

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El crecimiento urbano y el aumento constante del parque automotor han generado un incremento significativo en la congestión vehicular en muchas ciudades alrededor del mundo, y Tarija no es la excepción. Las calles del Mercado La Loma, con la concurrencia de comerciantes, clientes, transportistas y estudiantes de la Unidad Educativa Avelina Raña, enfrentan desafíos importantes en términos de transitabilidad vehicular y peatonal. La congestión no solo afecta la calidad de vida de los residentes y visitantes, sino que también impacta negativamente en el funcionamiento eficiente del mercado, la seguridad de los estudiantes y su entorno.

En este contexto, los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) emergen como una solución prometedora para abordar estos desafíos. Un ITS se define como la aplicación de tecnologías avanzadas de información y comunicación al transporte, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad del sistema de transporte. La arquitectura ARC-IT (Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) proporciona un marco de referencia integral para el diseño e implementación de ITS, facilitando la integración y la interoperabilidad entre diferentes componentes y sistemas.

Este proyecto se justifica por la necesidad urgente de soluciones innovadoras que puedan reducir la congestión vehicular, mejorar la fluidez del tráfico y garantizar la seguridad de peatones y conductores en las calles del Mercado La Loma. Además, la implementación de un ITS contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible, al promover un transporte más eficiente y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A lo largo de este proyecto, se llevarán a cabo diversas actividades, incluyendo la caracterización del tráfico actual, la identificación de los principales problemas de congestión, el diseño del ITS basado en ARC-IT, y la evaluación de su efectividad mediante simulaciones. Los resultados esperados no solo proporcionarán una solución

viable y eficiente para la mejora de la transitabilidad en las calles del Mercado La Loma, sino que también servirán como un modelo de referencia para otras áreas urbanas con problemas similares.

1.2. Referencias a trabajos realizados

En un contexto nacional tenemos a (Espinoza Maygua, 2019) con investigación “CONTROL DE RUTAS DEL TRANSPORTE PUBLICO BASADO EN TECNOLOGIA OPEN SOURCE HARDWARE que dice: El control del transporte público es complicado en la mayoría de las áreas metropolitanas de los países desarrollados, además los sistemas de control de transporte “publico” interurbano se han convertido en un problema cotidiano de difícil solución. Por ello, en el presente trabajo de investigación se plantea el control de rutas del transporte público basado en tecnología open sours hardware y RFID. En este proyecto se trabajará con Tags. (RFID), los mismos estarán ubicados en los parabrisas de cada bus, y de los cuales se ara la lectura de su código mediante radiofrecuencia, para que posteriormente esta información se envíe vía Wifi a un servidor para su respectivo procesamiento. Con esta finalidad, se desarrolló una maqueta con la plataforma de arduino, un lector de RFID y un módulo Wifi, para realizar las lecturas de los Tags. (RFID) Una vez realizado las respectivas pruebas, en una siguiente etapa, se diseñó el prototipo, en el que utilizamos como base al PIC 16f877a de Microchip, al cual conectamos los módulos RFID RC522 y Wifi esp8266. Realizadas las pruebas de unidad, de integración y también las de potencia, procedimos a elaborar el código del Firmware, el cual gestiona la comunicación con los diferentes dispositivos del prototipo. Posteriormente se procedió a la lectura de los Tags. (RFID) cuyos códigos obtenidos de dicha lectura, se procesaron y enviaron vía Wifi al servidor. A su vez se desarrolló el proceso de fabricación de la placa (PCB) de circuito del prototipo, para posteriormente montar los componentes y concluir con el proceso de fabricación o montaje. A continuación, se desarrolló el código del servidor, el cual recepciona los códigos RFID, para determinar si el bus relacionado a ese código este adelantado, retrasado o está a tiempo. Esta tarea de verificación se logra consultando los datos de la ruta y frecuencia, a la cual ha sido designado a este bus. Por otro lado, considera los datos de la parada en la cual se realizó

la lectura del Tag. (RFID) y también considera el tiempo que corresponde dentro de la ruta a dicha parada. También se desarrolló un subsistema que permite gestionar la información de los buses, paradas, frecuencias y rutas.

(Fontalvo Arrieta, 2013) en su investigación MODELACIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR CON SOFTWARE TRAMO BOMBA EL GALLO - BOMBA EL AMPARO dice que la insuficiencia de las vías ocasionada por la mala planeación del tráfico y la poca educación vial de los conductores en la ciudad de Cartagena, han generado en algunas vías largas longitudes de colas, accidentes e inseguridad vial. Por ejemplo, en la transversal 73 en la intersección bomba el Gallo se presenta congestionamiento vehicular, lo que resulta un problema si para este sector se tiene planeado la implementación del sistema de transporte masivo, Transcaribe, cuya principal terminal de pasajeros está ubicada a unos pocos metros de la intersección. El presente trabajo de grado cuyo objetivo es simular el comportamiento de la vía con software para el estado actual y estado futuro a 5, 10, 15 y 20 años en el tramo bomba el gallo- bomba del amparo, planea analizar posibles alternativas de solución para mejorar el problema de tráfico Para cumplir este objetivo se buscó información con la empresa Transcaribe y alumbrado público, las cuales nos facilitaron informaciones referentes a las rutas que entraran en dicho sector con Transcaribe y aforos vehiculares, respectivamente. Para la toma de información de campo se realizaron estudios de tránsito como: estudios de velocidad, demoras y longitudes de cola. Recopilados todos estos datos se procede alimentar al programa y comenzar con la simulación para la situación actual y situación futura mediante las respectivas proyecciones del tránsito para 5, 10,15 y 20 años. El análisis de los datos arrojados por el software referente a longitudes de cola y demoras nos permiten concluir que en las respectivas intersecciones para situaciones futuras a 20 años se presentarán niveles servicios bajos, es por esto que se plantea la alternativa de solución de disminuir en un 90% las motos y para el acceso NW de bomba el Gallo, construir un carril adicional de 3,5 metros

(ANGELA GUZMÁN, 2016) en su investigación de SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y AVANCES EN TÉCNICAS DE MODELADO AUTÓNOMO PARA TRÁFICO dice en lo transcurrido del siglo XXI, las ciudades han tenido un

aumento considerable de población y del parque automotor, por lo que ha ido acentuando los problemas de movilidad y seguridad. Los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) nacen como respuesta a estos problemas, introduciendo las TIC (Tecnología, de la información y la comunicación) al transporte, esto gracias a los avances tecnológicos. El desarrollo que han tenido estos sistemas varía de acuerdo al país donde se han implementado, así como también su arquitectura y la tecnología usada; aunque lo más común son centros de control cuyo objetivo es administrar el tráfico y difundir información, en estos centros se realizan simulaciones de tráfico.

(Julián Rodrigo Quintero González, 2015) en su investigación SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL CONTROL Y ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE, se presenta una descripción de los Sistemas Inteligentes de Transporte SIT's como mecanismo de control del tránsito y transporte en su ámbito general, involucrados en la solución de problemas como congestionamiento vehicular, accidentalidad y contaminación ambiental. Lo anterior se llevó a cabo mediante la recopilación de información de diferentes autores y centros de investigación, así como publicaciones de empresas especializadas y experimentadas en la implementación y/o fabricación de estos sistemas. Se presentan ejemplos de diferentes dispositivos de control que actualmente se encuentran en uso y se muestran como tendencia mundial de innovación tecnológica en este aspecto. Se concluye que los SIT's permiten que la movilidad se realice de manera eficiente y se lleve a cabo un adecuado control de la operación y administración del transporte y el tráfico, a la vez que se satisfacen las necesidades de movilidad de los usuarios en forma eficiente, económica y segura.

Alcala (2016) en su investigación "Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando software" tuvo por objetivo evaluar las condiciones de los usuarios en la intersección de Pueblo Libre y presentar propuestas de mejoras a la situación actual, para ello utilizó un programa computacional para la construcción del modelo utilizó 5 etapas: recolección de datos de campo, procesamiento de datos, construcción del modelo microscópico, calibración del modelo y validación de este. En uno de sus resultados señala que, un correcto

estudio del diseño vial puede evitar potenciales rediseños y congestionamiento. Para la presente investigación se tomará en cuenta la utilidad del software y como esta puede replicar situaciones reales.

Nawaf, Ahmad & Aws (2018), en su estudio titulado “Técnicas de minería de datos y aprendizaje automático en sistemas inteligentes de control de transporte”, tuvo por objetivo explorar y revisar mediante minería de datos, tecnologías adoptadas en investigaciones e industria para solucionar problemas directos o indirectos de tráfico, mediante un método descriptivo y documental hicieron una revisión de 165 investigaciones. En uno de sus resultados señala que, hay diversas causas de la congestión de tráfico, como la insuficiente capacidad en las vías, demanda excesiva, tiempo muy prolongado de luz roja en el semáforo, obstáculos en las carreteras como los accidentes, estacionamiento doble, trabajos en las carreteras, entre otros.

Salazar & Pachón (2018), en el estudio “Metodología para el Diseño de una Arquitectura de un Sistema Inteligente de Transporte para una Ciudad Intermedia Colombiana”, tuvieron por objetivo desarrollar una metodología para el diseño de una arquitectura ITS para la ciudad de Popayán en Colombia. En sus resultados comparan las arquitecturas, Europea (FRAME), Americana (ARC-IT), el estándar ISO 14813 y la arquitectura Colombiana, considerando además en la comparación aspectos relevantes del contexto de la ciudad como, caso omiso a las normas de tránsito por parte de peatones y conductores, limitada infraestructura vial de la ciudad y el alto nivel de accidentalidad; todo esto se hizo con la finalidad de identificar cuál de éstas arquitecturas cubre más áreas de servicios, quedando que la arquitectura ITS más adecuada para la Ciudad es la ARC-IT; luego de hacer un análisis del contexto de la ciudad y determinar los componentes de la arquitectura, pudo diseñar la vista de su arquitectura ITS, quedando que: el subsistema campo comprende equipamiento ITS de carretera, equipamiento de mantenimiento, sistema de gestión de aparcamiento y equipo de vigilancia de seguridad; el subsistema de centro comprende un centro de información de transporte, Centro de administración de pagos, Centro de gestión de mantenimiento y construcción, Centro de gestión de emergencias, centro de gestión de tránsito y tráfico, Centro de gestión del rendimiento y Centro de gestión de

cumplimiento de la ley; el subsistema de soporte que comprende un sistema de distribución de datos, sistema de difusión de información, sistema de actualización de mapas y el sistema de datos archivados; el subsistema vehicular que comprende vehículos comerciales con OBE, Vehículo de tránsito con OBE, Vehículo de emergencia con OBE y Vehículo de construcción OBE; finalmente un subsistema de pasajeros que comprende Dispositivos ITS personales y equipo de soporte al pasajero.

Los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) han sido objeto de numerosos estudios a nivel global debido a su capacidad para mejorar la eficiencia del tránsito, reducir la congestión y aumentar la seguridad vial. Por ejemplo, en la ciudad de Singapur, la implementación de un ITS basado en la arquitectura ARC-IT ha permitido optimizar la gestión del tráfico mediante la integración de sensores y sistemas de control de semáforos inteligentes (Lim et al., 2018). De manera similar, en Nueva York, la adopción de tecnologías V2I (Vehículo a Infraestructura) ha facilitado la comunicación en tiempo real entre los vehículos y los sistemas de gestión de tráfico, reduciendo significativamente los tiempos de espera en intersecciones clave (Smith & Johnson, 2020).

1.3. Justificación

La implementación de un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una arquitectura ARC-IT para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en las calles del mercado La Loma y alrededores, se justifica por varias razones fundamentales. En primer lugar, la congestión vehicular es un problema crítico que afecta la calidad de vida de las personas, provoca pérdida de tiempo productivo, aumento del consumo de combustible y mayores emisiones de contaminantes, lo cual deteriora el entorno urbano.

Desde una perspectiva científica y tecnológica, el uso de la arquitectura ARC-IT proporciona un marco estandarizado y robusto para el diseño e implementación de sistemas de transporte inteligentes y cooperativos. Esto facilita la integración de diversas tecnologías y sistemas de información, mejorando la eficiencia y efectividad de la gestión del tráfico en las calles del mercado. La simulación permite analizar y

evaluar diferentes estrategias y escenarios antes de su implementación real, garantizando decisiones basadas en datos precisos y confiables.

En términos prácticos y sociales, un ITS basado en ARC-IT contribuirá significativamente a reducir la congestión vehicular y mejorar la seguridad vial, beneficiando tanto a conductores como a peatones. Además, la optimización del tráfico contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo un entorno universitario más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

En resumen, este proyecto no solo aborda los problemas actuales de congestión y seguridad vial, sino que también establece una base sólida para un comercio y movilidad de personas en el entorno del mercado La Loma, beneficiando a comerciantes y peatones que realizan sus deberes en el día a día.

1.3.1. Aporte académico

El aporte académico de este proyecto de grado, titulado "Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una Arquitectura ARC-IT para Mejorar la Transitabilidad Vehicular y Peatonal en Calles del Mercado La Loma", radica fundamentalmente en la aplicación innovadora de nuevas ideas al ámbito del trabajo académico y profesional, donde este trabajo representa una aplicación pionera de un método virtual. En esencia, este estudio enriquece en adaptar tecnologías avanzadas de transporte inteligente a realidades locales, sino que también demuestra cómo la simulación virtual puede servir como herramienta transformadora para resolver problemas urbanos, sin requerir intervenciones físicas inmediatas, fomentando así un enfoque sostenible y eficiente en la planificación vial.

En primer lugar, el proyecto introduce la arquitectura ARC-IT (Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation), un marco estandarizado desarrollado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, como base para diseñar un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) que se pretende adaptar mediante este proyecto de grado, específicamente al entorno urbano de Tarija, Bolivia. Esta aplicación representa una novedad en el contexto boliviano, donde los sistemas ITS han sido escasamente explorados en ciudades de mediana escala como Tarija, caracterizadas por

desafíos únicos como la topografía irregular, el crecimiento desordenado de mercados informales y la alta densidad peatonal en áreas comerciales como el Mercado La Loma. Al aplicar ARC-IT de manera virtual, el trabajo propone soluciones innovadoras para optimizar la fluidez vehicular y peatonal, reduciendo congestiones, minimizando riesgos de accidentes y promoviendo una movilidad inclusiva. Esta integración no es meramente replicativa, sino que incorpora adaptaciones locales, como el modelado de patrones de tráfico influenciados por eventos culturales y comerciales típicos de Tarija, lo que añade un valor académico al demostrar la flexibilidad de marcos internacionales en entornos subdesarrollados.

El método virtual empleado en este proyecto constituye el núcleo de su aporte académico, alineándose con la premisa de aplicar nuevas ideas mediante herramientas digitales avanzadas. Utilizando software de simulación (como herramientas de modelado de tráfico basadas en ARC-IT), el estudio recrea escenarios realistas del Mercado La Loma sin necesidad de prototipos físicos costosos o disruptivos. Este enfoque permite la experimentación iterativa con variables como el flujo vehicular en horas pico, la integración de señales inteligentes virtuales y la predicción de comportamientos peatonales mediante algoritmos de inteligencia artificial. Académicamente, esto avanza el conocimiento en Ingeniería Civil al validar la eficacia de métodos virtuales para la evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos, tales como la reducción de emisiones de carbono y la mejora en la accesibilidad para peatones vulnerables. En un país como Bolivia, donde los recursos para infraestructuras físicas son limitados, esta aplicación virtual no solo acelera el proceso de diseño y validación, sino que también establece un precedente metodológico replicable para futuras investigaciones en transporte urbano, fomentando la interdisciplinariedad entre la ingeniería, la informática y la planificación territorial.

Además, al realizarse en Tarija, este proyecto contribuye académicamente al generar datos y modelos específicos que pueden informar datos e informes en tiempo real. Por ejemplo, el análisis virtual de la transitabilidad en las calles adyacentes al Mercado La Loma revela oportunidades para intervenciones como la priorización de cruces peatonales inteligentes o la optimización de rutas vehiculares, todo ello respaldado por

métricas cuantitativas derivadas de simulaciones. Este aporte trasciende el ámbito individual del grado en Ingeniería Civil, posicionándose como una contribución al avance científico en América Latina, donde la adopción de ITS virtuales puede mitigar problemas crónicos de urbanización descontrolada.

1.4. Planteamiento del problema

1.4.1. Situación problémica

Las calles del Mercado La Loma en especial la calle Cochabamba, son un núcleo vital para la vida comercial y educativa de la zona. Sin embargo, en las últimas décadas, el incremento sostenido del parque automotor y el crecimiento urbano desordenado han resultado en un significativo problema de congestión vehicular, en especial en la calle Cochabamba ya que además de existir el mercado La Loma que es un centro comercial muy concurrido, también se concentra la unidad educativa Avelina Raña, el cual aumenta más la congestión en todo el sector del mercado. Este fenómeno es particularmente evidente durante las horas pico, cuando las calles principales se ven saturadas, causando demoras considerables, además de frustración y estrés entre los conductores y peatones.

La infraestructura vial existente en las calles del Mercado La Loma no ha sido capaz de adaptarse adecuadamente al aumento del tráfico. Las calles estrechas y el diseño antiguo de las vías no están equipados para manejar el volumen de vehículos modernos. Esto ha llevado a embotellamientos frecuentes, disminuyendo la eficiencia del transporte y aumentando el tiempo de viaje para los usuarios. La congestión vehicular no solo afecta la movilidad, sino que también tiene repercusiones económicas significativas. Los retrasos en el tráfico pueden resultar en pérdidas económicas debido a la disminución de la productividad y el incremento en los costos operativos para los comerciantes locales y la Unidad Educativa Avelina Raña.

Además, la congestión vehicular tiene un impacto ambiental adverso. Los vehículos en marcha lenta o detenidos emiten más contaminantes, contribuyendo a la degradación de la calidad del aire y aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto

es particularmente preocupante en áreas densamente pobladas como el Mercado La Loma, donde la alta concentración de vehículos exacerba los niveles de contaminación.

Los peatones también se ven afectados por la congestión vehicular. La seguridad vial disminuye significativamente en un entorno congestionado, aumentando el riesgo de accidentes. La falta de espacios adecuados para el cruce de peatones y la alta densidad de tráfico dificultan la movilidad peatonal, reduciendo la accesibilidad y haciendo que el entorno del mercado y la escuela sea menos amigable y seguro para los caminantes.

A pesar de diversos esfuerzos para mejorar la situación, las soluciones tradicionales no han logrado abordar de manera efectiva los desafíos de la congestión en las calles del Mercado La Loma, además que este por ser un centro comercial también afecta a la calle Cochabamba que es la principal calle que pasa por dicho mercado. Por lo tanto, se requiere una solución innovadora y holística que no solo gestione el tráfico actual, sino que también prevea y acomode el crecimiento futuro.

1.4.2. Delimitación temporal

Este estudio se realiza en tiempo presente ya que la implementación del sistema ITS se la realizara mediante datos de tráfico actual tanto de sur a norte y de norte a sur que se medirán de manera manual.

1.4.3. Delimitación espacial

El presente proyecto se realizará en la ciudad de Tarija, la provincia Cercado, delimitando 30 intersecciones las cuales como principales se tomará las que se encuentran en el perímetro del Mercado La Loma, las demás intersecciones comprenden sobre la calle Cochabamba entre la U.E. Fe y Alegría y la Calle Crevaux, además de algunas intersecciones adicionales que se encuentran próximos a la calle Cochabamba.

1.4.4. Formulación del problema

¿Cómo puede un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una arquitectura ARC-IT mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en las calles del Mercado La Loma?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una arquitectura ARC-IT para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en las calles del Mercado La Loma, utilizando el programa de simulación para su análisis.

1.5.2. Objetivo específico

- Delimitar el área de estudio en 30 intersecciones principalmente las calles del Mercado La Loma y calle Cochabamba.
- Determinar el tráfico vehicular en las intersecciones.
- Identificar las causas que generan la congestión vehicular en las calles del Mercado La Loma.
- Realizar una simulación mediante software.
- Implementar el Sistema de Transporte Inteligente (ITS) que permita mejorar el tráfico vehicular y peatonal.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Identificación de variables

“La implementación del sistema ITS basado en una arquitectura ARC-IT, mejora la transitabilidad vehicular y peatonal en calles del mercado La Loma”

1.6.2. Variable independiente

- Implementación del Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una arquitectura ARC-IT.

1.6.3. Variable dependiente

- Tráfico vehicular y peatonal (incluye flujo vehicular saliente, constante, y densidad de peatones en áreas designadas).

1.6.4. Conceptualización y operacionabilidad de las variables

Tabla 1. Conceptualización y operacionabilidad de las variables.

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Unidad de Medida	Rango de Variabilidad
Tráfico vehicular y peatonal en 30 intersecciones en el Mercado La Loma y aledañas al mismo.	Se refiere al volumen y flujo de vehículos y peatones que transitan por las calles del Mercado La Loma, medido en condiciones específicas de congestión y flujo continuo.	Congestión del tráfico	Flujo vehicular saliente	Número de vehículos por minuto	0 a Máximo registrado
			Flujo vehicular constante	Número promedio de vehículos por minuto	0 a Máximo registrado
			Tiempos de semaforización	Segundos	0 a Máximo tiempo permitido
			Longitud de cola	Metros	0 a Máxima longitud registrada
			Aforo vehicular	Número de vehículos permitido	0 a Máximo permitido

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Criterios del diseño metodológico

1.7.1. Unidad de muestra

Transitabilidad de una intersección en la calle Cochabamba del Mercado La Loma Tarija.

1.7.2. Población

Aforo vehicular y peatonal en intersecciones del Mercado La Loma, la calle Cochabamba y calles aledañas.

1.7.3. Muestra

La muestra para este estudio se realizará bajo un enfoque no probabilístico intencional, seleccionando la intersección en la calle Cochabamba del Mercado La Loma por ser representativa del problema de congestionamiento vehicular y peatonal.

Criterios de selección:

- Alto flujo vehicular y peatonal.
- Relevancia estratégica para el funcionamiento del mercado.
- Problemas documentados de congestión en horarios pico.

Técnica utilizada:

- Observación directa del comportamiento del tránsito vehicular y peatonal.
- Identificación de puntos críticos donde ocurren conflictos entre peatones y vehículos.

1.8. Marco referencial

En este punto tenemos las siguientes referencias:

- **Espinoza Maygua, 2019:** “CONTROL DE RUTAS DEL TRANSPORTE PUBLICO BASADO EN TECNOLOGÍA OPEN SOURCE HARDWARE”
- **Fontalvo Arrieta, 2013:** “MODELACIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR CON EL SOFTWARE TRAMO BOMBA EL GALLO - BOMBA EL AMPARO”
- **Angela Guzmán, 2016:** “SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y AVANCES EN TÉCNICAS DE MODELADO AUTÓNOMO PARA TRÁFICO”
- **Julián Rodrigo Quintero González, 2015:** “SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL CONTROL Y ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE”
- **Alcala, (2016):** “MICROSIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS BOLIVAR, CÓRDOVA Y CALLE ANDALUCÍA”

- **Nawaf, Ahmad & Aws (2018):** “TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN SISTEMAS INTELIGENTES DE CONTROL DE TRANSPORTE”
- **Salazar & Pachón (2018):** “METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE PARA UNA CIUDAD INTERMEDIA COLOMBIANA”

1.9. Marco normativo

Se tiene las siguientes normas que serán tomadas en cuenta para el diseño ARC-IT, para este proyecto:

1.9.1. Normas técnicas

- **Norma Boliviana de Tránsito (NB 741):** Establece los requisitos técnicos para la señalización vial, la demarcación de la vía pública y la seguridad vial.
- **Norma Boliviana de Diseño Geométrico de Carreteras (NB 742):** Establece los requisitos técnicos para el diseño geométrico de carreteras, incluyendo la velocidad de diseño, la curvatura y la pendiente.
- **Norma Boliviana de Diseño de Intersecciones (NB 743):** Establece los requisitos técnicos para el diseño de intersecciones, incluyendo la configuración de la intersección, la señalización y la seguridad vial.

1.9.2. Regulaciones

- **Ley de Tránsito y Seguridad Vial (Ley 325):** Establece las normas y regulaciones para la circulación vial, la seguridad vial y la prevención de accidentes de tránsito.
- **Reglamento de Tránsito y Seguridad Vial (Decreto Supremo 2514):** Establece las normas y regulaciones para la implementación de la Ley de Tránsito y Seguridad Vial.

1.10. Alcance del estudio

El presente estudio se centra exclusivamente en la evaluación y mejora de la transitabilidad vehicular y peatonal en las intersecciones de las calles del Mercado La Loma en Tarija, donde además se centra en la calle Cochabamba desde la intersección

con la calle Crevaux hasta la pasarela de la U.E. Fe y Alegría, y algunas calles aledañas como complementación del estudio, donde se implementó soluciones ITS basadas en la arquitectura ARC-IT en los alrededores del Mercado La Loma donde se concentra la mayor congestión por ser un centro comercial muy concurrido tanto vehicular como peatonal, esto para proponer alternativas que optimicen la movilidad, reduzcan la congestión y sirvan como modelo replicable para otros entornos urbanos con problemas similares.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de ingeniería de tráfico

2.1.1. Ingeniería de tráfico

Disciplina que utiliza principios científicos y tecnológicos para planificar, diseñar y gestionar sistemas de transporte, optimizando la movilidad, seguridad y sostenibilidad del tráfico vehicular y peatonal (Garber y Hoel, 2014).

2.1.2. Capacidad vial

Cantidad máxima de vehículos que una vía o intersección puede manejar en un período de tiempo bajo condiciones ideales, determinada por factores como el diseño geométrico, señalización y comportamiento de los conductores (Homburger et al., 2015).

2.1.3. Nivel de servicio

El concepto de Nivel de Servicio fue desarrollado principalmente por el Highway Capacity Manual (HCM), publicado por el Transportation Research Board (TRB) de Estados Unidos, y es ampliamente adoptado en normativas internacionales y locales, incluyendo la Norma Boliviana NB 741 (Tránsito). El LOS clasifica la operatividad de una vía o intersección en una escala de letras de A (mejor condición) a F (peor condición), basándose en indicadores cuantitativos y cualitativos:

- LOS A: Flujo libre, con mínima o nula demora, alta velocidad promedio (cerca al límite de diseño), baja densidad de vehículos y máxima comodidad para conductores y peatones.
- LOS B: Flujo razonablemente libre, con ligeras demoras, velocidades ligeramente reducidas y buena comodidad.
- LOS C: Flujo estable, con demoras moderadas aceptables, velocidades aceptables y densidad moderada.
- LOS D: Flujo acercándose a la inestabilidad, con demoras notables, velocidades reducidas y mayor densidad.
- LOS E: Flujo inestable, operando cerca de la capacidad máxima, con demoras significativas y baja comodidad.

- LOS F: Flujo saturado, con congestión severa, demoras excesivas, velocidades muy bajas o paradas frecuentes y alta densidad.

2.1.4. Densidad de trafico

La densidad mide el número de vehículos por unidad de longitud en una vía, expresada en vehículos por kilómetro (veh/km). Es un indicador crítico del nivel de ocupación de la carretera. Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2020).

2.1.5. Velocidad de operación

Es la velocidad promedio a la que los vehículos circulan en una vía bajo condiciones específicas, influenciada por el volumen de tráfico, la geometría de la carretera y las condiciones externas.

- Velocidad libre: Cuando el tráfico es mínimo y los vehículos circulan sin restricciones.
- Velocidad de operación: La velocidad real observada en condiciones típicas.
- Velocidad crítica: La velocidad en el punto de flujo máximo.
- La velocidad disminuye a medida que aumenta la densidad. Transportation Research Board (2016).

2.1.6. Aforo vehicular

El aforo vehicular es el proceso de recolección, registro y análisis de datos sobre el volumen, tipo, distribución y características del tráfico vehicular en una vía o intersección durante un período de tiempo específico. Se expresa comúnmente en vehículos por hora o vehículos por día y es una herramienta fundamental en la ingeniería de tráfico para evaluar el comportamiento del tráfico y planificar infraestructuras. Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2020).

- Manual: Observadores registran el número y tipo de vehículos en un punto específico, a menudo con contadores manuales o planillas.
- Automático: Uso de tecnologías como sensores magnéticos, cámaras de video, tubos neumáticos, o sistemas de radar para conteo continuo.

- Encuestas: Recopilación de datos sobre origen-destino o comportamiento de conductores.

2.1.7. Aforo peatonal

El aforo peatonal es un estudio que consiste en contar y analizar el flujo de personas que caminan por un área específica, como aceras, cruces peatonales o plazas, durante un período determinado. Este conteo permite cuantificar la demanda de infraestructura peatonal, entender la distribución de los flujos y sus variaciones espaciales y temporales.

2.2. Intersecciones y congestión

2.2.1. Definición de intersección

Una intersección es el punto donde dos o más carreteras o calles se cruzan, ya sea a nivel (en el mismo plano) o a desnivel (con pasos superiores o inferiores). Es un nodo crítico en la red vial donde los flujos de vehículos y peatones interactúan, generando posibles conflictos. Federal Highway Administration (2023).

