



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**TECNOLOGÍA DE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE EN LA
INFRAESTRUCTURA DE LA RED VIAL NACIONAL – PERÚ**

**Línea de investigación:
Seguridad vial e infraestructura del transporte**

Tesis para optar el Grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Vera Vitón, José Luis

Asesor

Soto Vásquez, Duber Enrique

ORCID: 0000-0002-4505-2053

Jurado

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

Cerrón Contreras, Amanda

Infantes Rivera, Pedro Ricardo

Lima - Perú

2025

TECNOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED VIAL NACIONAL – PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 3 | cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | www.coursehero.com Fuente de Internet | 1% |
| 5 | www.formacionib.org Fuente de Internet | 1% |
| 6 | progsoft.net Fuente de Internet | 1% |
| 7 | Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante | <1% |
| 8 | kimuk.conare.ac.cr Fuente de Internet | <1% |
| 9 | repositorio.upci.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 10 | www.sice.com Fuente de Internet | <1% |
| 11 | vsip.info Fuente de Internet | <1% |



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

TECNOLOGÍA DE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE EN LA
INFRAESTRUCTURA DE LA RED VIAL NACIONAL – PERÚ

Línea de investigación:

Seguridad vial e infraestructura del transporte

Tesis para optar el Grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Vera Vitón, José Luis

Asesor

Soto Vásquez, Duber Enrique

ORCID: 0000-0002-4505-2053

Jurado

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

Cerrón Contreras, Amanda

Infantes Rivera, Pedro Ricardo

Lima – Perú

2025

DEDICATORIA

A mi madre Clara Vitón Guevara, quien me transmitió su gran fortaleza, a mi hijo Luis André Vera Bernuy, por su juventud entusiasmo y apoyo, a mis maestros y amigos incondicionales de quienes aprendí sus sabios conocimientos y valiosos consejos para culminar este proyecto personal.

RECONOCIMIENTO

Mi especial reconocimiento para los distinguidos Miembros del Jurado:

Dra. Teresa Milagros Defilippi Shinzato

Dra. Amanda Cerrón Contreras

Dr. Pedro Ricardo Infantes Rivera

Por su criterio objetivo en la evaluación de este trabajo de investigación.

Asimismo, mi reconocimiento para mi asesor:

Dr. Duber Enrique Soto Vásquez

Por las sugerencias recibidas para el mejoramiento de este trabajo. Muchas gracias para todos.

También mi reconocimiento a la memoria:

Dr. Freddy L. Kaseng Solis

Profesor de los estudios del doctorado de Ingeniería Civil también asesor de éste trabajo de investigación. Muchas gracias estimados doctores.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2 Descripción del problema | 2 |
| 1.3 Formulación del problema..... | 2 |
| 1.3.1 Problema general | 2 |
| 1.3.2 Problemas específicos..... | 3 |
| 1.4 Antecedentes | 3 |
| 1.4.1 Internacionales..... | 3 |
| 1.4.2 Nacionales..... | 10 |
| 1.5 Justificación e importancia de la investigación | 11 |
| 1.5.1 Justificación | 11 |
| 1.5.2 Importancia..... | 12 |
| 1.5.3 Fundamento..... | 12 |
| 1.6 Limitaciones de la investigación..... | 12 |
| 1.6.1 Espacial..... | 12 |
| 1.6.2 Temporal | 13 |
| 1.6.3 Social | 13 |
| 1.7 Objetivos de la investigación..... | 14 |
| 1.7.1 Objetivo general..... | 14 |
| 1.7.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 1.8 Hipótesis..... | 14 |
| 1.8.1 Hipótesis principal..... | 14 |
| 1.8.2 Hipótesis secundarias..... | 14 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 Base teórica..... | 16 |
| 2.1.1 vehículos y clasificación | 16 |
| 2.1.2 tecnologías de información y comunicación (TIC) | 17 |
| 2.1.3 Transporte terrestre | 20 |
| 2.1.4 Control y fiscalización vial | 25 |
| 2.2 Marco filosófico..... | 28 |
| 2.2.1 Filosofía de la Ingeniería Civil..... | 28 |

