Fuente: Google Earth Pro 2025

3.3 ESTUDIO DE TRÁFICO

3.3.1 Método de Muestreo Manual

Con el fin de determinar la demanda vehicular actual en las inmediaciones del puente nuevo Tomatitas, se empleó un muestreo manual de tráfico. En primera instancia durante siete días consecutivos se realizaron aforos diarios de 13 horas, comprendidos entre las

07:00 y las 20:00, para determinar las horas pico y así realizar los demás aforos en esos horarios. En cada jornada se registraron:

- Volumen de tráfico: Conteo directo de vehículos que ingresan y salen de las zonas de aporte al puente y en los puntos de mayor interés de la zona de estudio.

Para profundizar el análisis, los vehículos se clasificaron en tres categorías livianos, medianos y pesados según la guía de la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO, 2004).

- Vehículos Livianos (automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos).
- Medianos (micro, 22 asientos, ómnibus, 23-25 asientos, otros medianos).
- Pesados: pequeño de 6 Tn, medianos de (6 a 10 Tn), y tráiler de dos ejes.

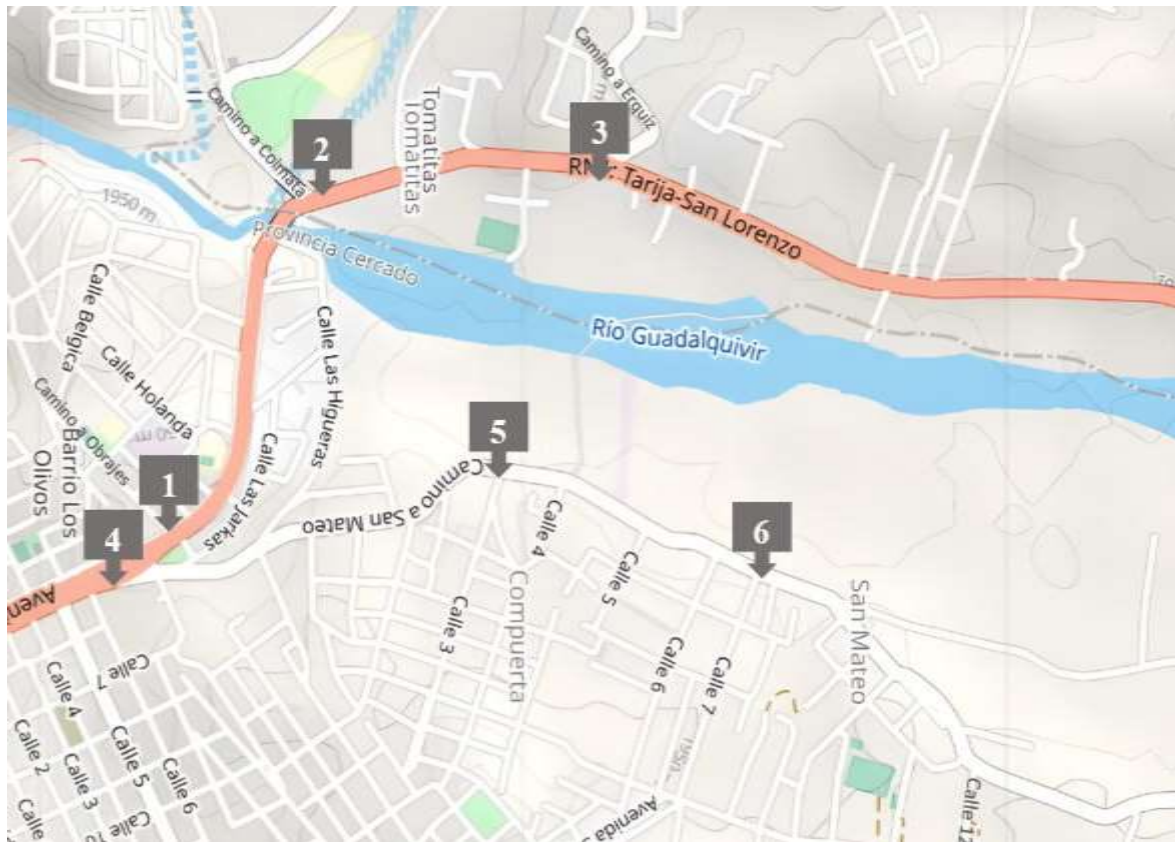
3.3.2 Puntos de aforo

A partir de la visita realizada a la zona de estudio, se definieron las estaciones de aforo en puntos estratégicos de la red vial. La determinación de estas ubicaciones respondió a la observación directa de las condiciones de tránsito, con especial atención en aquellos sectores donde se identificaron bifurcaciones y desvíos que concentran, redistribuyen y canalizan los flujos vehiculares dentro del área de análisis.

Las estaciones establecidas son las siguientes:

- Carretera Tomatitas – Cruce Camino a Obrajes
- Carretera Tomatitas – Cruce Camino a Coimata
- Carretera Tomatitas – Cruce Camino a Erquiz
- Cruce Tomatitas – San Mateo
- Camino San Mateo – Cruce Calle 3
- Camino San Mateo – Cruce Calle 7

Figura 17. Ubicación de Puntos de Aforo



Fuente: Elaboración propia

La selección de estas localizaciones obedece a criterios que aseguran la representatividad del aforo respecto a la dinámica vehicular de la zona de estudio. Cada punto constituye un nodo relevante dentro de la red vial, ya sea por la confluencia de flujos o por la redistribución del tránsito hacia distintas direcciones, lo que permite obtener una medición más precisa del volumen vehicular y un análisis detallado de los patrones de movilidad.

En particular, los cruces de la Carretera Tomatitas con los caminos a Obrajes, Coimata y Erquiz fueron seleccionados debido a que constituyen accesos principales hacia diferentes áreas de influencia, resultandos esenciales para determinar tanto la magnitud como la dirección de los flujos vehiculares. Por otra parte, las estaciones ubicadas en el Cruce Tomatitas – San Mateo y en el Camino San Mateo (Cruce Calle 3 y Cruce Calle 7) complementan la cobertura del estudio al registrar el tránsito local y su articulación con la vía principal de San Mateo.

3.3.3 Planificación y ejecución del relevamiento de campo

El trabajo se desarrolló de forma colaborativa, dada la complejidad de los tramos viales y la envergadura del proyecto. Para asegurar la rigurosidad y coherencia del análisis, se definieron códigos de trabajo estandarizados y se realizó una planificación detallada de cada etapa.

En primer lugar, se organizó el proceso identificando los datos esenciales para el estudio y seleccionando los métodos de recolección más adecuados. Los insumos obtenidos abarcaron:

- Volumen de tráfico: Número de vehículos que circulan por cada tramo de la intersección.
- Composición vehicular: Distribución porcentual de vehículos livianos, medianos y pesados en ambos sentidos de circulación.
- Velocidad de Punta: Mediciones puntuales con radar en las estaciones de aforo, para evaluar el comportamiento real del tránsito bajo distintas condiciones.

3.3.4 Ejecución del relevamiento en campo

3.3.4.1 Aforo vehicular

El aforo se llevará a cabo mediante el método tradicional de conteo manual. Aunque una sola persona coordinará la operación, se contará con al menos un colaborador adicional para registrar simultáneamente los datos de volumen. Cada estación de aforo dispondrá de una planilla diseñada específicamente para este estudio en la que se cuantificará:

Volumen vehicular: Conteo directo de todos los vehículos que atraviesan el punto de medición.

Composición y tipo de vehículo: Clasificación en categorías liviano, mediano y pesado, conforme a la normativa AASHTO (2004).

Este esquema de trabajo colaborativo garantiza la fiabilidad y la coherencia de los registros, permitiendo un análisis detallado del comportamiento del tráfico en cada tramo de estudio.

Tabla 23. Planilla elaborada para la recolección de datos de tráfico.

Semana:		Lugar de Aforo:		
Fecha:		Punto de Aforo:		
HORA	Clase de Vehículo			TOTAL
	VEHÍCULOS LIVIANOS	VEHÍCULOS MEDIANOS	VEHÍCULOS PESADOS	
7-8				
8-9				
9-10				
10-11				
11-12				
12-13				
13-14				
14-15				
15-16				
16-17				
17-18				
18-19				
19-20				

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Velocidad de Punta

Registro de Velocidades

Para el análisis del tráfico en el tramo central de la carretera principal de Tomatitas (Ruta 1) y la carretera de San Mateo, se aplicó un método de recolección de datos mediante el uso de un radar de velocidad en puntos estratégicos previamente seleccionados. Esta metodología permitió obtener mediciones precisas de la velocidad vehicular bajo condiciones reales de circulación, complementando así el análisis de volumen y composición del tránsito.

Registro de Datos

Las velocidades fueron registradas en planillas diseñadas específicamente para este estudio, durante horas pico previamente definidas, con el objetivo de reflejar de manera representativa el comportamiento del tránsito en condiciones de alta demanda. El

procedimiento se aplicó de forma uniforme en todos los puntos de medición, lo que asegura la coherencia y validez de los datos obtenidos. Los registros correspondientes se encuentran en las tablas 47 y 48 que corresponden a la carretera de Tomatitas y San Mateo respectivamente.

Figura 18. Medición de Velocidades Punta, punto 3 Carretera Tomatitas



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 24. Planilla elaborada para la recolección de Velocidades de Punta.

Hora:		Fecha:	
Lugar de Aforo:			
N° de Dato	Velocidades		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
1			
2			
3			
....			
78			
79			
80			

Fuente. Elaboración Propia

3.3.6 Registro de Tiempos de Recorrido y Parada

3.3.6.1 Registro de Tiempos de Recorrido y Parada Carretera de Tomatitas

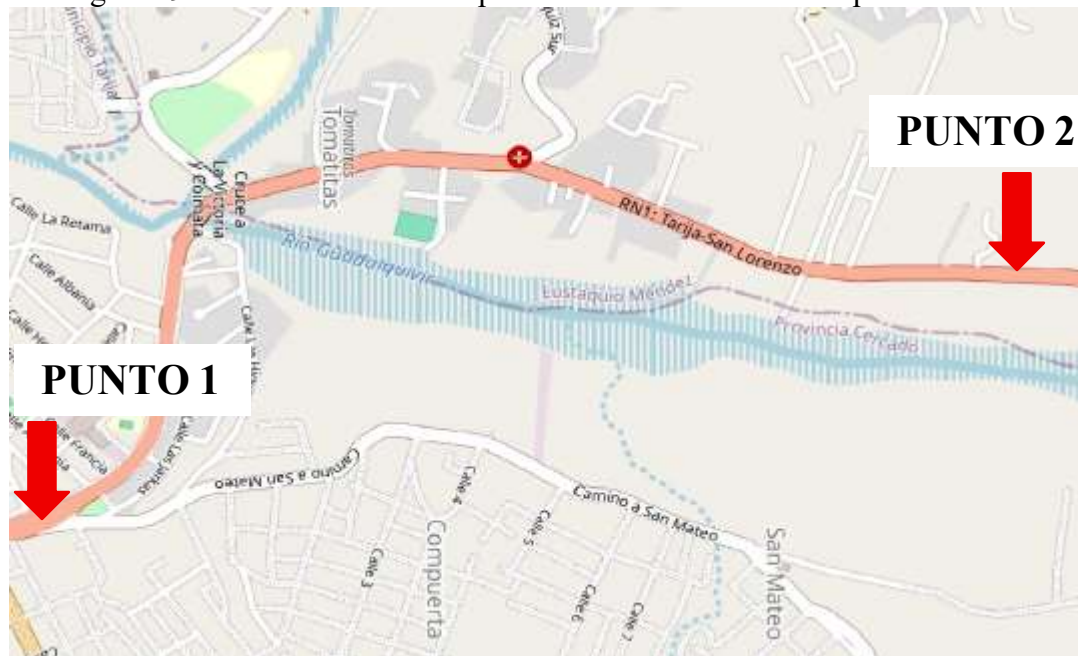
El presente registro corresponde al levantamiento de los tiempos de recorrido y de parada en la carretera de Tomatitas, abarcando de manera específica los tres tramos seleccionados para el estudio. Este registro constituye una herramienta esencial para evaluar las

condiciones reales de operación de la vía, ya que permite identificar las variaciones en los tiempos de desplazamiento de los vehículos, así como las incidencias asociadas a las detenciones durante el trayecto.

La obtención de los datos se realizó mediante un cronómetro digital, capaz de registrar con precisión horas, minutos, segundos y milésimas. El uso de este instrumento aseguró la exactitud de las mediciones y redujo posibles errores de registro, otorgando mayor confiabilidad al análisis.

En cada tramo se llevaron a cabo mediciones sistemáticas a partir de múltiples muestras, en las que se consignaron tres variables principales: el tiempo de recorrido entre los puntos de control que abarcan los tres tramos de estudio (con una longitud total de 3,2 kilómetros), el tiempo de parada registrado durante el trayecto y el tiempo total de viaje, obtenido como la suma de las dos anteriores. Estos datos proporcionan una visión integral de la dinámica vehicular en la carretera de Tomatitas, permitiendo apreciar tanto la duración efectiva de los desplazamientos como la incidencia de las detenciones en la fluidez general del tránsito.

Figura 19. Puntos de Referencia para el levantamiento de tiempos Recorrido



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 25. Tiempos de Recorrido y Parada Carretera de Tomatitas sin considerar el uso del puente nuevo de Tomatitas

NÚMERO DE MUESTRA	TIEMPO DE RECORRIDO PUNTO 1 A 2	TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL
Nº	min:seg:mil	min:seg:mil	min:seg:mil
1	07:31:16	01:27:31	08:58:46
2	06:12:11	01:22:16	07:34:27
3	07:05:33	01:17:20	08:22:53
4	09:41:21	01:12:41	10:54:02
5	08:53:54	01:08:20	10:02:13
6	09:47:16	01:04:14	10:51:30
7	07:59:25	01:11:56	09:11:21
8	09:53:19	01:07:37	11:00:56
9	07:59:16	01:03:34	09:02:50
10	06:12:00	00:59:45	07:11:45
11	07:42:24	01:12:18	08:54:42
12	09:33:33	01:07:57	10:41:31
13	07:07:10	01:03:53	08:11:03
14	08:37:37	01:12:49	09:50:27
15	08:00:45	01:08:27	09:09:12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Tiempos de Recorrido y Parada Carretera de Tomatitas considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

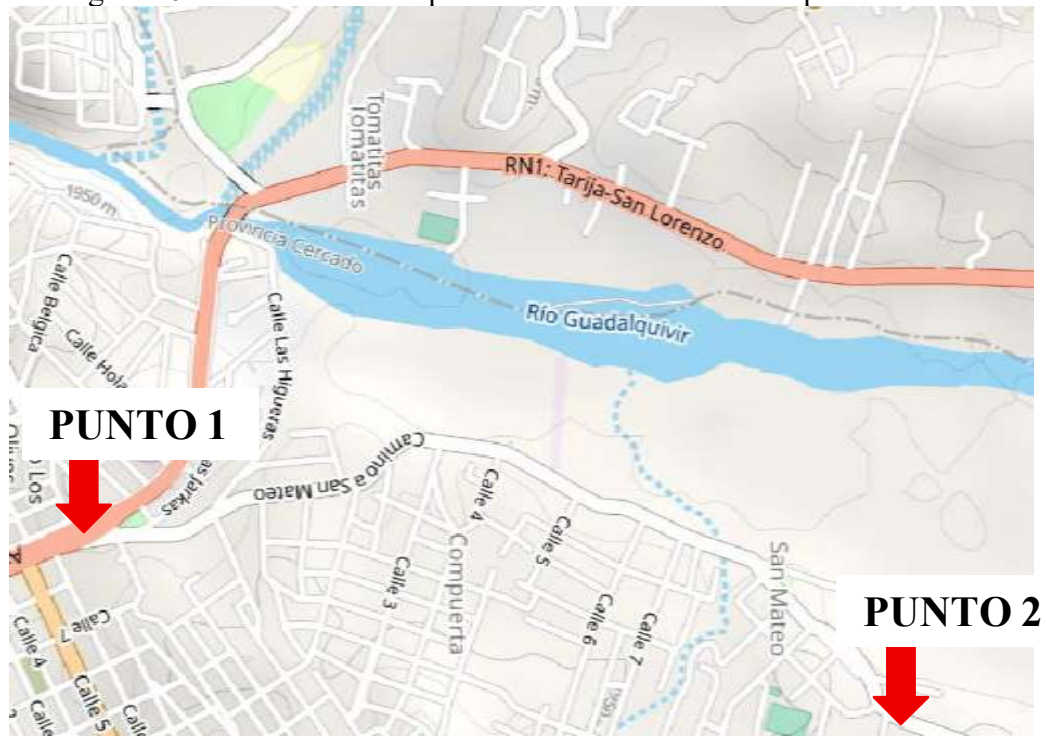
NÚMERO DE MUESTRA	TIEMPO DE RECORRIDO PUNTO 1 A 2	TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL
Nº	min:seg:mil	min:seg:mil	min:seg:mil
1	06:00:06	00:18:39	06:18:45
2	04:57:00	00:17:31	05:14:31
3	05:39:35	00:16:28	05:56:04
4	06:56:46	00:15:29	07:12:15
5	07:06:03	00:14:33	07:20:36
6	07:13:29	00:13:41	07:27:10
7	06:22:34	00:15:19	06:37:54
8	06:54:02	00:14:24	07:08:27
9	06:22:27	00:13:32	06:36:00
10	05:56:51	00:12:44	06:09:35
11	06:09:00	00:15:24	06:24:24
12	06:40:42	00:14:29	06:55:10
13	05:40:53	00:13:36	05:54:29
14	06:53:04	00:15:31	07:08:34
15	06:23:38	00:14:35	06:38:13

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6.2 Registro de Tiempos de Recorrido y Parada Camino de San Mateo

En cada tramo se llevaron a cabo mediciones sistemáticas a partir de múltiples muestras, en las que se consignaron tres variables principales: el tiempo de recorrido entre los puntos de control que abarcan los tres tramos de estudio (con una longitud total de 2,4 kilómetros), el tiempo de parada registrado durante el trayecto y el tiempo total de viaje, obtenido como la suma de las dos anteriores. Estos datos proporcionan una visión integral de la dinámica vehicular en el Camino a San Mateo, permitiendo apreciar tanto la duración efectiva de los desplazamientos como la incidencia de las detenciones en la fluidez general del tránsito.

Figura 20. Puntos de control para el levantamiento de tiempos Recorrido



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 27. Tiempos de Recorrido y Parada Camino de San Mateo sin considerar el uso del puente nuevo de Tomatitas

NÚMERO DE MUESTRA	TIEMPO DE RECORRIDO PUNTO 1 A 2	TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL
Nº	min:seg:mil	min:seg:mil	min:seg:mil
1	04:15:52	00:08:45	04:24:37
2	04:25:01	00:08:14	04:33:15
3	04:01:17	00:07:44	04:09:01
4	05:29:38	00:07:16	05:36:54
5	05:02:43	00:06:50	05:09:33
6	05:32:59	00:06:25	05:39:24
7	04:31:50	00:07:12	04:39:01
8	05:36:24	00:06:46	05:43:10
9	04:31:44	00:06:21	04:38:06
10	04:24:56	00:05:58	04:30:54
11	04:22:11	00:07:14	04:29:25
12	05:25:12	00:06:48	05:32:00
13	04:02:12	00:06:23	04:08:36
14	04:53:29	00:07:17	05:00:46
15	04:32:35	00:06:51	04:39:26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Tiempos de Recorrido y Parada Camino de San Mateo considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

NÚMERO DE MUESTRA	TIEMPO DE RECORRIDO PUNTO 1 A 2	TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL
Nº	min:seg:mil	min:seg:mil	min:seg:mil
1	06:34:51	00:25:23	07:00:14
2	05:25:39	00:23:51	05:49:31
3	06:12:21	00:22:25	06:34:47
4	08:28:41	00:21:05	08:49:46
5	07:47:09	00:19:49	08:06:58
6	08:33:51	00:18:38	08:52:29
7	06:59:29	00:20:52	07:20:21
8	08:39:09	00:19:37	08:58:45
9	06:59:21	00:18:26	07:17:47
10	05:25:30	00:17:20	05:42:50
11	06:44:36	00:20:58	07:05:34
12	08:21:52	00:19:42	08:41:34
13	06:13:46	00:18:31	06:32:18
14	07:32:55	00:21:07	07:54:02
15	08:21:39	00:19:51	08:41:30

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7 Características de los Tramos en Estudio

3.3.7.1 Tramo Tomatitas

Tabla 29. Ancho de carril y berma Tomatitas

Tomatitas	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Ancho de carril	3.5 m	3.35 m	3.5 m
Ancho de berma	0,6	0,3 m	0,6 m

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7.2 Tramo San Mateo

Tabla 30. Ancho de carril y berma San Mateo

San Mateo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Ancho de carril	3.35 m	3.35 m	3.35 m
Ancho de berma	0,6 m	0,6 m	0,6 m

Fuente: Elaboración propia.