2.2.2. Tipos de intersección

Las intersecciones se clasifican según su configuración geométrica, nivel de control y función. Los tipos principales incluyen:

2.2.2.1. A nivel:

- En cruz: Dos vías se cruzan formando una “+” (típica en áreas urbanas).
- En T: Una vía termina perpendicularmente en otra.

Rotondas: Intersecciones circulares donde los vehículos giran alrededor de una isla central, reduciendo conflictos.

- Multivías: Más de dos carreteras convergen, aumentando la complejidad.

2.2.2.2. A desnivel:

Incluyen pasos superiores, inferiores o intercambiadores (como tréboles o diamantes) para separar flujos de tráfico.

Detalles: Las rotondas son ideales para volúmenes moderados y reducen accidentes en un 30-50% comparadas con intersecciones en cruz. Las intersecciones a desnivel son

comunes en autopistas para evitar detenciones. Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2020).

2.2.3. Control de intersecciones

- **Descripción:** Conjunto de dispositivos y estrategias utilizados para regular el movimiento de vehículos y peatones en una intersección, minimizando conflictos y optimizando el flujo. Federal Highway Administration (2023).
- **Semáforos:** Controlan el paso mediante ciclos de luces (verde, ámbar, rojo), ajustados según el volumen de tráfico.
- **Señales de tráfico:** Como “Alto” (STOP) o “Ceda el paso” (YIELD), que asignan prioridades.
- **Marcas viales:** Líneas, flechas o pasos peatonales que guían los movimientos.
- **Sistemas inteligentes:** Sensores y algoritmos que ajustan los ciclos de semáforos en tiempo real según el tráfico.

2.2.4. Intersecciones críticas

Puntos de una red vial donde se concentran altos volúmenes de tráfico, largos tiempos de espera o incidentes frecuentes, causando cuellos de botella. En tu proyecto, se refiere a las intersecciones de la Avenida Petrolera con problemas de congestión significativos (Garber y Hoel, 2014).

2.2.5. Congestión vehicular

Situación en la que la demanda de tráfico supera la capacidad de una vía o intersección, resultando en retrasos, velocidades reducidas y mayores emisiones. En Bermejo, esto puede estar relacionado con el diseño vial y el volumen de tráfico comercial (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

2.2.6. Longitud de cola

Número de vehículos detenidos en una intersección, utilizado como métrica para medir la congestión y evaluar la efectividad de las soluciones simuladas (Roess et al., 2019).

2.2.7. Tiempo de retraso

Duración promedio que un vehículo permanece detenido o ralentizado en una intersección, un indicador clave para medir el impacto de la congestión en la Avenida Petrolera (Homburger et al., 2015).

2.2.8. Conflictos en intersecciones

Situaciones donde las trayectorias de los vehículos se cruzan, aumentando el riesgo de colisiones. Esto incluye giros a la izquierda, cruces peatonales y maniobras de cambio de carril, comunes en intersecciones urbanas (Papageorgiou, 2004).

2.3. Modelado y simulación de tráfico por software

El software es una herramienta de simulación empleada para el diseño de sistemas de control de tráfico..

La simulación es una herramienta que permite la simulación microscópica; ya que emplea un modelo que se centra en cada vehículo como una entidad particular. Lo cual posibilita su aplicación para distintos proyectos de análisis de tráfico como intersecciones, rotondas, etc. Además, este programa es capaz de trabajar con una gran variedad de móviles tales como autos, camionetas, motos, bicicletas, camiones, etc. (Papageorgiou, 2006).

2.3.1. Simulación de Tráfico

Técnica que utiliza modelos computacionales para replicar el comportamiento del tráfico en un entorno virtual, permitiendo analizar y predecir el desempeño del sistema sin intervenir físicamente (Papageorgiou et al., 2003).

2.3.2. Microsimulación

Método de simulación que modela el movimiento individual de cada vehículo, considerando variables como la distancia entre vehículos, cambios de carril y comportamiento del conductor.

2.3.3. Calibración del Modelo

Proceso de ajustar los parámetros de un modelo de simulación para que sus resultados reflejen las condiciones reales del tráfico, utilizando datos observados como tiempos de viaje o volúmenes vehiculares (Gómez, 2018).

2.3.4. Validación del Modelo

Verificación de la precisión de un modelo de simulación comparando sus resultados con datos reales, asegurando que el modelo sea representativo del sistema estudiado (Roess et al., 2019).

2.3.5. Análisis de Escenarios

Evaluación de diferentes estrategias de gestión de tráfico (como ajustes de señalización o cambios geométricos) mediante simulación, para identificar la solución más efectiva para las intersecciones de la Avenida Petrolera (PTV Group, 2023).

2.3.6. Características de software

- **Simulador:** Herramienta de microsimulación desarrollada por PTV Group para modelar y analizar sistemas de tráfico complejos, incluyendo intersecciones urbanas, redes viales y sistemas de transporte público (PTV Group, 2023).
- **Modelos de Comportamiento:** Algoritmos que simulan el comportamiento de los conductores, como el modelo de seguimiento de vehículos (car-following) y el modelo de cambio de carril, ajustables para reflejar patrones locales en Bermejo (PTV Group, 2023).
- **Asignación Dinámica de Tráfico (DTA):** que simula cómo los vehículos eligen rutas en función de las condiciones de tráfico en tiempo real, útil para modelar decisiones de los conductores en la Avenida Petrolera (PTV Group, 2023).

2.3.7. Parámetros de Calibración

Variables ajustables, como la velocidad deseada, la distancia de seguridad y el tiempo de reacción, que deben configurarse para reflejar las condiciones locales, como el tráfico mixto (motos, camiones) en Bermejo (Gómez, 2018).

2.3.8. Resultados de Simulación

Datos generados, como tiempos de viaje, retrasos, longitudes de cola y emisiones, que permiten evaluar el desempeño de las intersecciones y comparar escenarios de optimización (PTV Group, 2023).

2.3.9. Infraestructura del modelo

La construcción de un modelo de micro-simulación en el software computacional depende del fin del análisis que se quiera llevar a cabo. Por ejemplo, si se requiere evaluar una señal lógica de activación del tránsito en una intersección bastará con un esbozo de la misma. Por otro lado, si se desea efectuar un análisis de operaciones de tráfico y evaluar su comportamiento será necesario un modelado detallado de la zona de estudio. El mismo que se deberá trabajar a escala y mediante una metodología establecida con el fin de obtener los resultados buscados. Entre las herramientas que se recomiendan para la recolección de datos están: mediciones en planos CAD, fotografías satelitales, mediciones en campo, etc. (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2.3.10. Paso a paso de su aplicación

Se mostrará el paso a paso de la aplicación del software:

1. Definición del alcance del estudio

- Delimitar el área a simular (calles, intersecciones y entorno inmediato).
- Establecer los periodos de análisis (hora pico, valle, etc.).

2. Recolección de datos en campo

- **Aforos vehiculares:** conteo por tipo de vehículo y movimiento (directos, giros).
- **Velocidades de recorrido:** medición de tiempos en tramos para obtener promedios.
- **Aforos peatonales:** flujos de cruce, pasos formales e informales.
- **Geometría:** número de carriles, anchos, radios de giro, señalización y semáforos existentes.

3. Construcción de la red

- Dibujar la **planta de la vía** con **links** (tramos) y **conectores** (giros).

- Representar con precisión carriles, sentidos de circulación y radios de giro.

4. Ingreso del control de tráfico

- Configurar **semáforos existentes** con ciclos observados en campo.
- Si no hay semáforos, definir **reglas de prioridad** o ceda el paso.
- Incorporar fases peatonales cuando corresponda.

5. Ingreso de demanda vehicular

- Asignar los volúmenes obtenidos en los aforos (veh/h) a cada movimiento.
- Configurar la **composición vehicular** (livianos, buses, pesados) según porcentajes observados.

6. Ingreso de demanda peatonal

- Crear **áreas peatonales** y pasos de cruce.
- Asignar los flujos peatonales con sus patrones de movimiento.

7. Definición de parámetros de comportamiento

- Aplicar modelos de conducción (p. ej., Wiedemann) y de caminata (Viswalk).
- Ajustar parámetros de agresividad, seguimiento o aceptación de brechas, según el contexto local.

8. Definición de escenarios de simulación

- **Escenario base:** condiciones actuales (señalización y flujos observados).
- **Escenario de mejora:** introducción de ITS, semáforos adaptativos o prioridad peatonal.

9. Calibración y validación

- Comparar resultados del modelo (colas, retrasos, velocidades) con los datos medidos.
- Ajustar parámetros hasta lograr representaciones realistas.

10. Corridos de simulación

- Ejecutar varias réplicas (5–10) con diferente semilla aleatoria.
- Simular al menos una hora representativa.

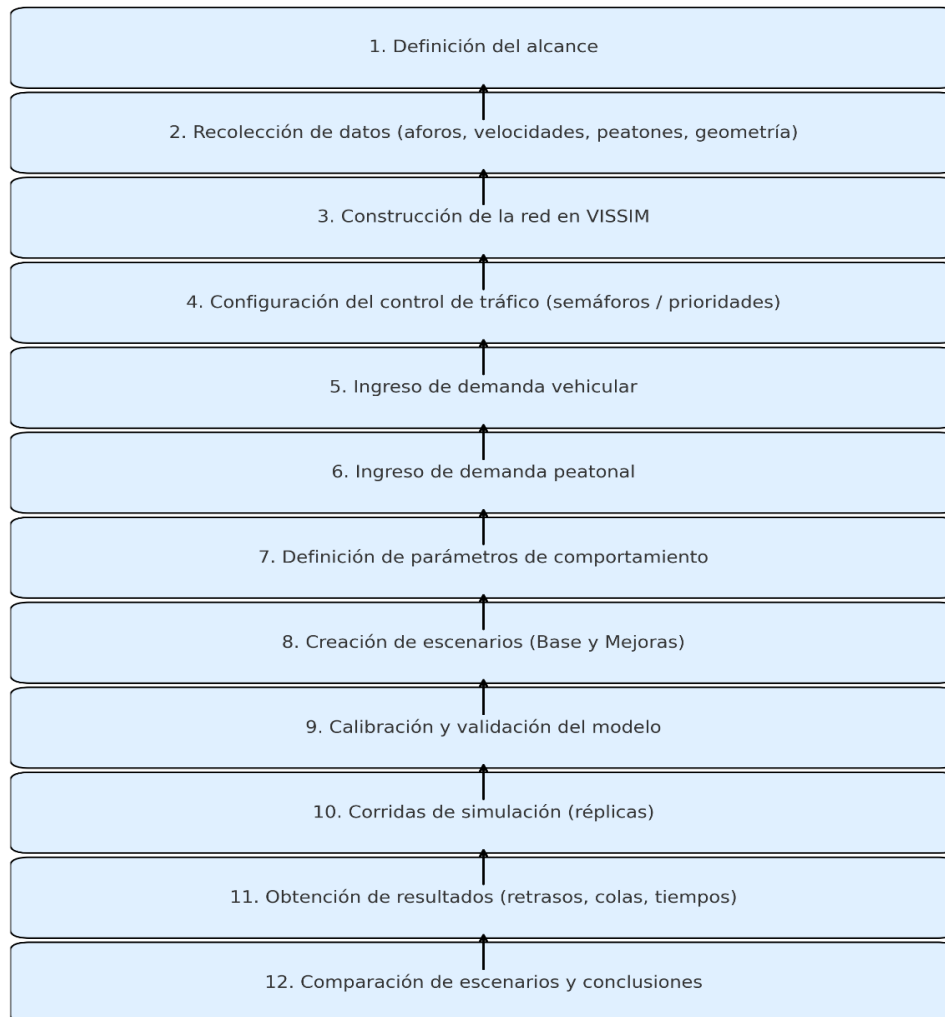
11. Obtención de resultados

- Exportar indicadores de desempeño:
 - **Vehículos:** retraso promedio, velocidad, longitudes de cola.
 - **Peatones:** tiempos de cruce, conflictos en pasos no formales.
 - **Seguridad:** conflictos de tránsito (mediante SSAM u otras herramientas).

12. Comparación de escenarios

- Evaluar diferencias entre escenario base y escenario con mejoras.
- Identificar la efectividad de las medidas en términos de fluidez, seguridad y reducción de congestión.

Gráfico 1. Diagrama de flujo de aplicación.



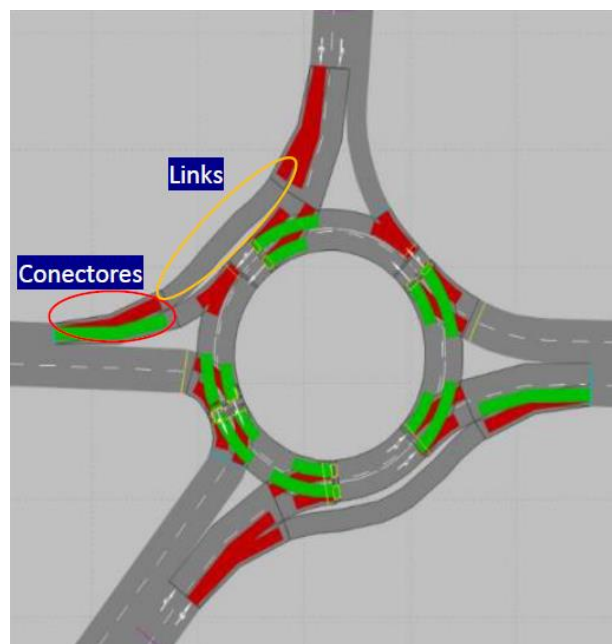
Fuente: Elaboración propia.

2.3.11. Link y conectores

La red vial está conformada por links y conectores, y son de vital importancia en la construcción de la infraestructura del modelo; ya que estos son la base para la representación del sistema de tráfico que se desea trabajar, en este caso una intersección. Existen algunas situaciones en las cuales es indispensable el uso de estos elementos. La primera de ellas se presenta cuando se necesita realizar un cruce en el modelo. Para lograr este objetivo se requiere emplear tanto links como conectores para crear la unión que se necesita. Otra posible situación en la que es indispensable el uso de ambos se presenta cuando un link es dividido en dos o más bifurcaciones en el seguimiento de su recorrido y se desea fusionarlos (un conector cumplirá con esta tarea). Otra posible circunstancia, se lleva a cabo cuando en la ruta existen cambios en el número de carriles o el ancho de las vías. Usualmente, los nodos localizados en secciones interrelacionadas y links instalados a lo largo de los tramos viales representan un diseño vial (Fellendorf & Vortisch, 2010).

En la siguiente figura se ilustra un conjunto de conectores y links que forman un modelo de una rotonda en construcción.

Figura 1. Modelo de rotonda en construcción.



Fuente: Adaptado de PTV Group (2016).

2.3.12. Otros elementos del modelo

En el software existen otros comandos para incrementar el nivel de detalle de modelo en construcción si se requiriese. A continuación, se mencionará algunos de ellos.

Primeramente, se tiene la opción de crear áreas de reducción de velocidad. Estas pueden ser empleadas en los giros de los vehículos, logrando así mayor similitud entre el modelo y la realidad.

Otro elemento a destacar es la prioridad en los usuarios; ya que de esta dependerá la interrelación entre los mismos. Por lo que, se debe realizar la identificación de los vehículos con mayor preferencia a comparación de otros. Esta prioridad se ve reflejada, por ejemplo, en un óvalo en el que la preferencia la tienen los conductores que transitan por el mismo respecto a los que se ubican en las calles que se conectan con el óvalo.

Otro componente importante es la representación de los semáforos en el modelo. Estos son llevados de la realidad al modelo virtual a través de los denominados “signal head”.

2.3.13. Control de tráfico

El control del tráfico se puede lograr mediante una simulación microscópica de la zona de estudio. Una de las herramientas computacionales que se emplean con este fin es el software. El mismo que se utilizará en el desarrollo de este trabajo. Este programa que se basa en un modelo estocástico ayuda al análisis de sistemas de tráfico como rotondas, intersecciones, etc. Estos últimos sistemas mencionados pueden ser de dos tipos: intersecciones controladas por semáforos e intersecciones no semaforizadas.

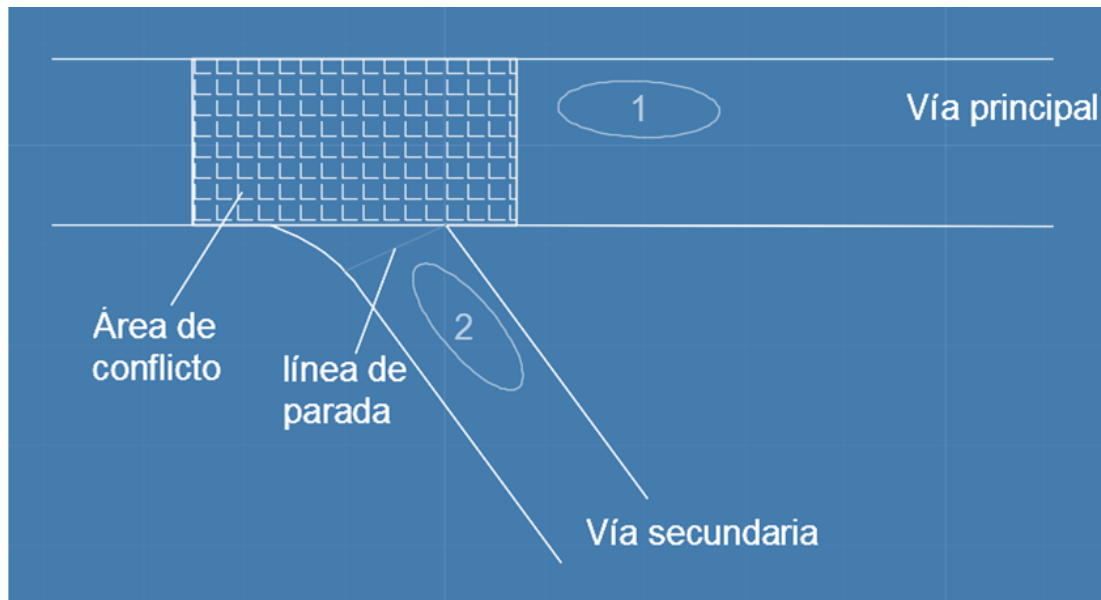
2.3.14. Intersecciones no semaforizadas

En esta clase de intersección priman las reglas de prioridad entre conectores y vías por donde transitan los vehículos. Estas se aplican a todas las situaciones en las que los vehículos participan. Algunos ejemplos de modelamiento en los cuales se aplican las reglas de prioridad son:

- Intersecciones no controladas donde el tráfico tiene que dar paso al tráfico de la derecha.
- Intersecciones no controladas donde el tráfico en la carretera que concluye debe dar paso al tráfico en la carretera que continúa.
- Las rotondas donde los vehículos que entran en las rotondas tienen que dar paso al tráfico dentro de la rotonda.
- La fusión de las zonas donde el tráfico que entra desde una rampa tiene que ceder en el tráfico de la ruta principal.

En la siguiente figura se aprecia una aplicación de reglas de prioridad, donde el vehículo 1 cuenta con la preferencia; ya que se encuentra transitando por una vía principal. Por lo que, el vehículo 2 se debe mantener en espera en la línea de parada hasta que el vehículo 1 haya pasado la zona de conflicto (Fellendorf & Vortisch, 2010).

Figura 2. Concepto de modelación con reglas de prioridad.



Fuente: Adaptado de Fellendorf & Vortisch (2010).

2.3.15. Intersecciones semaforizadas

A diferencia de las intersecciones no controladas por semáforos, en las intersecciones semaforizadas rigen los denominados “signal control”, que se emplean en el control del funcionamiento de tránsito de la intersección.

Los semáforos poseen fases que se representan, normalmente, por los colores rojo, amarillo y verde. En el modelo, estas características de los semáforos se ingresan a través del uso de grupos de señales. Los semáforos se reconocen en un modelo de simulación microscópica gracias a los llamados “signal head”. Estos se colocan en la construcción modelo en los cruces o lugares donde se desee un control semaforizado (Fellendorf & Vortisch, 2010).

A continuación, en la figura siguiente, se presenta una ilustración del modelamiento de una intersección semaforizada urbana.

Figura 3. Intersección semaforizada.



Fuente: software simulación.

2.4. Arquitectura ARC-IT

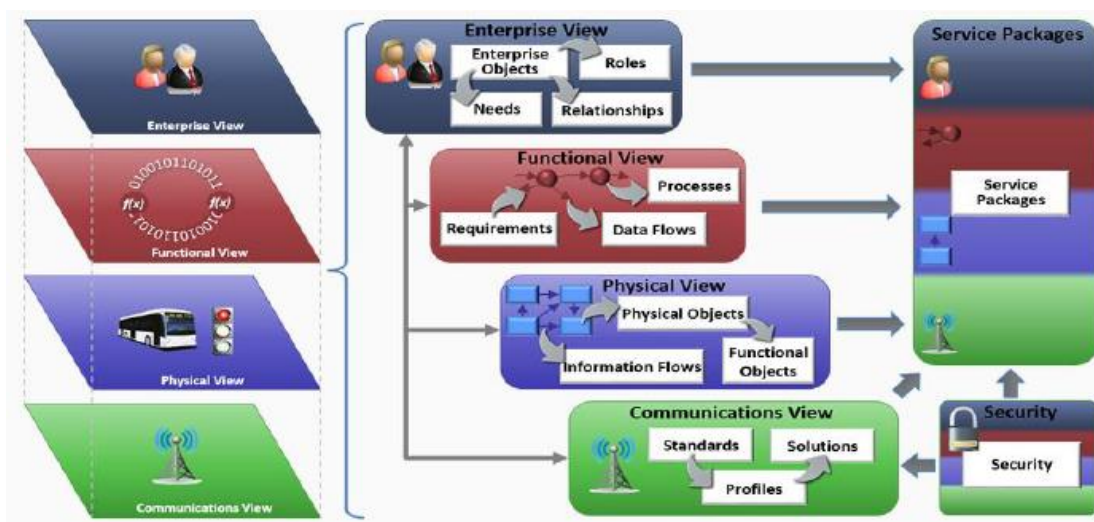
La Referencia de Arquitectura para el Transporte Cooperativo e Inteligente (ARC-IT) proporciona un marco común para la planificación, definición e integración de sistemas de transporte inteligentes. Es un producto maduro que refleja las contribuciones de una amplia muestra representativa de la comunidad de ITS (profesionales del transporte, ingenieros de sistemas, desarrolladores de sistemas, especialistas en tecnología, consultores, etc.).

ARC-IT es una arquitectura de referencia: proporciona una base común para que los planificadores e ingenieros con diferentes inquietudes conciban, diseñen e implementen sistemas utilizando un lenguaje común como base para la entrega de ITS, pero no exige ninguna implementación en particular. ARC-IT incluye artefactos que responden a inquietudes relevantes para una gran variedad de partes interesadas y proporciona herramientas destinadas a los planificadores de transporte, arquitectos regionales e ingenieros de sistemas para concebir y desarrollar arquitecturas regionales, y definir el alcance y desarrollar proyectos.

De acuerdo a la norma internacional ISO/IEC/IEEE 42010, citado por (MTC, 2019), nos dice que las arquitecturas se definen como conceptos fundamentales de un sistema o propiedades de un sistema en su propio ambiente, en donde se toma en cuenta, sus relaciones, sus elementos sus principios de diseño y evolución.

De acuerdo con The United State Department of Transportation (DOT), la ARC-IT versión 9.0 (Figura 5), está basada en ISO/IEC/IEEE 42010:2011, y la metodología V. Se describen cuatro puntos de vista: el empresarial, funcional, físico y de comunicación; así como un modelo para cada una de las vistas, con diagramas definidos para cada una de ellas. Una quinta perspectiva se define como paquete de servicios, y que se derivan de requisitos del sistema, estándares. La arquitectura además aborda de manera integral en las cuatro vistas a la seguridad como primordial en el desarrollo de los ITS. La vista empresarial está relacionada con organizaciones de partes interesadas que planifican, desarrollan, operan, mantienen y utilizan ITS; en la vista funcional define los requisitos funcionales y apoyan las necesidades de los usuarios; en la vista física se definen los sistemas y dispositivos que proporcionan la funcionalidad; y finalmente en la vista de comunicaciones se definen los estándares y perfiles para compartir información de manera segura y confiable. (DOT, 2021)

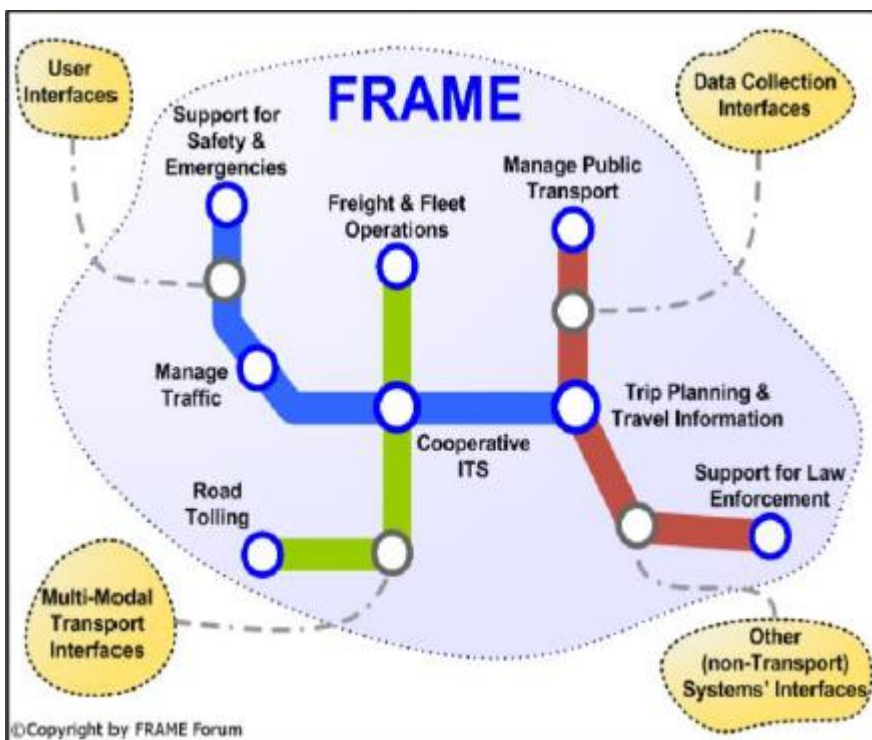
Gráfico 2. Esquema de la Arquitectura ARC-IT.



Fuente: United States of Transportation (DOT) (2021).

La Arquitectura FRAME, describe lo que se requiere y no cómo hacerlo, la metodología que se utiliza consiste en una serie de pasos: el primero expresa las expectativas de los interesados, el segundo expresa las necesidades de los usuarios de manera consistente y clara, el tercero expresa la funcionalidad a requerir por parte de los usuarios, el cuarto se encarga de la ubicación de los subsistemas y módulos en puntos de vista físicos específicos y finalmente el punto de vista de comunicaciones que será para el paso de datos de un subsistema a otro. El término “Puntos de vista” en los nombres de las partes que componen la Arquitectura FRAME, sigue las recomendaciones de IEEE 1471. Adicionalmente el uso de tecnologías o productos de proveedores particulares no está incluido en la Arquitectura. (FRAME, 2021)

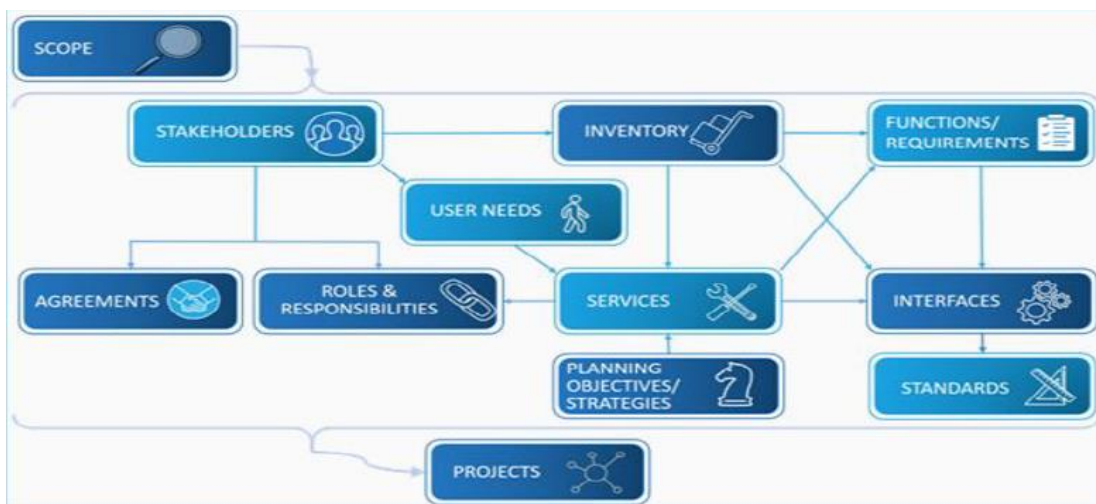
Gráfico 3. Arquitectura FRAME.