| | |
|---|-----|
| 2.3 Base tecnológica | 37 |
| 2.3.1 Innovación tecnológica | 37 |
| 2.3.2 Semáforo inteligentes | 38 |
| 2.3.3 Arquitectura de ITS..... | 61 |
| 2.4 Marco legal..... | 63 |
| 2.4.1 Normativa del Perú – ITS..... | 63 |
| 2.4.2 Normativa Internacional. ITS..... | 63 |
| III. MÉTODO..... | 73 |
| 3.1 Tipo de investigación..... | 73 |
| 3.1.1 Los tipos de investigación identificados..... | 73 |
| 3.1.2 Nivel de Investigación | 73 |
| 3.1.3 Código de nomenclatura UNESCO | 73 |
| 3.1.4 Diseño | 74 |
| 3.2 Población y muestra..... | 75 |
| 3.2.1 Población..... | 75 |
| 3.2.2 Tamaño de la muestra..... | 75 |
| 3.3 Operacionalización de variables..... | 75 |
| 3.3.1 Estrategia de la prueba de hipótesis | 75 |
| 3.3.2 Variables e Indicadores | 76 |
| 3.3.3 Operacionalización de las variables | 78 |
| 3.4 Instrumentos..... | 79 |
| 3.4.1 Técnicas de procesamiento de datos | 79 |
| 3.4.2 Técnicas de análisis e interpretación de la información..... | 79 |
| 3.4.3 Instrumentos de medición de actividades..... | 79 |
| 3.4.4 Instrumentos de recolección de datos..... | 80 |
| 3.4.5 Validación de los instrumentos | 80 |
| 3.5 Procedimientos | 80 |
| 3.5.1 Diseño estadístico | 80 |
| 3.5.2 Análisis de la población..... | 82 |
| 3.6 Análisis de datos..... | 82 |
| IV. RESULTADOS..... | 113 |
| 4.1. Monitoreo de flujo vehicular | 113 |
| 4.2. Control en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos | 115 |
| 4.3. Comportamiento del flujo vehicular | 118 |