3.3.8 Procedimiento del conteo de vehículos

De acuerdo con lo establecido en las normativas de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), los estudios de aforo vehicular deben realizarse considerando los periodos de máxima demanda de tráfico, comúnmente denominados horas pico. La normativa sugiere la observación de al menos una hora representativa en la mañana, el mediodía y la noche, a fin de caracterizar los momentos de mayor flujo vehicular en la red vial analizada. Para ello, se llevó a cabo un monitoreo continuo del flujo vehicular en un horario comprendido entre las 07:00 a.m. y las 08:00 p.m., abarcando tanto las horas de mayor congestión como los intervalos de menor intensidad. El objetivo principal fue determinar los momentos críticos de tráfico y su comportamiento a lo largo del día.

Una vez identificadas las horas pico, se procedió con la recolección de datos detallada en los puntos estratégicos previamente definidos, durante un periodo aproximado de cuatro semanas. Esta etapa permitió analizar el comportamiento del tráfico con mayor precisión.

Figura 21. Aforo Vehicular punto 1 Carretera Tomatitas



Fuente. Elaboración Propia

3.3.9 Determinación de Horarios Pico

Se realizaron aforos vehiculares durante un período continuo de 13 horas con el objetivo de identificar los horarios pico de circulación en cada una de las carreteras evaluadas. Este procedimiento se llevó a cabo específicamente en los puntos 1 y 4, seleccionados por ser las zonas donde converge y se concentra la mayor parte del flujo vehicular del área de estudio. La elección de estos puntos permitió obtener datos representativos sobre la dinámica del tráfico, facilitando así el análisis de la demanda y el comportamiento del tránsito en los momentos de máxima afluencia.

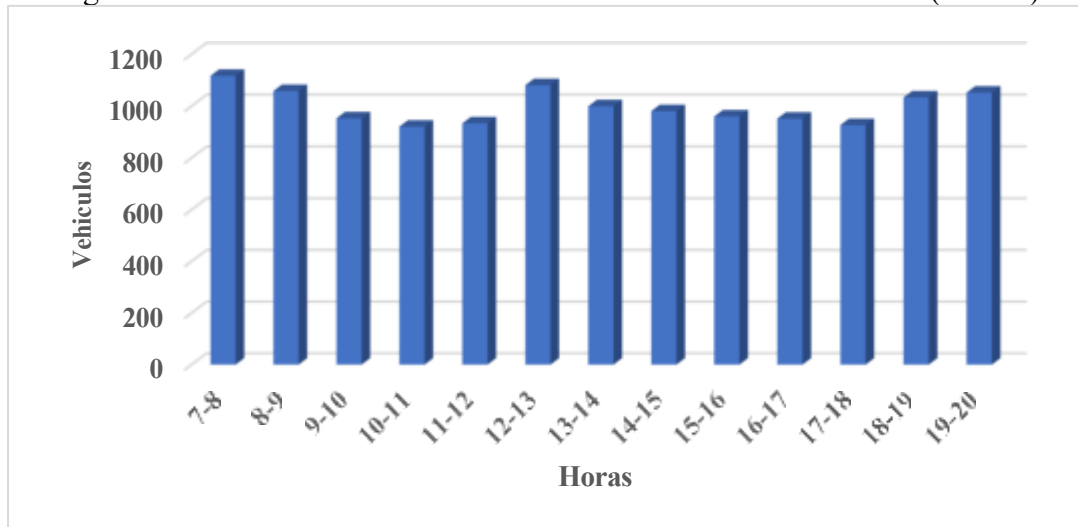
3.3.9.1 Determinación de la hora pico en el punto 1 carretera Tomatitas

Tabla31. Resumen de Aforos en el Punto 1 carretera Tomatitas.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
7-8	1156	1164	1221	1149	1178	1083	865	1117
8-9	1063	1155	1021	1071	1076	1101	921	1058
9-10	918	968	976	912	931	998	965	953
10-11	884	888	931	873	935	954	980	921
11-12	917	884	885	927	884	949	1088	933
12-13	1024	1075	1023	1028	1041	1136	1238	1081
13-14	953	972	972	940	953	953	1252	999
14-15	959	932	932	991	973	973	1104	981
15-16	982	948	948	976	925	1000	939	960
16-17	910	1049	1049	929	943	950	830	951
17-18	898	988	988	895	896	894	928	927
18-19	964	1073	1060	978	994	1087	1077	1033
19-20	1055	1039	1036	1047	1065	1068	1054	1052

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Gráfico de barras Horas Pico en la carretera de Tomatitas (Punto1)



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar los aforos vehiculares correspondientes en la estación de aforo 1 correspondiente a la Carretera Tomatitas, se identificaron las siguientes horas pico con mayor flujo de tráfico:

- Mañana: de 7:00 a 8:00 am
- Mediodía: de 12:00 a 13:00 pm
- Noche: de 18:00 a 19:00 pm

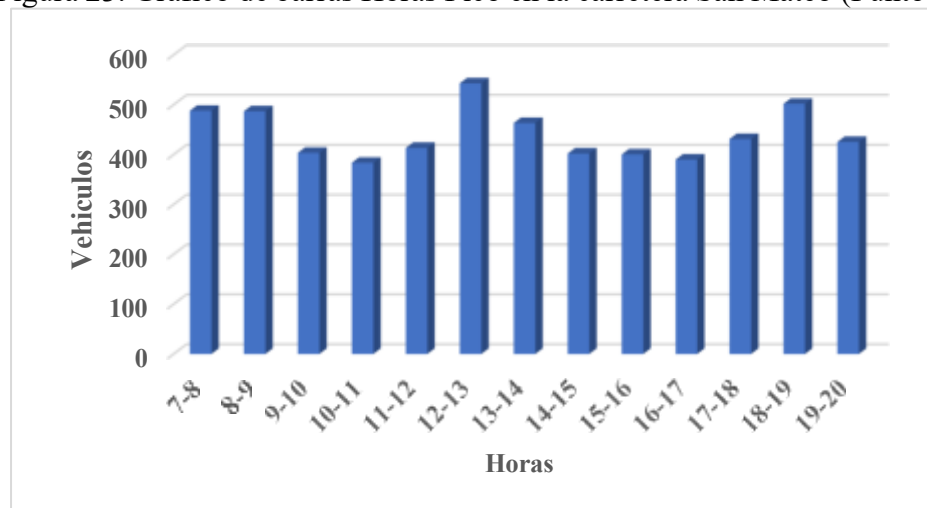
3.3.9.2 Determinación de la hora pico en el punto 4 carretera San Mateo

Tabla 32. Aforos en el Punto 4 carretera San Mateo.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
7-8	516	525	536	516	558	463	301	488
8-9	447	546	455	462	480	577	440	487
9-10	347	404	442	348	380	445	458	403
10-11	325	343	396	338	413	421	449	384
11-12	398	380	357	411	400	456	491	413
12-13	497	541	503	508	534	652	565	543
13-14	453	457	467	449	472	472	473	463
14-15	397	364	364	422	426	426	415	402
15-16	395	402	388	396	386	433	401	400
16-17	335	471	468	361	388	395	311	390
17-18	388	484	480	395	418	407	446	431
18-19	474	533	497	487	516	540	465	502
19-20	395	433	399	443	471	447	389	425

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Gráfico de barras Horas Pico en la carretera San Mateo (Punto 4)



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar los aforos vehiculares correspondientes en la estación de aforo 4 correspondiente a la Carretera San Mateo, se identificaron las siguientes horas pico con mayor flujo de tráfico:

- Mañana: de 7:00 a 8:00 am
- Mediodía: de 12:00 a 13:00 pm
- Noche: de 18:00 a 19:00 pm

Los aforos por hora se encuentran detallados en el Anexo 2.2: Relevamiento de Datos de Volúmenes de Tráfico. En este apartado se presenta un desglose completo de los datos obtenidos durante el estudio, organizados por intervalos horarios para facilitar su análisis y comprensión. Además, se incluye la clasificación del flujo vehicular por tipo de vehículo, permitiendo una evaluación precisa del comportamiento del tráfico en cada periodo registrado.

3.4 Tratamiento de Datos de Campo

Figura 24. Ubicación de Puntos de Aforo



Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Depuración de Volúmenes

Calculo 1: Carretera Tomatitas Punto 1 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
,7:00-8:00 am ,12:00-1:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(1156 + 1024 + 955 + \dots + 865 + 1238 + 1077)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{22590}{21}$$

$$\bar{X} = 1076 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1156 - 1076)^2 + (1024 - 1076)^2 + \dots + (1238 - 1076)^2 + (1077 - 1076)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 92 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 1076 + 92$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 1168 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 1076 - 92$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 984 \text{ veh/h}$$

Tabla 33. Depuración de Volúmenes Punto 1

PUNTO 1			
Día	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	1156	1156
	12-13	1024	1024
	18-19	955	DEPURADO
MARTES	7-8	1164	1164
	12-13	1075	1075
	18-19	1073	1073
MIÉRCOLES	7-8	1221	DEPURADO
	12-13	1023	1023
	18-19	1060	1060
JUEVES	7-8	1149	1149
	12-13	1028	1028
	18-19	963	DEPURADO
VIERNES	7-8	1178	DEPURADO
	12-13	1041	1041
	18-19	994	994
SÁBADO	7-8	1083	1083
	12-13	1136	1136
	18-19	1087	1087
DOMINGO	7-8	865	DEPURADO
	12-13	1238	DEPURADO
	18-19	1077	1077

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(1156 + 1024 + 1164 + \dots + 1136 + 1087 + 1077)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{15780}{15}$$

$$\bar{X} = 1052 \text{ veh/h}$$

Calculo 2: Carretera Tomatitas Punto 2 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
 ,7:00-8:00 am ,12:00-11:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(874 + 756 + 705 + \dots + 615 + 1003 + 819)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{16769}{21}$$

$$\bar{X} = 799 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(874 - 799)^2 + (756 - 799)^2 + \dots + (1003 - 799)^2 + (819 - 799)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 77 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 799 + 77$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 876 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 799 - 77$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 721 \text{ veh/h}$$

Tabla 34. Depuración de Volúmenes Punto 2

PUNTO 2			
Dia	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	874	874
	12-13	756	756
	18-19	705	DEPURADO
MARTES	7-8	846	846
	12-13	820	820
	18-19	815	815
MIÉRCOLES	7-8	827	827
	12-13	766	766
	18-19	806	806
JUEVES	7-8	752	752
	12-13	776	776
	18-19	722	722
VIERNES	7-8	828	828
	12-13	786	786
	18-19	744	744
SÁBADO	7-8	789	789
	12-13	896	DEPURADO
	18-19	825	825
DOMINGO	7-8	615	DEPURADO
	12-13	1003	DEPURADO
	18-19	819	819

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(874 + 756 + 846 + \dots + 789 + 825 + 819)}{17}$$

$$\bar{X} = \frac{13430}{17}$$

$$\bar{X} = 790 \text{ veh/h}$$

Calculo 3: Carretera Tomatitas Punto 3 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
 ,7:00-8:00 am ,12:00-13:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(633 + 509 + 455 + \dots + 548 + 651 + 576)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{11507}{21}$$

$$\bar{X} = 548 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(633 - 548)^2 + (509 - 548)^2 + \dots + (651 - 548)^2 + (576 - 548)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 48 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 548 + 48$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 596 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 548 - 48$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 500 \text{ veh/h}$$

Tabla 35. Depuración de Volúmenes Punto 3

PUNTO 3			
Dia	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	633	DEPURADO
	12-13	509	509
	18-19	455	DEPURADO
MARTES	7-8	562	562
	12-13	573	573
	18-19	566	566
MIÉRCOLES	7-8	581	581
	12-13	520	520
	18-19	557	557
JUEVES	7-8	581	581
	12-13	520	520
	18-19	557	557
VIERNES	7-8	507	507
	12-13	527	527
	18-19	470	DEPURADO
SÁBADO	7-8	585	585
	12-13	538	538
	18-19	492	DEPURADO
DOMINGO	7-8	548	548
	12-13	651	DEPURADO
	18-19	576	576

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(509 + 562 + 573 + \dots + 538 + 548 + 576)}{16}$$

$$\bar{X} = \frac{8752}{16}$$

$$\bar{X} = 547 \text{ veh/h}$$

Calculo 4: Carretera San Mateo Punto 4 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
 ,7:00-8:00 am ,12:00-13:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(447 + 497 + 395 + \dots + 301 + 565 + 465)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{10600}{21}$$

$$\bar{X} = 505 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(447 - 505)^2 + (497 - 505)^2 + \dots + (565 - 505)^2 + (465 - 505)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 69 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 505 + 69$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 574 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 505 - 69$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 435 \text{ veh/h}$$

Tabla 36. Depuración de Volúmenes Punto 4

PUNTO 4			
Dia	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	447	447
	12-13	497	497
	18-19	395	DEPURADO
MARTES	7-8	546	546
	12-13	541	541
	18-19	533	533
MIÉRCOLES	7-8	536	536
	12-13	503	503
	18-19	497	497
JUEVES	7-8	516	516
	12-13	508	508
	18-19	487	487
VIERNES	7-8	558	558
	12-13	534	534
	18-19	516	516
SÁBADO	7-8	463	463
	12-13	652	DEPURADO
	18-19	540	540
DOMINGO	7-8	301	DEPURADO
	12-13	565	565
	18-19	465	465

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(447 + 497 + 546 + \dots + 540 + 565 + 465)}{18}$$

$$\bar{X} = \frac{8640}{18}$$

$$\bar{X} = 480 \text{ veh/h}$$

Calculo 5: Carretera San Mateo Punto 5 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
 ,7:00-8:00 am ,12:00-13:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(424 + 441 + 378 + \dots + 252 + 518 + 363)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{9404}{21}$$

$$\bar{X} = 448 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(424 - 448)^2 + (441 - 448)^2 + \dots + (518 - 448)^2 + (363 - 448)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 58 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 448 + 58$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 506 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 448 - 58$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 390 \text{ veh/h}$$

Tabla 37. Depuración de Volúmenes Punto 5

PUNTO 5			
Dia	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	424	424
	12-13	441	441
	18-19	378	DEPURADO
MARTES	7-8	494	494
	12-13	494	494
	18-19	434	434
MIÉRCOLES	7-8	516	DEPURADO
	12-13	452	452
	18-19	392	392
JUEVES	7-8	455	455
	12-13	490	490
	18-19	431	431
VIERNES	7-8	499	499
	12-13	484	484
	18-19	447	447
SÁBADO	7-8	427	427
	12-13	585	DEPURADO
	18-19	428	428
DOMINGO	7-8	252	DEPURADO
	12-13	518	DEPURADO
	18-19	363	DEPURADO

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(424 + 441 + 378 + \dots + 252 + 518 + 363)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{6270}{15}$$

$$\bar{X} = 418 \text{ veh/h}$$

Calculo 6: Carretera San Mateo Punto 6 De lunes a Domingo comprendido de 3 horas
 ,7:00-8:00 am ,12:00-13:00 pm,18:00-19:00 pm

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(319 + 381 + 371 + \dots + 317 + 434 + 357)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{7444}{21}$$

$$\bar{X} = 354 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(319 - 354)^2 + (381 - 354)^2 + \dots + (434 - 354)^2 + (357 - 354)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 25 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 354 + 25$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 380 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 354 - 25$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 329 \text{ veh/h}$$

Tabla 38. Depuración de Volúmenes Punto 6

PUNTO 6			
Dia	Hora	DATOS	DEPURACION
LUNES	7-8	319	DEPURADO
	12-13	381	DEPURADO
	18-19	371	371
MARTES	7-8	342	342
	12-13	378	378
	18-19	372	372
MIÉRCOLES	7-8	366	366
	12-13	339	339
	18-19	351	351
JUEVES	7-8	366	366
	12-13	339	339
	18-19	351	351
VIERNES	7-8	339	339
	12-13	357	357
	18-19	344	344
SÁBADO	7-8	351	351
	12-13	334	334
	18-19	336	336
DOMINGO	7-8	317	DEPURADO
	12-13	434	DEPURADO
	18-19	357	357

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(371 + 342 + 378 + \dots + 334 + 336 + 357)}{17}$$

$$\bar{X} = \frac{5797}{17}$$

$$\bar{X} = 341 \text{ veh/h}$$

Calculo 7: Carretera Tomatitas Intersección Carretera Tomatitas-Camino a Coimata. De lunes a Domingo comprendido de 3 horas ,7:00-8:00 am ,12:00-13:00 pm,18:00-19:00 pm

Acceso 1

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(639 + 577 + 514 + \dots + 456 + 732 + 601)}{21}$$

$$\bar{X} = \frac{12016}{21}$$

$$\bar{X} = 572 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(639 - 572)^2 + (577 - 572)^2 + \dots + (732 - 572)^2 + (601 - 572)^2}{21 - 1}}$$

$$\sigma = 57 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 572 + 57$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 629 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 572 - 57$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 515 \text{ veh/h}$$

Tabla 39. Depuración de Volúmenes Intersección Carretera Tomatitas -Camino a Coimata

Día	Hora	ACCESO 1		ACCESO 2		ACCESO 3	
		DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN
LUNES	7-8	639	DEPURADO	465	465	181	181
	12-13	577	577	420	420	157	157
	18-19	514	DEPURADO	403	403	153	DEPURADO
MARTES	7-8	584	584	447	447	186	186
	12-13	598	598	442	442	172	172
	18-19	584	584	461	461	158	158
MIÉRCOLES	7-8	554	554	454	454	202	DEPURADO
	12-13	566	566	427	427	163	163
	18-19	587	587	452	452	175	175
JUEVES	7-8	487	DEPURADO	389	DEPURADO	189	DEPURADO
	12-13	564	564	410	410	162	162
	18-19	511	DEPURADO	401	401	155	DEPURADO
VIERNES	7-8	535	535	420	420	188	DEPURADO
	12-13	576	576	422	422	168	168
	18-19	540	540	410	410	154	DEPURADO
SÁBADO	7-8	587	587	426	426	182	182
	12-13	623	623	475	DEPURADO	180	180
	18-19	612	612	464	464	174	174
DOMINGO	7-8	456	DEPURADO	343	DEPURADO	145	DEPURADO
	12-13	723	DEPURADO	537	DEPURADO	193	DEPURADO
	18-19	601	601	463	463	170	170

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes Acceso 1:

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

$$\bar{X} = \frac{(577 + 584 + 598 + \dots + 623 + 612 + 601)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{8640}{15}$$

$$\bar{X} = 576 \text{ veh/h}$$

Calculo 8: Carretera Tomatitas, Punto 1 – Del 19 al 30 de agosto, los días martes, jueves y sábado. En horarios pico: 07:00 a 08:00 horas, 12:00 a 13:00 horas, 18:00 a 19:00 horas.

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(797 + 705 + 658 + \dots + 825 + 729 + 696)}{118}$$

$$\bar{X} = \frac{13533}{18}$$

$$\bar{X} = 752 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(797 - 752)^2 + (705 - 752)^2 + \dots + (729 - 752)^2 + (796 - 752)^2}{18 - 1}}$$

$$\sigma = 59 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 752 + 59$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 811 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 752 - 59$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 693 \frac{\text{veh}}{\text{h}}$$

Tabla 40. Depuración de Volúmenes Punto 1

PUNTO 1			
Día	Hora	DATOS	DEPURACIÓN
MARTES	7-8	797	797
	12-13	705	705
	18-19	658	DEPURADO
JUEVES	7-8	838	DEPURADO
	12-13	774	774
	18-19	773	773
SÁBADO	7-8	842	DEPURADO
	12-13	706	706
	18-19	731	731
MARTES	7-8	816	DEPURADO
	12-13	730	730
	18-19	684	DEPURADO
JUEVES	7-8	816	DEPURADO
	12-13	730	730
	18-19	684	DEPURADO
SÁBADO	7-8	825	DEPURADO
	12-13	729	729
	18-19	696	696

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(797 + 705 + 774 + \dots + 730 + 729 + 696)}{10}$$

$$\bar{X} = \frac{7370}{10}$$

$$\bar{X} = 737 \text{ veh/h}$$

Calculo 9: Carretera San Mateo, Punto 4 – Del 19 al 30 de agosto, los días martes, jueves y sábado. En horarios pico: 07:00 a 08:00 horas, 12:00 a 13:00 horas, 18:00 a 19:00 horas.