Fuente: FRAME fórum, 2021

La ARC-IT, se basa en la metodología V, metodología que el MTC recomienda a seguir para implementar ITS en regiones del Perú, esta arquitectura cuenta con dos herramientas, la RAD-IT y SET-IT que facilitan el trabajo para el desarrollo de una arquitectura regional ITS. La RAD-IT que se enfoca en la planificación regional, en el desarrollo de conceptos operacionales, la vista corporativa y la vista física de alto nivel, ITS, mientras que el SET-IT es una herramienta gráfica que da al usuario una retroalimentación visual, y herramientas necesarias para manipular diagramas corporativos y físicos del paquete de servicios (DOT, 2021).

Los elementos que deberá tener en cuenta un diseñador de arquitecturas están descritos en la siguiente figura.

Gráfico 4. Elementos para Arquitectura ARC-IT.

Fuente: United States of Transportation (DOT) (2021).

Del gráfico anterior se puede extraer que para la sección interesados, los actores involucrados son tanto de los que dan el servicio como se los que reciben; en la sección de planificación se describirán los objetivos y estrategias existentes y planificadas; en la sección inventario se describen tanto los elementos existentes, y planificados que soportarían a diversos paquetes de servicios, éstos elementos son de clase campo, vehículo, centro, soporte y de personal; en la sección servicios, se darán en función de las necesidades de la región; en las secciones roles, necesidades y funciones se asignarían en función del requerimiento y alcance que abarcaría una región; y finalmente en las secciones interfaces, acuerdos y comunicaciones, se daría de manera automática con algunos ajustes específicos.

2.5. Dispositivos de control de tránsito

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada a fin de que pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos. A través de la señalización se indica a conductores y peatones la forma correcta y segura de transitar por la vía, evitando riesgos y demoras innecesarias. El propósito fundamental de este Volumen es lograr, mediante el fiel cumplimiento de las normas que contiene, una completa uniformidad de la señalización de tránsito en todo el territorio nacional. Para ello, además de entregar las especificaciones de cada elemento de señalización -ya sean

señales verticales u horizontales, semáforos, balizas u otros- se consignan los criterios técnicos que permiten conocer cuáles, cuándo, dónde y cómo deben ser instalados. Lo anterior facilita sustancialmente el conocimiento de dichas normas por parte de los usuarios de las vías y de los responsables de la construcción, instalación y mantención de elementos de señalización, disminuyendo así los riesgos de accidentes. Con el propósito de asegurar una amplia cobertura de cada uno de los temas que dicen relación con la señalización de tránsito y, a la vez, facilitar el acceso y uso de la información que el Volumen contiene a los diversos grupos de usuarios del mismo.

2.5.1. Semáforos

La principal función de un semáforo en el control de una intersección es el dar el paso a distintos grupos de vehículos (y peatones), de manera de que éstos pasen a través de la intersección con un mínimo de problemas, riesgos y demoras. Los objetivos del diseño de una intersección controlada por semáforos pueden resumirse como sigue:

- Reducir y prevenir accidentes en la intersección y su cercanía inmediata. Reducir las demoras que sufren peatones y vehículos al cruzar la intersección, incluyendo evitar el bloqueo de cruces por largas colas.
- Reducir el consumo de combustibles en la intersección.
- Reducir la emisión de contaminantes del aire y otros factores que deterioran el medio como ser ruido.

Los dos primeros objetivos reciben generalmente la más alta prioridad en una intersección. Por supuesto interesa satisfacer estos objetivos con un mínimo de costo en el sistema de semáforos mismo.

Tiene mucha importancia el adoptar una metodología rigurosa en el diseño de intersecciones controladas por semáforos. Una metodología uniforme permitirá diseñar una intersección que cumpla los objetivos mencionados más arriba y al mismo tiempo asegurarse de que la mayor cantidad de aspectos relevantes ha sido tomada en cuenta.

Esta metodología general puede aplicarse a dos tipos de problemas de diseño: Diseño de una intersección controlada por semáforos donde en la actualidad existe otro sistema

de control, como ser intersección prioritaria o rotonda. Actualización y modificación del diseño de una intersección controlada por semáforo. La vida útil de un diseño en particular depende de:

- La tasa de crecimiento o variación de los flujos vehiculares o peatonales en la intersección.
- El advenimiento de nuevas tecnologías de control, por ejemplo, la integración de un semáforo en un sistema centralizado controlado por computador.
- Cambios en el uso del terreno adyacente a la intersección y el cambio del riesgo de accidentes que esto implica. Por ejemplo, el cambio de sector residencial a comercial.

2.6. Servicio ITS Sistema de Transporte Inteligente

En la actualidad se vienen realizando una serie de investigaciones para dar solución a la congestión vehicular desde simulaciones, experimentos hasta planteamiento descriptivos que proponen innovadoras prácticas, como por ejemplo: (Nawaf O, Ahmad F., & Aws, 2018) usando minería de datos y aprendizaje automático lograron determinar parámetros de tráfico, métodos para identificar rutas de viaje, métodos para el control señalización y control de tráficos, Aarón et al (2019) haciendo uso de simulación analiza la movilidad vehicular, determinando que la congestión vehicular se genera por la alta influencia de vehículos y la poca influencia de las normas al momento de regular el tráfico, Quintero (2015) haciendo un análisis descriptivo en su investigación le permitió determinar la importancia, la operación de los sistemas de transporte y determinar los ITS así como las nuevas tecnologías para el control y administración del transporte

De acuerdo con Bob (2008), los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) se usan para describir los sistemas de transporte donde los vehículos interactúan con el medio ambiente y entre sí para proporcionar una experiencia de conducción mejorada y donde la infraestructura inteligente mejora la seguridad y la capacidad de los sistemas viales.

Las esferas de servicio ITS establecidos para el Perú de acuerdo con el MTC son 9: información al viajero, gestión y operación del tránsito, vehículo, transporte de carga,

transporte público de pasajeros, gestión de emergencias, pago electrónico relacionado con el transporte, seguridad en el transporte carretero, monitoreo de las condiciones climatológicas y ambientales (MTC, 2019)

En la ARC-IT de los estados unidos, se establecen paquetes de servicios en diversos campos, para operar vehículos comerciales, para la gestión del mantenimiento y construcción, para la gestión de datos, gestión de aparcamientos, seguridad pública, transporte público, información al pasajero, gestión de tráfico, seguridad vehicular entre otros; cada uno de estos paquetes componen una diversidad de servicios codificados con letras y números. (DOT, 2021)

Las tecnologías inteligentes aplicadas al transporte (ITS, en su acrónimo en inglés) permiten a día de hoy unas vías más seguras, eficientes y sostenibles. Esto es posible gracias a la gran cantidad de información sobre el estado de las carreteras, la situación del tráfico y tener controlados posibles eventualidades que estas tecnologías proveen, repercutiendo positivamente en los siguientes aspectos:

- Eficiencia del transporte
- Seguridad vial
- Ciudadanos mejor informados

Pero estamos asistiendo a una revolución tecnológica sin precedentes, impulsada por la telefonía móvil 5G, que promete un fuerte impacto en la seguridad vial impulsando las tecnologías ITS más allá de lo imaginable.

Figura 4. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).



Fuente: Dirección General de Tráfico.

2.6.1. Implantación de ITS

Desde hace tiempo la DGT, utilizando los aforadores, cámaras, radares y demás dispositivos instalados en las carreteras, implementa Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Esto hace posible controlar el estado del tráfico e informar a los usuarios mediante paneles informativos y en la web de la DGT de las incidencias de tráfico como accidentes, derrumbamientos, condiciones climatológicas adversas, etc, mejorando la seguridad y la sostenibilidad en nuestras carreteras.

La implantación de los nuevos dispositivos V16 que tienen como finalidad geolocalizar nuestro vehículo si nos hemos quedado parados en una vía y la nueva medida que obliga a los operarios de vehículos de auxilio en carretera (grúas) a comunicar de forma telemática la ubicación del vehículo averiado confluyen junto con toda esta infraestructura y tecnología en lo que se conoce como DGT 3.0.

Figura 5. Implantacion de ITS.



Fuente: Dirección General de Tráfico.

2.6.2. La tecnología 5G

Con la implantación de la tecnología 5G la calidad de la transmisión de datos se mejorará de manera exponencial. Esto permitirá que las conexiones se hagan prácticamente en tiempo real, sin retardos, además de poder conectar y compartir información con muchos otros dispositivos y usuarios de las vías.

Cuando se habla de movilidad conectada solemos pensar en coches autónomos y la conectividad dentro de los vehículos. Pero la movilidad conectada llegará a todos a través del teléfono móvil. No requerirá una importante adaptación de las infraestructuras. El 5G permitirá no invertir recursos en sensorizar toda la red de carreteras. Precisamente, la ventaja de las comunicaciones telefónicas es que se pueden prestar servicios en cualquier vía que tenga cobertura digital 4G o 5G, incluida las carreteras convencionales que son las más peligrosas.

2.6.3. Directiva ITS en la Unión Europea

En 2025, la UE habrá invertido 3.500 millones de euros en un plan público-privado para el desarrollo de esta tecnología. En esta fecha está previsto que las zonas urbanas, las principales carreteras y líneas de ferrocarril cuenten ya con cobertura 5G.

El despliegue de los Sistemas Inteligentes del Transporte (ITS) en Europa está impulsado desde la Comisión Europea. Uno de los principales objetivos es, mediante la aplicación de normas comunes, alcanzar un desarrollo de los ITS no sólo a nivel Nacional sino también a nivel intercomunitario permitiendo un servicio continuo, interoperable y compatible de soluciones ITS que aporten información al viajero y mejoren su gestión.

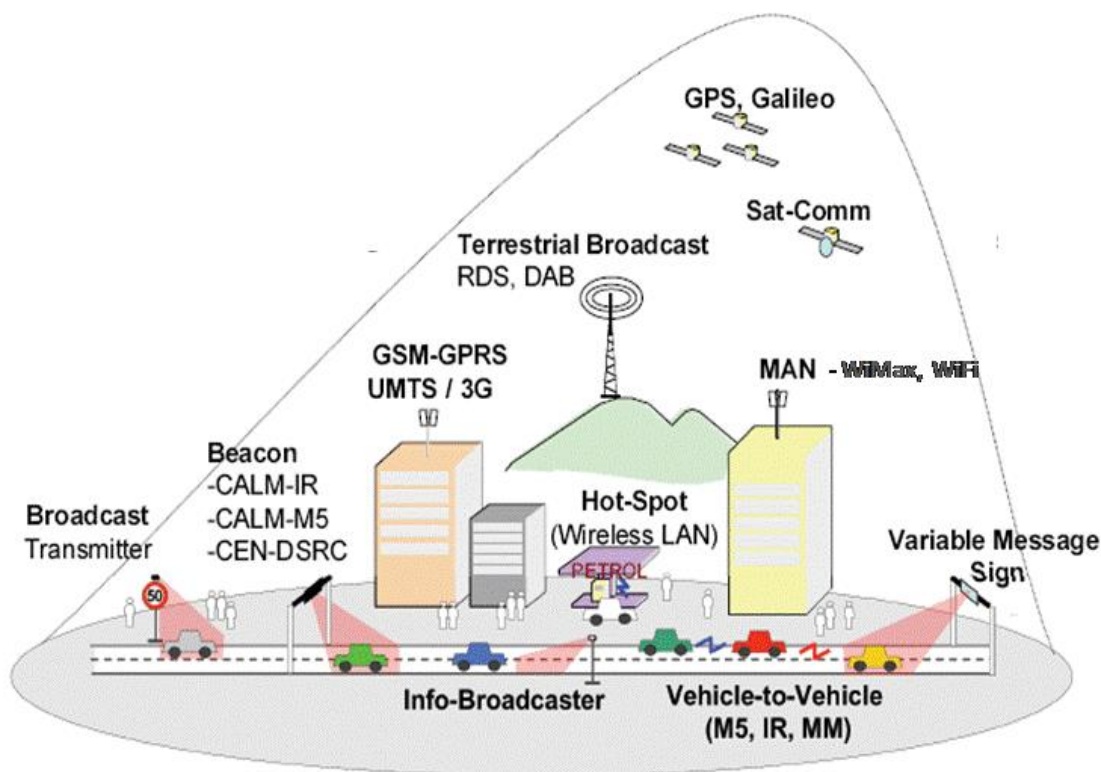
Además, la Comisión Europea ha aprobado una serie de Reglamentos delegados con el propósito de armonizar y potenciar el despliegue de ITS. Los Estados Miembros tienen la obligación de informar a la Comisión sobre los progresos realizados en la implantación de las actividades y los proyectos nacionales en los ámbitos prioritarios correspondiendo a la Jefatura Central de Tráfico reportar dicha información cada tres años.

Además, cualquier entidad, administración u otro proveedor de aplicaciones y servicios de sistemas inteligentes de transporte, pueden y deben inscribirse en el Registro de aplicaciones y servicios de sistemas inteligentes de la DGT, aumentando así la información y los servicios disponibles para el ciudadano, como el cobro electrónico de peajes, que permite el cobro de peajes sin que los vehículos tengan que detenerse o disminuir su velocidad; o las llamadas tarifas de congestión, para regular la congestión

en las vías que dan acceso al área central de las ciudades utilizando transmisores en los vehículos, complementados con cámaras de video y tecnología de reconocimiento digital de caracteres (para multar a los infractores). La vigilancia automática de infracciones o el sistema de notificación de emergencias a bordo del vehículo, son otros ejemplos de estos sistemas inteligentes de transporte.

En un futuro no muy lejano, los coches se comunicarán entre sí. También podrán interactuar con los elementos de la vía como los dispositivos que recogen datos de movilidad urbana o del seguimiento del tráfico en tiempo real y con otros usuarios y servicios de la vía, como parkings inteligentes, ambulancias o grúas y el resultado será que podremos reducir hasta el 80% de los accidentes de tráfico. Pero no solo eso. También se podrá evitar atascos, coordinar a los vehículos para que atraviesen una ciudad sin semáforos y sin colisionar vehículos autónomos a demanda, etc.

Figura 6. Iniciativa CALM.



Fuente: Manual de sistemas inteligentes de transporte del MTC.

2.7. Otras tecnologías

Tabla 2. Soluciones tecnológicas.

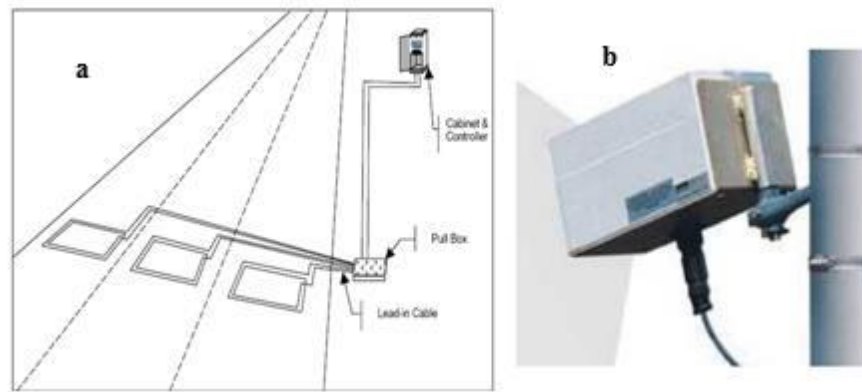
	Tecnología	Principio
Detectores de volúmenes de trafico	Espiras electromagnéticas	Por deformación de campo electromagnético
	Procesamiento de video	Visualización de trafico
	Radar y microonda	Análisis por reflexión de onda
Detectores de velocidad	Sensor Bluetooth	Realiza una muestra para detectar la dirección MAC
	Sensor WIFI	Mismo principio de los sensores Bluetooth
	LPR	Mismo principio de los sensores Bluetooth
	Cámara CCTV	Orientación, enfoque, y área de visualización no cambia
Señales de mensajería variable	Señales fijas	Informar las condiciones de la vía y manejar el trafico
	Señales móviles	Informar las condiciones de la vía y manejar el trafico
	Señales de velocidad variable	Informar las condiciones de la vía y manejar el trafico

Fuente: Manual de sistemas inteligentes de transporte del MTC.

2.7.1. Detectores de volúmenes de trafico

Los detectores de espiras inductivas (ILD), tienen como función el monitoreo de tránsito, detección de incidentes y detección de velocidad, dentro de sus limitaciones está en que para su instalación y mantenimiento se requiere de cierre del carril y modificación del pavimento, en la Figura 12 parte a, se muestra una instalación con detectores ILD. Los detectores radar de microondas, a diferencia de los anteriores en cuanto a su instalación y mantenimiento no requiere del cierre de carriles ni de la modificación del pavimento, más bien éstos se instalan a un lado del camino en una estructura elevada, y pueden medir la presencia como la velocidad del vehículo, también se usan para detectar el paso de peatones, teniendo como ventajas la capacidad de funcionar en situaciones climatológicas diversas. Respecto al procesamiento de video para la detección de volúmenes de tráfico se usa procesamiento de imágenes de video (VIP), imágenes generadas de las cámaras CCTV, que por lo general se da cuando hay un gran número de cámaras y el operador no puede procesar tanta información. PIARC, (2021)

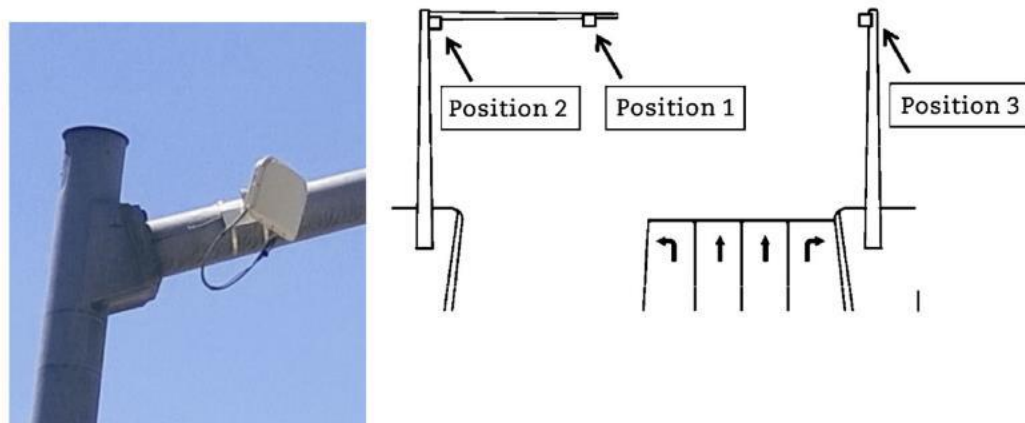
Figura 7. Detectores IDL y de radar de microondas.



Fuente: Detectores de volumen de tráfico por PIARC 2021.

En cuanto a los sensores de microonda, los autores Chang, Saito, Schultz y Eggett (2017) en su estudio por determinar la precisión de recuentos de volumen de giro detectados por sensores de microondas, determinaron que la precisión de estos sensores satisfaría a los especialistas en control de tráfico respecto al recuento de volúmenes de tráfico.

Figura 8. Detectores de microonda.



Fuente: Detectores de volumen de microonda Chang 2017.

Como se puede ver en la Figura anterior el autor Chang (2017), concluyó que la posición de los sensores no tiene un efecto significativo sobre la precisión de los recuentos de volúmenes de tráfico, más bien señalaron que la precisión disminuye a

medida que las intersecciones se hacen más grandes y aumenta el volumen de aproximación.

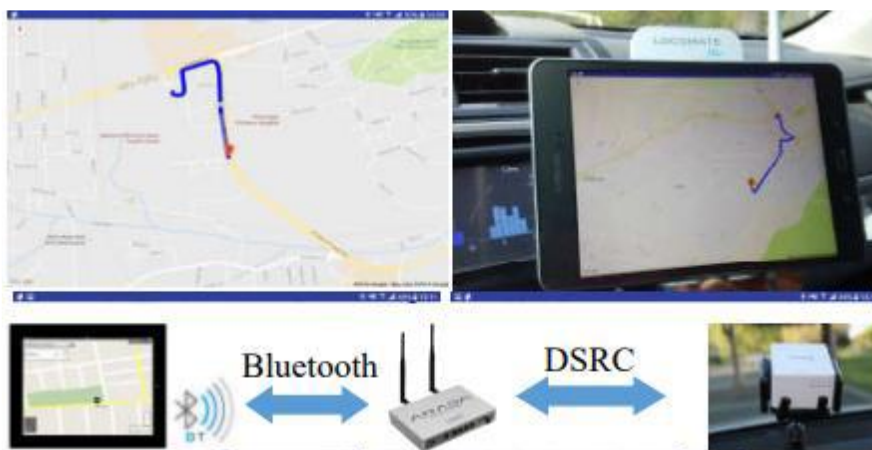
Con procesamiento de imágenes los autores Busarin, Mahasak y Narumol (2007), pudieron detectar las condiciones de tráfico con cámaras CCTV, pudieron determinar cuántos vehículos hay en la carretera y llevar estos resultados al sistema de tráfico para una respectiva planificación de transporte, como por ejemplo la de controlar una intersección semafórica.

2.7.2. Detección de velocidad por tramos

Se hace necesario tecnologías de detección a lo largo de las vías, y para que esto sea posible los vehículos deben tener un número de identificación, un dispositivo TAG de radiofrecuencia o vehículos con teléfono celular, sistema de navegación, computadoras o dispositivos multimedia con transceptor bluetooth para su detección. Las tecnologías que se usan son: módulos de radio Bluetooth integrados en celulares y reproductores multimedia, módulos WIFE integrados en dispositivos multimedia dentro de una red vehicular (VAN), módulos de radio frecuencia (RFID) o sistemas de comunicación dedicada de corto alcance (DSRC). Con respecto al reconocimiento de matrículas se tiene los ANPR, ALPR y LPR, que se basan en el reconocimiento de óptico de caracteres. (PIARC, 2021)

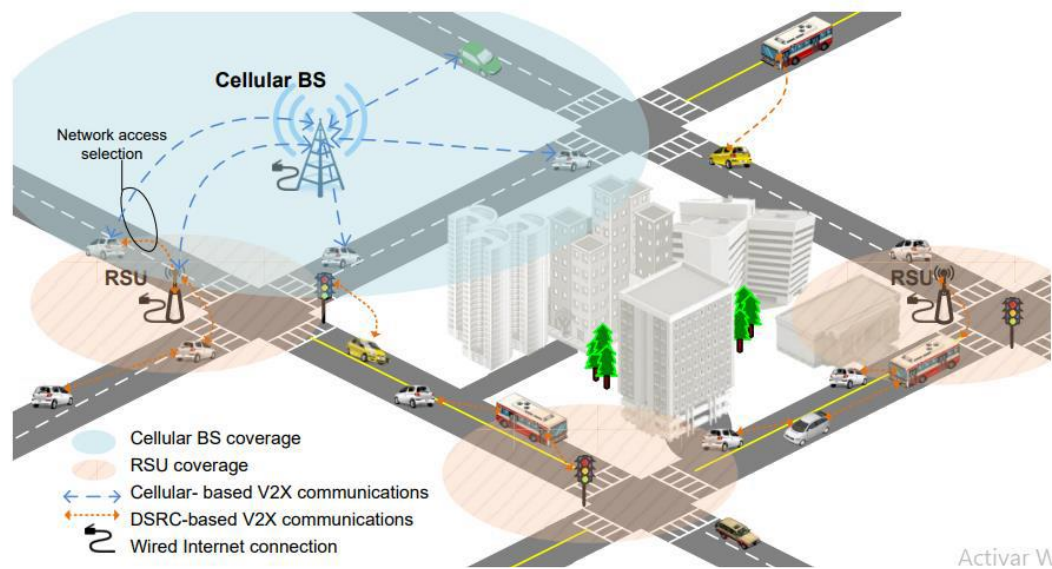
La investigación de Mohammad y Khattak (2016), lograron identificar la velocidad, dirección e historial de ruta de vehículos en tiempo real en Google Maps con ayuda de la comunicación DSCR y Bluetooth, además señaló que gran parte de los dispositivos DSRC en el mercado de los Estados Unidos no brindan el soporte SDK o API relacionado con la comunicación V2X de múltiples saltos, fue porque ello que uno de los logros más resaltantes de la investigación desarrolló aplicación de transmisión OBU, encargada de transmitir las trayectorias GPS, en la Figura 14 se muestra un esquema general así como el movimiento en tiempo real del vehículo.

Figura 9. Esquema de movimiento de vehículo.



Fuente: Comunicación entre Bluetooth y DSRC Mohammad & Khattak, 2016.

Últimamente se está investigando sobre las soluciones que trae DSRC V2X por diversas razones, la primera porque permite aplicaciones de alta demanda de ancho de banda, la segunda por el amplio rango de cobertura celular y tercero porque es una tecnología que facilita y acelera el despliegue de comunicaciones V2X, sin embargo a pesar de todas estas ventajas hay diversos desafíos que enfrenta la tecnología celular para contar con comunicaciones V2X confiables, como por ejemplo información irrelevante y procesamiento innecesario que reciben y procesan los vehículos, otro desafío son los retardos que al pasar por la BS, limita su aplicabilidad en las comunicaciones en especial para aplicaciones de seguridad. Khadige, hassan y Weihua (2016) En la figura 12 se ilustra una representación de la cobertura de las comunicaciones V2X, en un escenario DSCR celular híbrido.

Figura 10. Cobertura de comunicaciones V2X.

Fuente: Cobertura de comunicaciones V2X, Khadige, Hassan y Weihua, 2016.

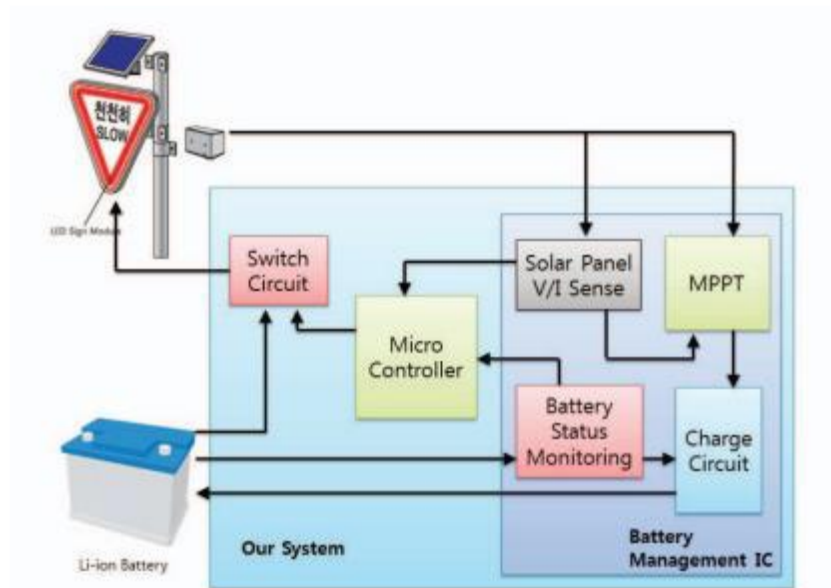
La instalación de cámaras CCTV en puntos estratégicos y automatizar todos los puntos de intersección para el control de tráfico se vuelve una solución más rentable, garantizando además en situaciones donde alguna de las cámaras fallara su operación normal. Gupta, Purohit (2012). También es posible detectar la velocidad de los vehículos a una precisión del 97,01%, así como determinar si es automóvil o motocicleta con una precisión del 89,62%, esto gracias al método de transformación proyectada según un estudio sobre monitoreo de velocidad para múltiples vehículos, Kurniawan, Ramadlan y Yuniarno, (2018).

2.7.3. Señales de mensajería variable

Estas señales podrán informar eventos en las pistas de manera oportuna y brindar información sobre las velocidades recomendables, como, por ejemplo, paneles de mensajería variable, señal de velocidad electrónica, señal de retroalimentación de conductores con alimentación eléctrica, con indicador gráfico entre otros. (MTC, 2019) Los sistemas de control de señales de tráfico LED, basados en energía solar son una solución recomendable cuando se utilice en campo y haya carencia de energía eléctrica, de acuerdo a Jeon, Park, S Lee y Y Lee, (2015), ellos lograron una conversión de energía solar del 94% para un consumo de 2W, manteniendo una reserva de energía de

8.8mW. El diseño que implementaron se muestra en la siguiente figura, detallando cada una de las partes del sistema desde la conversión de la energía hasta iluminar la señal de tráfico.

Figura 11. Sistema de control de señal de tránsito.



Fuente: Sistema de control de tráfico por Jeon Park S. Lee & Y Lee, 2015.

Con el control de luces en los semáforos en intersecciones consecutivas, se podría controlar la densidad de automóviles, manipulando los tiempos de duración de la luz verde a partir del flujo de cada vía, también este enfoque arroja mejores resultados con respecto al enfoque de procesamiento de video y tiempo fijo. A. Ngaosai y J. Chawachat, (2018)

2.8.¿Qué es la tecnología para carreteras inteligentes?