| | |
|--|-----|
| 4.4. Siniestralidad en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte. | 121 |
| 4.5. Contrastación de hipótesis..... | 126 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 136 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 138 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 140 |
| VIII. REFERENCIAS | 141 |
| IX. ANEXOS | 145 |
| Anexo 1: Matriz de Consistencia..... | 145 |
| Anexo 2: Carta de validación de instrumentos | 148 |
| Anexo 3. Instrumentos de Recolección de Datos..... | 149 |
| Anexo 4. Índice medio diario | 150 |
| Anexo 5. Planos..... | 151 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. <i>Esquema del semáforo inteligente utilizando RFID</i> | 39 |
| Figura 2. <i>Esquema del semáforo inteligente usando redes de sensores inalámbricos</i> | 41 |
| Figura 3. <i>Matriz de conflictos</i> | 42 |
| Figura 4. <i>Sensores de Sistemas de Tráfico</i> | 44 |
| Figura 5. <i>Cámaras de tráfico</i> | 45 |
| Figura 6. <i>Radars de semáforo</i> | 46 |
| Figura 7. <i>Radar con flash externo</i> | 47 |
| Figura 8. <i>Radar con armario eléctrico</i> | 47 |
| Figura 9. <i>Carteles de señalización</i> | 48 |
| Figura 10. <i>Señalización de velocidad a) y b)</i> | 48 |
| Figura 11. <i>Radar Pórtico de instalación fija</i> | 49 |
| Figura 12. <i>Caja con dos o más lentes acompañado normalmente de cámara de tráfico</i> | 50 |
| Figura 13. <i>Cantidad diaria por tipo de vehículo sentido de sur a norte</i> | 91 |
| Figura 14. <i>Cantidad total horaria de vehículos sentidos de sur a norte</i> | 92 |
| Figura 15. <i>Cantidad diaria por vehículo sentido de norte a sur</i> | 95 |
| Figura 16. <i>Cantidad total horaria de vehículos sentido de norte a sur</i> | 96 |
| Figura 17. <i>Tipo de vehículo transitado en intervalos de 1 hora</i> | 119 |
| Figura 18. <i>Comportamiento de la capacidad vial</i> | 120 |
| Figura 19. <i>Comportamiento de la velocidad promedio en lapsos de 1 hora</i> | 120 |
| Figura 20. <i>Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 1</i> | 127 |
| Figura 21. <i>Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 2</i> | 130 |
| Figura 22. <i>Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 3</i> | 132 |
| Figura 23. <i>Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 4</i> | 134 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. <i>Código y nomenclatura UNESCO</i> | 74 |
| Tabla 2. <i>Operacionalización de las variables</i> | 78 |
| Tabla 3. <i>Análisis de la población</i> | 82 |
| Tabla 4. <i>Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Sur a Norte (Fecha: 31 Ene 2025)</i> | 88 |
| Tabla 5. <i>Tipos de vehículos registrados Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Sur a Norte (Fecha: 31 Ene 2025)</i> | 89 |
| Tabla 6. <i>Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Norte a sur (Fecha: 31 Ene 2025)</i> | 93 |
| Tabla 7. <i>Tipos de vehículos registrados Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Norte a Sur (Fecha: 31 Ene 2025)</i> | 94 |
| Tabla 8. <i>Lectura de 1 hora de registro vehicular y condiciones del de infraestructura</i> | 99 |
| Tabla 9. <i>Reporte de 1 día de monitoreo vehicular</i> | 102 |
| Tabla 10. <i>Datos del sistema de pesaje</i> | 104 |
| Tabla 11. <i>Análisis de peaje</i> | 106 |
| Tabla 12. <i>Probabilidades de cruce</i> | 112 |
| Tabla 13. <i>Datos para optimización de flujo vehicular</i> | 116 |
| Tabla 14. <i>Comportamiento del flujo vehicular</i> | 118 |
| Tabla 15. <i>Siniestros por departamento, Panamericana Norte</i> | 121 |
| Tabla 16. <i>Control de reducción de velocidad</i> | 123 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 17. <i>Comparación de accidentes viales – Antes y después de ITS (Tumbes)</i> | 125 |
| Tabla 18. <i>Datos para monitoreo Vehicular</i> | 126 |
| Tabla 19. <i>Estadística descriptiva HE1</i> | 128 |
| Tabla 20. <i>Datos para control de infraestructura vial</i> | 129 |
| Tabla 21. <i>Estadística descriptiva HE2</i> | 130 |
| Tabla 22. <i>Datos para comportamiento de flujo vehicular</i> | 131 |
| Tabla 23. <i>Estadística descriptiva HE3</i> | 133 |
| Tabla 24. <i>Datos para Siniestrabilidad</i> | 133 |
| Tabla 25. <i>Estadística descriptiva HE4</i> | 135 |

RESUMEN

En el presente estudio denominado "Tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte en la Infraestructura de la Red Vial Nacional – Perú", se abordó el problema de las deficiencias en la infraestructura vial en el Eje Vial N° 01 de Integración Perú-Ecuador de la Carretera Panamericana Norte, una de las rutas con mayor tráfico del país. El objetivo fue optimizar el monitoreo del flujo vehicular mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte (ITS). La metodología utilizada fue de tipo experimental y longitudinal, con un diseño correlacional entre las variables de infraestructura y los resultados del monitoreo. Los resultados mostraron que la temperatura del pavimento, sin condiciones adversas como agua, hielo o nieve, registro de desgaste de pavimento y el grado de resbalosidad, lo que favoreció la seguridad vial. La velocidad de los vehículos osciló entre 70 km/h y 98 km/h, y la capacidad vial alcanzó niveles saturados en horas pico. La aplicación de ITS resultó en la reducción a cero de los accidentes fatales, una disminución del 31% en los accidentes con heridos y un aumento del cumplimiento de los límites de velocidad del 40% al 70%. Se concluyó, que los ITS mejoraron la seguridad vial y la eficiencia del tráfico.

Palabras claves: sistemas inteligentes de transportes, seguridad vial, infraestructura vial, siniestralidad.