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(745 + 607 + 728 + \dots + 723 + 600 + 693)}{18}$$

$$\bar{X} = \frac{12755}{18}$$

$$\bar{X} = 709 \text{ veh/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(745 - 709)^2 + (607 - 709)^2 + \dots + (600 - 709)^2 + (693 - 709)^2}{18 - 1}}$$

$$\sigma = 72 \text{ veh/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 709 + 72$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 781 \text{ veh/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 709 - 72$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 636 \text{ veh/h}$$

Tabla 41. Depuración de Volúmenes Punto 4

PUNTO 4			
Día	Hora	DATOS	DEPURACIÓN
MARTES	7-8	745	745
	12-13	607	DEPURADO
	18-19	728	728
JUEVES	7-8	757	757
	12-13	581	DEPURADO
	18-19	814	DEPURADO
SÁBADO	7-8	792	DEPURADO
	12-13	773	773
	18-19	757	757
MARTES	7-8	753	753
	12-13	609	DEPURADO
	18-19	720	720
JUEVES	7-8	753	753
	12-13	623	DEPURADO
	18-19	726	726
SÁBADO	7-8	723	723
	12-13	600	DEPURADO
	18-19	693	693

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(745 + 728 + 757 + \dots + 726 + 723 + 693)}{11}$$

$$\bar{X} = \frac{8032}{11}$$

$$\bar{X} = 732 \text{ veh/h}$$

Figura 25. Tramos y Estaciones en Estudio



Fuente: Elaboración propia

Volúmenes sin considerar el uso del puente nuevo de Tomatitas

Tabla 42. Resumen de Volúmenes Finales Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Volumen veh/h
1	1052
2	790
3	547

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Resumen de Volúmenes Finales Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Volumen veh/h
1	480
2	418
3	341

Fuente: Elaboración propia

Volúmenes considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

Tabla 44. Resumen de Volúmenes Finales Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Volumen veh/h
1	737

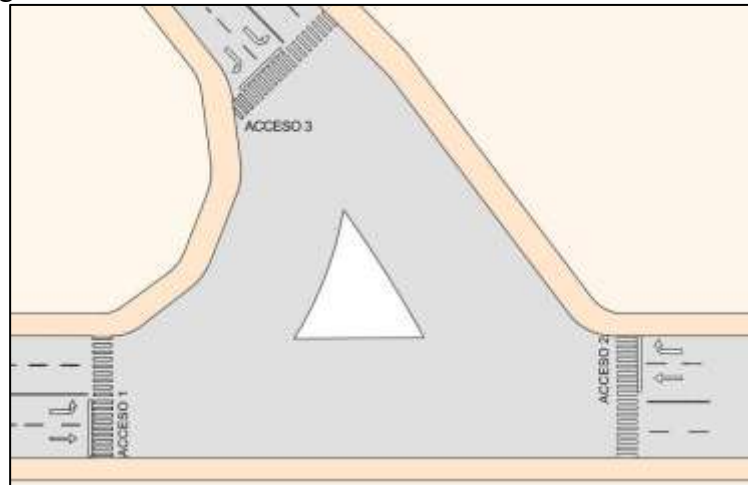
Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Resumen de Volúmenes Finales Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Volumen veh/h
1	732

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Intersección Carretera Tomatitas – Camino a Coimata



Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Resumen de Volúmenes Finales Carretera Tomatitas

Acceso	Volumen veh/h
1	576
2	435
3	153

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Depuración de los Velocidades Tomatitas

Calculo 1: Carretera Tomatitas Punto 1

- Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N}$$
$$\bar{X} = \frac{(20 + 23 + 24 + \dots + 28 + 32 + 20)}{80}$$
$$\bar{X} = \frac{2165}{80}$$
$$\bar{X} = 27 \text{ km/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(20 - 27.1)^2 + (23 - 27.1)^2 + \dots + (32 - 27.1)^2 + (20 - 27.1)^2}{80 - 1}}$$

$$\sigma = 5 \text{ km/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 27 + 5$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 32 \text{ km/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 27 - 5$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 22 \text{ km/h}$$

Tabla 47. Depuración de Velocidades Tomatitas

Nº	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN
1	20	DEPURADO	24	24	42	42
2	23	23	23	23	53	53
3	24	24	28	DEPURADO	48	48
4	28	28	24	24	59	DEPURADO
5	29	29	24	24	51	51
6	22	DEPURADO	27	27	48	48
7	30	30	26	26	40	DEPURADO
8	31	31	27	27	51	51
9	24	24	25	25	47	47
10	25	25	22	22	43	43
11	28	28	17	DEPURADO	40	DEPURADO
12	25	25	17	DEPURADO	49	49
13	32	DEPURADO	24	24	57	DEPURADO
14	26	26	27	27	42	42
15	24	24	25	25	46	46
16	24	24	25	25	41	DEPURADO
17	35	DEPURADO	27	27	58	DEPURADO
18	24	24	25	25	45	45
19	25	25	27	27	43	43
20	20	DEPURADO	24	24	60	DEPURADO
21	25	25	22	22	55	DEPURADO
22	35	DEPURADO	25	25	51	51
23	25	25	25	25	44	44
24	32	DEPURADO	26	26	49	49
25	32	DEPURADO	27	27	47	47
26	30	30	27	27	42	42
27	32	DEPURADO	28	DEPURADO	43	43
28	24	24	23	23	48	48
29	24	24	22	22	69	DEPURADO
30	25	25	17	DEPURADO	47	47
31	27	27	17	DEPURADO	48	48
32	22	DEPURADO	26	26	58	DEPURADO
33	37	DEPURADO	26	26	58	DEPURADO
34	24	24	28	DEPURADO	52	52
35	31	31	29	DEPURADO	48	48
36	24	24	23	23	44	44
37	29	29	23	23	43	43
38	32	DEPURADO	27	27	43	43
39	33	DEPURADO	28	DEPURADO	42	42
40	34	DEPURADO	17	DEPURADO	48	48

N°	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN
41	31	31	25	25	46	46
42	24	24	24	24	55	DEPURADO
43	31	31	23	23	48	48
44	23	23	26	26	45	45
45	26	26	26	26	43	43
46	22	DEPURADO	27	27	55	DEPURADO
47	26	26	25	25	53	53
48	26	26	24	24	51	51
49	29	29	29	DEPURADO	48	48
50	21	DEPURADO	27	27	47	47
51	33	DEPURADO	20	DEPURADO	69	DEPURADO
52	21	DEPURADO	27	27	44	44
53	29	29	17	DEPURADO	47	47
54	24	24	20	DEPURADO	41	DEPURADO
55	26	26	27	27	49	49
56	35	DEPURADO	23	23	48	48
57	35	DEPURADO	27	27	44	44
58	20	DEPURADO	20	DEPURADO	43	43
59	29	29	27	27	44	44
60	22	DEPURADO	28	DEPURADO	43	43
61	29	29	28	DEPURADO	41	DEPURADO
62	22	DEPURADO	25	25	57	DEPURADO
63	35	DEPURADO	17	DEPURADO	41	DEPURADO
64	25	25	23	23	47	47
65	26	26	26	26	43	43
66	20	DEPURADO	28	DEPURADO	43	43
67	29	29	20	DEPURADO	43	43
68	21	DEPURADO	24	24	42	42
69	32	DEPURADO	28	DEPURADO	55	DEPURADO
70	33	DEPURADO	25	25	56	DEPURADO
71	20	DEPURADO	24	24	53	53
72	27	27	17	DEPURADO	58	DEPURADO
73	30	30	18	DEPURADO	53	53
74	21	DEPURADO	31	DEPURADO	52	52
75	26	26	23	23	47	47
76	31	31	18	DEPURADO	58	DEPURADO
77	29	29	28	DEPURADO	47	47
78	28	28	26	26	45	45
79	32	DEPURADO	23	23	44	44
80	20	DEPURADO	29	DEPURADO	40	DEPURADO

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes Punto 1:

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

$$\bar{X} = \frac{(23 + 24 + 28 + \dots + 31 + 29 + 28)}{48}$$

$$\bar{X} = \frac{1282}{48}$$

$$\bar{X} = 27 \text{ km/h}$$

3.4.3 Depuración de los Velocidades Vía San Mateo

Calculo 1: Carretera San Mateo Punto 4

- Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{(29 + 34 + 38 + \dots + 41 + 44 + 29)}{80}$$

$$\bar{X} = \frac{2961}{80}$$

$$\bar{X} = 37 \text{ km/h}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(29 - 37)^2 + (34 - 37)^2 + \dots + (44 - 36.95)^2 + (29 - 37)^2}{80 - 1}}$$

$$\sigma = 4 \text{ km/h}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 37 + 4$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 41 \text{ km/h}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 37 - 4$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 33 \text{ km/h}$$

Tabla 48. Depuración de Velocidades San Mateo

Nº	PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN
1	29	DEPURADO	43	43	50	50
2	34	34	44	44	51	51
3	38	38	42	42	50	50
4	32	DEPURADO	42	42	27	DEPURADO
5	44	DEPURADO	31	DEPURADO	37	37
6	40	40	41	41	47	47
7	35	35	38	38	50	50
8	41	41	37	37	47	47
9	30	DEPURADO	32	DEPURADO	45	45
10	39	39	38	38	26	DEPURADO
11	43	DEPURADO	50	DEPURADO	38	38
12	39	39	53	DEPURADO	39	39
13	30	DEPURADO	34	34	26	DEPURADO
14	40	40	44	44	61	DEPURADO
15	40	40	50	DEPURADO	50	50
16	29	DEPURADO	44	44	38	38
17	40	40	45	45	44	44
18	44	DEPURADO	37	37	45	45
19	35	35	48	DEPURADO	48	48
20	37	37	39	39	37	37
21	35	35	32	DEPURADO	41	41
22	39	39	41	41	47	47
23	37	37	41	41	56	DEPURADO
24	29	DEPURADO	48	DEPURADO	47	47
25	40	40	44	44	31	DEPURADO
26	44	DEPURADO	39	39	56	DEPURADO
27	41	41	43	43	37	37
28	39	39	41	41	49	49
29	40	40	55	DEPURADO	56	DEPURADO
30	40	40	37	37	51	51
31	46	DEPURADO	33	33	35	DEPURADO
32	37	37	20	DEPURADO	29	DEPURADO
33	32	DEPURADO	39	39	54	DEPURADO
34	41	41	39	39	47	47
35	29	DEPURADO	20	DEPURADO	38	38
36	29	DEPURADO	33	33	54	DEPURADO
37	29	DEPURADO	37	37	38	38
38	30	DEPURADO	42	42	44	44
39	43	DEPURADO	32	DEPURADO	48	48
40	37	37	41	41	59	DEPURADO

N°	PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN	DATOS	DEPURACIÓN
41	39	39	50	DEPURADO	48	48
42	44	DEPURADO	36	36	45	45
43	37	37	37	37	40	40
44	36	36	42	42	42	42
45	39	39	53	DEPURADO	43	43
46	39	39	37	37	35	DEPURADO
47	29	DEPURADO	44	44	58	DEPURADO
48	36	36	48	DEPURADO	61	DEPURADO
49	39	39	44	44	48	48
50	44	DEPURADO	53	DEPURADO	38	38
51	39	39	42	42	43	43
52	38	38	38	38	41	41
53	37	37	37	37	39	39
54	39	39	34	34	48	48
55	35	35	35	35	41	41
56	40	40	42	42	59	DEPURADO
57	32	DEPURADO	37	37	51	51
58	38	38	32	DEPURADO	44	44
59	38	38	38	38	47	47
60	38	38	50	DEPURADO	40	40
61	35	35	55	DEPURADO	26	DEPURADO
62	41	41	40	40	46	46
63	37	37	41	41	35	DEPURADO
64	36	36	47	47	42	42
65	35	35	48	DEPURADO	36	DEPURADO
66	38	38	52	DEPURADO	43	43
67	36	36	24	DEPURADO	43	43
68	35	35	36	36	48	48
69	36	36	41	41	41	41
70	35	35	29	DEPURADO	41	41
71	39	39	39	39	41	41
72	35	35	41	41	44	44
73	32	DEPURADO	35	35	48	48
74	35	35	45	45	50	50
75	36	36	35	35	59	DEPURADO
76	35	35	33	33	48	48
77	39	39	24	DEPURADO	47	47
78	41	41	41	41	43	43
79	44	DEPURADO	42	42	47	47
80	29	DEPURADO	42	42	45	45

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes Punto 4:

$$\bar{X} = \frac{(34 + 38 + 40 + \dots + 35 + 39 + 41)}{63}$$

$$\bar{X} = \frac{2437}{63}$$

$$\bar{X} = 39 \text{ km/h}$$

Tabla 49. Resumen de Velocidades de Punta Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Volumen km/h
1	27
2	25
3	46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Resumen de Velocidades de Punta Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Volumen km/h
1	39
2	40
3	44

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Depuración de tiempos de Recorrido carretera de Tomatitas sin considerar el uso del nuevo puente de Tomatitas

- Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{(539 + 454 + 503 + \dots + 491 + 590 + 549)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{8393}{15}$$

$$\bar{X} = 560 \text{ seg}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(539 - 560)^2 + (454 - 560)^2 + \dots + (590 - 560)^2 + (549 - 560)^2}{15 - 1}}$$

$$\sigma = 73 \text{ seg}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 560 + 73$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 487 \text{ seg}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 560 - 73$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 632 \text{ seg}$$

Tabla 51. Depuración de Velocidades de Recorrido carretera de Tomatitas sin considerar el uso del nuevo puente de Tomatitas

Nº	Tiempo Total de Recorrido (seg)	DEPURACIÓN
1	539	539
2	454	DEPURADO
3	503	503
4	654	DEPURADO
5	602	602
6	651	DEPURADO
7	551	551
8	661	DEPURADO
9	543	543
10	432	DEPURADO
11	534	534
12	641	DEPURADO
13	491	491
14	590	590
15	549	549

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(539 + 503 + 602 + \dots + 491 + 590 + 549)}{9}$$

$$\bar{X} = \frac{4901}{9}$$

$$\bar{X} = 545 \text{ seg}$$

3.4.5 Depuración de tiempos de Recorrido carretera de Tomatitas considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

- Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{(379 + 314 + 356 + \dots + 354 + 428 + 398)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{5941}{15}$$

$$\bar{X} = 396 \text{ seg}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(379 - 396)^2 + (314 - 396)^2 + \dots + (428 - 396)^2 + (398 - 396)^2}{15 - 1}}$$

$$\sigma = 37 \text{ seg}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 396 + 37$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 433 \text{ seg}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 396 - 37$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 359 \text{ seg}$$

Tabla 52. Depuración de Velocidades de Recorrido carretera de Tomatitas considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

Nº	Tiempo Total de Recorrido (seg)	DEPURACIÓN
1	379	379
2	314	DEPURADO
3	356	DEPURADO
4	432	432
5	441	DEPURADO
6	447	DEPURADO
7	398	398
8	428	428
9	396	396
10	370	370
11	384	384
12	415	415
13	354	DEPURADO
14	428	428
15	398	398

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

$$\bar{X} = \frac{(379 + 432 + 398 + \dots + 415 + 428 + 398)}{10}$$

$$\bar{X} = \frac{4028}{10}$$

$$\bar{X} = 403 \text{ seg}$$

3.4.6 Depuración de tiempos de Recorrido camino de San Mateo sin considerar el uso del nuevo puente de Tomatitas

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(264 + 273 + 249 + \dots + 248 + 301 + 279)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{4372}{15}$$

$$\bar{X} = 291 \text{ seg}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(264 - 291)^2 + (273 - 291)^2 + \dots + (301 - 291)^2 + (279 - 291)^2}{15 - 1}}$$

$$\sigma = 33 \text{ seg}$$

Rango o limites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 291 + 33$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 324 \text{ seg}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 291 - 33$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 259 \text{ seg}$$

Tabla 53. Depuración de Velocidades de Recorrido camino de San Mateo sin considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

Nº	Tiempo Total de Recorrido (seg)	DEPURACIÓN
1	264	264
2	273	273
3	249	DEPURADO
4	337	DEPURADO
5	309	309
6	339	DEPURADO
7	279	279
8	343	DEPURADO
9	278	278
10	271	271
11	269	269
12	332	DEPURADO
13	248	DEPURADO
14	301	301
15	279	279

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(264 + 273 + 309 + \dots + 269 + 301 + 279)}{9}$$

$$\bar{X} = \frac{2524}{9}$$

$$\bar{X} = 280 \text{ seg}$$

3.4.7 Depuración de tiempos de Recorrido camino de San Mateo considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

- Media aritmética:

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

$$\bar{X} = \frac{(392 + 474 + 395 + \dots + 343 + 425 + 521)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{6724}{15}$$

$$\bar{X} = 448 \text{ seg}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum (x_i - \bar{x})^2)}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(392 - 448)^2 + (474 - 448)^2 + \dots + (425 - 448)^2 + (521 - 448)^2}{15 - 1}}$$

$$\sigma = 64 \text{ seg}$$

- Rango de depuración Óptima:

$$X \pm \sigma$$

Rango o límites:

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = \bar{X} + \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 448 + 64$$

$$\text{Lim}_{\text{Mayor}} = 513 \text{ seg}$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = \bar{X} - \sigma$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 448 - 64$$

$$\text{Lim}_{\text{Menor}} = 384 \text{ seg}$$

Tabla 54. Depuración de Velocidades de Recorrido camino de San Mateo considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

Nº	Tiempo Total de Recorrido (seg)	DEPURACIÓN
1	392	392
2	474	474
3	440	440
4	349	DEPURADO
5	395	395
6	529	DEPURADO
7	487	487
8	420	420
9	532	DEPURADO
10	440	440
11	538	DEPURADO
12	438	438
13	343	DEPURADO
14	425	425
15	398	398

Fuente: Elaboración propia

- Media aritmética Datos Restantes:

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

$$\bar{X} = \frac{(392 + 474 + 440 + \dots + 440 + 438 + 425)}{9}$$

$$\bar{X} = \frac{3911}{9}$$

$$\bar{X} = 435 \text{ seg}$$

3.5 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio

3.5.1 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 1-Tomatitas

Tabla 55. Datos de Entrada Tramo 1-Tomatitas

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Ondulado	Volumen veh/h	1052
Velocidad Proyecto (km/h)	27	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,5	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,6	% Camiones	8%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	1%

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 8 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 5 ... tabla 12

PB = Porcentaje de Autobuses = 1%

EB = Equivalente del número de vehículos por Buses = 3.4 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + 0.08 (5 - 1) + 0.01 (3.4 - 1)]} = 0.78$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_C * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora. v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0.35 ... tabla 10

Fd = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

Fw = Factor para anchos de carril y hombros = 0.81 ... tabla 13

Fhv = Factor de vehículos pesados = 0.78

$$C = 2800 * (0.35)_c * 1 * 0.81 * 0.78 = 620 \text{ vehículos mixtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase I, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 9 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero—. carro por camión = 1.9 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.09(1.9 - 1)} = 0.93$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación (12.20), es:

$$FFS = V_{mc} + 0,0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad según medición de campo = 27km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 1052 vehículos mixtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.93

$$FFS = 27 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{1052 \frac{\text{vehículos mixtos}}{\text{h}}}{0.93} \right)$$

$$FFS = 41 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 1052 vehículos mixtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.94...tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.93 ...tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.93

$$V_P = \frac{1052}{0.94 * 0.93 * 0.93}$$

$$V_P = 1301 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación, así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_P) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

$$FFS = \text{Velocidad a flujo libre} = 41 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Fnp = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 2.4 ... tabla 22

Vp = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 1301 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 41 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 (1301 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}}) - 2.4 = 23 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

PT = Proporción de camiones en el tráfico = 9 % (camiones y autobuses)

ET = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1.5 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.09(1.5 - 1)} = 0.96$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

Vp = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 1052 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.94 ... tabla 17

fg = Factor de ajuste por pendiente = 0.94 ... tabla 19

fHV = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.96

$$V_P = \frac{1052}{0.94 * 0.94 * 0.96}$$

$$V_P = 1244 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

$(f_{d/np})$ = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 9,4 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 1244})$$

$$BPTS = 66 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 66 + 9,4$$

$$PTSF = 76\%$$

Determinación del nivel de servicio y la capacidad:

Si se considera como una carretera de Clase I:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Una velocidad media de viaje ATS de 23 km/h, sugiere que nivel de servicio es el E. Por otro lado, un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 76%, sugiere que el nivel de servicio es el D. Como se debe escoger el peor, se concluye que el nivel de servicio al cual opera el sentido más cargado de este tramo de carretera es el E.