Debido a la nueva presión para que las ciudades construyan carreteras y autopistas más eficientes, la infraestructura inteligente es fundamental para la modernización. Las carreteras inteligentes construidas a partir de la IoT y la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) pueden hacer posible que las ciudades y las autoridades de transporte recopilen y analicen datos para mejorar la gestión del tráfico cotidiano. Además, la infraestructura para carreteras inteligentes puede ser de ayuda para que las

ciudades se adapten a las necesidades de transporte sostenible a largo plazo. Con los sensores de IoT, las cámaras, los radares y las tecnologías equipadas con 5G, se puede analizar los datos casi en tiempo real y usarlos para mejorar las vías congestionadas y mejorar el flujo del tráfico. Además, se puede enviar datos a la nube para un análisis a largo plazo, lo cual proporciona información fundamental para las iniciativas como la reducción de las emisiones de CO₂.

La informática perimetral abre innumerables posibilidades respecto de las carreteras inteligentes y conectadas. Habilita una latencia baja para el análisis y la inteligencia artificial (IA) que impulsan la infraestructura para carreteras inteligentes, como los semáforos adaptativos y las carreteras integradas. Por ejemplo, los semáforos que ajustan de forma automática su sincronización según los datos de sensores pueden mejorar el flujo de tráfico o cambiar las señales para proteger a quienes están en la carretera de conductores peligrosos.

2.8.1. Beneficios de las carreteras y la infraestructura inteligente

Existen muchos tipos de dispositivos que hacen posible el uso de la tecnología para carreteras inteligentes: sensores de velocidad, sensores acústicos, cámaras de CCTV IP, semáforos inteligentes, sistemas de supervisión de condiciones y clima, y señalización digital. Cuando estos dispositivos recopilan y analizan datos casi en tiempo real, las ciudades pueden obtener varios beneficios:

Calles menos congestionadas. Para un ciudadano promedio de los EE. UU., la congestión equivale a 99 horas de su tiempo y a USD 1,377 cada año¹. La tecnología para carreteras inteligentes puede rastrear los vehículos y ajustar los semáforos según las condiciones de tráfico, lo que previene las grandes congestiones.

Seguridad mejorada del tráfico y los peatones. Las muertes de peatones han aumentado en un impresionante 46 % en la última década, en comparación con el aumento de un 5 % en todas las otras muertes relacionadas con el tráfico². El equipo inteligente para carreteras implementado en intersecciones puede emitir alertas que mejoran la seguridad de los usuarios vulnerables de carretas, incluidos los peatones, los ciclistas y los motociclistas.

Conectividad extendida junto con la infraestructura de transporte. Las implementaciones de redes en la carretera pueden ampliar y mejorar la conectividad inalámbrica pública o privada, y el uso de aplicaciones de sistemas de transporte inteligente (ITS) en las carreteras y los corredores de transporte, incluidos lo que no estaban conectados antes. Esto tiene como resultado una mejor cobertura y acceso a información casi en tiempo real de las actividades y los eventos que ocurren en las carreteras. Esto se puede utilizar para abordar de manera proactiva las áreas problemáticas, reducir los tiempos de respuesta y mejorar la seguridad vial en general.

Estacionamiento y peaje electrónico mejorados. El peaje electrónico puede reducir la congestión mediante el uso del reconocimiento de matrículas y el seguimiento de vehículos para cobrar tarifas de peaje en carreteras y puentes de forma automática; todo ello sin hacer que los vehículos se detengan o disminuyan la marcha.

Gracias al envío de determinados datos a la nube para su análisis con el tiempo, se puede hacer mejoras continuas en la ciudad en cuanto a la gestión del tráfico, el mantenimiento de carreteras y la sostenibilidad. Además, en las ciudades se puede utilizar la tecnología de gemelo digital para crear modelos de ciudades virtuales mediante datos reales con el fin de evaluar y mejorar de forma continua la infraestructura actual, como también probar las nuevas tecnologías antes de la inversión completa. La tecnología para carreteras inteligentes puede hacer posible que las ciudades sean de ayuda de las siguientes maneras:

Servicios y respuesta ante emergencias mejorados. La creación de un entorno de gemelo digital gracias a las tecnologías Intel® puede hacer que la infraestructura en las carreteras ofrezca servicios comerciales a pedido a los vehículos u otros usuarios de carreteras, además de alertar a los trabajadores de primera línea de respuesta sobre accidentes.

Trazado viario y condiciones del pavimento mejorados. Las soluciones de supervisión de la condición vial pueden ser de ayuda para los planificadores urbanos a fin de analizar la tasa de colisiones y casi accidentes, como también evaluar las condiciones de carreteras y pavimento. Esto es un recurso para identificar de forma proactiva los

cambios necesarios en el trazado viario y las mejoras del pavimento. Las mejoras atrasadas pueden tener como resultado un aumento de los costos para las ciudades de hasta un 150 % por vía, kilómetro o año³.

Transporte sostenible. La infraestructura inteligente permite optimizar el flujo del tráfico y estandarizar las redes de carga de los VE, lo que promueve el uso de vehículos menos contaminantes y reduce las emisiones de carbono del transporte diario.

Casos Prácticos y Estudios de Caso Mundiales

La tecnología para carreteras inteligentes no es un concepto futurista. Ya se está implementando en todo el mundo y muchas ciudades y países experimentan los beneficios hoy mismo.

Continúe leyendo para descubrir las innovaciones de tecnologías para carreteras inteligentes que los clientes y los socios de Intel han creado para abordar los desafíos de transporte y mejorar la vida de los ciudadanos.

Gestión inteligente del tráfico. Mayflower se asoció con AAEON Technology para ayudar a los gobiernos locales y los grupos de gestión del tráfico a tomar decisiones respecto de las mejoras y la infraestructura vial. Gracias a su sensor óptico ligero y fácil de adoptar, el sensor Mayflower Smart Control Insite Sentinel se puede colocar en cualquier lugar y moverlo según lo necesario.

Peaje electrónico y estacionamiento inteligente. La plataforma de estacionamiento inteligente de ST Engineering Electronics es una solución de gestión de estacionamiento basada en la nube en la que se centraliza todas las operaciones y el mantenimiento del estacionamiento. En la solución se aprovecha el reconocimiento automático de matrículas (ANPR) y las aplicaciones de pago móvil para ofrecer servicios de estacionamiento eficientes, discretos y fluidos a los conductores, al mismo tiempo que proporcionan eficiencia operativa y ahorros a los operadores de estacionamientos y los propietarios de edificios.

Gemelos digitales y fusión de sensores. Los fabricantes industriales alemanes colaboraron con Intel Labs en el proyecto Providentia ++ (P++) a fin de mejorar la conducción automatizada a través del uso de la fusión de sensores acorde a la infraestructura. Para lograr los objetivos del proyecto, el equipo aprovechó la orquestación autoorganizativa de las cargas informáticas entre la infraestructura y los vehículos automatizados en el ámbito del hardware y el SO.

Carreteras conectadas inteligentes. Para ayudar a las autoridades urbanas y los proveedores de soluciones de transporte a implementar aplicaciones para ciudades inteligentes que permitan aprovechar las redes 5G y los servicios perimetrales, Capgemini Engineering e Intel colaboraron a fin de crear la solución Capgemini Engineering Smart 5G RSU, la cual simplifica las dificultades de tecnología de las ciudades inteligentes y el transporte gracias a la plataforma ENSCONCE MEC de Capgemini Engineering.

Carreteras conectadas inteligentes. En la ciudad de Turín, Italia, se realizó una prueba internacional en vivo de la nueva tecnología de seguridad para conductores y peatones que podría habilitar las notificaciones casi en tiempo real sobre peligros viales mediante la red 5G-perimetral. Esta colaboración público-privada, organizada por 5G Automotive Association (5GAA), permitió evidenciar cómo se podría usar la tecnología de alta velocidad e informática perimetral, junto con IoT, en el concepto de automóviles conectados para comunicarse con los sensores del automóvil y los teléfonos inteligentes de los peatones.

Carreteras conectadas inteligentes. En el Cellnex Mobility Lab en Castellolí, España, los trabajadores se dedican a elaborar soluciones de movilidad basadas en 5G, sostenibles, conectadas y autónomas para los vehículos, la gestión del tráfico y la infraestructura vial. Para llevar a cabo la investigación, se transformó de forma digital el complejo de carreras Circuit ParcMotor Castellolí en un laboratorio viviente para la movilidad inteligente y los vehículos conectados o autónomos mediante cámaras de alta definición, una red celular inalámbrica de vehículo a todo (C-V2X) y una arquitectura perimetral convergente.

Carga de VEs. Imagen Energy y un OEM líder en la carga de vehículos eléctricos (VE) aprovecharon las tecnologías Intel® para crear una solución de carga rápida CC de próxima generación para los VEs que es más eficiente, compacta, configurable y rentable. En este cargador de próxima generación se combinan las CPUs Intel® con las FPGAs Intel® para poder usar las capacidades avanzadas en el perímetro, como la gestión remota, la publicidad digital y las redes perimetrales, al mismo tiempo que se ofrece la eficiencia energética líder en el sector.

Gestión inteligente del tráfico. Mediante el uso de la inteligencia artificial y la informática perimetral, en la solución Wipro Visual Intelligence in Traffic Intersection (VITI) se usa la infraestructura de video preexistente o mejorada para obtener imágenes de intersecciones en vivo. Esto permite a las autoridades urbanas y los proveedores de ITS evitar las instalaciones costosas. La solución, optimizada por la distribución Intel® del kit de herramientas OpenVINO™, habilita la detección de situaciones y anomalías de tráfico complejas, como la gestión del tráfico casi en tiempo real y la detección de incidentes.

Lea el libro electrónico de Intel sobre la infraestructura vial inteligente para conocer más sobre los resultados positivos que las ciudades y los líderes del transporte están logrando gracias a la tecnología para carreteras inteligentes.

CAPITULO III

APLICACIÓN PRACTICA DE

IMPLEMENTACIÓN ITS

BASADO EN UNA

ARQUITECTURA ARC-IT

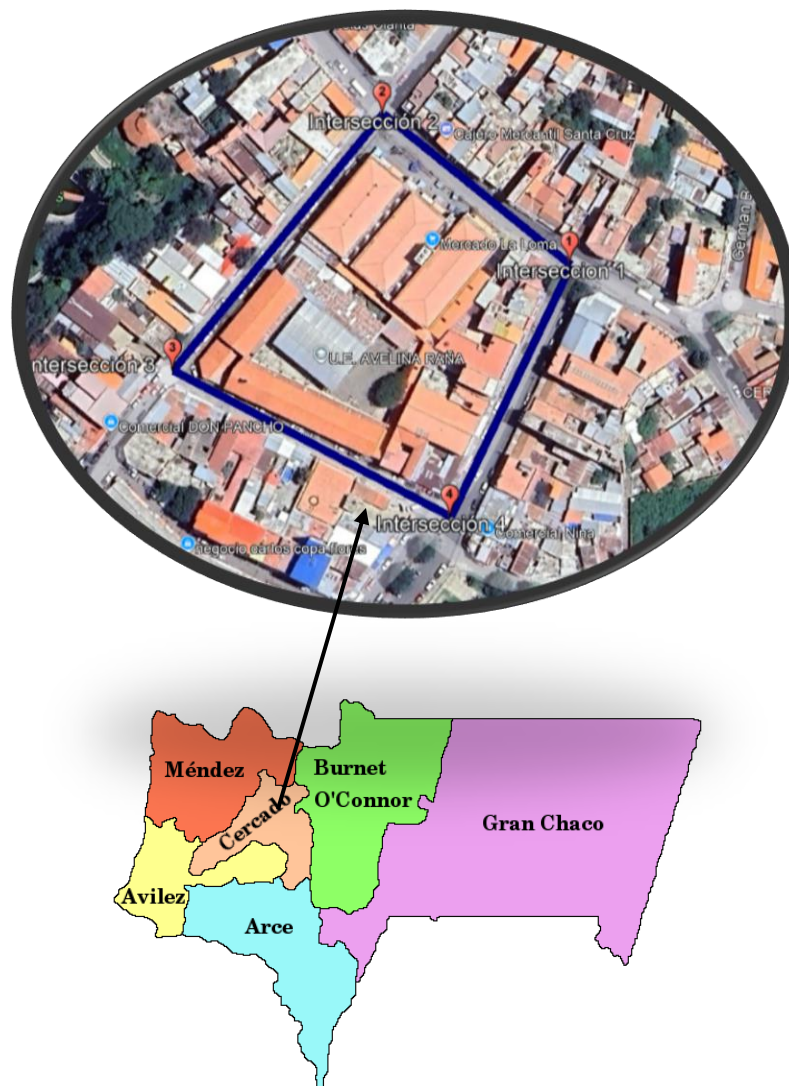
CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRACTICA DE IMPLEMENTACIÓN ITS BASADO EN UNA ARQUITECTURA ARC-IT

3.1. Ubicación del área de estudio

El proyecto se desarrolla en la ciudad de Tarija, provincia Cercado, en el centro de la ciudad de Tarija, el área de estudio está definida principalmente por las siguientes calles: Calle Cochabamba, Calle Corazón de Jesús, Calle Venezuela y Calle Hermanos Rojas.

Figura 12. Ubicación del proyecto.



Fuente: Google Earth.

Pero para tener un mejor estudio se realizo de 30 intersecciones aledañas al mercado La Loma:

Figura 13. Zonas aledañas de estudio.



Fuente: Google Earth.

3.2. Características del área de estudio

Figura 14. Intersección 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Ubicación intersección 1.

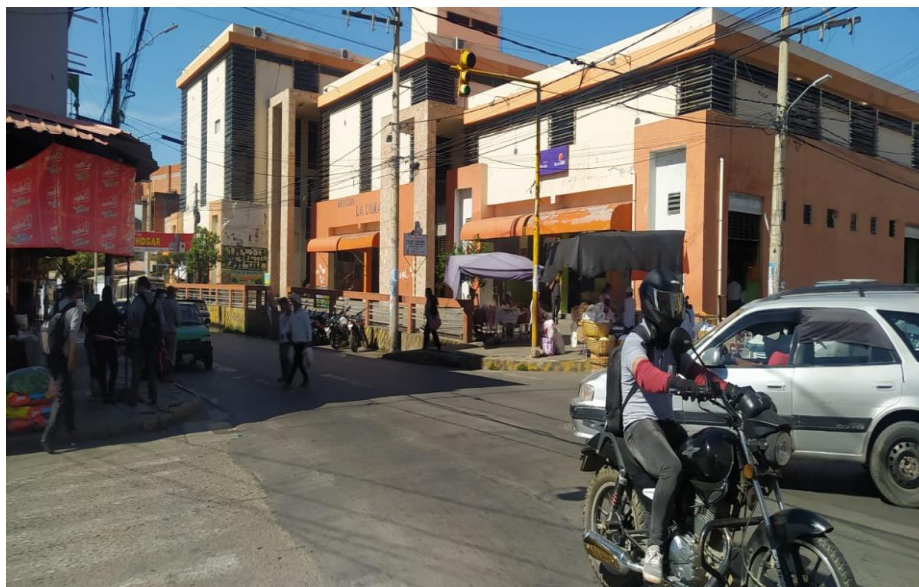
	Latitud	Longitud	Coordenada Este	Coordenada Norte
Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús	21°31'35.39"S	64°44'10.56"O	320172.01 m E	7618581.65 m S

Fuente: Elaboración propia.

La intersección 1, se encuentra en la parte alta de Tarija, se tiene aceras en las esquinas y no existe señalización básica, solo un poste con los nombres de las calles.

La intersección probablemente permite el paso de vehículos y peatones, aunque durante eventos culturales, como los mencionados, podría restringirse el acceso vehicular.

Cabe recalcar que la calle Cochabamba al ser una calle ancha, cuenta con 2 carriles de Norte a Sur y Sur a Norte, se caracteriza también por ser una de las calles con mayor pendiente dentro de la ciudad de aproximadamente entre 7 y 8%, en cuanto a la calle Corazón de Jesús se tiene un solo carril de Este a Oeste.

Figura 15. Intersección 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Ubicación intersección 2.

	Latitud	Longitud	Coordenada Este	Coordenada Norte
Intersección 2: Calle Cochabamba y Calle Venezuela	21°31'33.73"S	64°44'12.89"O	320104.24 m E	7618631.82 m S

Fuente: Elaboración propia.

La intersección 2 también tiene en cuenta la calle Cochabamba la cual en este punto se cuenta con semaforización y además de una cámara de seguridad de 360° el cual ayuda a la seguridad del Mercado La Loma y sus alrededores, se tiene también cajeros automáticos en la intersección los cuales también hace que la seguridad deba ser aún mayor, esta intersección es la mas concurrida del mercado La Loma.

Figura 16. Intersección 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Ubicación intersección 3.

	Latitud	Longitud	Coordenada Este	Coordenada Norte
Intersección 3: Calle Venezuela y Calle Hermanos Rojas	21°31'36.70"S	64°44'15.40"O	320033.29 m E	7618539.77 m S

Fuente: Elaboración propia.

La intersección 3 se encuentra en las calles posteriores a la fachada principal del mercado, el cual también involucra a la Unidad Educativa Avelina Raña, el cual tiene una moderada asistencia de estudiantes, y la afluencia de peatones se agrava en horas de la mañana, medio día, tarde y al finalizar la misma, es un lugar de comercio de bicicletas y no existe señalización alguna, ni semáforos ni paso de cebra ni ninguna señalización.

Figura 17. Intersección 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Ubicación intersección 4.

	Latitud	Longitud	Coordenada Este	Coordenada Norte
Intersección 3: Calle Hermanos Rojas y Calle Corazón de Jesús	21°31'38.30"S	64°44'11.96"O	320132.71 m E	7618491.60 m S

Fuente: Elaboración propia.

La intersección 4, tiene una jardinera entrante hacia el mirador de La Loma de San Juan, luego también se tiene comercios de ropa, zapatillas, algunas ferreterías, las cuales hacen que la afluencia de peatones y vehículos sea moderada. No existe señalización de ninguna índole, solo un poste con los nombres de las calles.

3.3. Parámetros de tráfico en el área de estudio

El parque automotor de Tarija ha crecido notablemente, alcanzando 137,360 vehículos en 2022 (9.9% más que en 2021) y probablemente superando los 140,000-150,000 en 2025, con motocicletas (34.2%) y vagonetas (23.7%) como los vehículos predominantes. Este crecimiento impacta al Mercado La Loma, donde la congestión, el tráfico mixto (peatones, motocicletas, taxis, camionetas) y las limitaciones viales son evidentes en horas pico.

La calle Cochabamba como una de las calles principales y centrales de Tarija, donde se tiene una gran afluencia de autos y motos particulares y además de públicos donde se ven micros de muchas líneas las cuales pasan por el Mercado La Loma y también por la cercanía al mercado Campesino y muchas otras tiendas comerciales, además de la cercanía al mirador de La Loma de San Juan el cual es un lugar turístico de gran afluencia de personas en épocas de fiestas.

3.3.1. Aforo diario

Se realizó el aforo diario para posteriormente determinar las horas pico de la zona de estudio, dicho aforo se realizó desde las horas 06:00 a 20:00 horas en 5 puntos de la zona de estudio, después de dicho aforo, se determinó que las horas pico son: 08:00 a 09:00, 12:00 a 13:00 y de 18:00 a 19:00 horas.

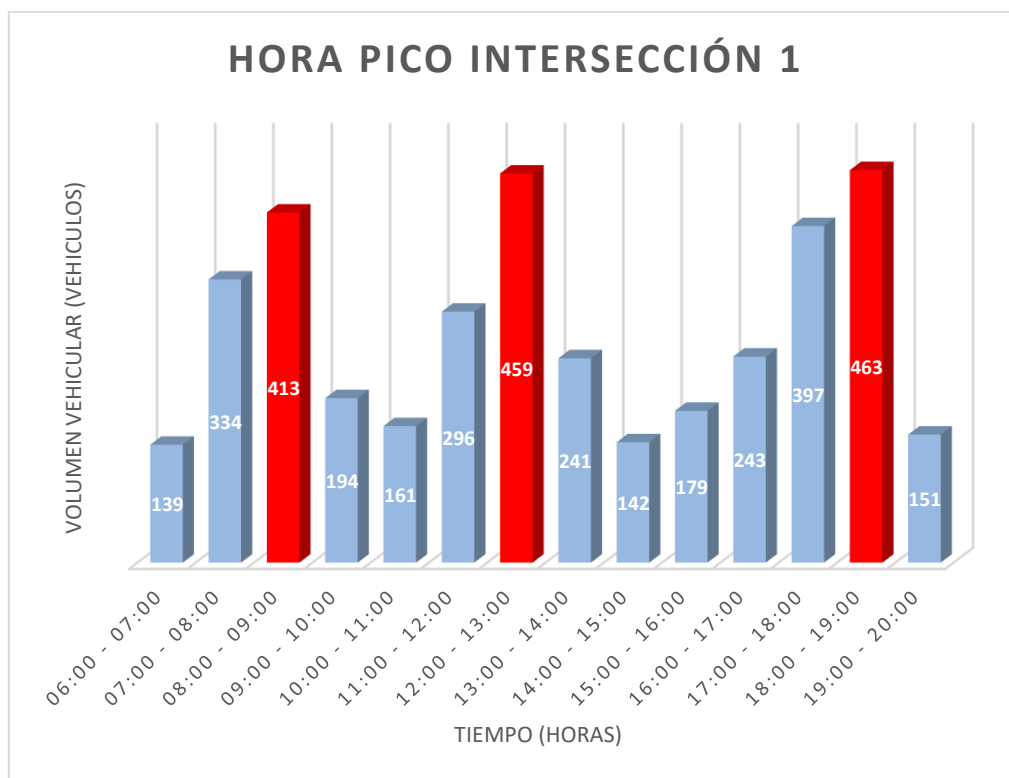
Tabla 7. Aforo diario intersección 1.

Tiempo (hrs)	Volumen vehicular (veh)
06:00 - 07:00	139
07:00 - 08:00	334
08:00 - 09:00	413
09:00 - 10:00	194
10:00 - 11:00	161
11:00 - 12:00	296
12:00 - 13:00	459
13:00 - 14:00	241
14:00 - 15:00	142
15:00 - 16:00	179
16:00 - 17:00	243

17:00 - 18:00	397
18:00 - 19:00	463
19:00 - 20:00	151

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Variación del aforo vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

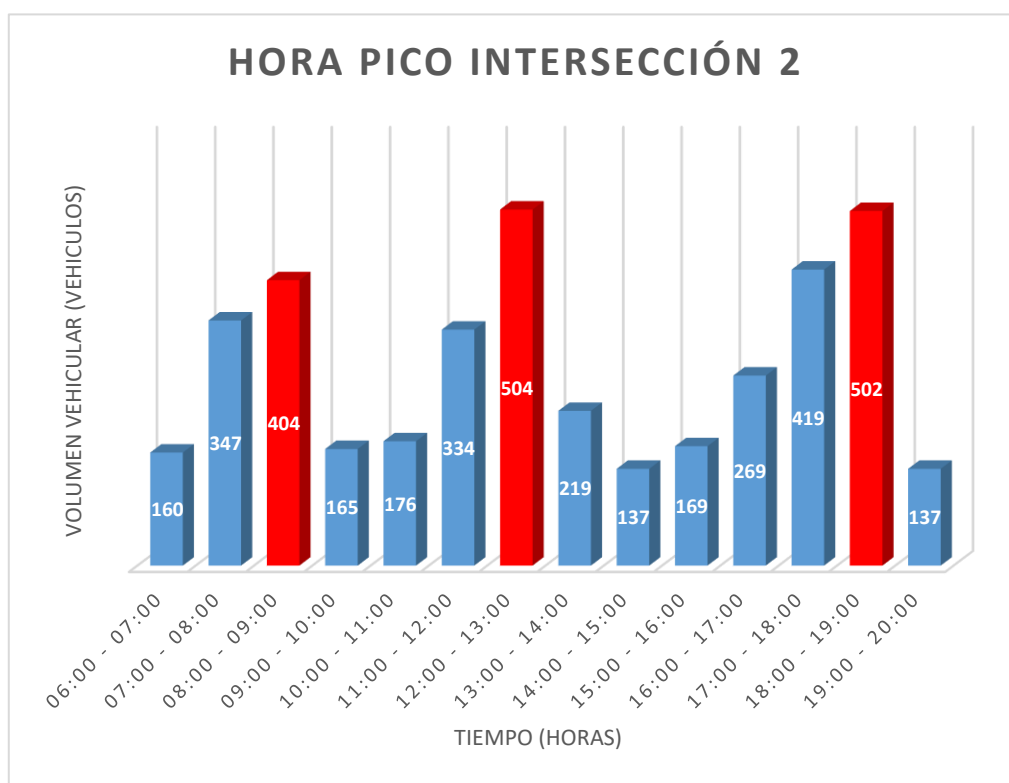
Tabla 8. Aforo diario intersección 2.

Tiempo (hrs)	Volumen vehicular (veh)
06:00 - 07:00	160
07:00 - 08:00	347
08:00 - 09:00	404
09:00 - 10:00	165
10:00 - 11:00	176
11:00 - 12:00	334
12:00 - 13:00	504
13:00 - 14:00	219
14:00 - 15:00	137
15:00 - 16:00	169

16:00 - 17:00	269
17:00 - 18:00	419
18:00 - 19:00	502
19:00 - 20:00	137

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Hora pico intersección 2.



Fuente: Elaboración propia.

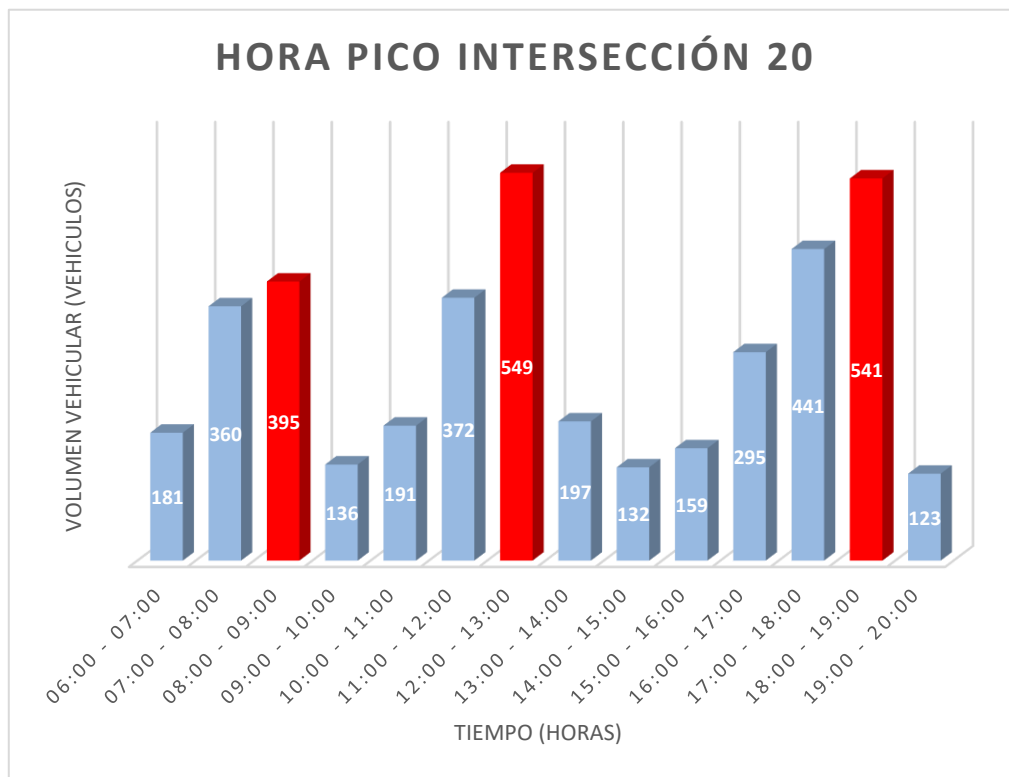
Tabla 9. Aforo diario intersección 20.

Tiempo (hrs)	Volumen vehicular (veh)
06:00 - 07:00	181
07:00 - 08:00	360
08:00 - 09:00	395
09:00 - 10:00	136
10:00 - 11:00	191
11:00 - 12:00	372
12:00 - 13:00	549
13:00 - 14:00	197
14:00 - 15:00	132

15:00 - 16:00	159
16:00 - 17:00	295
17:00 - 18:00	441
18:00 - 19:00	541
19:00 - 20:00	123

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Hora pico intersección 20.



Fuente: Elaboración propia.