ABSTRACT

In this study, entitled "Intelligent Transportation Systems Technology in the National Road Network Infrastructure – Peru," the problem of road infrastructure deficiencies on Road Axis No. 1 of the Peru-Ecuador Integration of the Northern Pan-American Highway, one of the busiest routes in the country, was addressed. The objective was to optimize vehicle flow monitoring using intelligent transportation systems (ITS) technology. The methodology used was experimental and longitudinal, with a correlational design between infrastructure variables and monitoring results. The results showed that pavement temperature, without adverse conditions such as water, ice, or snow, pavement wear, and the degree of slipperiness favored road safety. Vehicle speeds ranged between 70 km/h and 98 km/h, and road capacity reached saturated levels during peak hours. The implementation of ITS resulted in a reduction of fatal accidents to zero, a 31% decrease in accidents with injuries, and an increase in speed limit compliance from 40% to 70%. It was concluded that ITS improved road safety and traffic efficiency.

Keywords: intelligent transport systems, road safety, road infrastructure, accident rate.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Se busca optimizar la conservación y reducir: la cantidad de accidentes, la siniestralidad (muertes y accidentes), mermar la cantidad de infracciones cometidas por conductores dentro del uso de las vías en las diferentes rutas del Perú; de manera particular en la carretera Panamericana Norte del Perú entre Máncora-Tumbes (Punta Mero), desde hace mucho tiempo (1980) las medidas de prevención o paliativos ejecutados no han reducido de manera efectiva los accidentes y siniestros ocurridos en las vías nacionales y considerando el impacto que ocasiona la escasez de vías de que limitan el control, el mantenimiento, así como la señalización y orientación adecuada a los conductores, por falta de señalización y visibilidad en la vías del Perú, y teniendo en cuenta el incremento del parque automotor, el cual transitan y transportan productos diversos, por diferentes rutas y vías nacionales, por diferentes razones y necesidades de desarrollo, turismo y otras necesidades económicas o de progreso, conlleva a desarrollar este trabajo de investigación insertando la relación de tecnología moderna de ITS de la vías nacionales.

Teniendo en cuenta el avance tecnológico en diferentes campos de la electrónica y en la mecatrónica que ha generado la automatización y precisión en los equipos de control electrónico, es necesario su análisis y experimentación de usos en las vías nacionales, a fin de conocer la efectividad de mejorar el servicio, con menos pérdidas de siniestralidad y control en la infraestructura vial del Perú. Articulando la señalización y fluidez vehicular se podrá garantizar y controlar adecuadamente la infraestructura vial a través de un sistema inteligente de transporte, en las diferentes vías y rutas del Perú, permitiendo una transpirabilidad fácil, fluida y segura, que conlleven a la elevación del nivel de servicio, potenciando la comunicación y conexión de control, el plan piloto demostrará las bondades de realizar esta

investigación en la Carretera Panamericana Norte del Perú, y que progresivamente se podrá extender a otros tramos.

1.2 Descripción del problema

La Ingeniería Civil, se relaciona con la infraestructura de la red vial nacional, hay altas deficiencias de funcionamiento integral para un servicio eficiente de los usuarios viales, para la presente investigación se toma como piloto, el Eje Vial N° 01 de Integración Perú-Ecuador de la Carretera Panamericana Norte por ser la red que soporta el más alto tráfico del país, Ruta PE-1N en los sectores de “Máncora-Punta Mero” Km. 1164+500 al Km. 1204+500 en los departamentos de Piura y Tumbes.

Buscar la autosostenibilidad vial que garantice una vía con información permanente y constante para la seguridad de la población nacional y extranjera considerando que es una zona turística.

En cuanto al diagnóstico de la aplicación del sistema de transporte (ST) en esta parte las Carreteras son de alta importancia para la infraestructura vial, ya que permite disminuir la accidentalidad, mejorar la transitabilidad y la seguridad vial.

En cuanto al pronóstico de su aplicabilidad de estas tecnologías perdurará en el tiempo y permitirá tener una vía confortable y segura, el control de este pronóstico será medido cuantitativamente mediante resultados del comportamiento del flujo vehicular.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo la tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) optimizará la operación del flujo vehicular, en la conservación vial en la infraestructura en la carretera Panamericana Norte del Perú?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte optimizará el monitoreo del flujo vehicular?
- ¿La tecnología de los Sistemas Inteligentes de Transporte controlarán en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial?
- ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte determinarán el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional?
- ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte mitigará la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional?