Tabla 56. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE I

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF	Velocidad Media de viaje ATS (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	$> 35-50$	$> 80-90$
C	$> 50-65$	$> 70-80$
D	$> 65-80$	$> 60-70$
E	> 80	≤ 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.2 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 2-Tomatitas

Tabla 57. Datos de Entrada Tramo 2-Tomatitas

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Plano	Volumen veh/h	790
Velocidad Proyecto (km/h)	25	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,35	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,3	% Camiones	9%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	1%

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 9 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 2,2 ... tabla 12

PB = Porcentaje de Autobuses = 1%

EB = Equivalente del número de vehículos por Buses = 2 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + 0.09 (2.2 - 1) + 0.01 (2 - 1)]} = 0,911$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_C * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora. v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0,36 ... tabla 10

Fd = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

Fw = Factor para anchos de carril y hombros = 0.7 ... tabla 13

Fhv = Factor de vehículos pesados = 0.91

$$C = 2800 * (0.36)_c * 1 * 0.7 * 0.91 = 643 \text{ vehículos míxtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase I, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 10 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero—. carro por camión = 1.2 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.1(1.2 - 1)} = 0.98$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación, es:

$$FFS = V_{mc} + 0.0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad segun medicion de campo = 25km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 790 vehículos míxtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.98

$$FFS = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{790 \frac{\text{vehículos míxtos}}{\text{h}}}{0.98} \right)$$

$$FFS = 35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 790 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.94...tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 1 ...tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.98

$$V_P = \frac{790}{0.94 * 1 * 0.98}$$

$$V_P = 858 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación (12.23), así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_P) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

$$FFS = \text{Velocidad a flujo libre} = 35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 3.1 ... tabla 22

V_P = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 858 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 35 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 \left(858 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}} \right) - 3.1 = 21 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 10 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1.1 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.1(1.1 - 1)} = 0.99$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. V_P

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 790 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.94 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 1 ... tabla 19

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.99

$$V_P = \frac{790}{0.94 * 1 * 0.96}$$

$$V_P = 850 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

($f_{d/np}$)= Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 5.8 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 850})$$

$$BPTS = 83 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 53 + 5.8$$

$$PTSF = 59 \%$$

Determinación del nivel de servicio y la capacidad:

Si se considera como una carretera de Clase I:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Una velocidad media de viaje ATS de 21 km/h, sugiere que nivel de servicio es el E. Por otro lado, un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 59%, sugiere que el nivel de servicio es el C. Como se debe escoger el peor, se concluye que el nivel de servicio al cual opera el sentido más cargado de este tramo de carretera es el E.

Tabla 58. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE I

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF	Velocidad Media de viaje ATS (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	$> 35-50$	$> 80-90$
C	$> 50-65$	$> 70-80$
D	$> 65-80$	$> 60-70$
E	> 80	≤ 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.3 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 3-Tomatitas

Tabla 59. Datos de Entrada Tramo 3-Tomatitas

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Plano	Volumen veh/h	547
Velocidad Proyecto (km/h)	46	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,5	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,6	% Camiones	10%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	1%

Fuente: Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 10 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 2.2 ... tabla 12

PB = Porcentaje de Autobuses = 1%

EB = Equivalente del número de vehículos por Buses = 2 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + 0.1 (2.2 - 1) + 0.01 (2 - 1)]} = 0.903$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_c * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora. v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0.36 ... tabla 10

Fd = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

Fw = Factor para anchos de carril y hombros = 0.81 ... tabla 13

Fhv = Factor de vehículos pesados = 0.903

$$C = 2800 * (0.36)_c * 1 * 0.81 * 0.903 = 737 \text{ vehículos míxtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase I, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de caminos en el tráfico de tráfico= 11 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1.7 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.11(1.7 - 1)} = 0.93$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación (12.20), es:

$$FFS = V_{mc} + 0.0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad según medición de campo = 25km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 547 vehículos míxtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.93

$$FFS = 46 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{547 \frac{\text{vehículos míxtos}}{\text{h}}}{0.93} \right)$$

$$FFS = 52 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 547 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 1 ... tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.93

$$V_P = \frac{546}{0.91 * 1 * 0.93}$$

$$V_P = 644 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación (12.23), así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_p) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

$$FFS = \text{Velocidad a flujo libre} = 46 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 3.9 ... tabla 22

V_p = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 644 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 52 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 \left(644 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}} \right) - 3.9 = 40 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 11 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.11(1 - 1)} = 1$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 546 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 1 ... tabla 19

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 1

$$V_P = \frac{546}{0.91 * 1 * 1}$$

$$V_P = 598 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

($f_{d/np}$) = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 16.8 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 598})$$

$$BPTS = 41 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 41 + 16.8$$

$$PTSF = 58 \%$$

Determinación del nivel de servicio y la capacidad:

Si se considera como una carretera de Clase I:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Una velocidad media de viaje ATS de 40 km/h, sugiere que nivel de servicio es el E. Por otro lado, un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 58%, sugiere que el nivel de servicio es el C. Como se debe escoger el peor, se concluye que el nivel de servicio al cual opera el sentido más cargado de este tramo de carretera es el E.

Tabla 60. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE I

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF	Velocidad Media de viaje ATS (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	$> 35-50$	$> 80-90$
C	$> 50-65$	$> 70-80$
D	$> 65-80$	$> 60-70$
E	> 80	≤ 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.4 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 1-San Mateo

Tabla 61. Datos de Entrada Tramo 1- San Mateo

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Ondulado	Volumen veh/h	480
Velocidad Proyecto (km/h)	39	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,35	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,6	% Camiones	4%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	0%

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 4 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 5 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + 0.04 (5 - 1)} = 0.862$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_C * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora.

v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0.35 ... tabla 10

F_d = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

F_w = Factor para anchos de carril y hombros = 0.75 ... tabla 13

F_{hv} = Factor de vehículos pesados = 0.862

$$C = 2800 * (0.35)_c * 1 * 0.75 * 0.862 = 634 \text{ vehículos míxtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase II, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 4 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 2.5 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.04(2.5 - 1)} = 0.94$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación (12.20), es:

$$FFS = V_{mc} + 0,0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad según medición de campo = 39 km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 480 vehículos míxtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.94

$$FFS = 39 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{480 \frac{\text{vehículos míxtos}}{\text{h}}}{0,94} \right)$$

$$FFS = 45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 480 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.71 ... tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.93

$$V_P = \frac{480}{0,91 * 0,71 * 0,94}$$

$$V_P = 787 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación, así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_P) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

$$FFS = \text{Velocidad a flujo libre} = 39 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 4.1 ... tabla 22

V_P = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 787 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 39 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 \left(787 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}} \right) - 4.1 = 31 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 4 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1.8 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.04(1.8 - 1)} = 0.97$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. V_P

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 480 vehículos mixtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.77 ... tabla 19

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.97

$$V_P = \frac{546}{0.91 * 0.77 * 0.97}$$

$$V_P = 707 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

$(f_{d/np})$ = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 17.8 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 707})$$

$$BPTS = 46 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 46 + 17.8$$

$$PTSF = 64 \%$$

Determinación del Nivel de Servicio

Si se considera como una carretera de Clase II:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 64%, nos da como resultado que el nivel de servicio es el C.

Tabla 62. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE II

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF
A	≤ 40
B	$> 40-55$
C	$> 55-70$
D	$> 70-85$
E	> 85

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.5 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 2-San Mateo

Tabla 63. Datos de Entrada Tramo 2- San Mateo

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Ondulado	Volumen veh/h	418
Velocidad Proyecto (km/h)	40	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,35	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,6	% Camiones	4.2%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	0%

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 4 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 5 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + 0.042 (5 - 1)} = 0.857$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_C * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora.

v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0.35 ... tabla 10

F_d = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

F_w = Factor para anchos de carril y hombros = 0.75 ... tabla 13

F_{hv} = Factor de vehículos pesados = 0.857

$$C = 2800 * (0.35)_c * 1 * 0.75 * 0.857 = 630 \text{ vehículos míxtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase II, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 4.2 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 2.5 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.042(2.5 - 1)} = 0.94$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación, es:

$$FFS = V_{mc} + 0.0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad segun medicion de campo = 40 km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 418 vehículos míxtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.94

$$FFS = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{418 \frac{\text{vehículos míxtos}}{\text{h}}}{0.94} \right)$$

$$FFS = 45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 418 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.71 ... tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.94

$$V_P = \frac{418}{0.91 * 0.71 * 0.94}$$

$$V_P = 688 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación , así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_P) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

FFS = Velocidad a flujo libre = $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 4.3 ... tabla 22

V_P = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 688 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 \left(688 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}} \right) - 4.3 = 32 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 4.2 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 1.8 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.04(1.8 - 1)} = 0.97$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. V_P

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 418 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.77 ... tabla 19

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.97

$$V_P = \frac{418}{0.91 * 0.77 * 0.97}$$

$$V_P = 617 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

$(f_{d/np})$ = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 18.7 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 617})$$

$$BPTS = 42 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 42 + 18.7$$

$$PTSF = 61 \%$$

Determinación del Nivel de Servicio

Si se considera como una carretera de Clase II:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 61%, nos da como resultado que el nivel de servicio es el C.

Tabla 64. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE II

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF
A	≤ 40
B	$> 40-55$
C	$> 55-70$
D	$> 70-85$
E	> 85

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.6 Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio Tramo 3-San Mateo

Tabla 65. Datos de Entrada Tramo 3- San Mateo

Características de la Vía		Características del Tráfico	
Terreno	Ondulado	Volumen veh/h	341
Velocidad Proyecto (km/h)	44	Distribución Direccional	50/50
Ancho de Carriles (m)	3,35	Tráfico	
Ancho de Hombros (m)	0,6	% Camiones	4.9%
Restricciones de Rebase	40%	% Buses	0%

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la Capacidad

Calcular el factor de vehículos pesados, f_{hv} , para cada nivel de servicio, de la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{[1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1)]}$$

PT = Porcentaje de Camiones = 4.9 %

ET = Equivalente del número de vehículos por camiones = 5 ... tabla 12

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + 0.049 (5 - 1)} = 0.876$$

Calcular la capacidad vehicular, para el nivel de servicio C, de la siguiente ecuación:

$$C = 2800 * (v/c)_c * f_d * f_w * f_{hv}$$

C= Capacidad

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora. v/c = Relación Volumen/Capacidad del nivel de servicio.

(V/C) = Relación entre intensidad y capacidad ideal (C) = 0.35 ... tabla 10

F_d = Factor de distribución direccional del tránsito = 1 ... tabla 11

F_w = Factor para anchos de carril y hombros = 0.75 ... tabla 13

F_{hv} = Factor de vehículos pesados = 0.876

$$C = 2800 * (0.35)_c * 1 * 0.75 * 0.876 = 644 \text{ vehículos míxtos/h}$$

Cálculo del Nivel de Servicio

Como se trata de una carretera Clase II, para determinar el nivel de servicio, tanto la velocidad media de viaje (ATS) como el porcentaje del tiempo empleado en seguimiento (PTSF), deberán calcularse.

Determinación de la velocidad media de viaje: ATS

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de camiones en el tráfico = 4.9 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero – carro por camión = 2.5 ... tabla 20

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.049(2.5 - 1)} = 0.93$$

Estimación de la velocidad a flujo libre: FFS

La velocidad a flujo libre FFS, de acuerdo con la ecuación, es:

$$FFS = V_{mc} + 0.0125 \left(\frac{V}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre

V_{mc} = Velocidad segun medicion de campo = 44 km/h

V = Volumen total en ambos sentidos = 418 vehículos míxtos/h

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados = 0.93

$$FFS = 44 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 0,0125 \left(\frac{341 \frac{\text{vehículos míxtos}}{\text{h}}}{0.93} \right)$$

$$FFS = 49 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 341 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.9 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.71 ... tabla 18

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.93

$$V_P = \frac{341}{0.9 * 0.71 * 0.93}$$

$$V_P = 573 \text{ vehículos/h}$$

Estimación de la velocidad media de viaje: ATS

La velocidad media de viaje se estima a partir de la ecuación (12.23), así:

$$ATS = FFS - 0.0125(V_P) - f_{np}$$

Donde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido

$$FFS = \text{Velocidad a flujo libre} = 49 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento = 4.3 ... tabla 22

V_P = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano = 688 vehículos/h

Entonces:

$$ATS = 49 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0.0125 (573 \frac{\text{vehículos}}{\text{h}}) - 3.7 = 38 \text{ km/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en tiempo (PTSF)

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

P_T = Proporción de caminos en el tráfico de tráfico= 4.9 % (camiones y autobuses)

E_T = Equivalencia de pasajero—. carro por camión = 1.8 ... tabla 21

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.049(1.8 - 1)} = 0.96$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo. V_P

$$V_P = \frac{V}{FHP * f_g * f_{HV}}$$

Donde:

V_P = Tasa de flujo equivalente

V = Volumen total en ambos sentidos = 341 vehículos míxtos/h

FHP = Factor hora pico = 0.91 ... tabla 17

f_g = Factor de ajuste por pendiente = 0.77 ... tabla 19

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados = 0.96

$$V_P = \frac{341}{0.91 * 0.77 * 0.96}$$

$$V_P = 512 \text{ vehículos/h}$$

Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTS = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado

$(f_{d/np})$ = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional = 18.5 ...tabla 23

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot V_p})$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano .

$$BPTS = 100(1 - e^{-0.000879 \cdot 512})$$

$$BPTS = 36 \%$$

Ahora calculando PTSF

$$PTSF = 36 + 18.5$$

$$PTSF = 55 \%$$

Determinación del Nivel de Servicio

Si se considera como una carretera de Clase II:

El nivel de servicio se encuentra, comparando las medidas de efectividad respectivas encontradas, con las dadas en la tabla. Un porcentaje del tiempo empleado en seguimiento PTSF del 55%, nos da como resultado que el nivel de servicio es el B.

Tabla 66. CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CARRILES-CLASE II

Nivel de Servicio	% de tiempo consumido en seguimiento PTSF
A	≤ 40
B	$> 40-55$
C	$> 55-70$
D	$> 70-85$
E	> 85

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

3.5.7 Cálculo de Velocidad de Recorrido

3.5.7.1 Cálculo de Velocidad de Recorrido Carretera de Tomatitas sin considerar el uso del nuevo puente de Tomatitas

La velocidad media de recorrido del vehículo entre los tres tramos en estudio de la carretera de Tomatitas, se plantea de la siguiente manera:

$$V_{\text{recorrido}} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo de recorrido}}$$

Donde:

$$\text{Distancia recorrida} = d_{1-2} = 3200 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = t_{1-2} + t_{\text{parado}} = 545 \text{ seg}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_{\text{recorrido}} &= \frac{3200 \text{ m}}{545 \text{ seg}} * \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{3600\text{seg}}{1\text{h}} \\ &= 21 \text{ km/h} \end{aligned}$$

3.5.7.2 Cálculo de Velocidad de Recorrido para la carretera de Tomatitas considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

La velocidad media de recorrido del vehículo entre los tres tramos en estudio de la carretera de Tomatitas que corresponde a un entorno donde el puente nuevo está en funcionamiento, se plantea de la siguiente manera:

$$V_{\text{recorrido}} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo de recorrido}}$$

Donde:

$$\text{Distancia recorrida} = d_{1-2} = 3200 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = t_{1-2} + t_{\text{parado}} = 403 \text{ seg}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} v_{\text{recorrido}} &= \frac{3200 \text{ m}}{403 \text{ seg}} * \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{3600\text{seg}}{1\text{h}} \\ &= 28.5 \text{ km/h} \end{aligned}$$

3.5.7.3 Cálculo de Velocidad de Recorrido camino de San Mateo sin considerar el uso del nuevo puente de Tomatitas

La velocidad media de recorrido del vehículo entre los tres tramos en estudio del camino de San Mateo, se plantea de la siguiente manera:

$$v_{\text{recorrido}} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo de recorrido}}$$

Donde:

$$\text{Distancia recorrida} = d_{1-2} = 2400 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = t_{1-2} + t_{\text{parado}} = 280 \text{ seg}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} v_{\text{recorrido}} &= \frac{2400 \text{ m}}{280 \text{ seg}} * \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{3600\text{seg}}{1\text{h}} \\ &= 31 \text{ km/h} \end{aligned}$$

3.5.7.4 Cálculo de Velocidad de Recorrido para el camino de San Mateo considerando el uso del nuevo puente de Tomatitas

La velocidad media de recorrido del vehículo entre los tres tramos en estudio de el camino de San Mateo que corresponde a un entorno donde el puente nuevo está en funcionamiento, se plantea de la siguiente manera:

$$V_{\text{recorrido}} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Tiempo de recorrido}}$$

Donde:

$$\text{Distancia recorrida} = d_{1-2} = 2400 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = t_{1-2} + t_{\text{parado}} = 435 \text{ seg}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_{\text{recorrido}} &= \frac{2400 \text{ m}}{435 \text{ seg}} * \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{3600\text{seg}}{1\text{h}} \\ &= 20 \text{ km/h} \end{aligned}$$

3.6 Estudio de Señalización

3.6.1 Análisis de la situación de la (Señalización) Carretera Tomatitas

En los tramos de la carretera interdepartamental, se encuentran diversas señalizaciones que cumplen funciones específicas para garantizar la seguridad vial de los conductores. A continuación, se detalla la ubicación una breve descripción y estado de cada una de ellas:

1. Señal informativa de dirección

La señal vertical es un tablero de color verde con texto e iconografía en blanco que se encuentra en pleno cruce de Tomatitas-San Mateo con dirección de Sur a Norte, que indica rutas y distancias en kilómetros a varias localidades desde el punto de ubicación, se encuentra en buen estado.

Figura 27. Señal informativa de dirección



Fuente: Elaboración propia

2. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada justo al salir de la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 28. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

3. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar

Esta señal corresponde a una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde y pictograma en negro) que indica un paso escolar o cruce de peatones escolares. Representa dos niños corriendo con maletines, advirtiéndole a los conductores que reduzcan la velocidad y extremen precauciones al acercarse.

Se encuentra ubicada en la salida de la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March con dirección de Sur a Norte, alertando sobre la posible presencia de escolares cruzando la vía.

Figura 29. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar



Fuente: Elaboración propia

4. Señal informativa de Localización

La señal vertical es un tablero de color verde con texto e iconografía en blanco que se encuentra en la entrada del puente de Tomatitas con dirección de Sur a Norte, que indica a que localidad se está por ingresar en este caso a Tomatitas, se encuentra en buen estado.

Figura 30. Señal informativa de Localización



Fuente: Elaboración propia

5. Señal informativa proximidad de Puente angosto

La señal corresponde a una señal vertical de advertencia que indica “Puente angosto”.

Forma y color: Rombo amarillo con borde y pictograma negros.

Pictograma: Representa un puente con ambos extremos convergentes, advirtiendo al conductor que el ancho de la calzada se reduce al atravesar el puente.

Función: Alertar sobre el estrechamiento de la vía en el paso del puente, recomendando reducir la velocidad y tener precaución al cruzar.

Se encuentra próximo a la entrada del puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, se encuentra en buen estado.

Figura 31. Señal informativa proximidad de Puente angosto



Fuente: Elaboración propia

6. Señal informativa de dirección

La señal vertical es un tablero de color verde con texto e iconografía en blanco que se encuentra en plena entrada al puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, que indica rutas y distancias en kilómetros a varias localidades desde el punto de ubicación, se encuentra en buen estado.

Figura 32. Señal informativa de dirección



Fuente: Elaboración propia

7. Señal Reglamentaria - Prohibido Estacionar

Es una señal vertical reglamentaria de “Prohibido estacionar”:

Forma y color: Placa circular con fondo Blanco.

Borde y barra diagonal roja (45 °) que atraviesa el círculo.

Pictograma: Una letra E negra tachado por la barra roja, símbolo internacional de “no estacionar”.

Función: Prohíbe el estacionamiento de vehículos en el área señalizada; los conductores deben detenerse solo para carga o descarga (si está permitido) y continuar la marcha.

Se encuentra ubicada saliendo del puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, sé encuentra en mal estado.

Figura 33. Señal Reglamentaria - Prohibido Estacionar



Fuente: Elaboración propia

8. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada a unos 40 metros antes del cruce de carretera de Tomatitas con el camino a Erquiz, advirtiéndole a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 34. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

9. Señal informativa proximidad de “Puente angosto”

La señal corresponde a una señal vertical de advertencia que indica “Puente angosto”.

Forma y color: Rombo amarillo con borde y pictograma negros.

Pictograma: Representa un puente con ambos extremos convergentes, advirtiendo al conductor que el ancho de la calzada se reduce al atravesar el puente.

Función: Alertar sobre el estrechamiento de la vía en el paso del puente, recomendando reducir la velocidad y tener precaución al cruzar.

Se encuentra próximo a la entrada 30 metros antes de la intersección de Tomatitas – Erquiz con dirección de Sur a Norte, se encuentra en mal estado.

Figura 35. Señal informativa proximidad de “Puente angosto”



Fuente: Elaboración propia

10. Señal informativa de Localización

La señal vertical es un tablero de color verde con texto e iconografía en blanco que se encuentra en plena intersección de Tomatitas – Erquiz con dirección de Sur a Norte, que indica a que localidad se está por ingresar en este caso a Erquiz, se encuentra en buen estado.