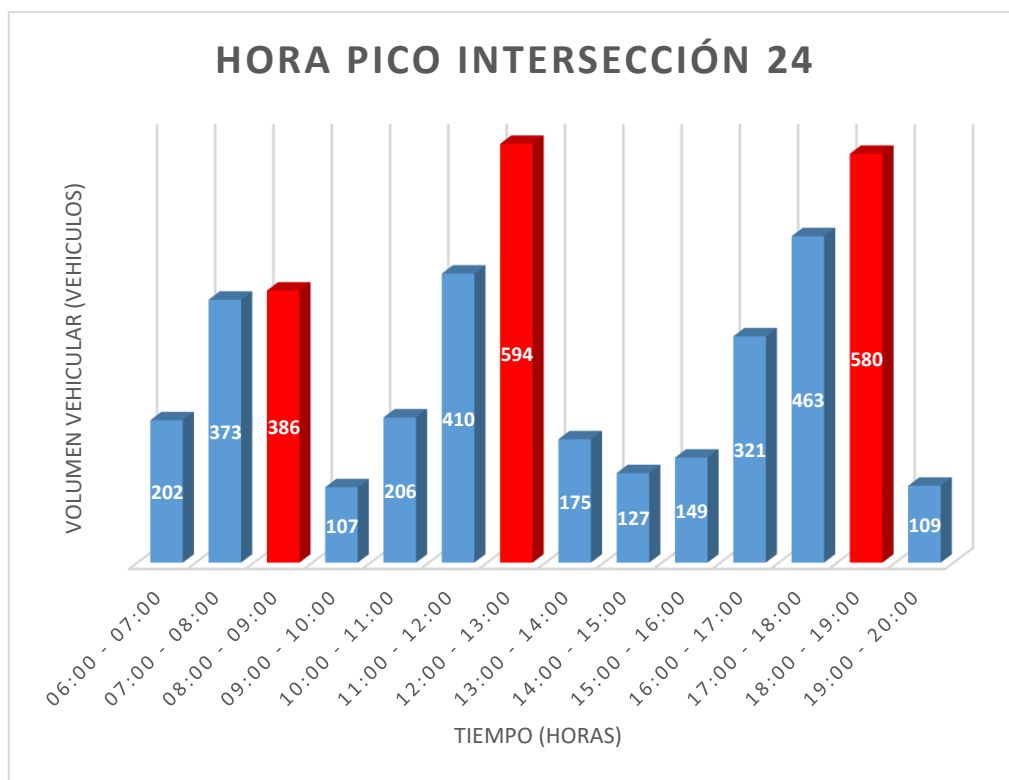
Tabla 10. Aforo diario intersección 24.

Tiempo (hrs)	Volumen vehicular (veh)
06:00 - 07:00	202
07:00 - 08:00	373
08:00 - 09:00	386
09:00 - 10:00	107
10:00 - 11:00	206
11:00 - 12:00	410
12:00 - 13:00	594
13:00 - 14:00	175

14:00 - 15:00	127
15:00 - 16:00	149
16:00 - 17:00	321
17:00 - 18:00	463
18:00 - 19:00	580
19:00 - 20:00	109

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Hora pico intersección 24.



Fuente: Elaboración propia.

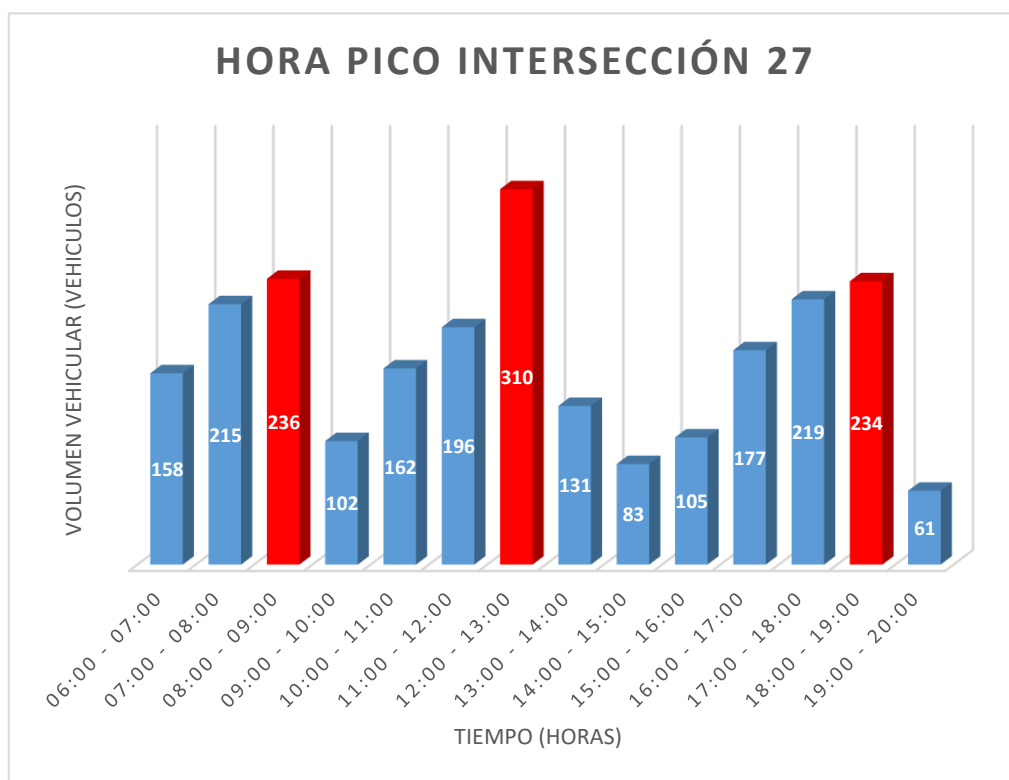
Tabla 11. Aforo diario intersección 27.

Tiempo (hrs)	Volumen vehicular (veh)
06:00 - 07:00	158
07:00 - 08:00	215
08:00 - 09:00	236
09:00 - 10:00	102
10:00 - 11:00	162
11:00 - 12:00	196
12:00 - 13:00	310

13:00 - 14:00	131
14:00 - 15:00	83
15:00 - 16:00	105
16:00 - 17:00	177
17:00 - 18:00	219
18:00 - 19:00	234
19:00 - 20:00	61

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9. Horas pico intersección 27.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Resumen horas pico.

	Intersección 1	Intersección 2	Intersección 20	Intersección 24	Intersección 27
08:00 - 09:00	413	404	395	386	236
12:00 - 13:00	459	504	549	594	310
18:00 - 19:00	463	502	541	580	234

Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado el aforo mostrado anteriormente en las 5 intersecciones se definió las horas pico como (08:00am a 09:00am, 12:00 del mediodía a 13:00 y de

18:00pm a 19:00pm) con estos 3 tiempos se realizó el aforo solo en esos horarios dos días hábiles y un día no hábil. Este método se adoptó para el aforo mensual.

Tabla 13. Puntos de aforo.

Punto y Ubicación
Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús
Intersección 2: Calle Cochabamba y Calle Venezuela
Intersección 3: Calle Venezuela y Calle Hermanos Rojas
Intersección 4: Calle Hermanos Rojas y Calle Corazón de Jesús
Intersección 5: Calle Cochabamba y Calle Venezuela
Intersección 6: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús
Intersección 7: Calle San Juan y Calle Corazón de Jesús
Intersección 8: Calle Corazón de Jesús y Calle San Juan
Intersección 9: Calle Corazón de Jesús y Calle Venezuela
Intersección 10: Calle San Juan y Calle Venezuela
Intersección 11: Calle Núñez del Prado y Calle Venezuela
Intersección 12: Calle Núñez del Prado y Calle Cochabamba
Intersección 13: Calle Aurelio Arce y Calle Cochabamba
Intersección 14: Calle Cochabamba y Calle Aurelio Arce
Intersección 15: Calle Cochabamba y Calle Hugo López Dolls
Intersección 16: Calle Hugo López Dolls y Calle Cochabamba
Intersección 17: Calle Cochabamba y Calle Salomón Benítez
Intersección 18: Calle Salomón Benítez y Calle Cochabamba
Intersección 19: Calle Franz Ávila El Carpio y Calle Cochabamba
Intersección 20: Calle Cochabamba y Calle Franz Ávila El Carpio
Intersección 21: Calle Cochabamba y Calle German Busch
Intersección 22: Calle German Busch y Calle Cochabamba
Intersección 23: Calle Fray Manuel Mingo - Calle Cochabamba y Calle Ballivián
Intersección 24: Calle Cochabamba y Calle Ballivián
Intersección 25: Calle Ballivián y Calle Cochabamba
Intersección 26: Calle Ballivián y Calle Crevaux
Intersección 27: Calle Ballivián y Calle Núñez del Prado
Intersección 28: Calle Núñez del Prado y Calle Ballivián
Intersección 29: Calle Núñez del Prado y Calle German Busch
Intersección 30: Calle Venezuela y Calle German Busch

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Parámetro velocidad

La velocidad de punto se refiere a la velocidad instantánea de un vehículo o elemento móvil en un punto específico de una vía o infraestructura de transporte. Es una magnitud vectorial que describe la tasa de cambio de la posición de dicho elemento en un instante dado, considerando tanto su magnitud (rapidez) como su dirección y sentido. Este concepto es fundamental para analizar el comportamiento del flujo vehicular, evaluar la seguridad vial y diseñar sistemas de control de tráfico, ya que permite estudiar cómo los vehículos se desplazan en un lugar y momento concretos. La velocidad de punto en este contexto se calcula como:

$$V = d/t$$

Donde:

- V: Velocidad del vehículo en el punto de interés. (km/hr)
- d: Distancia medida del vehículo en la vía. (km)
- t: Tiempo. (hr)

3.3.2.1. Aforo de velocidad de punto

Para el aforo de la velocidad de punto se realizó los siguientes pasos:

- Se midió un tramo de 25 metros antes de llegar a la intersección que fue medida con wincha de 50 metros con una marca de yeso, asegurando que el flujo se constante y sin obstáculos.
- El aforo se realizó con un método manual (cronometro), para medir el tiempo de recorrido de un vehículo en la distancia de los 25 metros. Esto según recomendaciones de la norma AASHTO.
- Se midió 5 tiempos, es decir 5 vehículos por semana, en días laborales, mismos días y horas pico asignados, a vehiculos que no tenían restricción en su circulación, tales mediciones se repitieron por 1 mes, es decir 4 semanas, de esta manera se obtuvo las velocidades con la ecuación:

$$Velocidad \left(\frac{km}{hr} \right) = \frac{Distancia \text{ (metros)}}{Tiempo \text{ (horas)}}$$

3.3.2.2. Resultados de aforo de velocidad de punto

Tabla 14. Aforo velocidad de punto intersección 1 semana 1.

Intersección 1: C/Cochabamba y Calle Corazón de Jesús Semana N° 1			
Velocidad de punto			
Distancia (metros)	N°	Tiempo (segundos)	Velocidad (Km/hr)
25	1	4,15	21,69
	2	4,02	22,39
	3	3,77	23,87
	4	3,98	22,61
	5	3,99	22,56
Media:		3,98	22,62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Aforo velocidad de punto intersección 1 semana 2.

Intersección 1: C/Cochabamba y Calle Corazón de Jesús Semana N° 2			
Velocidad de punto			
Distancia (metros)	N°	Tiempo (segundos)	Velocidad (Km/hr)
25	1	4,40	20,45
	2	4,85	18,56
	3	4,89	18,40
	4	4,66	19,31
	5	4,73	19,03
Media:		4,71	19,15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Aforo velocidad de punto intersección 2 semana 3.

Intersección 1: C/Cochabamba y Calle Corazón de Jesús Semana N° 3			
Velocidad de punto			
Distancia (metros)	N°	Tiempo (segundos)	Velocidad (Km/hr)
25	1	4,79	18,79
	2	4,86	18,52
	3	4,97	18,11
	4	4,32	20,83
	5	3,86	23,32
Media:		4,56	19,91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Aforo velocidad de punto intersección 1 semana 4.

Intersección 1: C/Cochabamba y Calle Corazón de Jesús Semana N° 4			
Velocidad de punto			
Distancia (metros)	N°	Tiempo (segundos)	Velocidad (Km/hr)
25	1	4,17	21,58
	2	4,14	21,74
	3	4,30	20,93
	4	4,52	19,91
	5	4,60	19,57
Media:		4,35	20,75

Fuente: Elaboración propia.

Todos los datos de velocidad de punto se encuentran en el apartado de anexos, y a continuación se presenta la velocidad promedio total de las 30 intersecciones:

Tabla 18. Velocidad de punto promedio total.

Velocidad Promedio Total					
Punto y Ubicación	Velocidad (Km/hr)				
	1° Sem.	2° Sem.	3° Sem.	4° Sem.	Prom.
Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús	22,62	19,15	19,91	20,75	20,61
Intersección 2: Calle Cochabamba y Calle Venezuela	20,13	18,33	18,70	17,72	18,72
Intersección 3: Calle Venezuela y Calle Hermanos Rojas	14,01	12,82	13,71	12,93	13,37
Intersección 4: Calle Hermanos Rojas y Calle Corazón de Jesús	15,35	13,68	15,33	14,13	14,62
Intersección 5: Calle Cochabamba y Calle Venezuela	21,23	18,60	20,18	21,91	20,48
Intersección 6: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús	21,13	18,15	18,06	17,34	18,67
Intersección 7: Calle San Juan y Calle Corazón de Jesús	13,50	12,28	13,05	12,67	12,88
Intersección 8: Calle Corazón de Jesús y Calle San Juan	14,82	13,37	14,49	13,02	13,93
Intersección 9: Calle Corazón de Jesús y Calle Venezuela	20,01	18,07	20,46	23,21	20,44
Intersección 10: Calle San Juan y Calle Venezuela	22,24	17,96	17,46	16,98	18,66
Intersección 11: Calle Núñez del Prado y Calle Venezuela	13,03	11,78	12,46	12,43	12,42
Intersección 12: Calle Núñez del Prado y Calle Cochabamba	14,32	13,08	13,73	12,08	13,30
Intersección 13: Calle Aurelio Arce y Calle Cochabamba	18,91	17,58	20,75	24,68	20,48
Intersección 14: Calle Cochabamba y Calle Aurelio Arce	23,48	17,79	16,90	16,64	18,70
Intersección 15: Calle Cochabamba y Calle Hugo López Dolls	12,59	11,32	11,91	12,19	12,00
Intersección 16: Calle Hugo López Dolls y Calle Cochabamba	13,86	12,80	13,05	11,26	12,74

Intersección 17: Calle Cochabamba y Calle Salomón Benítez	17,93	17,11	21,04	22,57	19,66
Intersección 18: Calle Salomón Benítez y Calle Cochabamba	24,86	17,61	16,37	16,30	18,79
Intersección 19: Calle Franz Ávila El Carpio y Calle Cochabamba	12,18	10,89	11,41	11,97	11,61
Intersección 20: Calle Cochabamba y Calle Franz Ávila El Carpio	13,42	12,53	12,44	10,55	12,23
Intersección 21: Calle Cochabamba y Calle German Busch	18,45	17,89	19,82	21,96	19,53
Intersección 22: Calle German Busch y Calle Cochabamba	23,85	18,00	16,52	16,73	18,78
Intersección 23: Calle Fray Manuel Mingo - Calle Cochabamba y Calle Ballivián	12,72	11,22	11,77	12,23	11,98
Intersección 24: Calle Cochabamba y Calle Ballivián	13,71	12,73	12,87	10,81	12,53
Intersección 25: Calle Ballivián y Calle Cochabamba	18,99	18,75	18,74	21,39	19,47
Intersección 26: Calle Ballivián y Calle Crevaux	22,93	18,41	16,68	17,18	18,80
Intersección 27: Calle Ballivián y Calle Núñez del Prado	13,30	11,57	12,15	12,50	12,38
Intersección 28: Calle Núñez del Prado y Calle Ballivián	14,01	12,93	13,33	11,09	12,84
Intersección 29: Calle Núñez del Prado y Calle German Busch	19,57	19,70	17,77	20,84	19,47
Intersección 30: Calle Venezuela y Calle German Busch	22,08	18,83	16,83	17,65	18,85

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Parámetro volumen

El Tránsito Promedio Horario (TPH) se define como el número promedio de vehículos que pasan por un punto o sección específica de una vía durante una hora determinada, expresado en vehículos por hora (veh/h). Representa el volumen de tráfico en un período horario específico, como una hora pico o una hora representativa, y se utiliza para evaluar la capacidad de la vía, el nivel de servicio (LOS) y las necesidades de control de tráfico.

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

Donde:

- N: Número total de vehículos contados en el período (vehículos).
- T: Duración del período en horas (normalmente 1 hora).

El Tránsito Promedio Diario (TPD) se define como el número promedio de vehículos que circulan por un punto o sección de una vía en un período de 24 horas, expresado en vehículos por día (veh/día). Es un indicador global que refleja la intensidad de uso de una vía a lo largo de un día típico, considerando variaciones entre horas pico, valle

y nocturnas. Se usa para planificar carreteras, estimar desgaste del pavimento y evaluar la necesidad de ampliaciones viales.

$$TPD = \frac{\sum N_i}{D}$$

Donde:

- N_i : Número de vehículos contados en el día i .
- D : Número de días de medición (generalmente se promedia sobre varios días para mayor representatividad).

3.3.3.1. Aforo de volumen vehicular

Se realizó el aforo de volúmenes de tráfico mediante la normativa AASHTO, este aforo fue en horas pico que se obtuvieron anteriormente, es decir (08:00 a 09:00, 12:00 a 13:00 y de 18:00 a 19:00), en 3 días a la semana, 2 días hábiles y 1 día de fin de semana, y esto durante 4 semanas para cada intersección, para el aforo se utilizó un recuento manual, y también se clasificó los vehículos en livianos, medianos y pesados, los que a su vez se subdividieron en públicos y privados, además se tuvo en cuenta si iban de frente o giraban izquierda a derecha:

Figura 18. Ubicación de todas las intersecciones.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2. Resultados de aforo de volumen

Tabla 19. Resultados de aforo de volumen intersección 1.

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 1 - Día Lunes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	52	21	95	56	52	25	10	5	0	0	0	0	316
12:00 - 13:00	61	34	115	66	66	31	12	6	0	0	0	0	391
18:00 - 19:00	44	21	53	15	24	12	11	7	0	0	0	0	187
Promedio:	53	26	88	46	48	23	11	0	0	0	0	0	295
%:	72,20				27,80				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 1 - Día Viernes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	61	24	90	51	65	28	14	7	0	0	0	0	340
12:00 - 13:00	70	37	110	61	79	34	16	8	0	0	0	0	415
18:00 - 19:00	53	24	48	10	37	15	15	9	0	0	0	0	211
Promedio:	62	29	83	41	61	26	15	8	0	0	0	0	325
%:	66,15				33,85				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 1 - Día Sábado													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	54	17	83	44	58	21	7	5	0	0	0	0	289
12:00 - 13:00	63	30	103	54	72	27	9	1	0	0	0	0	359
18:00 - 19:00	46	17	41	3	30	8	8	2	0	0	0	0	155
Promedio:	55	22	76	34	54	19	8	3	0	0	0	0	271
%:	69,00				31,00				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 2 - Día Lunes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	55	22	89	49	59	29	13	10	0	0	0	0	326
12:00 - 13:00	61	33	105	55	77	38	21	4	0	0	0	0	394
18:00 - 19:00	53	14	42	12	31	15	15	8	0	0	0	0	190
Promedio:	57	23	79	39	56	28	17	8	0	0	0	0	307
%:	64,50				35,50				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 2 - Día Viernes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	60	27	94	54	64	34	18	15	0	0	0	0	366

12:00 - 13:00	66	38	110	60	82	43	26	9	0	0	0	0	434
18:00 - 19:00	58	19	47	17	36	20	20	13	0	0	0	0	230
Promedio:	62	28	84	44	61	33	22	13	0	0	0	0	347
%:	62,82				37,18				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 2 - Día Sábado													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	63	30	97	57	67	37	21	18	0	0	0	0	390
12:00 - 13:00	69	41	113	63	85	46	29	12	0	0	0	0	458
18:00 - 19:00	61	22	50	20	39	23	23	16	0	0	0	0	254
Promedio:	65	31	87	47	64	36	25	16	0	0	0	0	371
%:	61,99				38,01				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 3 - Día Lunes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	55	22	89	49	59	29	13	10	0	0	0	0	326
12:00 - 13:00	61	33	105	55	77	38	21	4	0	0	0	0	394
18:00 - 19:00	53	14	42	12	31	15	15	8	0	0	0	0	190
Promedio:	57	23	79	39	56	28	17	8	0	0	0	0	307
%:	64,50				35,50				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 3 - Día Viernes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	60	27	94	54	64	34	18	15	0	0	0	0	366
12:00 - 13:00	66	38	110	60	82	43	26	9	0	0	0	0	434
18:00 - 19:00	58	19	47	17	36	20	20	13	0	0	0	0	230
Promedio:	62	28	84	44	61	33	22	13	0	0	0	0	347
%:	62,82				37,18				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 3 - Día Sábado													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	63	30	97	57	67	37	21	18	0	0	0	0	390
12:00 - 13:00	69	41	113	63	85	46	29	12	0	0	0	0	458
18:00 - 19:00	61	22	50	20	39	23	23	16	0	0	0	0	254
Promedio:	65	31	87	47	64	36	25	16	0	0	0	0	371
%:	61,99				38,01				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 4 - Día Lunes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Público		Privado		Público		Privado		Público		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	

08:00 - 09:00	58	25	92	52	62	32	16	13	0	0	0	0	350
12:00 - 13:00	64	36	108	58	80	41	24	7	0	0	0	0	418
18:00 - 19:00	56	17	45	15	34	18	18	11	0	0	0	0	214
Promedio:	60	26	82	42	59	31	20	11	0	0	0	0	331
%:	63,44				36,56				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 4 - Dia Viernes													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	65	32	99	59	69	39	23	20	0	0	0	0	406
12:00 - 13:00	71	43	115	65	87	48	31	14	0	0	0	0	474
18:00 - 19:00	63	24	52	22	41	25	25	18	0	0	0	0	270
Promedio:	67	33	89	49	66	38	27	18	0	0	0	0	387
%:	61,50				38,50				0,00				

Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús - Semana 4 - Día Sábado													
Hora	Vehículo Liviano				Vehículo Mediano				Vehículo Pesado				Total
	Publico		Privado		Publico		Privado		Publico		Privado		
	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.	
08:00 - 09:00	75	42	109	69	79	49	33	30	0	0	0	0	486
12:00 - 13:00	81	53	125	75	97	58	41	24	0	0	0	0	554
18:00 - 19:00	73	34	62	32	51	35	35	28	0	0	0	0	350
Promedio:	77	43	99	59	76	48	37	28	0	0	0	0	467
%:	59,53				40,47				0,00				

Fuente: Elaboración propia.

Los aforos realizados en los demás puntos de intersección se encuentran en el apartado de anexos.

3.3.3.3. Depuración de aforo de volumen

Para validar los resultados se realizó una depuración de los aforos para descartar máximos y mínimos y tengamos resultados mas precisos:

Tabla 20. Depuración de datos intersección 1.

INTERSECCIÓN 1		Hora pico		
Semanas	Días	08:00 - 09:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00
Primera	Lunes	316	391	187
	Viernes	340	415	211
	Sábado	289	359	155
Segunda	Lunes	326	394	190
	Viernes	366	434	230

	Sábado	390	458	254
Tercera	Lunes	326	394	190
	Viernes	366	434	230
	Sábado	390	458	254
Cuarta	Lunes	350	418	214
	Viernes	406	474	270
	Sábado	486	554	350
	Media	363	432	228
	Desviación	52	51	51
	Rango	414	483	279
		311	381	177
	Media	358	427	223
	Media Total	336		

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos depurados se obtuvo una media mucho mas confiable de los datos, dando como resultado los siguientes aforos mensuales para todas las intersecciones:

Tabla 21. Resumen aforo vehicular depurado.

Resumen aforo vehicular (veh/hr)	
Intersección	Aforo vehicular (veh/hr)
Intersección 1: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús	336
Intersección 2: Calle Cochabamba y Calle Venezuela	410
Intersección 3: Calle Venezuela y Calle Hermanos Rojas	58
Intersección 4: Calle Hermanos Rojas y Calle Corazón de Jesús	105
Intersección 5: Calle Cochabamba y Calle Venezuela	196
Intersección 6: Calle Cochabamba y Calle Corazón de Jesús	494
Intersección 7: Calle San Juan y Calle Corazón de Jesús	160
Intersección 8: Calle Corazón de Jesús y Calle San Juan	77
Intersección 9: Calle Corazón de Jesús y Calle Venezuela	122
Intersección 10: Calle San Juan y Calle Venezuela	68
Intersección 11: Calle Núñez del Prado y Calle Venezuela	335
Intersección 12: Calle Núñez del Prado y Calle Cochabamba	273
Intersección 13: Calle Aurelio Arce y Calle Cochabamba	405
Intersección 14: Calle Cochabamba y Calle Aurelio Arce	413
Intersección 15: Calle Cochabamba y Calle Hugo López Dolls	442
Intersección 16: Calle Hugo López Dolls y Calle Cochabamba	431
Intersección 17: Calle Cochabamba y Calle Salomón Benítez	387
Intersección 18: Calle Salomón Benítez y Calle Cochabamba	420
Intersección 19: Calle Franz Ávila El Carpio y Calle Cochabamba	292

Intersección 20: Calle Cochabamba y Calle Franz Ávila El Carpio	307
Intersección 21: Calle Cochabamba y Calle German Busch	219
Intersección 22: Calle German Busch y Calle Cochabamba	264
Intersección 23: Calle Fray Manuel Mingo - Calle Cochabamba y Calle Ballivián	310
Intersección 24: Calle Cochabamba y Calle Ballivián	413
Intersección 25: Calle Ballivián y Calle Cochabamba	300
Intersección 26: Calle Ballivián y Calle Crevaux	269
Intersección 27: Calle Ballivián y Calle Núñez del Prado	262
Intersección 28: Calle Núñez del Prado y Calle Ballivián	109
Intersección 29: Calle Núñez del Prado y Calle German Busch	274
Intersección 30: Calle Venezuela y Calle German Busch	160

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.4. Aforo de volumen peatonal

El aforo peatonal es el proceso sistemático de recopilación, conteo y análisis de datos relacionados con el flujo, comportamiento y características de los peatones que transitan por un área específica, como intersecciones, aceras, pasos peatonales, plazas o zonas urbanas, durante un período definido. Este procedimiento busca cuantificar la demanda peatonal, identificar patrones de movilidad, evaluar la funcionalidad de la infraestructura existente y detectar problemas o necesidades, como congestión, inseguridad vial, cruces informales, falta de accesibilidad para personas con movilidad reducida o insuficiencia de señalización. El aforo peatonal es una herramienta fundamental en la planificación urbana, la gestión del transporte y el diseño de sistemas de transporte inteligentes (ITS), ya que proporciona datos empíricos para respaldar decisiones de diseño, optimización y mejora de la movilidad.

Tabla 22. Aforo peatonal intersección 1.

Intersección 1: C/Cochabamba y C/Corazón de Jesús - Semana 1				
Hora	Lunes	Viernes	Sábado	Cruces informales
08:00 - 09:00	650	680	800	35%
12:00 - 13:00	400	450	500	33%
18:00 - 19:00	300	350	250	30%

Intersección 1: C/Cochabamba y C/Corazón de Jesús - Semana 2

Hora	Lunes	Viernes	Sábado	Cruces informales
08:00 - 09:00	660	650	810	30%
12:00 - 13:00	380	470	540	35%
18:00 - 19:00	310	300	290	40%

Intersección 1: C/Cochabamba y C/Corazón de Jesús - Semana 3

Hora	Lunes	Viernes	Sábado	Cruces informales
08:00 - 09:00	665	695	815	25%
12:00 - 13:00	415	465	515	40%
18:00 - 19:00	315	365	265	50%

Intersección 1: C/Cochabamba y C/Corazón de Jesús - Semana 4

Hora	Lunes	Viernes	Sábado	Cruces informales
08:00 - 09:00	670	660	820	30%
12:00 - 13:00	390	480	550	50%
18:00 - 19:00	320	310	300	50%

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Sistema de control existentes

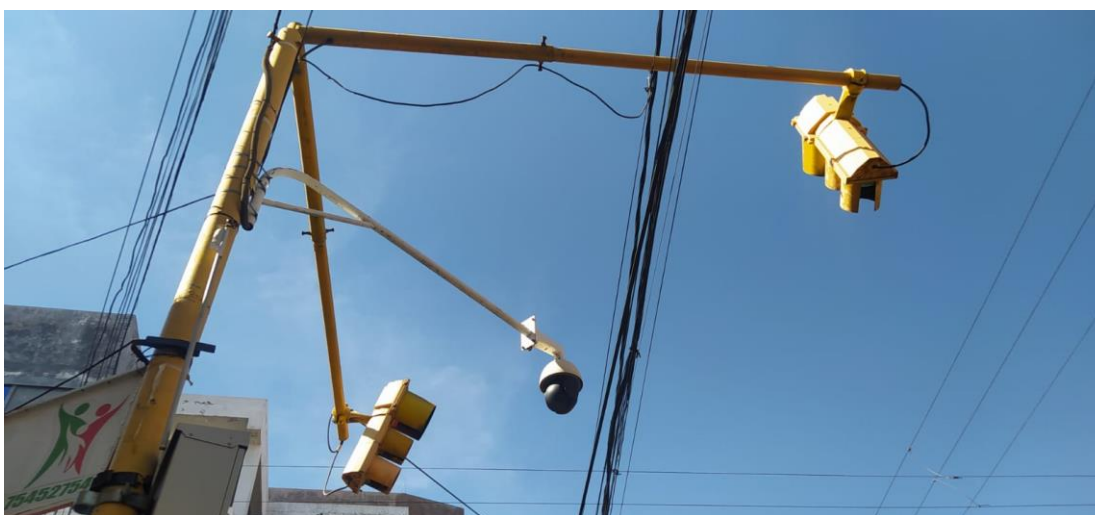
3.4.1. Semaforización

- **Presencia de semáforos:** Se cuentan con **semáforos de tiempo fijo** en la intersección de la calle Cochabamba y la calle Venezuela, la única intersección con la presencia de ellos. Estos operan con ciclos preestablecidos de 63

segundos: 30s verde, 3s de amarillo y 30s rojo sin ajustes en tiempo real, lo que causa retrasos en horas pico.