1.4 Antecedentes

Hasta la fecha no ha existido investigación alguna que relacione los ITS de aplicación a la infraestructura de la red vial del Perú, se requiere fusión de relación con la ITS para la interacción infraestructura-vehículo-usuario vial.

La infraestructura de la red vial nacional asfaltada del Perú que comprende 22,623 Km, subdividida en redes longitudinal de costa, sierra, selva y transversales clasificada; de acuerdo con la clasificación oficial de Perú, sistema nacional de carreteras (SINAC) y Provias Nacional.

Para la Carretera Panamericana Norte en los sectores en estudio no hay aplicaciones de sistemas inteligentes solamente se han desarrollado estudios de tráfico considerando transporte nacional e internacional.

1.4.1 Internacionales

En México, en la investigación: “Sistemas Inteligentes de Transporte: Principios de Evaluación de Proyectos para Sistemas Integrados de Transporte Urbano con Autobuses de Tránsito Rápido (SITUART) y de Valuación de sus Empresas Concesionarias”. El autor

señala que este enfoque destaca la necesidad de integrar múltiples elementos en los sistemas de transporte inteligente, incluyendo la infraestructura vial, la tecnología y la provisión de información al usuario. Dado que estos sistemas aún son relativamente recientes, resulta esencial desarrollar estrategias de planificación, programación, evaluación y gestión que garanticen su sustentabilidad. Al mismo tiempo, es fundamental equilibrar la reducción del impacto ambiental con la rentabilidad, asegurando así su viabilidad a largo plazo (Hernández, 2013).

Por otra parte, en España La Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial: Un Enfoque Aplicado del Control Inteligente, en metodologías de control inteligente. El autor señala La integración de disciplinas como el control automático, la IA y la electrónica ha permitido crear nuevas herramientas para manejar sistemas complicados. El método aplicado en estos sistemas se centra en el diseño y ejecución de controladores para sistemas dinámicos, abarcando tanto los procesos de control como los algoritmos y hardware empleados. Los sistemas de control inteligentes, el diseño metodológico suele ser heurístico¹ y se basa en principios de inteligencia artificial (IA) e investigación operativa. Entre las técnicas utilizadas se encuentran la lógica borrosa, la planificación algorítmica, los sistemas híbridos, las redes de Petri y la red de neuronas, entre otras (Santos, 2011).

La evolución del control inteligente ha llevado a la combinación de estrategias tradicionales y heurísticas, permitiendo la implementación eficiente de estas técnicas y ampliando el alcance de la teoría clásica de control. La sinergia entre ambos enfoques demuestra ser eficaz en diversas aplicaciones, permitiendo representar tanto la planta como el controlador, o incluso ambos como un solo mecanismo. Esta flexibilidad metodológica

¹ La heurística es el conjunto de técnicas empleadas para resolver problemas. Se observa como el arte de inventar por parte de las personas para hacerse con estrategias, métodos y criterios que les permitan resolver cuestiones a través de su ingenio y pensamiento divergente. Dialnet.

permite que los enfoques heurísticos, formales o combinados se adapten a distintos contextos y necesidades específicas en el control de sistemas dinámicos (Santos, 2011).

La Inteligencia Artificial (IA) es el análisis de las capacidades mentales mediante la utilización de modelos informáticos y se dio origen en 1950, cuando se estudió el cerebro humano como un modelo natural, integrando la cibernética con los ordenadores (Santos, 2011). El desarrollo de la IA ha logrado crear métodos eficientes para el control de sistemas, cuyo progreso se ve impulsado por su uso en la gestión de diversos procedimientos, en especial en el control automático, que permite aprovechar el uso de métodos innovadores y entornos avanzados de programación, técnicas para tratar la heurística, nuevos sistemas hardware y el progreso en electrónica y telecomunicaciones.