Figura 36. Señal informativa de Localización



Fuente: Elaboración propia

11. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada a unos 50 metros después del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 37. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

12. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima

Se trata de una señal vertical reglamentaria de límite máximo de velocidad con las siguientes características:

Nombre: Señal de “Velocidad máxima 35 km/h”.

Forma y color: Placa circular con fondo blanco.

Borde circular rojo.

Número “35” en negro, y opcionalmente “km/h” en letra más pequeña debajo.

Función: Indica la velocidad máxima permitida en ese tramo de la vía (35 kilómetros por hora). Los conductores deben ajustar su velocidad para no exceder este límite.

Figura 38. Señal Reglamentaria - Velocidad máxima



Fuente: Elaboración propia

Se encuentra ubicada a 200 metros después del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, se encuentra en buen estado. Esta señal se coloca en zonas donde se requiere reducir la velocidad por razones de seguridad, como cercanías a instituciones educativas, zonas residenciales o tramos con geometría reducida.

13. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima

Se trata de una señal vertical reglamentaria de límite máximo de velocidad con las siguientes características:

Se encuentra ubicada a 800 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, se encuentra en buen estado.

Figura 39. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima



Fuente: Elaboración propia

14. Señal informativa de Localización

La señal vertical es un tablero de color verde con texto e iconografía en blanco. Se encuentra ubicada a 850 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, que indica a qué localidad se está por ingresar en este caso a Tomatitas, se encuentra en buen estado.

Figura 40. Señal informativa de Localización



Fuente: Elaboración propia

15. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada a unos 700 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 41. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

16. Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha

Es una señal preventiva de “Curva pronunciada a la Derecha”, que presenta las siguientes características:

Forma y color: Rombo con fondo amarillo y borde negro.

Pictograma: Una flecha negra que describe un giro acentuado hacia la Derecha.

Función: Advierte al conductor de la presencia inminente de una curva cerrada a la Derecha en la vía. Recomendación: reducir la velocidad y extremar la precaución al aproximarse y trazar la curva.

Se encuentra ubicada a 680 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo

Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur se encuentra en mal estado.



17. Señal informativa/servicio

Se trata de una señal de servicio o de orientación turística que indica la proximidad de una “zona de comida” o de restaurantes.

Categoría: Señal informativa/servicio.

Forma y color: Generalmente rectangular o cuadrada.

Fondo azul con pictograma en blanco.

Función: Orientar a los conductores hacia áreas donde pueden encontrar servicios de alimentación, facilitando su localización en carreteras o zonas urbanas.

Se encuentra ubicada a 600 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur se encuentra en estado regular.



18. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada a unos 450 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 44. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

19. Señales Preventivas - Animales en la vía

La señal corresponde a una señal preventiva de “Animales en la vía”, con las siguientes características:

Forma y color: Rombo (cuadrado girado 45°) de fondo amarillo y borde negro.

Pictograma: Silueta negra de un animal (generalmente una vaca o un ciervo), que representa fauna doméstica o silvestre.

Función: Advierte al conductor de la posible presencia de animales cruzando o vagando sobre la calzada.

Se encuentra ubicada a unos 440 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del nuevo Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

Figura 45. Señales Preventivas - Animales en la vía



Fuente: Elaboración propia

20. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima

Se encuentra ubicada a 30 metros antes del cruce de la carretera de tomatitas con la intersección del Camino a Erquiz con dirección de Norte a Sur, se encuentra en mal estado.

Esta señal se coloca en zonas donde se requiere reducir la velocidad por razones de seguridad, como cercanías a instituciones educativas, zonas residenciales o tramos con geometría reducida.

Figura 46. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima



Fuente: Elaboración propia

21. Señal informativa de dirección

La señal vertical es un tablero de color Azul con texto e iconografía en blanco que se encuentra en plena a 10 metros antes de la intersección de la carretera Tomatitas con el camino a Erquiz con dirección de Sur a Norte, que indica rutas y distancias en kilómetros a varias localidades desde el punto de ubicación, se encuentra en mal estado.

Figura 47. Señal informativa de dirección



Fuente: Elaboración propia

22. Señal informativa de servicio de centro Medico

Es una señal informativa de servicio que indica la proximidad de un Centro de Salud:

Categoría: Señal de servicios (informativa).

Función: Orientar a conductores y peatones hacia el centro sanitario más cercano.

Se encuentra ubicada en plena entrada al centro de Salud de Tomatitas, se encuentra en mal estado.

Figura 48. Señal informativa de servicio de centro Medico



Fuente: Elaboración propia

23. Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha

Es una señal preventiva de “Curva pronunciada a la Derecha”, que presenta las siguientes características:

Forma y color: Rombo con fondo amarillo y borde negro.

Pictograma: Una flecha negra que describe un giro acentuado hacia la Derecha.

Función: Advierte al conductor de la presencia inminente de una curva cerrada a la Derecha en la vía. Recomienda reducir la velocidad y extremar la precaución al aproximarse y trazar la curva.

Se encuentra ubicada a 450 metros antes del Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur se encuentra en estado regular.

Figura 49. Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha



Fuente: Elaboración propia

24. Señal Preventiva Cruce de caminos

Es una señal preventiva de “Cruce de caminos”, con las siguientes características:

Forma y color: Rombo (cuadrado girado 45°) de fondo amarillo y borde negro.

Pictograma: Una cruz negra (“ + ”) que indica la intersección de dos vías.

Función: Advierte al conductor de la proximidad de un cruce donde pueden incorporarse vehículos desde otro eje vial.

Se encuentra ubicada a 130 metros antes del Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur se encuentra en mal estado.

Figura 50. Señal Preventiva Cruce de caminos



Fuente: Elaboración propia

25. Señal preventiva de Paso de peatones

Se trata de la señal preventiva de “Paso de peatones” (también llamada “Cruce de peatones”):

Categoría: Señal de advertencia preventiva.

Forma y color: Rombo (cuadrado girado 45°) de fondo amarillo con borde negro (o, en algunas normas, placa rectangular con fondo azul y pictograma blanco).

Función: Advierte al conductor de la proximidad de un cruce peatonal o zona de alta afluencia de peatones.

Se encuentra ubicada a 20 metros antes del Puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur se encuentra en mal estado.

Figura 51. Señal preventiva de Paso de peatones



Fuente: Elaboración propia

26. Señal informativa proximidad de Puente angosto

La señal corresponde a una señal vertical de advertencia que indica “Puente angosto”.

Forma y color: Rombo amarillo con borde y pictograma negros.

Pictograma: Representa un puente con ambos extremos convergentes, advirtiendo al conductor que el ancho de la calzada se reduce al atravesar el puente.

Función: Alertar sobre el estrechamiento de la vía en el paso del puente, recomendando reducir la velocidad y tener precaución al cruzar.

Figura 52. Señal informativa proximidad de Puente angosto



Fuente: Elaboración propia

Se encuentra próximo a la entrada del puente Tomatitas con dirección de Norte a Sur, se encuentra en buen estado.

27. Señal Preventiva - Superficie ondulada

Esta señal es una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde negro) que alerta sobre la presencia de resaltos o topes en la vía. Se encuentra ubicada 20 metros antes de la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March con dirección de Norte a Sur, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad al aproximarse a este tramo, se encuentra en buen estado.

28. Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha

Es una señal preventiva de “Curva pronunciada a la Derecha”, que presenta las siguientes características:

Pictograma: Una flecha negra que describe un giro acentuado hacia la Derecha.

Función: Advierte al conductor de la presencia inminente de una curva cerrada a la Derecha en la vía.

Se encuentra ubicada 15 metros antes de la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March con dirección de Norte a Sur.

29. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar

Esta señal corresponde a una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde y pictograma en negro) que indica un paso escolar o cruce de peatones escolares. Representa dos niños corriendo con maletines, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad y extremen precauciones al acercarse. Se encuentra ubicada en la salida de la Unidad Educativa Nazaria Ignacia March con dirección de Norte a Sur, alertando sobre la posible presencia de escolares cruzando la vía.

Figura 53. Señal Preventiva - Superficie ondulada



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar



Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Análisis de la situación de la (Señalización) Carretera San Mateo

En los tramos de la carretera interdepartamental, se encuentran diversas señalizaciones que cumplen funciones específicas para garantizar la seguridad vial de los conductores. A continuación, se detalla la ubicación una breve descripción y estado de cada una de ellas:

1. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima

Se trata de una señal vertical reglamentaria de límite máximo de velocidad con las siguientes características:

Nombre: Señal de “Velocidad máxima 20 km/h”.

Función: Indica la velocidad máxima permitida en ese tramo de la vía (20 kilómetros por hora). Los conductores deben ajustar su velocidad para no exceder este límite.

Se encuentra ubicada a 250 metros después del cruce Tomatitas – San Mateo con dirección de Sur a Norte, se encuentra en buen estado.

Esta señal se coloca en zonas donde se requiere reducir la velocidad por razones de seguridad, como cercanías a instituciones educativas, zonas residenciales o tramos con geometría reducida.

Figura 56. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima



Fuente: Elaboración propia

2. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima

Se trata de una señal vertical reglamentaria de límite máximo de velocidad con las siguientes características:

Nombre: Señal de “Velocidad máxima 30 km/h”.

Función: Indica la velocidad máxima permitida en ese tramo de la vía (30 kilómetros por hora). Los conductores deben ajustar su velocidad para no exceder este límite.

Se encuentra ubicada a la salida del Unidad Educativa Nazaria de San Mateo con dirección de Sur, se encuentra en buen estado.

Figura 57. Señal Reglamentaria -Velocidad máxima



Fuente: Elaboración propia

3. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar

Esta señal corresponde a una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde y pictograma en negro) que indica un paso escolar o cruce de peatones escolares. Representa dos niños corriendo con maletines, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad y extremen precauciones al acercarse.

Se encuentra ubicada en la salida de la Unidad Educativa de San Mateo con dirección de Sur a Norte, alertando sobre la posible presencia de escolares cruzando la vía.

Figura 58. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar



Fuente: Elaboración propia

4. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar

Esta señal corresponde a una señal vertical de advertencia (rombo amarillo con borde y pictograma en negro) que indica un paso escolar o cruce de peatones escolares. Representa dos niños corriendo con maletines, advirtiendo a los conductores que reduzcan la velocidad y extremen precauciones al acercarse.

Se encuentra ubicada en la salida de la Unidad Educativa Nazaria de San Mateo con dirección de Norte a Sur, alertando sobre la posible presencia de escolares cruzando la vía.

Figura 59. Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar



Fuente: Elaboración propia

5. Señal Reglamentaria - Prohibido Estacionar

Es una señal vertical reglamentaria de “Prohibido estacionar”:

Función: Prohíbe el estacionamiento de vehículos en el área señalizada; los conductores deben detenerse solo para carga o descarga (si está permitido) y continuar la marcha.

Se encuentra ubicada saliendo del puente Tomatitas con dirección de Sur a Norte, se encuentra en buen estado.

Figura 60. Señal Reglamentaria - Prohibido Estacionar



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS

Figura 61. Tramos en Estudio



Fuente: Elaboración propia

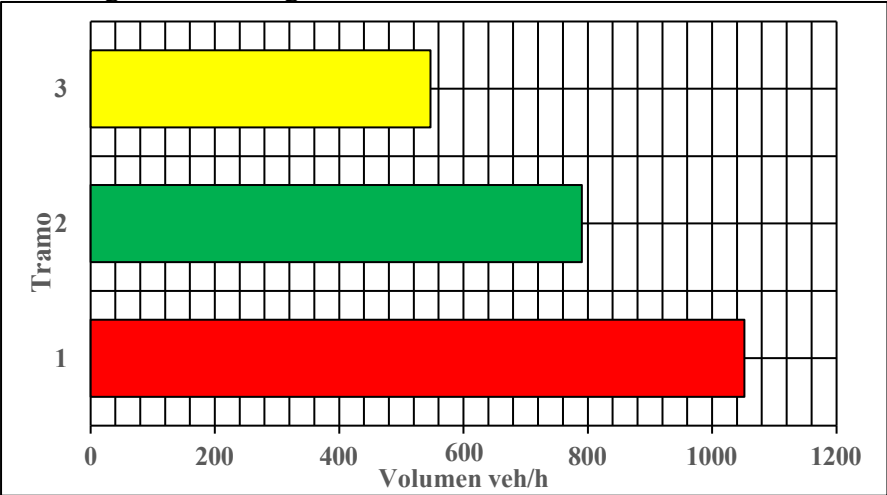
4.1.1. Tablas de resultados obtenidos de parámetros de estudio

Tabla 67. Volúmenes Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Volumen veh/h
1	1052
2	790
3	547

Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Histograma de Volúmenes Carretera Tomatitas



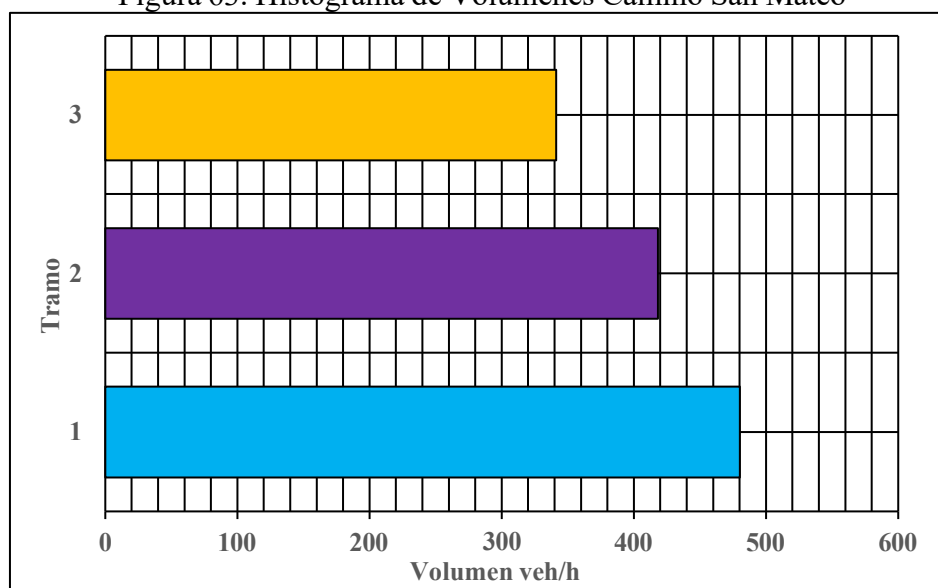
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. Volúmenes Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Volumen veh/h
1	480
2	418
3	341

Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Histograma de Volúmenes Camino San Mateo



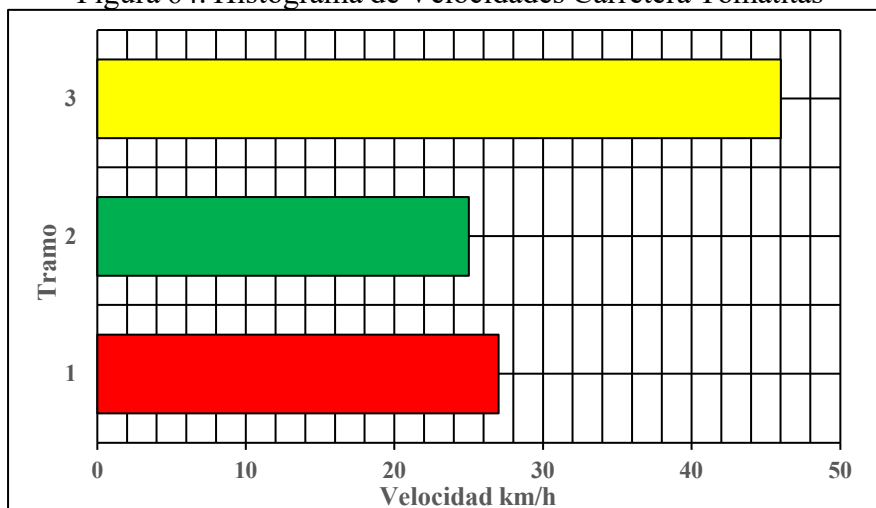
Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Velocidades de Punta Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Velocidad km/h
1	27
2	25
3	46

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Histograma de Velocidades Carretera Tomatitas



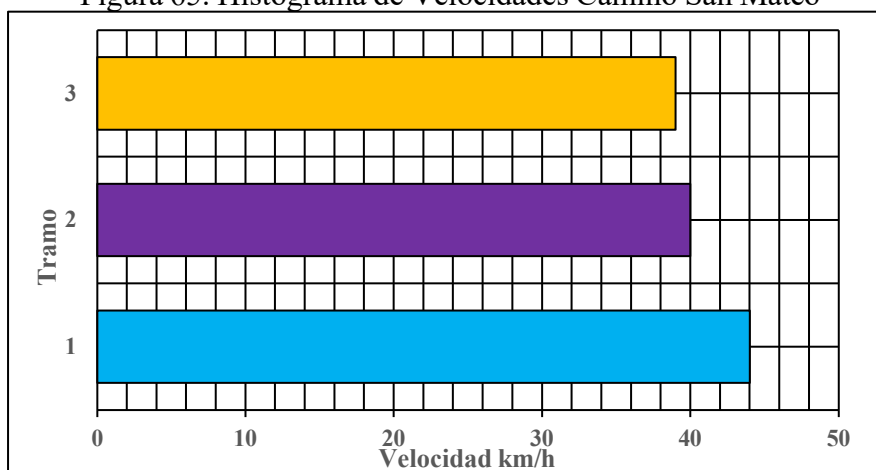
Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Velocidades de Punta Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Velocidad km/h
1	39
2	40
3	44

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Histograma de Velocidades Camino San Mateo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Velocidad de Recorrido carretera de Tomatitas sin considerar el uso del puente nuevo de Tomatitas

Carretera de Tomatitas	
Tramo	Velocidad km/h
1 al 3	21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72. Velocidad de Recorrido carretera de Tomatitas considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

Carretera de Tomatitas	
Tramo	Velocidad km/h
1 al 3	28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Velocidad de Recorrido Camino de San Mateo sin considerar el uso del puente nuevo de Tomatitas

Camino de San Mateo	
Tramo	Velocidad km/h
1 al 3	31

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74. Velocidad de Recorrido Camino de San Mateo considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

Camino de San Mateo	
Tramo	Velocidad km/h
1 al 3	20

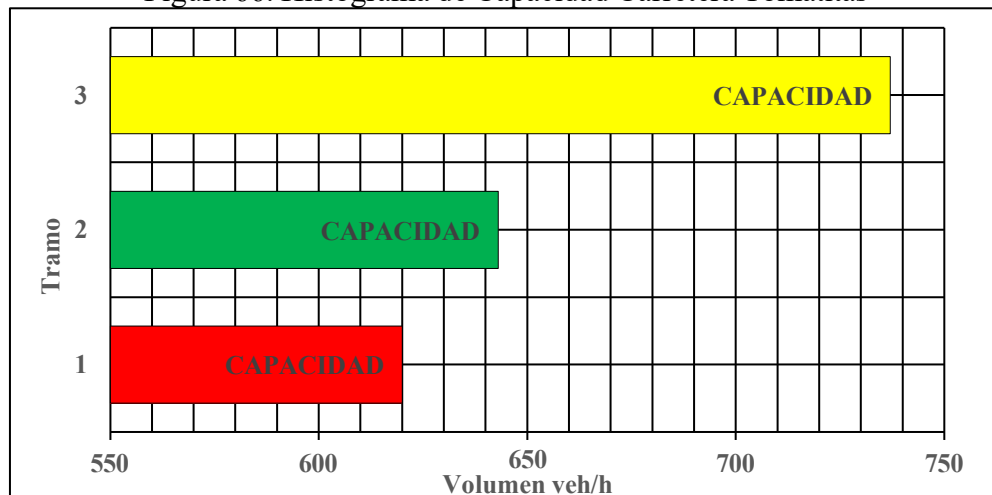
Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Capacidad Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Capacidad veh/h
1	620
2	643
3	737

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Histograma de Capacidad Carretera Tomatitas