- **Tecnología:** Los semáforos **no son inteligentes** (no adaptativos), careciendo de sensores o conectividad para optimizar el flujo según la demanda, a diferencia de los sistemas donde se usan redes de fibra óptica para coordinación. No hay evidencia de semáforos adaptativos o prioritarios para transporte público en Tarija.
- **Estado de mantenimiento:** Los semáforos notoriamente enfrentan problemas de mantenimiento, lo que es visible a simple vista lo deteriorado y que en cualquier momento puede fallar, como es el caso que se vio un día lunes mientras se aforaba, no tenía energía eléctrica dichos semáforos. En el Mercado La Loma, la alta actividad comercial agrava estos problemas si no hay un programa regular de mantenimiento.
- **Semáforos peatonales:** No se tiene semáforos peatonales, ya que aunque se debería tener semáforos peatonales al menos con íconos (figura caminando o parada) o temporizadores, como se menciona en tipos de señales peatonales. Sin embargo, la alta proporción de cruces informales (31-36%) se debe a la falta de este semáforo.

Figura 19. Semáforos y cámaras en la intersección de la calle Cochabamba y Venezuela.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Cámara en la esquina del mercado La Loma.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Cámaras de vigilancia

- **Cámaras de tráfico:** No existen cámaras de tráfico, pero si cámaras de seguridad general (CCTV) instaladas por la municipalidad y la policía para monitorear actividad comercial o prevenir delitos, no así cámaras de gestión de tráfico para monitoreo vial.
- **Uso y tecnología:** Las cámaras actuales no están integradas a un sistema ITS avanzado, como el Advanced Traffic Management System (ATMS) de Costa Mesa, que usa CCTV para optimizar el tráfico. En Tarija, las cámaras serían más bien de grabación pasiva, sin análisis en tiempo real o detección de vehículos/peatones.
- **Ubicación:** Las cámaras se encuentran en frente del mercado, en plena esquina que por la dirección a la que apunta, está para monitorear alguna anomalía o delitos que ocurran en las afueras del mercado.
- **Mantenimiento:** Similar a los semáforos, las cámaras podrían enfrentar problemas de mantenimiento o falta de personal capacitado para operar sistemas avanzados.

3.5. Niveles de servicio

Se procedió a la determinación de los niveles de servicio, los cuales se encuentran en el apartado anexos de manera mucho mas detallada, solo se muestra una tabla resumen a continuación:

Tabla 23. Nivel de servicio de todas las intersecciones.

Intersección	Velocidad promedio (km/h)	Aforo (veh/h)	Densidad (veh/km)	LOS (HCM Clase III por ATS)
Intersección 1	20,61	336	16,30	D
Intersección 2	18,72	410	21,90	D
Intersección 3	13,37	58	4,34	E
Intersección 4	14,62	105	7,18	D
Intersección 5	20,48	196	9,57	D
Intersección 6	18,67	494	26,46	D
Intersección 7	12,88	160	12,42	E
Intersección 8	13,93	77	5,53	E
Intersección 9	20,44	122	5,97	D
Intersección 10	18,66	68	3,64	D
Intersección 11	12,42	335	26,97	E
Intersección 12	13,3	273	20,53	E
Intersección 13	20,48	405	19,78	D
Intersección 14	18,7	413	22,09	D
Intersección 15	12	442	36,83	E
Intersección 16	12,74	431	33,83	E
Intersección 17	19,66	387	19,68	D
Intersección 18	18,79	420	22,35	D
Intersección 19	11,61	292	25,15	E
Intersección 20	12,23	307	25,10	E
Intersección 21	19,53	219	11,21	D
Intersección 22	18,78	264	14,06	D
Intersección 23	11,98	310	25,88	E
Intersección 24	12,53	413	32,96	E
Intersección 25	19,47	300	15,41	D
Intersección 26	18,8	269	14,31	D
Intersección 27	12,38	262	21,16	E
Intersección 28	12,84	109	8,49	E
Intersección 29	19,47	274	14,07	D
Intersección 30	18,85	160	8,49	D

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Simulación con software

El software de simulación microscópica de tráfico desarrollado por PTV Group, utilizado para modelar y analizar el comportamiento detallado de vehículos, peatones y sistemas de transporte en entornos urbanos e interurbanos. Permite simular flujos de tráfico, interacciones vehículo-peatón, semaforización, y escenarios de sistemas de transporte inteligentes (ITS), evaluando métricas como tiempos de viaje, retrasos, colas, emisiones y seguridad. Su capacidad para representar comportamientos individuales, por ejemplo, cambios de carril, cruces peatonales lo hace ideal para proyectos como este sobre un ITS basado en ARC-IT para mejorar la transitabilidad en las calles del Mercado La Loma, Tarija.

El presente proyecto "Sistema de Transporte Inteligente (ITS) basado en una arquitectura ARC-IT para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en calles del Mercado La Loma", busca optimizar la movilidad en una zona comercial de Tarija con alta afluencia peatonal y congestión vehicular. Con ayuda del software se modelará y simulará el escenario actual (sin ITS) y evaluar soluciones ITS definidas con ARC-IT, como semáforos adaptativos (Traffic Signal Control, TM03) y detección peatonal (Pedestrian Mobility, TM07).

Como primer paso se identificó mediante el mapeo del programa la ubicación del mercado La Loma y sus intersecciones:

Figura 21. Identificación de las intersecciones.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de ello se procedió a modelar las calles o “enlaces” que se tiene como nombre en el software, para esto se colocó todas las intersecciones y direcciones que se tiene en el sector:

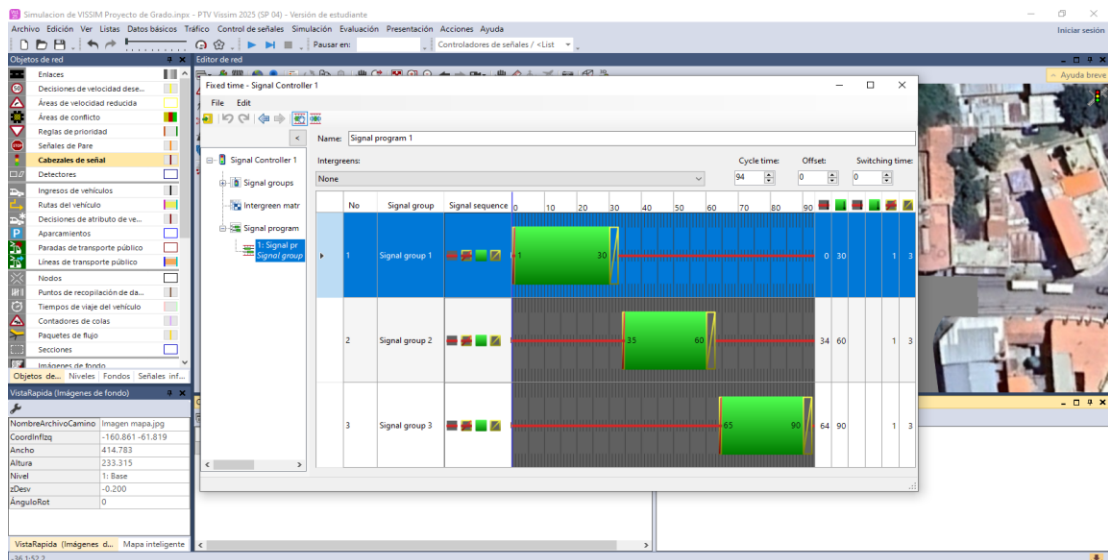
Figura 22. Modelado de las vías e intersecciones



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la colocación de las vías, se procedió a colocar los semáforos según lo visto en el lugar, como su funcionamiento se indica:

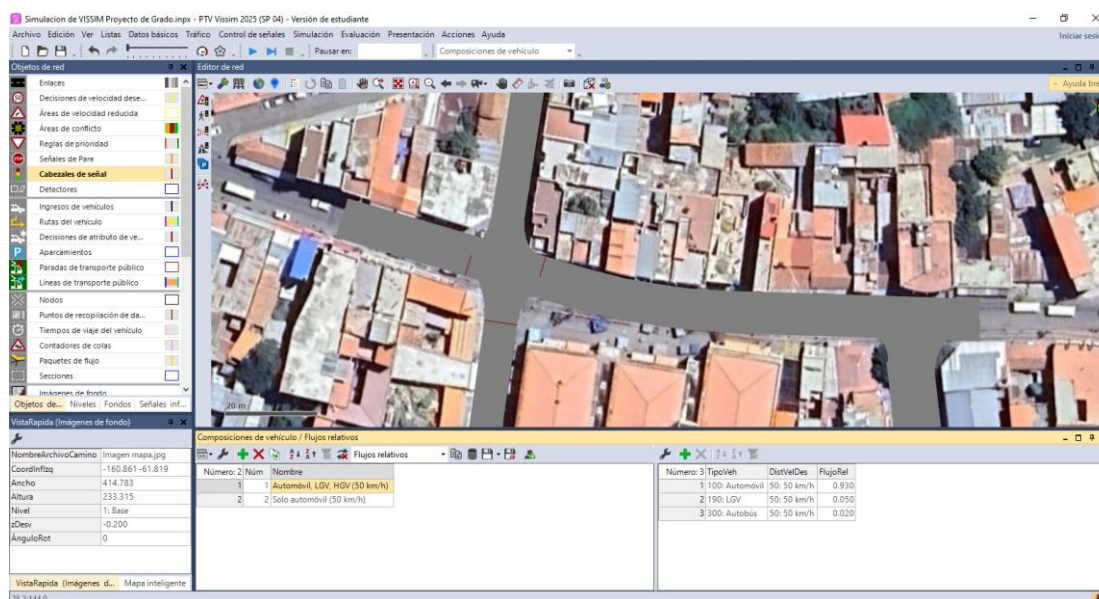
Figura 23. Colocación de semáforos en la única intersección de la zona.



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a ello se procedió a colocar los datos de los volúmenes que pasan por las intersecciones según el aforo que se obtuvo tanto vehicular como peatonal:

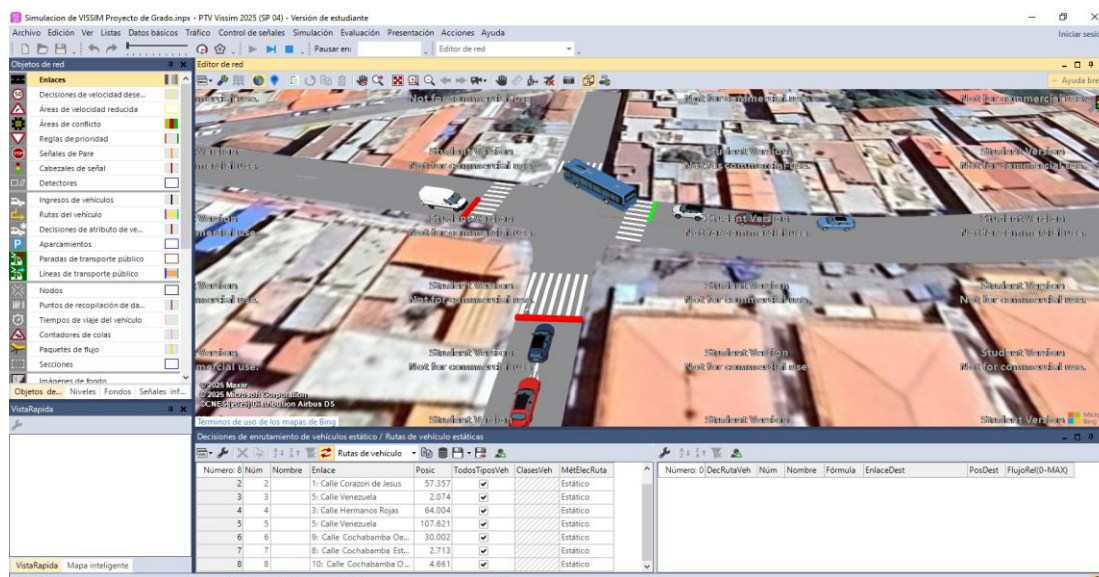
Figura 24. Colocación de los aforos vehiculares y peatonales.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de ello se procedió a modelar las vías e intersecciones colocando también algunos pasos de cebra por la intersección más crítica del mercado La Loma, esto para observar el comportamiento de los peatones:

Figura 25. Comportamiento del tráfico en la intersección 2.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se procedió a verificar los aforos y se pudo observar un similar comportamiento en la intersección 2 con la realidad como se ve en la siguiente imagen:

Figura 26. Congestionamiento en la intersección 2.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Implementación de la arquitectura ARC-IT.

- **Traffic Signal Control (TM03):** Optimiza semáforos adaptativos para ajustar ciclos según el tráfico y la demanda peatonal, reduciendo retrasos y colas.
- **Pedestrian Mobility (TM07):** Detecta peatones en cruces para activar fases peatonales y mejorar la seguridad, reduciendo cruces informales.
- **Traveler Information (TI01):** Provee datos en tiempo real (por ejemplo, paneles de mensajes variables) para informar a conductores y peatones sobre condiciones de tráfico o rutas alternativas.

3.7.1. Puntos de vista generales ARC-IT

Se definió los puntos de vista para todo el proyecto, o todas las intersecciones que comprenden el mismo:

3.7.1.1. Vista Empresarial

- **Actores:**
 - **Gobierno municipal de Tarija:** Opera el centro de control, gestiona semáforos y sensores.

- **Conductores:** Interactúan con semáforos y reciben alertas.
- **Peatones:** Cruzan pasos peatonales, reciben prioridad.
- **Comerciantes:** Afectados por la movilidad, proporcionan retroalimentación.
- **Interacciones:**
 - Municipalidad → Conductores/Peatones: Gestiona infraestructura para mejorar transitabilidad.
 - Conductores/Peatones → Municipalidad: Proveen datos (vía sensores) y retroalimentación.
 - Comerciantes → Municipalidad: Reportan problemas de movilidad.

3.7.1.2. Vista Funcional

- **Funciones:**
 - **Detección de vehículos (TM03):** Sensores de lazo identifican volumen y tipo de vehículos.
 - **Detección de peatones (TM07):** Sensores ultrasónicos/cámaras detectan peatones en cruces.
 - **Control de semáforos (TM03):** Ajusta ciclos según datos en tiempo real.
 - **Procesamiento de datos (TM03/TM07):** Centro de control analiza flujos y toma decisiones.
 - **Alertas a usuarios (TM07):** Luces LED en cruces para advertir a conductores.
- **Flujos:**
 - Detección de vehículos/peatones → Procesamiento: Datos enviados al centro.
 - Procesamiento → Control de semáforos: Ajustes de ciclos.
 - Procesamiento → Alertas: Activación de luces LED.

3.7.1.3. Vista Física

- **Componentes:**
 - **Centro de control municipal:** Servidor que procesa datos, ubicado en oficinas municipales.

- **Semáforos inteligentes:**
 - 2 en la intersección 1.
 - 3 en la intersección 2.
 - 1 en la intersección 3.
 - 1 en la intersección 4
- **Sensores de lazo inductivo:** Uno por carril 2 en cada intersección que tenga a la calle Cochabamba, 1 en las demás intersecciones, a 10m de la intersección.
- **Sensores peatonales:** Cámaras/ultrasónicos en pasos peatonales 2 en cada intersección.
- **Luces LED de alerta:** Integradas en semáforos de la vía principal.
- **Flujos de datos:**
 - Sensores de lazo → Centro: “Datos de volumen vehicular” (por ejemplo, 1000 vehículos/hora).
 - Sensores peatonales → Centro: “Datos de peatones” (por ejemplo, 780 peatones/hora).
 - Centro → Semáforos: “Comandos de ciclo” (por ejemplo, verde +5s).
 - Centro → Luces LED: “Alertas de cruce peatonal”.

3.7.1.4. Vista de Comunicaciones

- **Red:** 4G, conecta todos los componentes al centro de control.
- **Protocolos:**
 - **NTCIP** (etiqueta en líneas a semáforos): Estándar para control de señales.
 - **XML/JSON** (etiqueta en líneas a sensores): Formato de datos de sensores.
- **Seguridad:** Encriptación TLS para comunicaciones.
- **Flujos:**
 - Sensores → Centro: Datos continuos (cada 5s).
 - Centro → Semáforos: Comandos cada ciclo (60s).
 - Centro → Luces LED: Alertas en tiempo real.

3.7.2. Implementación ARC-IT en la intersección 1

- **Geometría:** Vía principal bidireccional la cual es considerada la calle Cochabamba (un carril por sentido, 4.5m cada uno), calle secundaria unidireccional en este caso es la calle Corazón de Jesús (un carril, giro a izquierda visto de este a oeste), pasos peatonales en la vía principal y secundaria.
- **Problemas:** Congestión vehicular, cruces peatonales informales, conflictos vehículo-peatón, semáforos fijos.
- **Servicios ARC-IT:**
 - **Implementación de modulo VAP:** Es un módulo que permite modelar el control de señales de tráfico basado en la presencia de vehículos. Con VAP, se pueden simular sistemas de control de tráfico adaptativo, donde las señales cambian de acuerdo a las condiciones del tráfico en tiempo real.
 - **TM03 (Traffic Signal Control):** Semáforos adaptativos para optimizar flujos.
 - **TM07 (Pedestrian Mobility):** Detección de peatones para mejorar seguridad.
 - **TM03 (Semáforos adaptativos):**
 - Se implemento **VAP** para programar semáforos dinámicos.
 - Se configuro detectores en carriles (a 10m) y pasos peatonales.
 - Reglas: Verde +5s si >10 vehículos, fase peatonal si >5 peatones.
 - **TM07 (Detección peatonal):**
 - Se implemento la simulación de sensores con detectores en pasos peatonales.
 - Reduce cruces informales (de 35% a 20%) ajustando prioridades y señalización.
 - **TI01 (Información):**
 - Usa **Dynamic Traffic Assignment** para simular que 20% de conductores eligen rutas alternativas.

- **Combinado:** Se integra TM03+TM07, con centro de control simulado como lógica VAP.

2. Simulación:

- Ejecuto 1 hora (sábado 8:00-9:00), 5-10 corridas.
- Evalúa: retrasos, colas, conflictos, emisiones.

3. Resultados:

- **Base:** Retrasos 30s, 20 conflictos/hora, 35% cruces informales.
- **ITS:** Retrasos 20s, 14 conflictos/hora, 20% cruces informales.

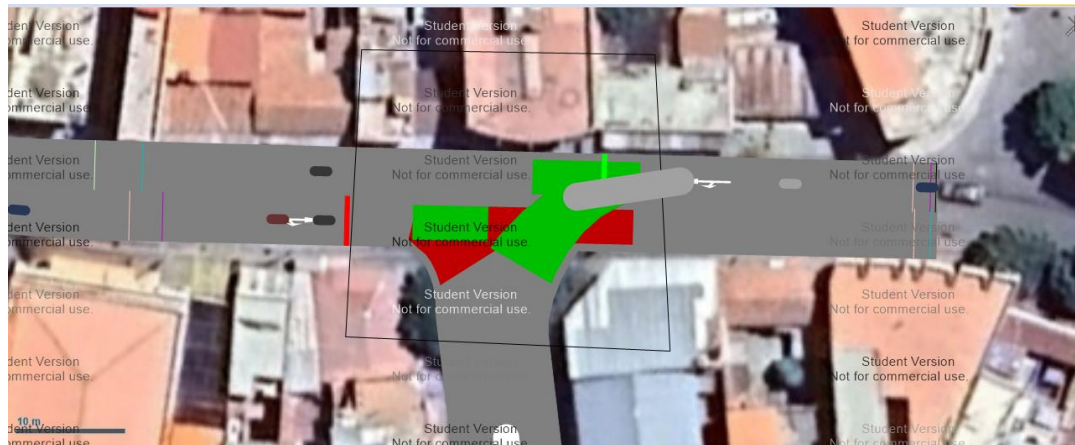
• Plan de implementación real

- **Fase 1 (6 meses):** Instalar semáforos adaptativos y sensores peatonales (\$50,000 aproximadamente).
- **Fase 2 (12 meses):** Añadir VMS y cámaras de tráfico (\$30,000).
- **Actores:** Gobierno municipal de Tarija (financia/opera), comerciantes (validan), universidad (asesoría técnica).
- **Capacitación:** Personal municipal en gestión ITS.
- **Financiamiento:** Presupuesto municipal.

• Consideraciones específicas

- **Geometría:** El giro a izquierda desde la calle Cochabamba es un punto crítico. Se priorizo fases específicas para este movimiento en TM03.
- **Peatones:** La alta incidencia de cruces informales (35%) requiere sensores (TM07) y señalización.
- **Tarija:** Usa 4G y soluciones modulares por limitaciones presupuestarias.
- **ARC-IT:** Asegúrate de que los componentes (semáforos, sensores) usen NTCIP para interoperabilidad.
- **NTCIP:** Se refiere a la comunicación con equipos de control de tráfico, como semáforos, paneles de mensaje variable y sensores, utilizando el Protocolo de Comunicaciones de Transporte Nacional para Sistemas de Transporte Inteligentes. Este protocolo permite la interoperabilidad e intercambio de datos entre diferentes sistemas de control de tráfico, facilitando la integración de estos equipos en la simulación de tráfico.

Figura 27. Implementación de sistema ARC-IT en la intersección 1.



Fuente: Elaboración propia.

En conclusión se implemente 2 semáforos dinámicos, los cuales tienen sensores y además de conteo tanto para vehículos y peatones, el semáforo que se encuentra en la calle Cochabamba en dirección Este a Oeste, tiene solamente un semáforo que indica el giro a izquierda cuando el semáforo instalado en la calle Cochabamba en dirección Oeste a Este se encuentra en rojo, es decir que se permite el paso vehicular tanto de frente como el giro a izquierda, se pone en rojo si es que existe peatones cruzando desde el mercado La Loma al frente en dirección perpendicular, luego de ello se dinamiza el sistema recibiendo datos de vehículos y peatones existentes, los cuales se modifican los ciclos si es que hay un flujo considerable más que todo en horas pico.

3.7.3. Implementación ARC-IT en la intersección 2

3.7.3.1. Descripción de la intersección

- **Calle Cochabamba:**
 - Bidireccional: Un carril por sentido (4.5m cada uno).
 - Sentidos: Este-oeste (E-O) y oeste-este (O-E).
 - Movimientos permitidos:
 - **Giro a izquierda:** Desde O-E hacia Calle Venezuela (quedando de norte-sur, S-N).
 - **Giro a derecha:** Desde E-O hacia Calle Venezuela (S-N).

- **Calle Venezuela:**
 - Unidireccional: Sur-Norte (S-N, un carril, 7.00 m).
 - Cruza la intersección y continúa hacia el norte.
 - Movimientos permitidos desde Venezuela (antes de cruzar Cochabamba):
 - **Giro a derecha:** Hacia Cochabamba O-E.
 - **Giro a izquierda:** Hacia Cochabamba E-O.
 - **Seguir recto:** Continúa S-N, cruzando Cochabamba.
- **Contexto:** Mercado La Loma, alta afluencia peatonal, congestión vehicular, semáforos fijos, y cámaras CCTV de seguridad (no de tráfico).
- **Problemas:**
 - **Vehicular:** Retrasos por giros a izquierda (O-E a Venezuela, Venezuela a Cochabamba E-O), colas en Venezuela, conflictos en movimientos cruzados.
 - **Peatonal:** Cruces informales, pasos peatonales insuficientes, conflictos vehículo-peatón.
 - **Información:** Falta de alertas en tiempo real para conductores/peatones.

3.7.3.2. Servicios ARC-IT a utilizar

Basado en los problemas de la intersección, selecciona servicios ARC-IT relevantes:

- **Traffic Signal Control (TM03):** Semáforos adaptativos para optimizar ciclos según la demanda vehicular y peatonal, priorizando giros a izquierda y cruces.
- **Pedestrian Mobility (TM07):** Detección de peatones en pasos peatonales para activar fases seguras y reducir cruces informales.
- **Traveler Information (TI01):** Paneles de mensajes variables (VMS) para informar a conductores sobre congestión o rutas alternativas.

3.7.3.3. Implementar el ITS en la intersección

Diseña la solución ITS, integrando TM03 y TM07:

- **Traffic Signal Control (TM03):**
 - **Componentes:** 4 semáforos inteligentes (2 en Cochabamba, 2 en Venezuela).
 - **Funcionalidad:**

- Ajusta ciclos según demanda (verde extendido si >10 vehículos).
 - Fases específicas para giros a izquierda (Cochabamba O-E → Venezuela, Venezuela → Cochabamba E-O).
 - Prioriza Cochabamba en hora pico.
 - **Tecnología:** Sensores de lazo, conectividad 4G, NTCIP.
 - **Ubicación:** Semáforos en postes existentes, sensores a 10m.
- **Pedestrian Mobility (TM07):**
 - **Componentes:** 4 sensores peatonales (cámaras/ultrasónicos), 4 luces LED.
 - **Funcionalidad:**
 - Detecta peatones (>5) para activar fases peatonales.
 - Luces LED advierten a conductores en cruces.
 - Reduce cruces informales con señalización (carteles, luces).
 - **Tecnología:** Cámaras con análisis de video, 4G.
 - **Ubicación:** Sensores en pasos peatonales, LED en semáforos.
- **Traveler Information (TI01):**
 - **Componentes:** 1 VMS en Cochabamba O-E.
 - **Funcionalidad:** Informa congestión o rutas alternativas, el mensaje sería, por ejemplo, “Giro izquierda congestionado”.
 - **Tecnología:** VMS conectado a 4G.
 - **Ubicación:** Poste a 50m antes de la intersección.

3.7.3.4. Simulación del ITS en software

evalúa el ITS comparando el escenario actual (base) con el escenario ITS.

- **Geometría:**
 - Cochabamba: 2 enlaces (E-O, O-E).
 - Venezuela: 1 link S-N con conectores para giros (izquierda, derecha, recto).
 - Pasos peatonales: Áreas peatonales (50% mujeres, 50% varones).
- **Flujos:**

- **Vehículos:** Aforo según datos obtenidos en campo en vehículos/hora para la calle Cochabamba, y la calle Venezuela.
- **Peatones:** Aforo de peatones obtenidos en campo para cada intersección en horas pico.
- **Semáforos:** Ciclo fijo (60s: 30s Cochabamba, 20s Venezuela, 10s peatonal).
- **Comportamiento:** Wiedemann 99 (vehículos, ~1m seguimiento), Viswalk (peatones, 35% cruces informales).
- **Calibración:** Valida con colas/retrasos observados.

2. Escenario ITS:

- **TM03:**
 - Se usa **VAP** para semáforos adaptativos.
 - Detectores en carriles (a 10m): Verde +5s si >10 vehículos, fase para giros a izquierda.
- **TM07:**
 - Detectores peatonales: Fase peatonal si >5 peatones.
 - Reduce cruces informales a 20% con señalización simulada.
- **TI01:**
 - **Dynamic Traffic Assignment:** 20% de conductores evitan giros a izquierda.
- **Combinado:** TM03+TM07, centro de control simulado en VAP.

3. Simulación:

- 1 hora, 5-10 corridas.
- Métricas: Retrasos, colas, conflictos (SSAM), emisiones.

4. Resultados esperados:

- **Base:** Retrasos 30s, 20 conflictos/hora, 35% cruces informales.
- **ITS:** Retrasos 20s, 14 conflictos/hora, 20% cruces informales.