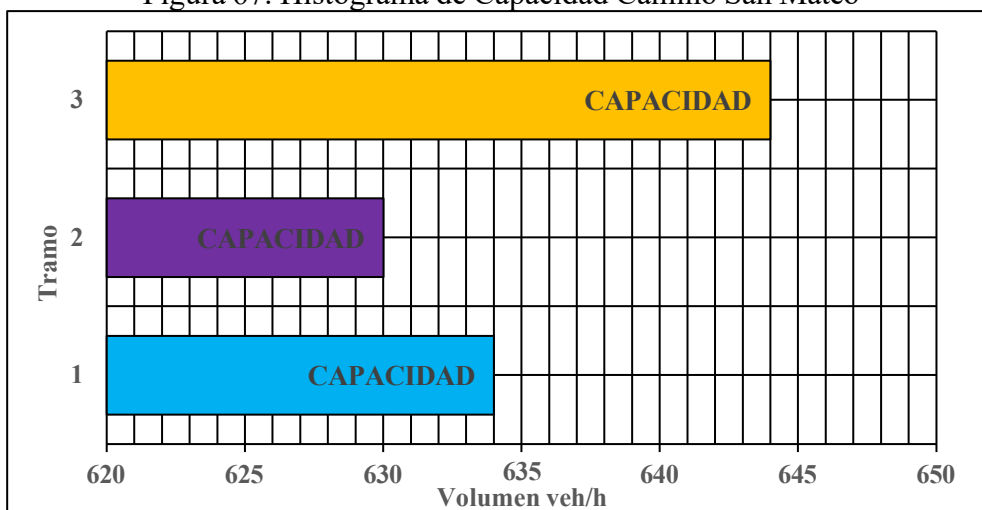
Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Capacidad Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Capacidad veh/h
1	634
2	630
3	644

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Histograma de Capacidad Camino San Mateo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 77. Nivel de Servicio Carretera Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Nivel
1	E
2	E
3	E

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78. Nivel de Servicio Camino San Mateo

Camino San Mateo	
Tramo	Nivel
1	C
2	C
3	B

Fuente: Elaboración propia

[illegible]

Volúmenes considerando el uso del puente nuevo de Tomatitas

Carretera Tomatitas	
Tramo	Volumen veh/h
1	737

Camino San Mateo	
Tramo	Volumen veh/h
1	732

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81. Resumen de Señalización Carretera de Tomatitas

Nº	Tipo de Señal
1	Señal informativa de dirección
2	Señal Preventiva – Superficie ondulada
3	Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar
4	Señal informativa de Localización
5	Señal informativa proximidad de Puente angosto
6	Señal informativa de dirección
7	Señal Reglamentaria – Prohibido Estacionar
8	Señal Preventiva – Superficie ondulada
9	Señal informativa proximidad de “Puente angosto”
10	Señal informativa de Localización
11	Señal Preventiva – Superficie ondulada
12	Señal Reglamentaria -Velocidad máxima
13	Señal Reglamentaria -Velocidad máxima
14	Señal informativa de Localización
15	Señal Preventiva – Superficie ondulada
16	Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha
17	Señal informativa/servicio
18	Señal Preventiva – Superficie ondulada
19	Señales Preventivas – Animales en la vía
20	Señal Reglamentaria -Velocidad máxima
21	Señal informativa de dirección
22	Señal informativa de servicio de centro Médico
23	Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha
24	Señal Preventiva Cruce de caminos
25	Señal preventiva de Paso de peatones
26	Señal informativa proximidad de Puente angosto
27	Señal Preventiva – Superficie ondulada
28	Señal Preventiva- Curva pronunciada Derecha
29	Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82. Resumen de Señalización Carretera de San Mateo

Nº	Tipo de Señal
1	Señal Reglamentaria -Velocidad máxima
2	Señal Reglamentaria -Velocidad máxima
3	Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar
4	Señal Preventiva Proximidad de paso de Paso escolar
5	Señal Reglamentaria – Prohibido Estacionar

Fuente: Elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.2.1 Parámetro de Volumen

La Carretera Tomatitas presenta consistentemente volúmenes vehiculares superiores en todos los tramos analizados en comparación con el Camino San Mateo. Esta condición refleja una mayor preferencia por esta vía como corredor principal de acceso o salida hacia áreas urbanas y periurbanas, lo cual está directamente relacionado con su función jerárquica dentro de la red vial regional.

El comportamiento del volumen vehicular a lo largo de los tramos revela una tendencia descendente, evidenciándose una disminución progresiva desde el Tramo 1 hasta el Tramo 3, tanto en la Carretera Tomatitas como en el Camino San Mateo. Este patrón de reducción sugiere una redistribución del flujo vehicular a medida que los usuarios del sistema vial se desvían hacia rutas secundarias de menor demanda. En el caso específico de la Carretera Tomatitas, se identificó que parte del flujo se redistribuye hacia el camino a Coimata, en sentido este, y hacia el camino a Erquiz, en sentido oeste. Esta bifurcación funcional cumple un papel relevante en el alivio del tránsito hacia los tramos posteriores, aunque, de manera simultánea, dichos caminos también incorporan flujos vehiculares desde otras zonas, lo que conlleva un incremento del volumen en ciertos sentidos de circulación. En consecuencia, la Carretera Tomatitas no solo actúa como eje de tránsito directo, sino también como vía de confluencia, lo que amplifica la complejidad de su operación.

El volumen más elevado se registra en el Tramo 1 de la Carretera Tomatitas, con un flujo de 1052 vehículos por hora, lo que lo convierte en el tramo con mayor nivel de exposición a condiciones de congestión. Esta situación fue verificada mediante observaciones en campo durante la ejecución de los aforos, donde se identificaron formaciones de colas vehiculares y disminuciones perceptibles en la velocidad de operación. Dichas evidencias fueron corroboradas en el análisis de gabinete, donde se analizaron los datos obtenidos y se confirmó que el flujo registrado se aproxima a niveles críticos de desempeño. Este comportamiento coincide con los principios establecidos en el Highway Capacity Manual

(HCM), el cual establece que a medida que el volumen vehicular se acerca a la capacidad teórica de una vía, el nivel de servicio tiende a deteriorarse rápidamente.

4.2.2 Parámetro Velocidad

4.2.2.1 Parámetro Velocidad de Punta

Los resultados del estudio evidencian diferencias significativas en las velocidades promedio registradas en los distintos tramos de la Carretera Tomatitas y el Camino San Mateo, reflejando tanto las condiciones geométricas como el nivel de saturación vehicular de cada vía.

En el caso de la Carretera Tomatitas, las velocidades promedio en los Tramos 1 y 2 se encuentran considerablemente por debajo de los niveles deseables, con valores de 27 km/h y 25 km/h respectivamente. Esta reducción en la velocidad no puede atribuirse únicamente al alto volumen vehicular que caracteriza estos tramos, sino que también responde a restricciones normativas impuestas, particularmente una velocidad máxima permitida de 32 km/h. Dicha restricción obedece a la transformación progresiva del entorno, que, si bien originalmente corresponde a una zona rural, ha experimentado un notable proceso de expansión urbana y densificación residencial. El crecimiento de la mancha urbana, con la construcción de viviendas, comercios menores y equipamientos sociales en las inmediaciones de la vía, ha generado un entorno semiurbano, lo cual ha derivado en la necesidad de reducir la velocidad para garantizar condiciones mínimas de seguridad vial, tanto para los conductores como para peatones y ciclistas.

Estas condiciones mixtas entre lo rural y lo urbano tienen efectos directos sobre el comportamiento del flujo vehicular. La presencia de intersecciones sin semaforización ni señalización eficiente, accesos informales, y pasos peatonales no señalizados contribuye a la disminución de la velocidad efectiva, aun en tramos donde la capacidad vial no ha sido completamente superada.

En contraste, el Camino San Mateo presenta velocidades promedio más elevadas y estables a lo largo de sus tramos. Esto indica que, en términos generales, esta vía presenta mejores condiciones de circulación y menor interferencia operativa. No obstante, se debe

destacar que también existen limitaciones normativas en cuanto a la velocidad máxima permitida. En el Tramo 1, la velocidad está restringida a 20 km/h, debido a la cercanía de zonas residenciales dispersas o puntos escolares; mientras que en el Tramo 2 se establece un límite de 30 km/h, permitiendo una operación algo más fluida. A pesar de estas restricciones, las velocidades promedio registradas se mantienen dentro de márgenes aceptables para el tipo de vía y entorno, lo que sugiere que la vía opera con un nivel de saturación bajo y sin conflictos significativos que afecten su desempeño funcional.

Finalmente, en el Tramo 3 de la Carretera Tomatitas, se registra una velocidad promedio de 46 km/h, siendo este el valor más alto entre todos los tramos evaluados. Este comportamiento es coherente con la reducción del volumen vehicular observado en dicho tramo, así como con una menor presión de urbanización en sus inmediaciones. En este sector, la vía mantiene características más propias de un entorno rural, con menor interferencia lateral y menos puntos de conflicto, lo que permite una operación más eficiente y fluida.

4.2.2.2 Parámetro Velocidad de Recorrido

El estudio de los tiempos de desplazamiento en ambas vías permitió determinar sus respectivas velocidades operativas. En la carretera de Tomatitas, el trayecto comprendido entre el cruce de Tomatitas y San Mateo y el final de la vía presenta una velocidad promedio de 21 km/h, lo que implica que cubrir sus 3,2 km de longitud demanda aproximadamente 9,18 minutos. Este valor relativamente alto se asocia a diversos factores, entre ellos: el elevado volumen de tránsito, la significativa presencia de vehículos pesados, la ausencia de señalización en varias intersecciones y la existencia de tramos angostos, condiciones que reducen la capacidad vial y generan mayores niveles de fricción en el flujo vehicular.

En contraste, en el camino de San Mateo se obtuvo una velocidad promedio de 31 km/h, lo que permite completar los 2,4 km de recorrido en alrededor de 4,6 minutos. Este mejor desempeño operativo responde principalmente al menor volumen vehicular característico de la vía, así como a la homogeneidad de sus tramos en términos de geometría, lo que

favorece un tránsito más fluido, con menor interferencia y condiciones de circulación más eficientes.

4.2.3 Parámetro Capacidad

El análisis realizado en gabinete, a partir de los volúmenes horarios registrados en cada tramo, muestra que las capacidades teóricas estimadas para las vías evaluadas tanto en la Carretera Tomatitas como en el Camino San Mateo presentan comportamientos diferenciados. En la Carretera Tomatitas, las capacidades de los tramos 1 y 2 son superadas por la demanda registrada, mientras que en el tramo 3, aunque no se rebasa el valor teórico, el volumen vehicular se encuentra muy próximo al límite de capacidad. En contraste, en el Camino San Mateo ninguno de los tres tramos analizados excede su capacidad estimada; sin embargo, al igual que en Tomatitas, los valores registrados se aproximan a dicho umbral.

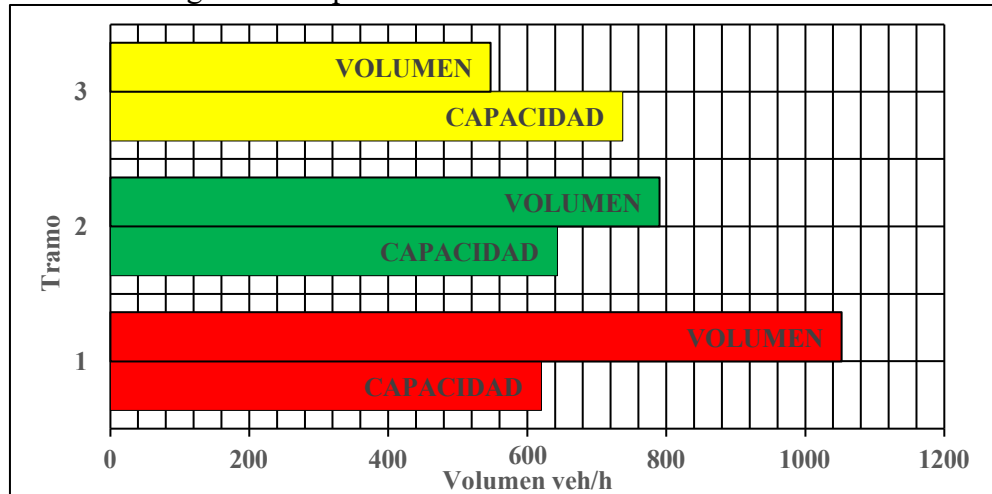
Este comportamiento es coherente con los principios establecidos en el Highway Capacity Manual (HCM), el cual señala que, conforme el volumen vehicular se acerca a la capacidad teórica de una vía, el nivel de servicio tiende a deteriorarse de manera acelerada. En consecuencia, los resultados para la Carretera Tomatitas evidencian un desbordamiento de la capacidad en dos de sus tramos, lo que sugiere que, desde una perspectiva cuantitativa preliminar, la infraestructura existente no cuenta con un dimensionamiento adecuado frente a la demanda actual.

No obstante, es importante enfatizar que la capacidad vial no debe interpretarse únicamente a partir de la diferencia entre volumen observado y capacidad estimada. El desempeño funcional real de una vía depende de múltiples factores que los modelos teóricos no siempre logran representar con precisión. Entre dichos factores destacan la composición vehicular (con especial incidencia de los vehículos pesados), la frecuencia y disposición de accesos laterales, las pendientes longitudinales, la geometría del trazado y la existencia o ausencia de señalización y control adecuados.

Finalmente, debe considerarse que este análisis se desarrolló en un contexto territorial en proceso de transformación. El área de estudio ha pasado de tener características

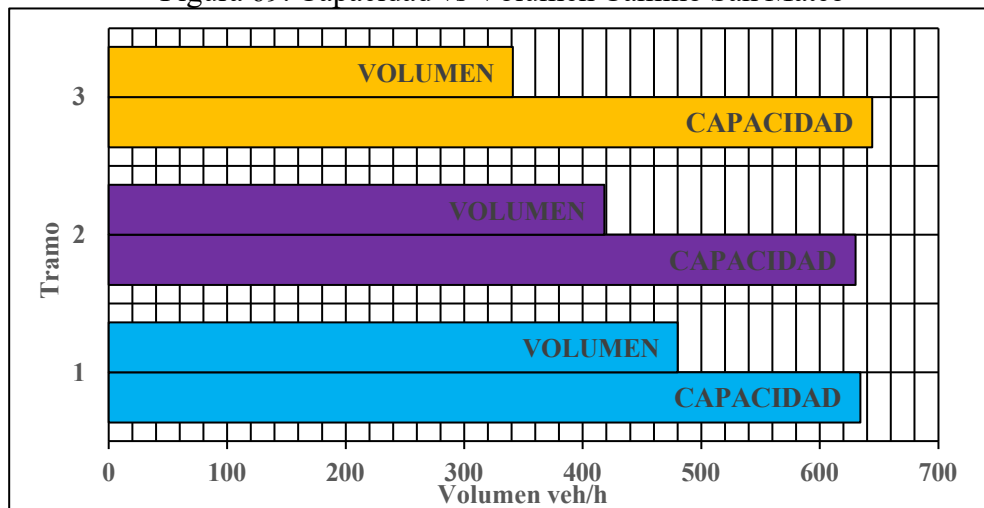
predominantemente rurales a adquirir rasgos propios de un entorno semiurbano. Esta transición incide directamente en el funcionamiento de la vía, pues implica mayor densidad de accesos, incremento de la actividad lateral, mayor interacción con usuarios vulnerables y la aparición de interferencias operativas que, en general, no se contemplan de manera explícita en los cálculos tradicionales de capacidad.

Figura 68. Capacidad vs Volumen Carretera Tomatitas



Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Capacidad vs Volumen Camino San Mateo



Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Parámetro Capacidad de Nivel de Servicio

Los resultados del estudio evidencian que la Carretera Tomatitas presenta un nivel de servicio categoría E en todos sus tramos, lo cual corresponde a condiciones operativas

críticas según la clasificación del *Highway Capacity Manual (HCM)*. Este nivel de servicio se caracteriza por velocidades significativamente reducidas, elevada densidad vehicular, y una operación cercana y que exceden a los límites de la capacidad vial, generando demoras frecuentes y disminución de la fluidez en la circulación.

En contraste, el Camino San Mateo muestra niveles de servicio entre B y C, lo cual refleja condiciones aceptables y estables de operación, especialmente en el Tramo 3, donde se observan velocidades más elevadas, menor interferencia lateral y una relación volumen/capacidad más favorable. Estos resultados indican un comportamiento mucho más eficiente en términos de movilidad, con niveles de saturación bajos y un desempeño funcional adecuado para el entorno.

Este contraste marcado entre ambas vías evidencia que la Carretera Tomatitas se encuentra operando por debajo de sus condiciones óptimas. Entre los factores que explican este bajo rendimiento, se identifican los siguientes:

- Una alta proporción de vehículos pesados, los cuales reducen la velocidad promedio y generan mayores tiempos de seguimiento y adelantamiento, especialmente en tramos sin carriles adicionales o de sobrepaso.
- Intersecciones mal señalizadas o no canalizadas, que incrementan los conflictos entre movimientos vehiculares, reducen la continuidad del flujo y aumentan la probabilidad de maniobras imprevistas.
- Condiciones geométricas deficientes, destacando una reducción en el ancho efectivo de los carriles, curvas de radio limitado, y escasa visibilidad en puntos críticos, lo cual restringe la velocidad operativa y afecta la seguridad vial.

En conjunto, estos elementos explican la baja eficiencia de la Carretera Tomatitas y justifican la necesidad de implementar medidas de mejora, tanto en el ámbito del diseño geométrico como en la gestión operativa, con el fin de restablecer un nivel de servicio acorde a las exigencias del flujo vehicular actual y futuro.

4.2.5 Parámetro Señalización

Tras la identificación y cuantificación de la señalización existente en el corredor de Tomatitas, se determinó la presencia de 29 señales verticales distribuidas a lo largo de la vía. Cada una cumple una función específica y, en términos generales, cubren adecuadamente las necesidades de la zona, con excepción de algunas señales que presentan desgaste y requieren mantenimiento o reposición para asegurar su correcta visibilidad.

Por otra parte, en el camino de San Mateo se contabilizaron únicamente 5 señales verticales, lo que evidencia una deficiencia significativa en materia de señalización vial, especialmente en comparación con el corredor de Tomatitas. Además, se observó la ausencia de señalización horizontal en puntos estratégicos de ambas vías, particularmente en intersecciones y zonas de conflicto vehicular y peatonal.

En este sentido, se identificó la necesidad de incorporar los siguientes elementos para mejorar la organización del tránsito y la seguridad vial:

- Señales de cruce peatonal (paso de cebra) en zonas con presencia de peatones.
- Señalización horizontal en el pavimento, mediante flechas direccionales que orienten los movimientos de giro y circulación.
- Señales informativas y de orientación que indiquen rutas alternas y direcciones principales.
- Marcas de hileras y canalización, para delimitar correctamente los carriles de circulación.
- Señales preventivas de paso de peatones en sectores de alta afluencia.
- Señales de “No estacionar” en áreas críticas, con el fin de evitar obstrucciones del flujo vehicular.

La incorporación y mantenimiento adecuado de estos elementos contribuirá a optimizar la circulación, incrementar la seguridad vial y garantizar un funcionamiento más eficiente de la red vial en la zona de estudio.

4.2.5.1 Evaluación operativa de con la puesta en servicio del nuevo Puente Tomatitas

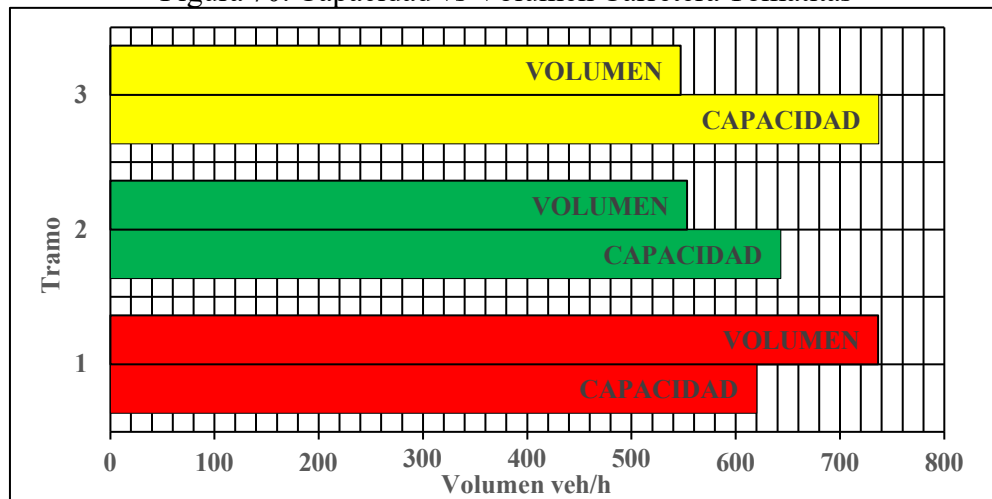
4.2.5.1.1 Parámetro de Volumen recorrido tras la puesta en funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Tras la evaluación y el aforo de volúmenes en los primeros tramos de ambos corredores, posteriores a la apertura del nuevo puente de Tomatitas, se constató una redistribución significativa del flujo vehicular. Un alto porcentaje de vehículos de composición mixta incluyendo unidades livianas, medianas y pesadas se desvió hacia la nueva infraestructura, lo que redujo la circulación en los dos primeros tramos de la Carretera Tomatitas a aproximadamente un 70 % del tráfico registrado antes de su puesta en funcionamiento. De manera complementaria, el Corredor San Mateo absorbió alrededor del 30 % del flujo que anteriormente transitaba por la Carretera Tomatitas, consolidándose como una ruta alternativa de creciente relevancia en la red vial de la zona.

Este comportamiento evidencia que la apertura del puente de Tomatitas no solo alteró los patrones de circulación preexistentes, sino que además provocó una redistribución significativa de las cargas vehiculares entre los distintos corredores. De mantenerse esta tendencia, podría generarse una transformación sustancial en la dinámica operativa de la red vial a mediano y largo plazo, particularmente en el camino a San Mateo, el cual podría verse afectado negativamente debido a que su infraestructura no fue diseñada para soportar altos volúmenes de tráfico, especialmente de transporte pesado.

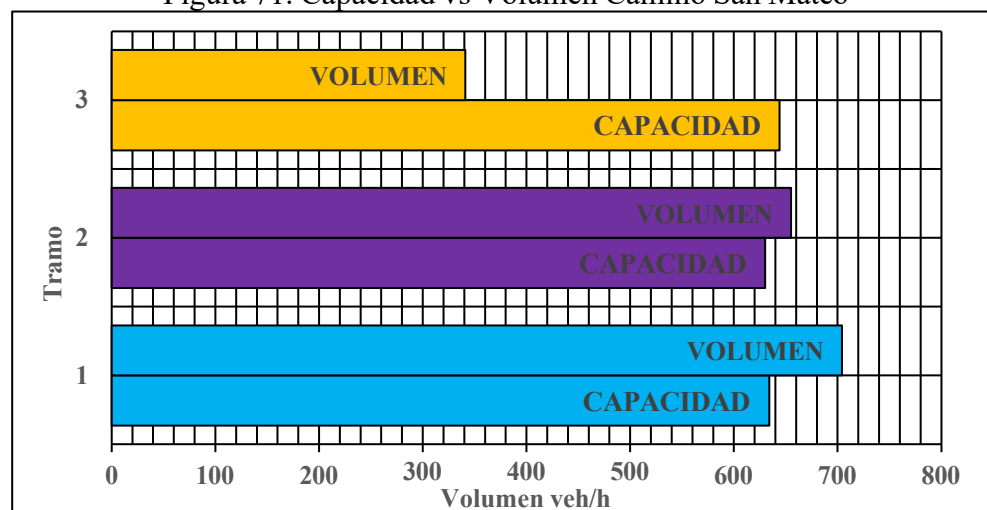
En este contexto, se considera necesario evaluar la implementación de medidas orientadas a optimizar la circulación y mejorar las condiciones de seguridad en ambos corredores. Estas acciones deberían enfocarse en garantizar niveles de servicio adecuados, una seguridad vial apropiada y una infraestructura coherente con la nueva configuración de la demanda vehicular generada tras la apertura del puente.

Figura 70. Capacidad vs Volumen Carretera Tomatitas



Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Capacidad vs Volumen Camino San Mateo



Fuente: Elaboración propia

El análisis en gabinete, basado en los nuevos volúmenes horarios registrados en los primeros tramos de ambas vías, evidencia variaciones significativas respecto a los resultados obtenidos en evaluaciones previas, en las que aún no se contemplaba la puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas. Estas variaciones reflejan un cambio sustancial en la dinámica de circulación y en la distribución de la demanda vehicular dentro de los corredores objeto de estudio.

En el caso de la Carretera Tomatitas, se observa que en el tramo 1 la demanda registrada continúa superando la capacidad teórica de la vía. Si bien se evidencia una reducción considerable en comparación con los niveles previos a la operación del puente, los volúmenes actuales todavía se mantienen por encima del umbral de capacidad. En los tramos 2 y 3, aunque no se sobrepasan los valores de referencia establecidos, los volúmenes vehiculares se encuentran muy próximos al alcanzar su capacidad. Cabe destacar que en el tramo 1 y 2 el flujo está influenciado por el desvío parcial del tráfico hacia el Camino San Mateo, lo que genera un escenario operativo más favorable que el observado en las condiciones anteriores al puente.

Por su parte, el Camino San Mateo presenta un comportamiento diferenciado. En este corredor, los volúmenes registrados en los tramos 1 y 2 superan la capacidad estimada, evidenciando una presión creciente sobre su infraestructura. En el tramo 3, aunque el flujo aún no sobrepasa el umbral de capacidad, se identifica una tendencia de incremento sostenido. Este fenómeno se explica principalmente por la preferencia de los conductores hacia rutas que resultan más convenientes y funcionales, lo que ha convertido al Camino San Mateo en un corredor estratégico dentro de la red vial de la zona de estudio.

La conexión de este camino con el nuevo puente de Tomatitas ha potenciado su rol, al facilitar la integración directa hacia el tramo 3 de la Carretera Tomatitas. De esta manera, se configura un patrón de tránsito que redistribuye de forma significativa las cargas vehiculares, contribuyendo a una reconfiguración operativa de la red y a la conformación de nuevas dinámicas de movilidad que antes no eran evidentes.

4.2.5.1.2 Parámetro de velocidades de recorrido tras la puesta en funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

El estudio de los tiempos de desplazamiento en ambas vías permitió identificar variaciones significativas en sus velocidades operativas luego de la habilitación del nuevo puente de Tomatitas.

En la carretera de Tomatitas, el trayecto comprendido entre el cruce homónimo y el final de la vía registró un incremento en la velocidad de recorrido, pasando de 21 km/h a 28,5 km/h. Este aumento implica que cubrir los 3,2 km de longitud requiere ahora aproximadamente 6,74 minutos. La mejora observada se asocia principalmente a la reducción del volumen vehicular, lo que conllevó a una disminución considerable en la presencia de transporte pesado sobre este corredor.

En contraste, en el camino de San Mateo la velocidad de recorrido mostró una disminución, pasando de 31 km/h a 20 km/h. Bajo estas condiciones, completar los 2,4 km de la vía demanda alrededor de 7,1 minutos. Este deterioro en el desempeño operativo se explica por el incremento del flujo vehicular —integrado por vehículos pesados, medianos y livianos—, dado que esta vía se consolidó como alternativa de desvío para numerosos automotores que se dirigen hacia el tramo 3 de la carretera de Tomatitas.

4.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE TRÁFICO VEHICULAR

Tras la culminación del análisis comparativo entre la situación actual y la condición previa a la puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas, en los distintos tramos de la carretera de Tomatitas y del camino a San Mateo, se plantean las siguientes alternativas de mejoramiento, orientadas no solo a optimizar la circulación vehicular, sino también a atender las necesidades de seguridad vial zona de estudio demanda.

4.3.1 Alternativa 1. Sistema de semaforización programada en horarios de alto flujo en la intersección Carretera Tomatitas – Camino a Coimata

La presente alternativa consiste en la implementación de un sistema de semaforización programada en la intersección Carretera Tomatitas – Camino a Coimata, con el objetivo de regular la circulación vehicular durante los horarios de mayor demanda, específicamente entre 7:00 – 9:00 a.m., 12:00 – 2:00 p.m. y 6:00 – 8:00 p.m.

A partir del análisis de los parámetros de capacidad, volumen, velocidad y nivel de servicio, se determina que la instalación de un sistema semafórico constituye una medida adecuada para mejorar el desempeño de la intersección. Esta propuesta surge como respuesta a múltiples factores operativos y geométricos que actualmente limitan la eficiencia de la vía, generando demoras, maniobras conflictivas y una disminución de la seguridad vial y peatonal.

Se identificó que esta intersección representa un punto de confluencia estratégica dentro de la red vial de Tomatitas, al concentrar los mayores volúmenes de tránsito registrados sobre la Carretera Tomatitas. Esta alta carga vehicular, al converger en un único nodo, incrementa la probabilidad de interferencias entre flujos y la ocurrencia de conflictos viales, especialmente en las horas pico previamente señaladas.

Adicionalmente, la geometría del sector presenta una curva pronunciada en el alineamiento de la Carretera Tomatitas, particularmente en las inmediaciones del puente,

lo que limita la visibilidad y maniobrabilidad, dificultando de forma significativa el tránsito de vehículos pesados, especialmente camiones articulados. Esta situación no solo reduce la fluidez del tráfico, sino que también incrementa los riesgos de incidentes viales.

Asimismo, se observa que en el acceso 1 de la intersección se producen una gran cantidad de giros a la izquierda, lo que genera interrupciones en el flujo continuo y conflictos con vehículos que circulan en sentido contrario. Este punto, además, carece de señalización vertical y horizontal, lo que agrava la inseguridad vial y la desorganización del tránsito. A esto se suma que los carriles que conectan la intersección son de dimensiones reducidas, lo que limita la capacidad de maniobra y sobrepaso, especialmente para vehículos de gran porte.

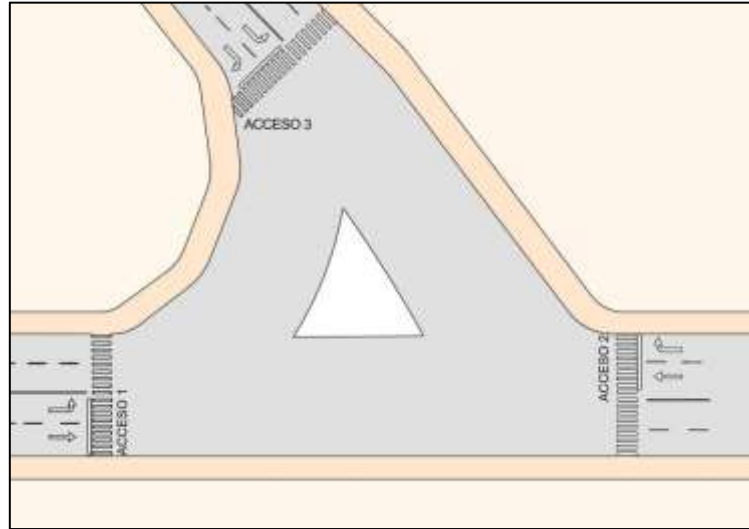
En conjunto, estos factores justifican técnicamente la implementación de un sistema semafórico, el cual permitiría:

- Regular y ordenar los movimientos vehiculares en función de su demanda.
- Minimizar conflictos entre flujos opuestos o convergentes.
- Mejorar la seguridad de las maniobras de giro.
- Facilitar el paso controlado de vehículos pesados en condiciones de baja maniobrabilidad.
- Establecer prioridades de paso y reducir la carga operativa de la intersección.
- Mejorar el paso peatonal como su seguridad.

La incorporación del semáforo deberá estar acompañada por la mejora de la señalización, con el fin de garantizar flujo aceptable y una operación segura para todos los usuarios.

4.3.1.1 Diseño de Semaforización Carretera tomatitas – Camino a Coimata

Figura 72. Intersección Carretera tomatitas – Camino a Coimata



Fuente: Elaboración Propia

Volumen de Acceso 1=376 vehículos mixtos/h

Volumen de Acceso 3=142 vehículos mixtos/h

Según la norma AASHTO el rango de ciclo se encuentra de 35-120sg

Ciclo óptimo = 60 segundos

Asignación de tiempos de fase amarillo

Se asumió los siguientes tiempos de fase amarilla para el acceso principal y secundario.

$$t_{\text{amarillo, A}} = 3 \text{ s}$$

$$t_{\text{amarillo, B}} = 2 \text{ s}$$

Cálculo de verdes

Tiempo empleado en amarillo $L = 3 + 2 = 5 \text{ s}$

Verde útil total $= 60 - 5 = 55 \text{ s}$

Proporción:

$$Y_A = \frac{371}{371 + 142} = 0.7232$$

$$Y_B = 0.2768$$

Tiempos de Verde

$$G_{eA} = 55 \times 0.7232 = 39.78 \text{ s}$$

$$G_{eB} = 55 \times 0.2768 = 15.22 \text{ s}$$

$$G_A = 39.78 \text{ s} \quad , \quad G_B = 15.22 \text{ s}$$

Tiempos de rojo

$$R_A = G_B + t_{\text{amarillo},B} = 15.22 + 2 = 17.22 \text{ s}$$

Verificación: Rojo A + (Verde A + Amarillo A) = 17.22 + (39.78 + 3) = 17.22 + 42.78 = 60 s.

$$R_B = G_A + t_{\text{amarillo},A} = 39.78 + 3 = 42.78 \text{ s}$$

Verificación: Rojo B + (Verde B + Amarillo B) = 42.78 + (15.22 + 2) = 42.78 + 17.22 = 60 s.

Resumen final

Calle A: Verde = 40 s, Rojo = 17 s, Amarillo = 3 s

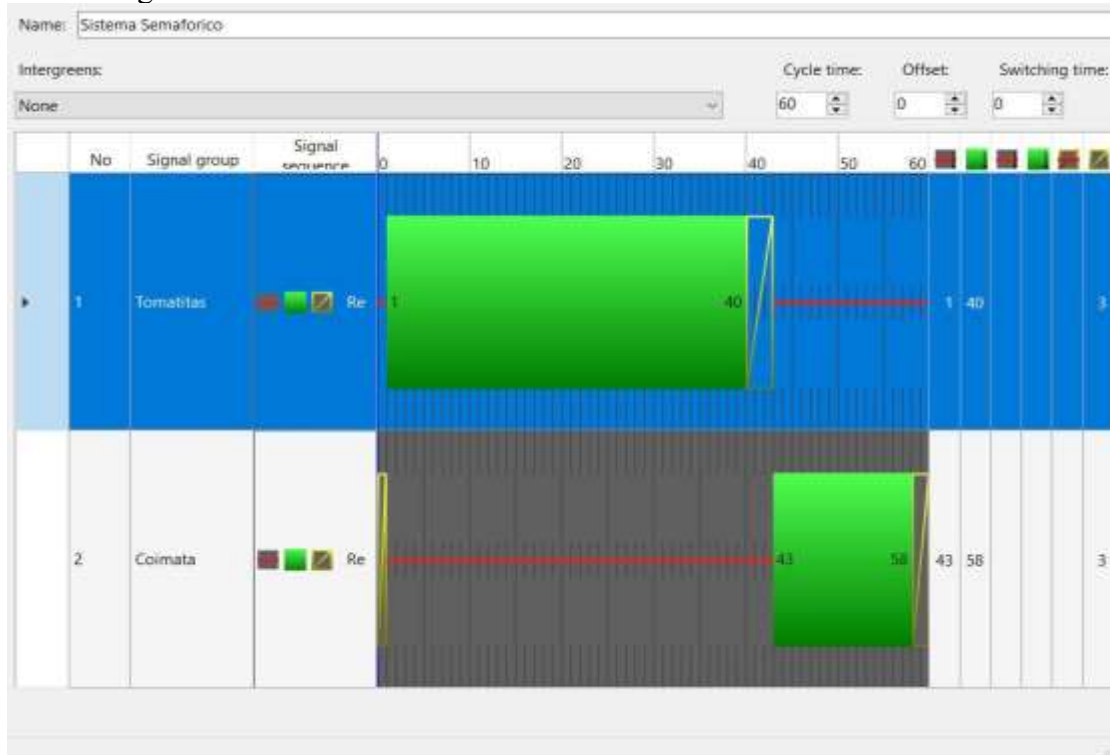
Calle B: Verde = 15 s, Rojo = 43 s, Amarillo = 2 s



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Simulación de la Alternativa 1, implementación de un Sistema Semafórico con el Software PTV VISSIM

Figura 74. Diseño de Ciclos de Semaforización Software PTV VISSIM



Fuente. Software PTV VISSIM

Figura 75. Simulación Intersección Semaforizada Carretera Tomatitas-Camino Coimata



Fuente. Software PTV VISSIM

Movimientos Analizados en la Simulación Intersección Semaforizada Carretera Tomatitas-Camino Coimata

Figura 76. Movimiento 1



Fuente. Software PTV VISSIM

Figura 77. Movimiento 2



Fuente. Software PTV VISSIM

Resultados

Tabla 83. Resultados de Simulación Intersección sin Semaforización ni funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	75	121	D
2	62	114	D

Fuente. Software PTV VISSIM

Tabla 84. Resultados de Simulación Intersección sin Semaforización con funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	43	86	C
2	12	74	C

Fuente. Software PTV VISSIM

Tabla 85. Resultados de Simulación Intersección Semaforizada con funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	35	72	B
2	8	62	A

Fuente. Software PTV VISSIM

Con el objetivo de mejorar la situación vehicular y la seguridad vial y peatonal en la intersección entre la carretera Tomatitas y el camino a Coimata, se planteó la implementación de un sistema de semaforización. Para evaluar su efectividad, se desarrolló una simulación mediante el software PTV VISSIM, cuyos resultados se resumen en la tabla adjunta.

Para obtener un análisis más completo, se consideraron tres escenarios de simulación:

1. Intersección sin semaforización y sin el nuevo puente de Tomatitas.
2. Intersección sin semaforización, pero con el nuevo puente en funcionamiento.
3. Intersección con el nuevo puente en funcionamiento y bajo control semafórico.

Los principales resultados fueron los siguientes:

Escenario 1: Sin semáforos ni puente nuevo, se alcanzaron niveles de servicio D, lo que refleja un desempeño deficiente. En este caso, la congestión vehicular era evidente, ya que el volumen de tránsito superaba ampliamente la capacidad de la vía.

Escenario 2: Con la puesta en funcionamiento del nuevo puente, pero sin semaforización, los resultados mejoraron a un nivel de servicio C. Aunque se evidenció una reducción en la congestión, aún se registraban dificultades en horas pico.

Escenario 3: Con el puente nuevo en operación y la implementación de semáforos, los niveles de servicio se ubicaron mayoritariamente en los rangos A y B. Esto demuestra una mejora significativa en la fluidez vehicular, con una reducción notable de la congestión y una distribución más equilibrada de los flujos.

En función de estos resultados, se concluye que la propuesta de semaforización representa una alternativa técnica viable y eficaz para optimizar el funcionamiento de la intersección. Esta medida no solo eleva los niveles de servicio, sino que también contribuye a:

- Disminuir la congestión vehicular.
- Incrementar la seguridad vial.
- Facilitar el cruce peatonal.
- Responder adecuadamente al crecimiento del parque automotor en la zona.

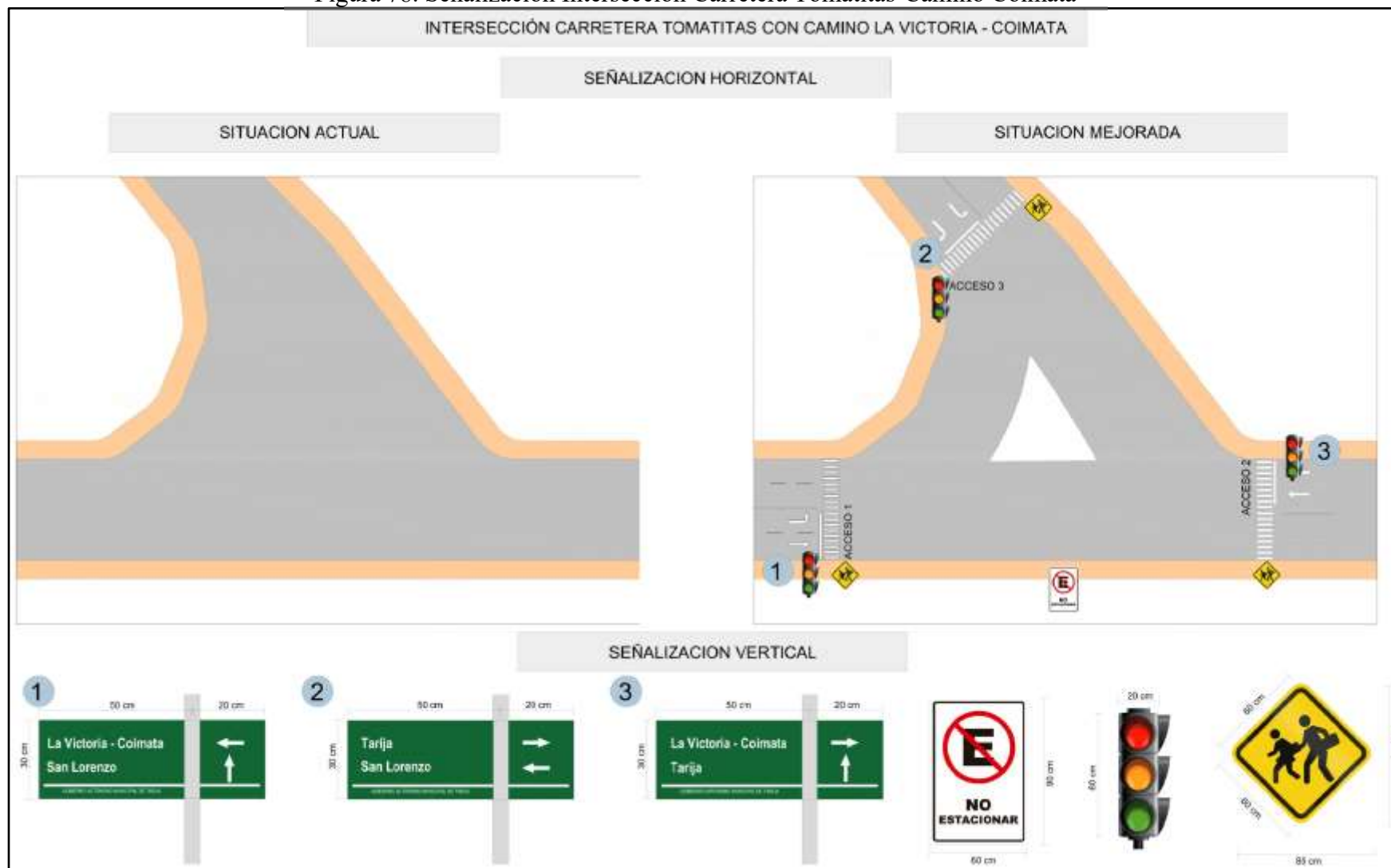
4.3.3 Dispositivos de señalización para asegurar la efectividad de la Propuesta 1

Para garantizar la eficacia del sistema semafórico en la intersección Carretera Tomatitas – Camino a Coimata, es fundamental complementarlo con un sistema de señalización vial. La adecuada instalación de estos dispositivos permitirá informar, regular y guiar a los conductores de manera clara y oportuna, asegurando el cumplimiento de las disposiciones de tránsito y mejorando las condiciones de seguridad y fluidez en la red vial.