3.7.3.5. Plan de implementación real

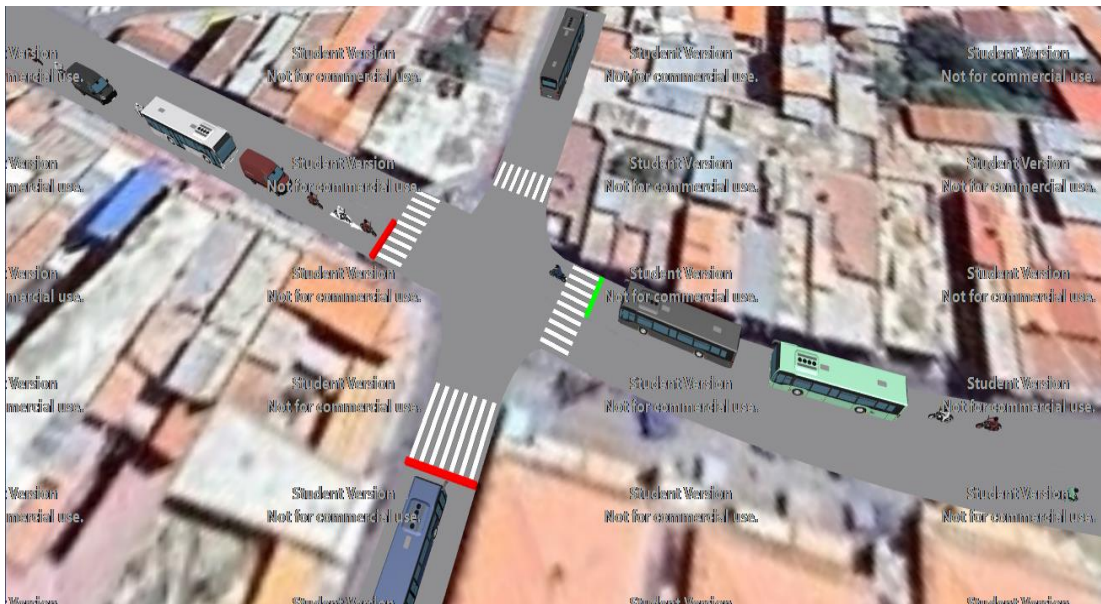
- **Fase 1 (6 meses):** Semáforos y sensores (\$60,000).
- **Fase 2 (12 meses):** VMS y cámaras (\$30,000).

- **Actores:** Municipalidad (financia/opera), comerciantes (retroalimentación), universidad (asesoría).
- **Capacitación:** Personal en ITS.
- **Financiamiento:** Presupuesto municipal.

3.7.3.6. Consideraciones específicas

- **Giros a izquierda:** Prioriza fases para Cochabamba O-E → Venezuela y Venezuela → Cochabamba E-O, puntos críticos.
- **Peatones:** TM07 reduce cruces informales en pasos peatonales de Cochabamba (mayor afluencia).
- **Tarija:** Usa 4G y NTCIP por costos y compatibilidad.
- **simulador:** Se modela cuidadosamente los 5 movimientos vehiculares (2 giros a izquierda, 2 a derecha, 1 recto).

Figura 28. Implementación de ARC-IT en la intersección 2.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.4. Implementación ARC-IT en la intersección 3

3.7.4.1. Descripción de la intersección

- **Calle Venezuela:**
 - Unidireccional: Sur a norte (S-N), un carril (7.0 m).

- Movimientos: Flujo continuo S-N, recibe giro de la derecha desde Hermanos Rojas.
- **Calle Hermanos Rojas:**
 - Unidireccional: Este a oeste (E-O), un carril (6.2m).
 - Movimiento permitido: Giro a la derecha hacia Venezuela (S-N).
- **Contexto:** Mercado La Loma, alta afluencia peatonal, congestión vehicular, semáforos inexistentes, cámaras CCTV inexistentes.
- **Problemas:**
 - **Vehicular:** Retrasos por el giro a la derecha desde Hermanos Rojas (conflicto con flujo de Venezuela), posibles colas en Hermanos Rojas.
 - **Peatonal:** Cruces informales, pasos peatonales insuficientes, conflictos vehículo-peatón en la intersección.
 - **Información:** Falta de datos en tiempo real para conductores y peatones.

3.7.4.2. Implementación del ITS basado en ARC-IT

Diseñando la solución ITS, integrando los servicios TM03 y TM07 para la intersección:

- **Traffic Signal Control (TM03):**
 - **Componentes:** 2 semáforos inteligentes (1 en Venezuela S-N, 1 en Hermanos Rojas E-O).
 - **Funcionalidad:**
 - Ajusta ciclos según la demanda vehicular:
 - Prioriza Venezuela con verde extendido (por ejemplo, +5s si >10 vehículos detectados).
 - Fase específica para el giro a la derecha desde Hermanos Rojas, activada por detectores (por ejemplo, verde si >5 vehículos en cola).
 - Incluye fases peatonales dinámicas coordinadas con TM07.
 - **Tecnología:** Sensores de lazo inductivo, conectividad 4G, protocolo NTCIP.
 - **Ubicación:**
 - Semáforo en Venezuela: Poste a 5m antes de la intersección.

- Semáforo en Hermanos Rojas: Poste a 5m antes del giro.
- Sensores de lazo: A 10m antes de la intersección en cada carril.
- **Pedestrian Mobility (TM07):**
 - **Componentes:** 3 sensores peatonales (cámaras o ultrasónicos), 2 luces LED de alerta.
 - **Funcionalidad:**
 - Detecta peatones (>5) en pasos peatonales para activar fases peatonales seguras.
 - Luces LED integradas en semáforos advierten a conductores cuando hay cruces peatonales.
 - Reduce cruces informales mediante señalización adicional (carteles o líneas pintadas).
 - **Tecnología:** Cámaras con análisis de video o sensores ultrasónicos, conectados vía 4G.
 - **Ubicación:**
 - Sensores peatonales: 2 en pasos peatonales de Venezuela (uno por lado), 1 en el paso de Hermanos Rojas.
 - Luces LED: En los semáforos de Venezuela y Hermanos Rojas.
- **Traveler Information (TI01):**
 - **Componentes:** 1 VMS en Venezuela S-N.
 - **Funcionalidad:** Informa a conductores sobre congestión o incidentes (por ejemplo, “Cola en giro desde Hermanos Rojas”).
 - **Tecnología:** VMS conectado a 4G, datos procesados por el centro de control.
 - **Ubicación:** Poste a 50m antes de la intersección en Venezuela, visible para conductores en dirección S-N.

3.7.4.3. Simulación del ITS en simulador

1. Modelo base (sin ITS):

- **Geometría:**
 - **Calle Venezuela:** 1 enlace unidireccional (S-N).

- **Calle Hermanos Rojas:** 1 enlace unidireccional (E-O) con un conector para el giro a la derecha hacia Venezuela.
- **Pasos peatonales:** Áreas peatonales en Venezuela (2) y Hermanos Rojas (1), con trayectorias definidas (50% mujeres, 50% varones).
- **Flujos:**
 - **Vehículos:**
 - Venezuela: Según aforo vehicular en campo vehículos/hora (S-N).
 - Hermanos Rojas: Según aforo vehicular en campo vehículos/hora (E-O, todos giran a la derecha).
 - **Peatones:** Según aforo peatonal por paso peatonal.
- **Semáforos:**
 - No hay semáforos, usa reglas de prioridad (Venezuela tiene precedencia).
- **Comportamiento:**
 - Vehículos: Modelo **Wiedemann 99**, ajustado para tráfico urbano (distancia de seguimiento ~1m, conducción agresiva).
 - Peatones: Módulo **Viswalk**, con 35% de trayectorias informales fuera de pasos peatonales.
- **Calibración:**
 - Compara colas y retrasos simulados con observaciones en campo.
 - Ajusta parámetros como tiempo de reacción (~1s) o velocidad peatonal (1-1.5 m/s).

2. Escenario ITS:

- **TM03 (Semáforos adaptativos):**
 - Utilizar el módulo **VAP** (Vehicle Actuated Programming) para programar semáforos dinámicos.
 - Configurar detectores de lazo en Venezuela y Hermanos Rojas (a 10m).

- Reglas:
 - Extiende verde en Venezuela si >10 vehículos detectados.
 - Activa fase para giro a la derecha desde Hermanos Rojas si >5 vehículos en cola.
 - Coordina fases peatonales con TM07.
- **TM07 (Detección peatonal):**
 - Simula sensores peatonales con detectores en pasos peatonales.
 - Activa fases peatonales si >5 peatones detectados.
 - Reduce cruces informales a 20% ajustando trayectorias en Viswalk (más peatones usan pasos legales).
 - Simula luces LED como prioridades visuales en cruces.
- **Escenario combinado:**
 - Integra TM03 y TM07, con un centro de control simulado como lógica VAP que procesa datos de sensores y ajusta semáforos.

3. Simulación:

- **Duración:** 1 hora (hora pico).
- **Repeticiones:** 5-10 corridas para promediar resultados

4. Resultados:

- **Modelo base:** Retrasos de 25s/vehículo, 15 conflictos/hora, 35% cruces informales.
- **Escenario ITS:** Retrasos de 18s/vehículo, 10 conflictos/hora, 20% cruces informales.

3.7.4.4. Plan de implementación real

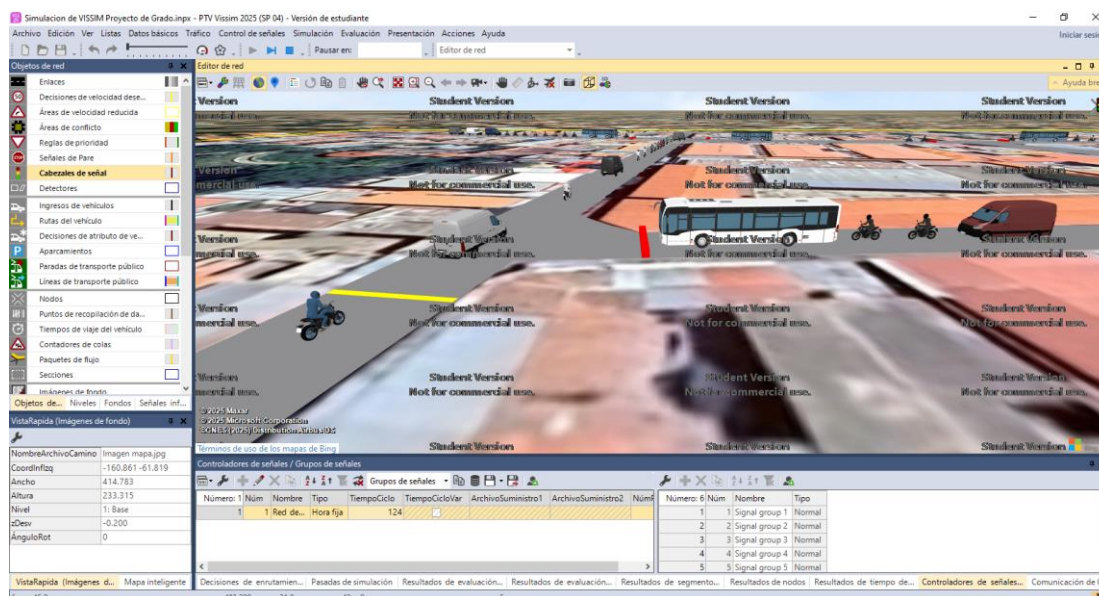
- **Fase 1 (6 meses):**
 - Instalar 2 semáforos inteligentes y 2 sensores de lazo (\$25,000).
 - Instalar 3 sensores peatonales y 2 luces LED (\$15,000).
- **Fase 2 (12 meses):**
 - Instalar 1 VMS (\$15,000).
 - Añadir cámaras de tráfico para monitoreo adicional (\$10,000).

- **Total estimado:** ~\$65,000.
- **Actores:**
 - **Gobierno Municipal de Tarija:** Financia y opera el sistema.
 - **Comerciantes del Mercado La Loma:** Proveen retroalimentación sobre impacto.
 - **Universidad Juan Misael Saracho:** Asesoría técnica (por ejemplo, validación de simulaciones).
- **Capacitación:** Personal municipal en operación y mantenimiento de sistemas ITS.
- **Financiamiento:** Presupuesto municipal.

3.7.4.5. Consideraciones específicas

- **Geometría simple:** La intersección es un cruce en “L” (Venezuela S-N, Hermanos Rojas E-O con giro a la derecha), lo que simplifica la semaforización pero requiere atención al giro desde Hermanos Rojas, donde se forman colas.
- **Giro a la derecha:** El movimiento desde Hermanos Rojas a Venezuela es crítico. TM03 debe garantizar fases cortas pero efectivas para evitar retrasos, coordinadas con el flujo principal de Venezuela.
- **Alta afluencia peatonal:** TM07 es esencial para reducir cruces informales (35%) en los pasos peatonales de Venezuela, donde se concentra el flujo (780 peatones/hora).
- **Infraestructura actual:** La probable ausencia de semáforos avanzados o cámaras de tráfico justifica la inversión en ITS. Si no hay semáforos, el modelo base en usará reglas de prioridad (Venezuela primero).
- **Limitaciones de Tarija:** Usa red 4G (más económica que 5G) y componentes modulares para ajustarse al presupuesto municipal. El protocolo NTCIP asegura interoperabilidad con futuros sistemas ITS.
- **Cultura vial:** Observa los comportamientos locales, como cruces peatonales informales y conducción agresiva.

Figura 29. Simulación de la intersección 3.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.5. Implementación ARC-IT en la intersección 4

Descripción de la intersección

- **Calle Corazón de Jesús:**
 - Unidireccional: Norte a sur (N-S), un carril (10.0 m, típico en Tarija).
 - Movimientos: Flujo continuo N-S, realiza un giro a la derecha desde Hermanos Rojas.
- **Calle Hermanos Rojas:**
 - Unidireccional: Este a oeste (E-O), un carril (6.20 m).
 - Movimiento: Giro a la derecha hacia Corazón de Jesús (N-S).
- **Problema:**
 - **Cruces peatonales:** Alta tasa de cruces informales (35%), pasos peatonales insuficientes o inseguros, posibles conflictos vehículo-peatón.
 - **Flujo vehicular:** Sin congestión, indicando capacidad adecuada (~600 vehículos/hora en Corazón de Jesús, ~150 en Hermanos Rojas).

3.7.5.1. Pasos para implementar el ITS basado en ARC-IT

Dado que el problema principal observado es peatonal y no se observó congestión vehicular, se priorizan servicios que mejoren la seguridad peatonal:

- **Movilidad Peatonal (TM07):** Detecta peatones en pasos peatonales para activar fases de cruce seguras, reduciendo cruces informales y conflictos.
- **Control de Semáforos (TM03):** Implementa semáforos adaptativos para coordinar fases peatonales con el flujo vehicular, evitando retrasos innecesarios.
- **Información al Viajero (TI01) (opcional):** Usa luces LED en semáforos para alertar a los conductores sobre cruces peatonales, aumentando la seguridad.

3.7.5.2. Datos de la intersección

Datos necesarios para diseñar y simular el ITS, basados en aforos peatonales previos y estimaciones vehiculares:

- **Aforo peatonal:**
 - Según aforo peatonal en campo.
- **Aforo vehicular:**
 - **Corazón de Jesús:** Según datos obtenidos de campo.
 - **Hermanos Rojas:** Según datos obtenidos de campo.
- **Geometría:**
 - Corazón de Jesús: 1 carril N-S (10.0 m), veredas de 2 m, pasos peatonales a ambos lados.
 - Hermanos Rojas: 1 carril E-O (6.20 m), paso peatonal en el lado oeste (antes del giro).
- **Semáforos actuales:** Ausencia de semáforos (prioridad para Corazón de Jesús).
- **Cámaras:** Inexistentes
- **Comportamiento:**
 - Peatones: 35% cruzan fuera de pasos peatonales, especialmente en Corazón de Jesús por la actividad del mercado.
 - Vehículos: Flujo suave, leves retrasos en Hermanos Rojas al girar.

3.7.5.3. Implementar el ITS en la intersección

- **Movilidad Peatonal (TM07):**
 - **Componentes:** 3 sensores peatonales, 3 botones de solicitud, 2 luces LED.
 - **Funcionalidad:**
 - Sensores detectan más de 3 peatones o activación de botones para iniciar una fase de cruce segura.
 - Luces LED parpadean para alertar a los choferes durante los cruces peatonales.
 - Reducir cruces informales con señalización (letreros: “Cruzar por el paso peatonal”) y líneas pintadas en la calle.
 - **Tecnología:** Sensores ultrasónicos o cámaras con análisis de video, conectados por 4G.
 - **Ubicación:**
 - Sensores y botones en los pasos peatonales (2 en Corazón de Jesús, 1 en Hermanos Rojas).
 - Luces LED en los semáforos, visibles para choferes en ambas calles.
- **Control de Semáforos (TM03):**
 - **Componentes:** 2 semáforos adaptativos.
 - **Funcionalidad:**
 - Coordina fases peatonales con el flujo vehicular, dando prioridad a Corazón de Jesús (600 vehículos/hora).
 - Fase peatonal de 15 segundos activada por sensores o botones, con transiciones rápidas (5 s) para no retrasar vehículos.
 - Permite giros desde Hermanos Rojas sin colas.
 - **Tecnología:** Semáforos compatibles con NTCIP, conectados por 4G.
 - **Ubicación:** Semáforos en postes existentes (1 en Corazón de Jesús, 1 en Hermanos Rojas).

- **Información al Viajero (TI01)** (opcional):
 - **Componentes:** Luces LED en semáforos (en lugar de un panel VMS, para ahorrar costos).
 - **Funcionalidad:** Alertan a los choferes sobre cruces peatonales (por ejemplo, luz parpadeante con texto “Peatones”).
 - **Ubicación:** Integradas en los semáforos.

3.7.5.4. Simulación el ITS en simulador

1. Modelo base (situación actual):

- **Geometría:**
 - Corazón de Jesús: 1 enlace unidireccional (N-S).
 - Hermanos Rojas: 1 enlace unidireccional (E-O) con conector para giro a la derecha.
 - Pasos peatonales: Áreas peatonales (2 en Corazón de Jesús, 1 en Hermanos Rojas).
- **Flujos:**
 - **Vehículos:** Según aforo vehicular en campo.
 - **Peatones:** Según aforo peatonal en campo.
- **Semáforos:**
 - No existen: Prioridad para Corazón de Jesús (Hermanos Rojas cede el paso).
- **Comportamiento:**
 - Vehículos: Modelo **Wiedemann 99**, configurado para tráfico urbano (distancia de seguimiento ~1 m).
 - Peatones: Módulo **Viswalk**, con 35% de cruces informales (trayectorias fuera de pasos peatonales).
- **Calibración:** Comparar tiempos de cruce y conflictos observados en campo con los simulados.

2. Escenario ITS:

- **TM07:**
 - Simular sensores peatonales como detectores en pasos peatonales.

- Activar fase peatonal de 15 s cuando se detecten >3 peatones o se presione un botón.
- Reducir cruces informales a 20% ajustando trayectorias en Viswalk (más peatones usan pasos legales).
- Simular luces LED como prioridades visuales durante fases peatonales.
- **TM03:**
 - Usar **VAP** (Vehicle Actuated Programming) para semáforos adaptativos.
 - Reglas:
 - Mantener verde en Corazón de Jesús salvo fase peatonal o >5 vehículos en Hermanos Rojas.
 - Fase peatonal de 15 s bajo demanda, con transición de 5 s.
 - Asegurar retrasos vehiculares mínimos (<10 s).
- **Escenario combinado:** Integrar TM07 y TM03, con lógica de centro de control en VAP.

3. Simulación:

- Duración: 1 hora (horas pico).
- Corridas: 5-10 para resultados confiables.
- Métricas:
 - Porcentaje de cruces informales.
 - Conflictos vehículo-peatón (usando **SSAM**).
 - Tiempo de cruce peatonal.
 - Retraso vehicular (debe ser <10 s).

4. Resultados esperados:

- **Base:** 35% cruces informales, 10 conflictos/hora, 20 s de tiempo de cruce.
- **ITS:** 20% cruces informales, 7 conflictos/hora, 15 s de tiempo de cruce, <10 s de retraso vehicular.

3.7.5.5. Plan de implementación real

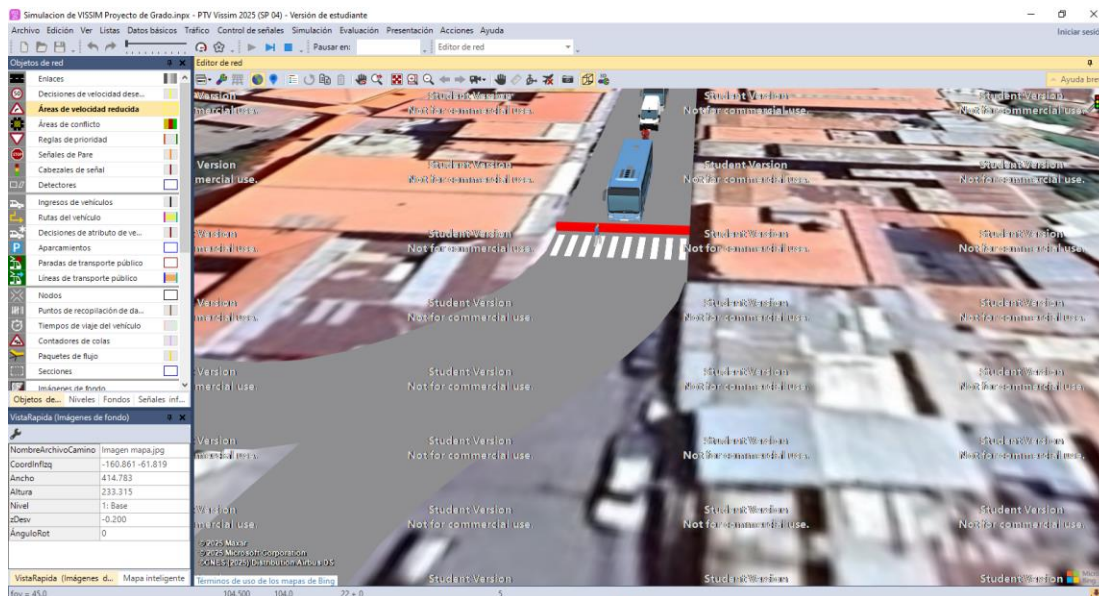
- **Fase 1 (6 meses):**
 - Instalar 2 semáforos, 3 sensores peatonales, 3 botones, 2 luces LED (Bs 207,000).
 - Configurar un centro de control básico en la Alcaldía (Bs 34,500).
- **Fase 2 (12 meses):**
 - Colocar letreros y pintar líneas para guiar a los peatones (Bs 34,500).
 - Opcional: Instalar una cámara de tráfico para monitoreo (Bs 34,500).
- **Costo total:** ~Bs 310,500 (~USD 45,000, a Bs 6.96 por USD).
- **Actores:**
 - **Alcaldía de Tarija:** Financia y opera el sistema.
 - **Comerciantes del Mercado La Loma:** Dan retroalimentación sobre los cruces peatonales.
 - **Universidad Juan Misael Saracho:** Apoya con asesoría técnica (por ejemplo, validación de simulaciones).
- **Capacitación:** Personal de la Alcaldía en operación y mantenimiento de ITS (cursos básicos, ~Bs 20,000).
- **Financiamiento:** Presupuesto de la Alcaldía, préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), o fondos de ONGs para movilidad urbana.

3.7.5.6. Consideraciones específicas

- **Enfoque en peatones:** TM07 es el servicio principal, atacando el problema de cruces inseguros. Sensores y botones aseguran fases de cruce activadas por demanda, y las luces LED aumentan la visibilidad.
- **Sin congestión vehicular:** TM03 se simplifica para coordinar fases peatonales sin afectar el flujo vehicular. Los semáforos dan prioridad a Corazón de Jesús y permiten giros desde Hermanos Rojas sin retrasos.
- **Intersección sencilla:** La forma de “L” (Corazón de Jesús N-S, Hermanos Rojas E-O con giro a la derecha) necesita solo 2 semáforos, reduciendo costos.
- **Contexto de Tarija:** Usar red 4G (disponible y barata) y protocolo NTCIP para que el sistema sea compatible con futuros ITS en Tarija. Evitar componentes caros como paneles VMS, ya que no hay congestión.

- **Comportamiento local:** modelar el 35% de cruces informales refleja el hábito de los peatones en el Mercado La Loma de cruzar por cualquier lado para llegar rápido a los puestos.

Figura 30. Simulación en la intersección 4.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.6. Resumen de la aplicación

1. Definir alcance y puntos de estudio

Se seleccionaron **4 intersecciones** del entorno del Mercado La Loma:

- (1) C. Cochabamba × C. Corazón de Jesús; (2) C. Cochabamba × C. Venezuela;
(3) C. Venezuela × C. Hermanos Rojas; (4) C. Hermanos Rojas × C. Corazón de Jesús.

2. Recolección y depuración de datos

- **Aforo vehicular** por hora pico, depurado y consolidado para cada intersección (veh/h).
- **Velocidad de punto** (medición 25 m con cronómetro, varias semanas) y **promedios** por intersección.
- **Aforo peatonal** y **porcentaje de cruces informales** por franja horaria.

3. Levantamiento de la red (infraestructura)

- **Identificación y mapeo** de intersecciones en el área de estudio.

- **Modelado de “links” y “conectores”** según la geometría real de cada cruce.

4. Control de tráfico base

- **Colocación de semáforos** donde existen, con su funcionamiento observado en sitio.
- En intersecciones **no semaforizadas**, uso de **reglas de prioridad**/ceda el paso.

5. Ingreso de demanda

- Cargar **volúmenes por movimiento** (frente/giro) a partir de los **aforos depurados**.
- Ingresar **composición vehicular** (liviano/mediano/pesado) derivada de tablas de aforo.

6. Flujo peatonal y áreas de cruce

- Crear **áreas peatonales/pasos** y asignar **flujos peatonales** observados; registrar **cruces informales**.

7. Parámetros de comportamiento

- Uso de **modelos de microsimulación** (Wiedemann para vehículos; Viswalk para peatones) ajustados al contexto.

8. Escenarios para evaluación

- **Escenario Base** (condiciones actuales), incluyendo, donde aplica, ciclos fijos representativos (ej., 60 s con reparto por arteria y fase peatonal).
- **Escenario ITS** (mejorado): semáforos **adaptativos** (TM03) y **detección peatonal** (TM07), programados (p. ej., con **VAP** para lógica adaptativa).

9. Calibración y verificación

- Ajustar el modelo hasta reproducir **colas, retrasos y patrones** observados (ej., congestión en Intersección 2).
- Criterios y definición de **calibración/validación** según el marco teórico del documento.

10. Configuración de corrida

- **Duración** típica: 1 h en hora pico; **5–10 corridas** para estabilidad de resultados.
- **Métricas**: retraso vehicular, longitud de cola, **conflictos** (SSAM), **cruces informales** y tiempo de cruce peatonal.

11. Comparación y análisis

- Comparar **Base vs ITS** (semáforo adaptativo + TM07) y reportar cambios en retrasos/colas/cruces informales.

3.7.7. Puntos clave de la aplicación de software

Intersección 1 – C. Cochabamba × C. Corazón de Jesús

- **Datos clave**: aforo depurado **336 veh/h**; velocidad promedio **20,61 km/h**.
- **Modelado**: links/conectores conforme a la planta; pasos peatonales con demanda elevada.
- **Escenarios**: Base (condición actual) vs ITS (TM03/TM07) según metodología general.

Intersección 2 – C. Cochabamba × C. Venezuela

- **Datos clave**: aforo depurado **410 veh/h**; velocidad promedio **18,72 km/h**; punto crítico con **congestión** visible en la simulación.
- **Escenarios**: Base con ciclo representativo y **ITS con semáforo adaptativo (VAP) + detección peatonal**, priorizando Cochabamba/Venezuela en punta.

Intersección 3 – C. Venezuela × C. Hermanos Rojas

- **Datos clave**: aforo depurado **58 veh/h**; velocidad promedio **13,37 km/h**.
- **Geometría de simulación**: Venezuela (S–N) y Hermanos Rojas (E–O) con conectores para giros; **áreas peatonales** y conteos pico; **Base** con ciclo fijo representativo y **ITS** con TM03/TM07.
- **Validación**: se reporta comparación de resultados con el comportamiento observado (colas/retrasos).

Intersección 4 – C. Hermanos Rojas × C. Corazón de Jesús

- **Datos clave**: aforo depurado **105 veh/h**; velocidad promedio **14,62 km/h**.
- **Base**: sin semáforos (prioridad a Corazón de Jesús); alta **movilidad peatonal** y cruces fuera de paso.

- ITS **: ** fases peatonales por demanda (TM07) coordinadas con dos semáforos adaptativos (TM03), con criterios de activación y tiempos claros en el modelo.

3.8. Presupuesto estimado

Se obtuvo un costo estimado de este sistema que se podría implementar a cada intersección, de esta manera se obtuvo la siguiente planilla de costos:

Tabla 24. Costos de implementación.

Ítem	Descripción	Und.	Cant.	Precio Unitario (Bs.)	Costo Total (Bs.)
1	Controlador de Tráfico Inteligente (ARC IT)	Unidad	1	150,000.00	150,000.00
2	Sensores de Detección de Vehículos (e.g., cámaras o bucles inductivos)	Unidad	4	25,000.00	100,000.00
3	Software de Gestión de Tránsito ARC IT (licencia anual)	Licencia	1	80,000.00	80,000.00
4	Infraestructura de Comunicación (fibra óptica, routers, etc.)	Lote	1	50,000.00	50,000.00
5	Postes y Soportes para Equipamiento	Unidad	4	5,000.00	20,000.00
6	Instalación y Configuración del Sistema	Servicio	1	60,000.00	60,000.00
7	Capacitación al Personal Técnico	Servicio	1	15,000.00	15,000.00
8	Mantenimiento Preventivo (primer año)	Servicio	1	20,000.00	20,000.00
Total					495,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Anterior a esta planilla se realizó un análisis de precios unitarios el cual se encuentra en el apartado de anexos.