Se recomienda la implementación de los siguientes elementos:

- Señales de cruce peatonal (paso de cebra).
- Señalización horizontal en el pavimento con flechas direccionales para ordenar los movimientos de giro y circulación.
- Señales informativas y de orientación que indiquen rutas alternas y direcciones principales.
- Marcas de hileras y canalización para delimitar correctamente los carriles de circulación.
- Señales preventivas de paso de peatones en las zonas de mayor afluencia.
- Señales de “No estacionar” en áreas críticas para evitar obstrucciones del flujo vehicular.

Figura 78. Señalización Intersección Carretera Tomatitas-Camino Coimata



Fuente. Elaboración Propia

4.3.4 Alternativa 2. Redistribución del tráfico pesado mediante ruta alternativa

Como parte de las acciones orientadas a optimizar la operación de la red vial en el área de estudio, se plantea la redistribución del transporte pesado, desviando estos vehículos hacia rutas alternas que cuentan con condiciones geométricas y funcionales más adecuadas. El propósito central es reducir la carga operativa sobre la Carretera Tomatitas y el Camino de San Mateo, especialmente en los tramos identificados como más críticos y conflictivos.

La alternativa considera el desvío del transporte pesado proveniente del norte del departamento, con destinos como San Lorenzo, Erquiza y comunidades aledañas, así como del tráfico de carga que actualmente circula por el Camino de San Mateo y de los camiones procedentes de otras regiones con destino a Tarija.

La estrategia aprovecha la infraestructura del nuevo puente de Tomatitas, que conecta directamente la Carretera Tomatitas con el Camino a San Mateo, y posteriormente canaliza el tránsito pesado por la Calle 7 de San Mateo hacia la nueva Circunvalación 2, vía concebida para atender de manera más eficiente los requerimientos del transporte de carga.

Con esta redistribución no solo se aliviará la presión sobre la Carretera Tomatitas y el Camino de San Mateo, sino también sobre otras vías de acceso a Tarija, lo que contribuirá a reducir los puntos de conflicto y mejorar la fluidez vehicular en las áreas de Tomatitas y San Mateo.

Es importante precisar que el objetivo de esta estrategia no se limita a mejorar el nivel de servicio (LOS). Este indicador depende no solo del volumen vehicular, sino también de factores como la velocidad de operación, la capacidad estructural de la vía y las condiciones del entorno. En este sentido, aunque la redistribución permitirá reducir significativamente los volúmenes de tránsito en las vías principales, la velocidad promedio no necesariamente aumentará debido a las limitaciones geométricas y a las medidas de seguridad requeridas. No obstante, sí se prevé una mejora sustancial en la fluidez del tránsito y en la seguridad peatonal, aspecto de especial relevancia considerando que los peatones constituyen el grupo más vulnerable del sistema vial.

Además de sus impactos operativos, esta medida se enmarca en una visión de planificación territorial y sostenibilidad urbana. La comunidad de Tomatitas, reconocida por su valor turístico, patrimonial y cultural, se ve actualmente afectada por el tránsito constante de vehículos pesados, que generan riesgos viales, deterioro ambiental y una percepción negativa del espacio público.

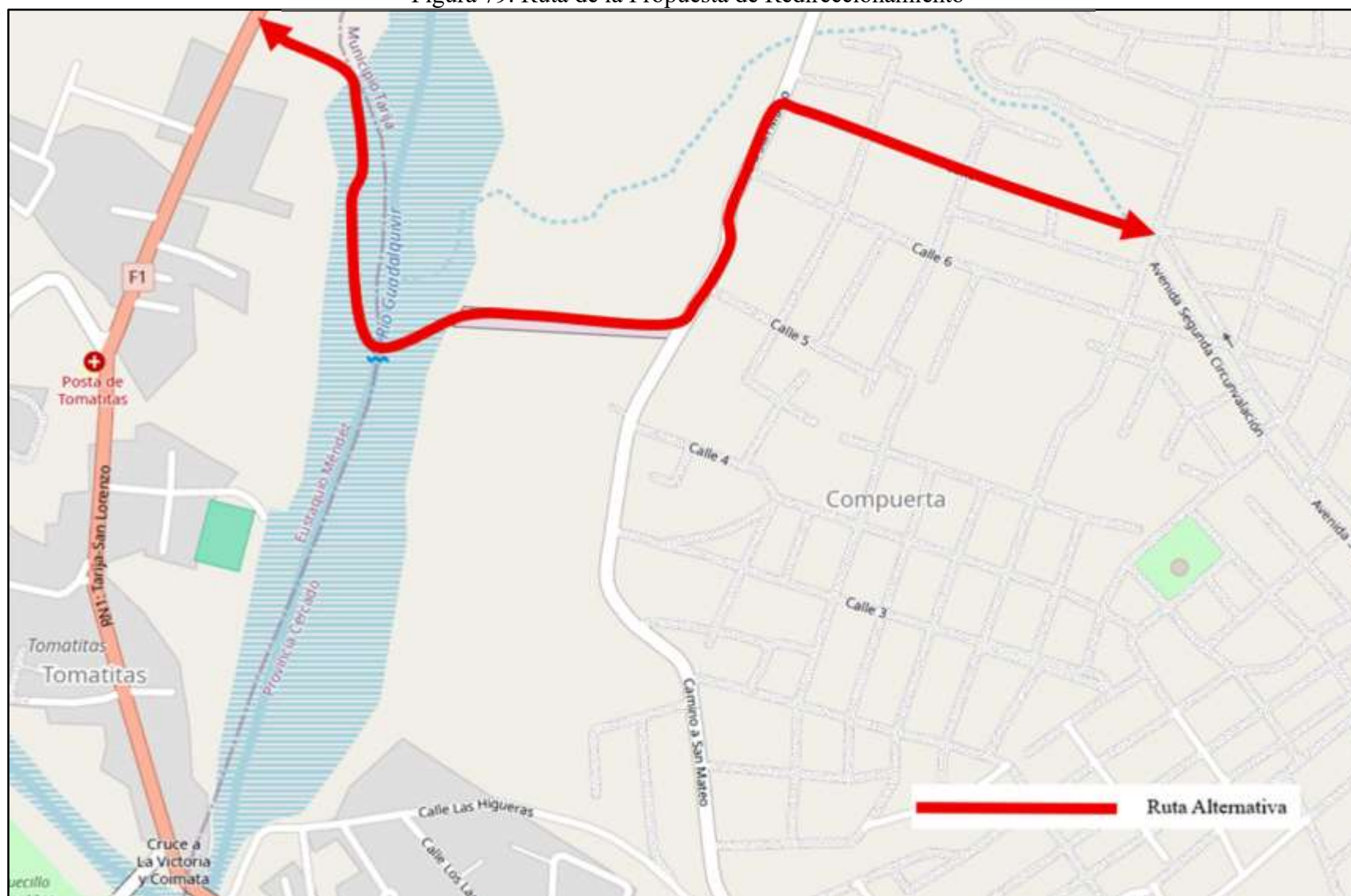
El desvío estratégico del transporte de carga permitirá:

- Reducir riesgos viales y ambientales.
- Preservar el carácter turístico y cultural de la zona.
- Promover un uso más ordenado y sostenible de la infraestructura vial.

Para garantizar la efectividad de la propuesta, será necesario implementar acciones complementarias, tales como:

- Controles de tránsito en puntos estratégicos para asegurar el cumplimiento del desvío.
- Campañas de concientización y coordinación institucional dirigidas a transportistas, autoridades locales y la comunidad en general, con el fin de socializar y consolidar la medida.

Figura 79. Ruta de la Propuesta de Redireccionamiento



Fuente. Elaboración Propia

4.3.5 Simulación de la Alternativa 2, redistribución del tráfico pesado mediante rutas alternativas con el Software PTV VISSIM

Figura 80. Simulación de Intersección excluyendo el tráfico pesado Carretera Tomatitas-Camino Coimata



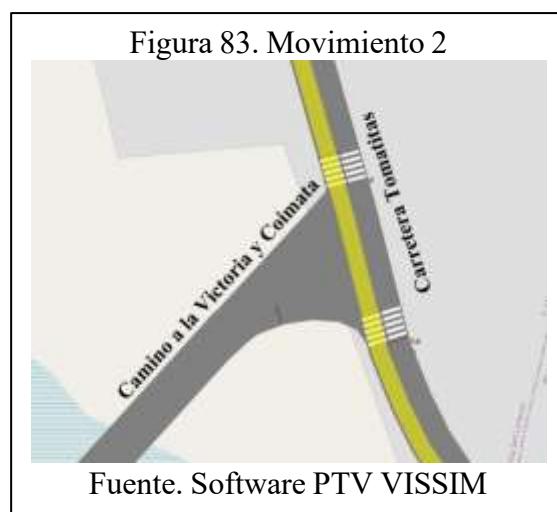
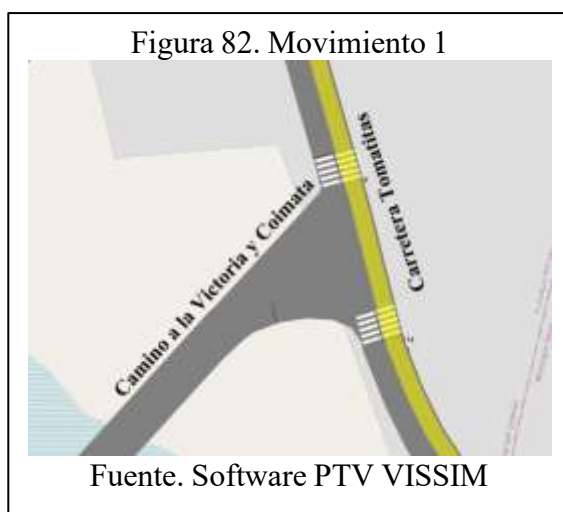
Fuente. Software PTV VISSIM

Figura 81. Simulación de Intersección excluyendo el tráfico pesado Camino a San Mateo-Calle 1



Fuente. Software PTV VISSIM

Movimientos Analizados en la Simulación de Intersección excluyendo el tráfico pesado Carretera Tomatitas-Camino Coimata



Movimientos Analizados en la Simulación de Intersección excluyendo el tráfico pesado Camino a San Mateo-Calle 1



Resultados

Tabla 86. Resultados de Simulación Intersección con nula presencia de vehículos pesados
Carretera Tomatitas-Camino Coimata

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	9	34	A
2	6	27	A

Fuente. Software PTV VISSIM

Tabla 87. Resultados de Simulación Intersección Camino a San Mateo-Calle 1 sin el funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	14	31	A
2	12	29	A

Fuente. Software PTV VISSIM

Tabla 88. Resultados de Simulación Intersección Camino a San Mateo-Calle 1 con el funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	29	82	C
2	26	73	C

Fuente. Software PTV VISSIM

Tabla 89. Resultados de Simulación Intersección con el funcionamiento del puente nuevo de Tomatitas y con nula presencia de vehículos pesados Camino a San Mateo-Calle 1

Movimiento	Longitud de Cola	Longitud de Cola Max	Nivel de Servicio
1	21	54	B
2	16	47	A

Fuente. Software PTV VISSIM

Para obtener un análisis más completo, se consideraron tres escenarios de simulación para la intersección de la Carretera de Tomatitas – Camino a Coimata:

1. Intersección sin puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas.
2. Intersección con puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas.
3. Intersección con puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas y el desvió del transporte pesado hacia una vía alterna.

Para obtener un análisis más completo, se consideraron tres escenarios de simulación para la intersección de el Camino de San Mateo - Calle 1:

1. Intersección sin puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas.
2. Intersección con puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas.
3. Intersección con puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas y el desvió del transporte pesado hacia una vía alterna.

Tras la simulación de la intersección entre la carretera Tomatitas y el camino a Coimata, en un escenario sin la presencia de vehículos pesados, los resultados fueron altamente satisfactorios en comparación con los tres escenarios analizados previamente. Se evidenció una mejora significativa en el flujo vehicular, alcanzando niveles de servicio A, lo que refleja un desempeño óptimo de la intersección bajo dichas condiciones.

De manera similar, en la intersección del Camino de San Mateo – Calle 1, la simulación sin transporte pesado arrojó resultados favorables. Los niveles de servicio oscilaron entre A y B, lo que indica un funcionamiento eficiente y con mínima congestión vehicular.

Estos hallazgos confirman que el transporte pesado, y en particular los camiones articulados de gran longitud, constituye uno de los principales factores que generan congestión en ambas vías. La presencia de estos vehículos reduce la fluidez del tránsito debido a sus dimensiones y limitada maniobrabilidad, incrementa la ocupación del espacio vial y provoca mayores longitudes de cola.

En este contexto, la alternativa de solución planteada, basada en redireccionar el tránsito pesado hacia una vía alterna especialmente diseñada para este tipo de vehículos, se presenta como una medida altamente eficiente. La reducción o eliminación de la circulación de transporte pesado en estas vías no solo eleva los niveles de servicio, sino que también disminuye el volumen vehicular total, favoreciendo una circulación más ordenada, fluida y segura.

En conclusión, esta segunda alternativa constituye una estrategia efectiva y viable, tanto desde el punto de vista técnico como operativo, para optimizar el desempeño de las vías y mitigar los impactos negativos asociados al tránsito de carga pesada.

4.3.6 Dispositivos de señalización para asegurar la efectividad de la Propuesta 2

Para garantizar la eficacia de la estrategia de desvío del transporte pesado hacia rutas alternas, es fundamental complementar la medida con un sistema integral de señalización vial. La adecuada instalación de estos dispositivos permitirá informar, regular y guiar a los conductores de manera clara y oportuna, asegurando así el cumplimiento de las restricciones y mejorando las condiciones de seguridad y fluidez en la red vial.

Se recomienda la implementación de los siguientes elementos:

- Señales de prohibición de circulación de transporte pesado.
- Señales de desvío obligatorio para vehículos de carga.
- Señales informativas y de orientación hacia rutas alternas.

En conjunto, estos dispositivos fortalecerán la efectividad operativa de la propuesta, ya que no solo regulan el tránsito pesado, sino que también facilitan la orientación a los conductores, disminuyen riesgos de maniobras indebidas y promueven una movilidad más ordenada y segura en la zona de estudio.

Figura 86. Señalización Propuesta de Redireccionamiento



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En cumplimiento del objetivo general planteado en esta investigación, se llevó a cabo un estudio del tráfico vehicular en las zonas de influencia del nuevo puente de Tomatitas. Mediante el análisis detallado de los parámetros clave volumen, velocidad, capacidad y nivel de servicio se logró diagnosticar con precisión la situación actual del flujo vehicular previo a la puesta en funcionamiento de dicha infraestructura. Asimismo, se identificaron los principales factores que inciden en la circulación, lo que permitió formular propuestas concretas orientadas a optimizar el tránsito una vez que el puente entre en operación.

A continuación, se presentan las principales conclusiones alcanzadas:

Se realizaron aforos vehiculares en los tramos viales de las zonas de influencia del nuevo puente de Tomatitas. Este procedimiento permitió obtener datos precisos sobre los volúmenes de tráfico en distintos horarios y días representativos, identificando las horas pico de mayor demanda. La información recolectada constituyó la base fundamental para los cálculos posteriores en gabinete y el diagnóstico del comportamiento del flujo vehicular en la red analizada.

Se determinaron en gabinete todos los parámetros operativos correspondientes al volumen de tráfico, velocidad de punta, velocidad de recorrido, capacidad, nivel de servicio y se analizó la señalización existente en los tramos en estudio.

Se analizaron los resultados del procesamiento de la información a partir de dos escenarios de evaluación:

- Sin la puesta en funcionamiento del nuevo puente de Tomatitas.
- Con la puesta en funcionamiento del puente.

En el primer escenario se identificaron deficiencias en la Carretera de Tomatitas, destacando la intersección con el Camino a Coimata como el punto de mayor congestión vehicular. En el segundo escenario, se observó una redistribución del tráfico de aproximadamente un 30 % hacia el Camino de San Mateo, producto del uso del nuevo

puede. Este comportamiento confirmó la necesidad de intervenir ambos corredores, pero con distintos enfoques: en Tomatitas, sobre la intersección crítica, y en San Mateo, en sus dos primeros tramos, donde se concentran los mayores incrementos de flujo.

Se plantearon dos alternativas de solución orientadas a mejorar la circulación y reducir la congestión vehicular en el área de estudio:

- La implementación de un sistema de semaforización programada en horarios de alto flujo en la intersección Carretera Tomatitas – Camino a Coimata, con el fin de regular de manera eficiente los movimientos conflictivos.
- La redistribución del tráfico pesado mediante su desvío hacia una ruta alterna, utilizando la Segunda Circunvalación como vía preferente para el transporte de carga.

Ambas alternativas fueron simuladas y evaluadas, mostrando resultados satisfactorios que evidenciaron mejoras en el nivel de servicio y en la fluidez vehicular. Finalmente, se complementaron las medidas con señalización prioritaria, orientada a reforzar la seguridad, mejorar la orientación de los conductores y garantizar la efectividad operativa de las propuestas.

6.1 RECOMENDACIONES

Con base en el diagnóstico detallado y el análisis de las condiciones críticas identificadas en la Carretera Tomatitas y el Camino San Mateo, se formulan las siguientes recomendaciones, alineadas a los objetivos de optimizar el flujo vehicular y elevar los niveles de servicio:

- Se deben realizar un análisis muy minucioso en cuanto a las relaciones de los principales parámetros como ser volúmenes, velocidades de los cuales nos brindarán resultados de cómo se comporta el tráfico en nuestro lugar de estudio
- Al realizar un estudio en un determinado tramo es necesario identificar el punto más crítico donde existan las variaciones más notables, esto para facilitar y reducir al operador los puntos de aforo.
- Al realizar la depuración de datos se debe tener cuidado al eliminar los datos que se alejan del grupo, para poder obtener valores aceptables tanto de volúmenes como de velocidades.
- Se recomienda que, al momento de hacer el trabajo de campo, ser cuidadosos ya que se presenció accidentes de tránsito por colisión de vehículos, ya que para recolectar datos se debe transitar sobre la zona de estudio donde transitan vehículos pesados que elevan su velocidad en ciertos puntos.
- Implementar control semafórico en la intersección Tomatitas–Coimata: Diseñar e instalar un sistema de semáforos con fases verdes equilibradas para cada dirección, considerando los tres periodos pico (07:00–09:00, 12:00–14:00 y 18:00–20:00).
- Desviar el tránsito pesado hacia rutas alternativas: Establecer restricciones de acceso para camiones de gran porte en la Carretera Tomatitas, derivándolos por el Camino San Mateo o vías rurales de capacidades similares.
- Señalizar claramente las rutas alternativas y coordinar con autoridades de transporte para aplicar sanciones a incumplimientos.

- Mejorar la señalización vial en la intersección Tomatitas–Coimata
- Instalar señales verticales de advertencia y reglamentarias en accesos laterales e intersecciones no controladas.
- Demarcar pasos peatonales y bandas de frenado mediante pintura termoplástica de alta durabilidad, especialmente en zonas de alta densidad residencial.
- Colocar señalización horizontal (flechas de canalización, línea de detención) para guiar a los conductores y ordenar los carriles de aproximación a la intersección.