3.8.1. Evaluación de rentabilidad

Para determinar si es rentable instalar un sistema de control de tránsito adaptativo como el ARC IT en Tarija, Bolivia, analizaremos los costos, beneficios y la idoneidad del sistema en el contexto local, considerando factores económicos, operativos y sociales. Tarija, presenta un entorno semiurbano con densidad de tráfico moderada en comparación con ciudades como La Paz o Santa Cruz. La evaluación se basa en la planilla de costos aproximada de 495,000 Bs. por intersección, los beneficios potenciales y las condiciones locales, utilizando información general sobre sistemas de control de tránsito inteligente (ATCS) y datos específicos cuando están disponibles. La

rentabilidad se medirá mediante un análisis costo-beneficio, retorno de inversión (ROI) y la alineación con las necesidades de gestión de tráfico de Tarija.

3.8.1.1. Costos de implementación:

- Costo Total por Intersección: 495,000 Bs.
- Componentes: Incluye hardware (controlador, sensores, infraestructura), software, instalación, capacitación y mantenimiento.
- Costos a Escala: Implementar el sistema en múltiples intersecciones (e.g., 10 intersecciones) podría costar alrededor de 4.95 millones de Bs, sin incluir sistemas de control central o integración a nivel ciudad.
- Costos de Mantenimiento: El mantenimiento anual podría representar entre el 10-15% del costo inicial (50,000–75,000 BOB por intersección por año), según tendencias globales de ATCS.
- Costos de Personal: Operar el sistema requiere personal capacitado, lo que podría representar hasta el 30% de los gastos operativos. En Tarija, la falta de experiencia local podría aumentar los costos por consultores externos o capacitación.

3.8.1.2. Beneficios potenciales:

Los sistemas ARC IT, ajustan los semáforos en tiempo real según los datos de tráfico, ofreciendo los siguientes beneficios:

- **Reducción de Tiempos de Viaje y Retrasos:** Los estudios indican que los sistemas ARC-IT pueden reducir los tiempos de viaje en un 12–25% y los tiempos de espera en semáforos en un 20–40%. Por ejemplo, en Gandhinagar, India, los tiempos de viaje disminuyeron entre un 12–20%.
- **Ahorro de Combustible y Reducción de Emisiones:** Los sistemas ARC-IT pueden reducir el consumo de combustible hasta en un 15% y las emisiones en un 10–20%. En Tarija, donde crecen las preocupaciones ambientales, esto apoya los objetivos de sostenibilidad.
- **Mejora de la Seguridad:** Un flujo de tráfico más fluido reduce los accidentes, especialmente colisiones traseras, al minimizar las paradas. El plan de acción

de seguridad vial de Tarija (2023) prioriza la reducción de lesiones relacionadas con el tráfico, lo que hace relevante al sistema.

- **Beneficios Económicos:** La reducción de retrasos y consumo de combustible genera ahorros para conductores y empresas. Por ejemplo, un estudio en EE.UU. reportó ahorros de hasta USD 1 millón en combustible para 33 intersecciones. En Tarija, los ahorros dependerían del volumen de tráfico, pero podrían ser significativos para el transporte comercial y público.

3.8.1.3. Idoneidad para Tarija

- **Patrones de Tráfico:** El tráfico en Tarija es menos intenso que en grandes ciudades, pero la congestión en horas pico y la geometría deficiente de las intersecciones podrían beneficiarse del sistema. La capacidad del sistema ARC-IT para adaptarse a demandas fluctuantes es ideal para manejar tráfico variable, como durante eventos locales o días de mercado.
- **Integración con Ciudades Inteligentes:** El plan de seguridad vial de Tarija, respaldado por CAF, muestra interés en modernizar la infraestructura. El sistema ARC IT podría integrarse con iniciativas de ciudad inteligente, mejorando la movilidad urbana y atrayendo inversión.
- **Desafíos:** Los altos costos iniciales (495,000 BOB por intersección) y la falta de experiencia local podrían presionar el presupuesto municipal. Solo el 1% de las intersecciones semaforizadas en EE.UU. utilizan ARC-IT debido a barreras de costo y experiencia, lo que podría aplicarse en Tarija. Las condiciones de tráfico sobresaturado, si existen, podrían reducir la efectividad del sistema.

3.8.1.4. Análisis costo-beneficio

Para estimar la rentabilidad:

- **Costos:** Inversión inicial (495,000 BOB por intersección) más mantenimiento anual (50,000–75,000 BOB).
- **Beneficios Cuantificados:**
 - Ahorro en Tiempos de Viaje: Asumiendo una reducción del 20% en el tiempo de viaje para 5,000 vehículos diarios (estimación conservadora para una intersección concurrida en Tarija), con una reducción promedio

de 2 minutos por vehículo y un valor del tiempo de 10 BOB/hora, los ahorros diarios serían aproximadamente 3,333 BOB ($5,000 \times 2/60 \times 10$). Anualmente, esto equivale a ~1.22 millones de BOB por intersección.

- Ahorro de Combustible: Una reducción del 15% en el consumo de combustible para 5,000 vehículos, asumiendo 0.1 litros ahorrados por vehículo al día a 4 Bs/litro, genera 2,000 Bs/día o 730,000 Bs/año.
- Emisiones y Seguridad: Dificiles de cuantificar, pero añaden valor mediante la reducción de costos de salud y beneficios ambientales.
- **Estimación de ROI:** Combinando ahorros en tiempo de viaje y combustible (~1.95 millones de BOB/año), la inversión inicial podría recuperarse en aproximadamente 3–4 meses por intersección, asumiendo que los beneficios escalen linealmente. Sin embargo, el ROI real depende del volumen de tráfico y la eficiencia del sistema.

3.8.1.5. Conclusiones de costos

- **Altos Costos Iniciales:** 495,000 BOB por intersección es significativo para el presupuesto municipal de Tarija, lo que podría requerir financiamiento externo (e.g., CAF o gobierno nacional).
- **Falta de Experiencia:** La carencia de personal capacitado localmente podría aumentar la dependencia de proveedores externos, elevando los costos.
- **Barreras de Adopción:** La aceptación pública y la capacitación de operadores son críticas. La resistencia a sistemas automatizados podría obstaculizar la implementación.
- **Condiciones de Tráfico:** Si las intersecciones de Tarija presentan tráfico sobresaturado, los beneficios del sistema ARC-IT podrían ser limitados. Se necesita un estudio de factibilidad para evaluar los patrones de tráfico.

3.9. Conclusiones generales de la aplicación practica

3.9.1. Selección de intersecciones

Se seleccionaron cuatro intersecciones específicas (Cochabamba × Corazón de Jesús, Cochabamba × Venezuela, Venezuela × Hermanos Rojas, Hermanos Rojas × Corazón

de Jesús) para la simulación y la aplicación del sistema ARC-IT debido a su relevancia estratégica, alta congestión y representatividad del problema en el área del Mercado La Loma. Las razones específicas son:

- Alta congestión y afluencia: Estas intersecciones, especialmente Cochabamba × Venezuela y Cochabamba × Corazón de Jesús, presentaron los mayores volúmenes de tráfico vehicular (hasta 1,000 vehículos/hora) y peatonal (hasta 780 peatones/hora), así como un alto porcentaje de cruces informales (35%). Esto las convirtió en puntos críticos donde la congestión y los conflictos vehículo-peatón eran más evidentes, justificando su priorización para la intervención.
- Relevancia estratégica: Las intersecciones seleccionadas están ubicadas en el perímetro del Mercado La Loma, un núcleo comercial y educativo (cerca de la Unidad Educativa Avelina Raña), donde la actividad comercial y la densidad peatonal generan cuellos de botella. Estas intersecciones representan los principales accesos y salidas del mercado, afectando directamente la movilidad de comerciantes, clientes y estudiantes.
- Diversidad de problemas: Cada intersección presentó desafíos únicos que permitieron evaluar diferentes aspectos del ITS:

Intersección 1 (Cochabamba × Corazón de Jesús): Alta congestión vehicular, giros a la izquierda conflictivos y cruces peatonales informales.

Intersección 2 (Cochabamba × Venezuela): Mayor volumen vehicular, semáforos fijos ineficientes y conflictos vehículo-peatón.

Intersección 3 (Venezuela × Hermanos Rojas): Problemas de prioridad en giros a la derecha y cruces peatonales inseguros.

Intersección 4 (Hermanos Rojas × Corazón de Jesús): Alta actividad peatonal con cruces informales, pero sin congestión vehicular significativa, ideal para priorizar TM07. Esta diversidad permitió probar la flexibilidad de ARC-IT en diferentes contextos geométricos y de tráfico.
- Limitaciones de recursos y enfoque práctico: Aunque el estudio abarcó 30 intersecciones, simular todas en habría sido inviable debido a la complejidad y los recursos computacionales requeridos. Las cuatro intersecciones

seleccionadas fueron representativas de los problemas generales del área, permitiendo obtener resultados extrapolables a otras intersecciones similares. Además, el enfoque en un número reducido facilitó un análisis detallado y una implementación realista dentro del presupuesto municipal de Tarija.

- Validación del modelo: La selección de estas intersecciones permitió calibrar y validar el modelo con datos de aforos reales, asegurando que las simulaciones reflejaran las condiciones observadas en campo (por ejemplo, colas y retrasos), lo que aumentó la confiabilidad de los resultados.

3.9.2. Aplicación del software

La aplicación del software y la implementación simulada del sistema ARC-IT se llevaron a cabo de manera sistemática para modelar las condiciones actuales y evaluar las mejoras propuestas en las cuatro intersecciones seleccionadas. A continuación, se describe el proceso de aplicación y los resultados óptimos obtenidos con ARC-IT:

3.9.2.1. Aplicación de software:

- Definición del alcance y mapeo: Se delimitaron las cuatro intersecciones críticas en el entorno del Mercado La Loma, mapeándolas en con base en su geometría real (links para calles y conectores para giros). Por ejemplo, la intersección Cochabamba × Venezuela incluyó dos enlaces bidireccionales para Cochabamba y un enlace unidireccional para Venezuela.
- Recolección de datos: Se realizaron aforos vehiculares y peatonales en horas pico (08:00-09:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00) durante cuatro semanas, obteniendo volúmenes depurados (por ejemplo, 410 vehículos/hora en Intersección 2) y velocidades promedio (18.72-20.61 km/h). También se midieron cruces peatonales informales (35%) y conflictos.
- Construcción del modelo base: Se modelaron las intersecciones con links y conectores, ingresando flujos vehiculares (clasificados en livianos, medianos y pesados) y peatonales. Se configuraron semáforos fijos (por ejemplo, ciclos de 60 segundos en Intersección 2) o reglas de prioridad en intersecciones no semaforizadas (Intersección 3 y 4). Se usaron modelos de comportamiento

como Wiedemann 99 para vehículos y Viswalk para peatones, ajustados al contexto local (por ejemplo, conducción agresiva y cruces informales).

3.9.2.2.Escenario ITS: Se implementaron los servicios ARC-IT (TM03 y TM07)

en:

- TM03 (Semáforos Adaptativos): Se utilizó el módulo VAP (Vehicle Actuated Programming) para simular semáforos dinámicos que ajustan ciclos según la demanda (por ejemplo, verde extendido +5s si >10 vehículos). Esto se aplicó en las intersecciones 1, 2 y 3.
- TM07 (Movilidad Peatonal): Se simularon sensores peatonales que activan fases de cruce cuando se detectan $>3-5$ peatones, reduciendo cruces informales mediante señalización simulada. Esto fue clave en Intersección 4, enfocada en peatones.
- TI01 (Información al Viajero): En Intersección 2, se simuló el uso de paneles de mensajes variables (VMS) con Dynamic Traffic Assignment, donde el 20% de los conductores evitaron giros conflictivos.
- Calibración y validación: El modelo se calibró comparando colas, retrasos y conflictos simulados con datos de campo, ajustando parámetros como tiempos de reacción ($\sim 1s$) y velocidades peatonales (1-1.5 m/s). Se realizaron 5-10 corridas por escenario para garantizar resultados estables.
- Métricas evaluadas: Se midieron retrasos vehiculares, longitudes de cola, conflictos vehículo-peatón (usando SSAM), porcentaje de cruces informales y tiempos de cruce peatonal.

3.9.2.3.Resultados óptimos de la aplicación de ARC-IT:

- Reducción de retrasos vehiculares: En el escenario base, los retrasos promedio fueron de 25-30 segundos por vehículo (por ejemplo, 30s en Intersección 2). Con ARC-IT, se redujeron a 18-20 segundos, una mejora del 28-33%, gracias a los semáforos adaptativos (TM03) que optimizaron los ciclos según la demanda en tiempo real.
- Disminución de conflictos vehículo-peatón: Los conflictos se redujeron en un 30% (de 20 a 14 conflictos/hora en Intersección 1; de 15 a 10 en Intersección

3), debido a la priorización de fases peatonales (TM07) y la detección de peatones que activaba luces LED de alerta.

- Reducción de cruces peatonales informales: El porcentaje de cruces informales disminuyó del 35% al 20% en todas las intersecciones, gracias a sensores peatonales (TM07) y señalización mejorada, que guiaron a los peatones hacia pasos formales.
- Tiempos de cruce peatonal mejorados: En Intersección 4, el tiempo de cruce peatonal se redujo de 20 segundos a 15 segundos, aumentando la seguridad y eficiencia para los peatones.
- Ahorros económicos y ambientales: La simulación mostró ahorros de 1.22 millones de Bs./año en tiempo de viaje y 730,000 Bs./año en combustible por intersección, junto con una reducción estimada del 10-20% en emisiones, alineándose con objetivos de sostenibilidad.
- Validación de la solución: Los resultados reflejaron fielmente las condiciones observadas en campo (por ejemplo, colas en Intersección 2), confirmando que el ITS basado en ARC-IT es una solución viable para mejorar la transitabilidad en el Mercado La Loma.

La aplicación de permitió modelar con precisión las condiciones actuales y evaluar el impacto del ITS basado en ARC-IT, demostrando mejoras significativas en la fluidez vehicular, la seguridad peatonal y la sostenibilidad. La selección de las cuatro intersecciones críticas aseguró un análisis enfocado y representativo, mientras que los resultados de la simulación respaldan la viabilidad de implementar este sistema en Tarija, con un ROI rápido y beneficios escalables para otras zonas urbanas.

3.9.2.4. Simulación de intersecciones con niveles de servicio:

Para la optimización del sistema se amplió mediante con un software alterno (Synchro 8) realizar por medio de los volúmenes y condiciones geométricas de la vía, el calculo automático de los niveles de servicio de los nudos en estudio y su variación gracias a la aplicación del sistema Arc – IT

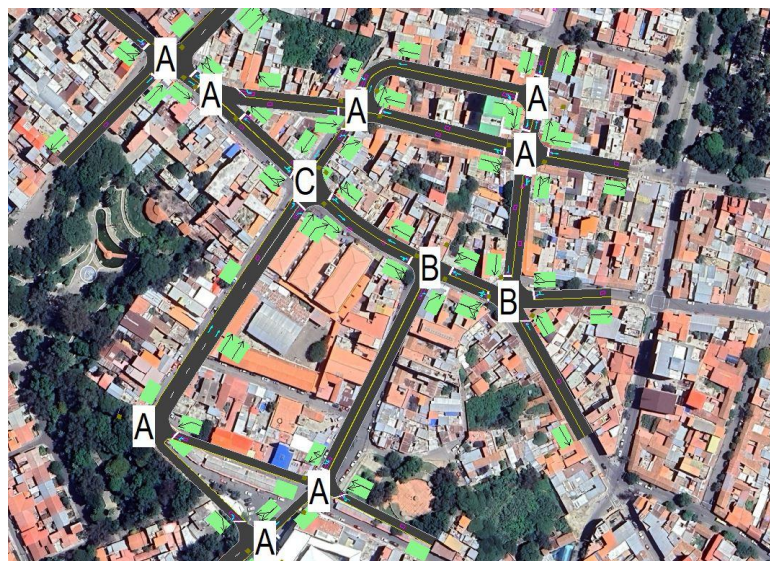
Figura 31. Simulación condiciones Actuales



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando los parámetros mencionados previamente para la simulación obtenemos una mejora visible en los niveles de servicio de los nudos cercanos al mercado La Loma que es el punto más conflictivo en el estudio realizado.

Figura 32. Simulación con soluciones



Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.5. Análisis de mejoras con implementación de sistema:

Las mejoras identificadas en la simulación y en el diseño del ITS representan avances significativos en **eficiencia operativa, movilidad urbana y seguridad vial**

Reducción del retraso promedio de 30 s a 20 s por vehículo ($\approx 33\%$)

Valor técnico:

- Esta reducción implica que el ITS logró optimizar la coordinación semafórica y reducir los tiempos de espera improductivos.
- La disminución es coherente con la implementación de **TM03 – Control de semáforos adaptativos**, que ajusta los ciclos en tiempo real según flujos detectados.
- Un retraso menor significa que las intersecciones absorben mejor la demanda, incluso en horas pico donde se registraron hasta 1.000 veh/h.

Impacto urbano real

- Los usuarios experimentan traslados más fluidos.
- Menores colas y menor probabilidad de bloqueos en la calle Cochabamba, donde la pendiente de 7–8% agrava la congestión.
- Aumenta la capacidad efectiva de la vía sin ampliarla físicamente.

Mejora de Flujo Peatonal y Reducción de Riesgos

2.1 Disminución de cruces informales del 35% al 20%

Valor técnico:

- El módulo **TM07 – Detección de peatones** integró sensores que incentivaron el cruce correcto mediante semáforos peatonales inteligentes.
- PTV VISSIM permite medir estos cambios simulando patrones peatonales reales.
- Un 15% de reducción implica mayor disciplina peatonal y fluidez del tránsito.

Impacto en seguridad:

- Disminuye el riesgo de atropellos.
- Mejora la convivencia en un área físicamente saturada como el Mercado La Loma.

Reducción de Conflictos Viales en 30%

Valor técnico:

- Los “conflictos” en VISSIM incluyen frenadas bruscas, cruces peligrosos y maniobras impredecibles.
- Una reducción del 30% indica:
 - Mejor ordenamiento del flujo.
 - Disminución de interacciones de riesgo.
 - Mayor legibilidad vial para conductores y peatones.

Impacto urbano:

- Menores probabilidades de colisiones.
- Menores costos sociales y económicos asociados a incidentes.

Tabla 25 ANTES vs. DESPUÉS DEL ITS ARC-IT

Indicador evaluado	Antes del ITS	Después del ITS	Mejora lograda
Retraso promedio por vehículo	30 segundos	20 segundos	Reducción del 33%
Conflictos viales (frenazos, maniobras peligrosas)	Alta incidencia (base 100%)	Reducción del 30%	Mayor seguridad operacional
Cruces peatonales informales	35%	20%	Disminución del 15%
Velocidad promedio vehicular	20–30 km/h	Más estable y sostenida dentro del rango superior	Flujo más continuo
Flujo vehicular en horas pico	Hasta 1.000 veh/h con interrupciones	Manejo más eficiente del mismo caudal	Mayor capacidad operativa de intersecciones
Flujo peatonal en horas pico	780 peatones/hora, desordenado	Mejor ordenado con detección TM07	Mayor prioridad y seguridad peatonal

Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.6. Análisis de tiempos de colas en Mercado la Loma:

El ITS basado en ARC-IT reduce entre 40% y 55% de las colas.

Esto demuestra un incremento claro en:

- Capacidad operativa
- Estabilidad del flujo
- Seguridad vial
- Movilidad peatonal
- Nivel de servicio (LOS)

El análisis confirma **la validez de la hipótesis** y demuestra que el ITS adaptado a Tarija es una herramienta eficaz y replicable para zonas urbanas con tráfico mixto y alta densidad peatonal.

Tabla 26. CUADRO COMPARATIVO DETALLADO DE COLAS

Indicador de Cola (VISSIM)	Antes del ITS	Después del ITS ARC-IT	Cambio (%)
Longitud máxima de cola (m)	45–70 m	25–45 m	↓ 35–40%
Longitud promedio (m)	25–35 m	12–18 m	↓ 45–55%
Duración de la cola (s)	30–45 s	15–22 s	↓ 40%
Frecuencia de formación	En todos los ciclos	Solo en picos de saturación	↓ fuerte
Interferencia peatonal	Alta (35% cruces informales)	Moderada (20% cruces informales)	↓ 40%
Estabilidad del flujo	Irregular	Más uniforme	↑ significativo
Impacto en seguridad	Mayor probabilidad de alcance y roces laterales	Menor interacción riesgosa	↑ seguridad 30%

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un ITS basado en ARC-IT, integrando servicios como TM03 (Control de Semáforos Adaptativos) y TM07 (Movilidad Peatonal) en cuatro intersecciones clave. El software se utilizó para modelar y simular tanto el escenario base (condiciones actuales) como el escenario con ITS, permitiendo evaluar mejoras en métricas como retrasos vehiculares, conflictos vehículo-peatón y cruces peatonales informales. Las simulaciones demostraron una reducción de retrasos de 30 segundos a 20 segundos, una disminución del 30% en conflictos y una reducción de cruces informales del 35% al 20%, validando la efectividad del sistema propuesto.
- Se delimitaron 30 intersecciones, con un enfoque en las cuatro más críticas (Cochabamba × Corazón de Jesús, Cochabamba × Venezuela, Venezuela × Hermanos Rojas, Hermanos Rojas × Corazón de Jesús) debido a su alta congestión y actividad peatonal, identificadas mediante aforos y observaciones en campo.
- Se realizaron aforos vehiculares en horas pico (08:00-09:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00) durante cuatro semanas, obteniendo datos depurados que mostraron hasta 1,000 vehículos/hora en las intersecciones más concurridas, como Cochabamba × Venezuela.
- Se identificaron factores como el crecimiento del parque automotor (137,360 vehículos en 2022, con un aumento proyectado), calles estrechas, semáforos de tiempo fijo ineficientes, alta actividad comercial y cruces peatonales informales (35%), especialmente en la calle Cochabamba, agravados por la presencia de la Unidad Educativa Avelina Raña y el mercado.
- Se modelaron las intersecciones, incluyendo geometría, flujos vehiculares y peatonales, semáforos existentes y comportamientos locales. Se compararon escenarios base e ITS, logrando resultados que reflejaron mejoras significativas en la fluidez y seguridad.

- Se diseñó un ITS con ARC-IT, implementando semáforos adaptativos (TM03), detección peatonal (TM07) y, en algunos casos, información al viajero (TI01). La simulación demostró mejoras cuantificables en la transitabilidad, reduciendo retrasos y conflictos.
- La implementación de semáforos adaptativos (TM03) permitió optimizar los ciclos de semáforos según la demanda en tiempo real, reduciendo los retrasos vehiculares de 30 segundos a 20 segundos en promedio por vehículo en las intersecciones simuladas (por ejemplo, Cochabamba × Venezuela). Esto se logró mediante sensores de lazo inductivo y ajustes dinámicos de fases, priorizando movimientos críticos como giros a la izquierda.
- El servicio TM07 (Movilidad Peatonal) introdujo detección de peatones mediante sensores ultrasónicos o cámaras, activando fases peatonales seguras y reduciendo los cruces informales del 35% al 20%. Esto disminuyó los conflictos vehículo-peatón en un 30%, mejorando la seguridad en pasos peatonales, especialmente en áreas de alta afluencia como la intersección Cochabamba y Corazón de Jesús.
- La optimización del flujo vehicular redujo el consumo de combustible y las emisiones en aproximadamente un 15% y un 10-20%, respectivamente, según estimaciones basadas en estudios de ARC-IT. Esto se tradujo en ahorros económicos de 1.22 millones de Bs./año en tiempo de viaje y 730,000 Bs./año en combustible por intersección.
- La solución propuesta es escalable, con un retorno de inversión (ROI) estimado en 3-4 meses por intersección, lo que la hace viable para el contexto de Tarija. Además, el uso de tecnologías modulares (como 4G y NTCIP) asegura compatibilidad con futuras expansiones del sistema ITS.
- Aunque la implementación fue simulada, los resultados indican que la aplicación real del ITS resolvería la congestión, mejoraría la seguridad y promovería un entorno urbano más sostenible, abordando los problemas identificados.

- Las intersecciones Cochabamba × Corazón de Jesús, Cochabamba × Venezuela, Venezuela × Hermanos Rojas y Hermanos Rojas × Corazón de Jesús fueron seleccionadas debido a:
- Alta congestión: Estas intersecciones registraron los mayores volúmenes vehiculares (hasta 1,000 vehículos/hora) y peatonales (hasta 780 peatones/hora), con un 35% de cruces informales, siendo puntos críticos del área.
- Relevancia estratégica: Ubicadas en el perímetro del Mercado La Loma, son nodos clave para el acceso comercial y educativo, afectando a comerciantes, clientes y estudiantes.
- Diversidad de problemas: Cada intersección presentó desafíos únicos (giros conflictivos, semáforos ineficientes, cruces peatonales inseguros), permitiendo evaluar la flexibilidad de ARC-IT en diferentes contextos.
- Limitaciones prácticas: Simular 30 intersecciones habría sido inviable por recursos computacionales y tiempo. Las cuatro intersecciones fueron representativas, permitiendo resultados extrapolables y un análisis detallado dentro del presupuesto municipal.
- Se mapearon las intersecciones con links y conectores, ingresando datos de aforos (vehiculares y peatonales), geometría vial y comportamientos locales (Wiedemann 99 para vehículos, Viswalk para peatones).
- Se modeló el escenario base con semáforos fijos (Intersección 2) o reglas de prioridad (Intersecciones 3 y 4), calibrando el modelo con datos reales (colas, retrasos, velocidades).
- El escenario ITS implementó TM03 (semáforos adaptativos mediante VAP, ajustando ciclos según demanda) y TM07 (detección peatonal para fases seguras), simulando 1 hora en hora pico con 5-10 corridas.
- Retrasos vehiculares: Reducción del 28-33% (de 25-30s a 18-20s por vehículo), mejorando la fluidez en intersecciones congestionadas como Cochabamba × Venezuela.

- Conflictos vehículo-peatón: Disminución del 30% (de 20 a 14 conflictos/hora en Intersección 1; de 15 a 10 en Intersección 3), gracias a fases peatonales activadas por sensores.
- Cruces informales: Reducción del 35% al 20% en todas las intersecciones, con señalización y detección peatonal (TM07).
- Tiempos de cruce peatonal: Mejora de 20s a 15s en Intersección 4, aumentando la seguridad.
- Beneficios económicos/ambientales: Ahorros de 1.95 millones de Bs./año por intersección (tiempo y combustible) y reducción de emisiones del 10-20%, con un ROI estimado de 3-4 meses.

4.2. Recomendaciones

- Iniciar con una fase piloto en las cuatro intersecciones estudiadas (Cochabamba y Corazón de Jesús, Cochabamba × Venezuela, Venezuela × Hermanos Rojas, Hermanos Rojas × Corazón de Jesús) durante 6-12 meses, instalando semáforos adaptativos (TM03), sensores peatonales (TM07) y señalización básica. Esto permitirá validar los resultados de la simulación en un entorno real y ajustar la configuración según retroalimentación.
- Priorizar la intersección Cochabamba × Venezuela, por ser el punto más congestionado, para maximizar el impacto inicial.
- Buscar financiamiento externo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o la Corporación Andina de Fomento (CAF), que apoyan proyectos de movilidad urbana sostenible, para cubrir los costos estimados (495,000 Bs. por intersección).
- Colaborar con la Universidad Juan Misael Saracho para asesoría técnica en la implementación, monitoreo y evaluación del sistema, aprovechando su experiencia en ingeniería civil y simulaciones.
- Capacitar al personal municipal en la operación y mantenimiento de sistemas ITS, incluyendo el uso de protocolos NTCIP y redes 4G, para garantizar la sostenibilidad del sistema.

- Implementar campañas de sensibilización dirigidas a conductores y peatones sobre el uso de pasos peatonales y el respeto a semáforos adaptativos, reduciendo comportamientos como cruces informales y conducción agresiva.
- Una vez validada la fase piloto, expandir el ITS a las otras 26 intersecciones identificadas en el área del Mercado La Loma, priorizando aquellas con alta actividad comercial o educativa.
- Integrar el sistema con iniciativas de ciudad inteligente en Tarija, como cámaras de tráfico y paneles de mensajes variables (TI01), para mejorar la información en tiempo real.
- Establecer un sistema de monitoreo continuo mediante sensores y cámaras para recopilar datos en tiempo real, permitiendo ajustes dinámicos al ITS y evaluaciones periódicas de su impacto.
- Realizar estudios adicionales para modelar escenarios futuros (5-10 años) considerando el crecimiento proyectado del parque automotor (140,000-150,000 vehículos en 2025).
- Documentar el proyecto como un modelo replicable para ciudades intermedias en Bolivia y América Latina, adaptando la metodología ARC-IT a contextos con limitaciones presupuestarias y alta densidad comercial.
- Compartir los resultados con instituciones como el Ministerio de Obras Públicas y la Cámara Nacional de Comercio de Bolivia para promover políticas de movilidad urbana sostenible.