Actualmente, los métodos de inteligencia artificial están claramente estructurados y han demostrado ser eficaces en sectores como la industria, el comercio, la educación y la investigación. En ocasiones, pueden combinarse distintas técnicas para optimizar los resultados. Entre estos enfoques destacan la lógica difusa, las redes neuronales y los algoritmos genéticos, los cuales forman parte de la Computación Suave ("Soft Computing"). Estas herramientas ofrecen soluciones flexibles y eficientes para problemas complejos. (Santos, 2011).

En Slobozia. In the 9th International Scientific Conference Transbaltica 2015, "Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems". La gestión del tráfico se encuentra actualmente en constante aumento de volúmenes de tráfico sin el apoyo de tecnologías y la comunicación, que son la base fundamental de los sistemas de transporte (ST) inteligentes. El uso de estos en la gestión del tráfico conduce a una baja en el impacto negativo del ambiente y es positivo en cuanto al incremento de la seguridad y la continuidad.

Los Sistemas de Transporte Inteligente son tecnologías que integran información y la comunicación en la infraestructura vial o en los vehículos. Estos permiten recopilar, procesar y compartir información entre los operadores de tráfico y los usuarios del sistema de transporte, optimizando su funcionamiento.

Los ST inteligentes ayudan a los operadores de servicios de emergencia en el monitoreo y el tráfico controlar y ayudar con la detección y respuesta a incidentes e informar al público sobre la situación del tráfico por medio de internet y comunicación. Durante el uso de ST inteligentes, la infraestructura de transporte se complementa con la tecnología que contribuye a aumentar la capacidad de los pasajeros.

Seguridad, reducir el tiempo de tránsito y el consumo de combustible. Con la llegada de los modernos dispositivos de comunicación y computación. Los sensores de bajo costo pueden adquirir y evaluar datos de múltiples fuentes.

El uso de un sistema de transporte inteligente es la mejor manera de resolver o al menos minimizar los problemas de tráfico. Inteligente el ST incluye todos los modos de transporte e intercepta los diversos componentes de cada modo: vehículos, infraestructura, comunicaciones y sistemas operativos. Diferentes países han desarrollado estrategias y técnicas. Que se basan en su nivel geográfico, cultural, socioeconómico y ambiental para integrar los diversos componentes en sistemas interconectados. El objetivo principal es evaluar, desarrollar, analizar e integrar nuevos sensores, tecnologías para lograr la eficiencia del transporte. Los ST inteligentes permiten tener suficiente información y tomar mejores decisiones.

Janušová y Čičmancová (2015) indican que los sistemas de transporte inteligentes (STI) desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento del transporte, entendido como un proceso complejo de prestación de servicios, cuyo desempeño eficiente depende de la

disponibilidad de información suficiente y oportuna. La base de todo sistema de transporte inteligente se sustentó en la recopilación de datos de tráfico, tales como el estado y las condiciones del flujo vehicular, información sobre accidentes, cambios en la organización y regulación del tránsito, así como datos relacionados con el estado de la superficie vial. Asimismo, estos sistemas consideraron la evaluación de la información recolectada a nivel regional y por secciones específicas, con la finalidad de analizar posibilidades de desvío, tiempos de recorrido y registrar áreas problemáticas. Del mismo modo, permitieron proporcionar información relevante a los organismos responsables de la organización del transporte, como administradores de vías y la policía, así como a otros usuarios del tráfico, mediante la visualización del estado actual de las vías y su integración en dispositivos móviles y sistemas de navegación. Una característica relevante de los sistemas de transporte inteligentes fue su apertura e interoperabilidad, ya que debían ser capaces de trabajar con datos provenientes de todas las fuentes disponibles y brindar servicios a todos los usuarios potenciales. Esta condición resultó esencial debido a la constante evolución de las tecnologías de la información y la comunicación. Asimismo, para su correcto funcionamiento, la velocidad en la obtención y procesamiento de la información fue un aspecto clave, razón por la cual los sistemas modernos operaron con transmisión de datos en línea y procesamiento en tiempo real. En cuanto a los requisitos de los sistemas de transporte inteligentes, estos contribuyeron a mantener una velocidad de conducción constante, garantizar distancias de seguridad entre los vehículos y facilitar la guía dinámica de rutas hacia destinos predefinidos, optimizando los recorridos. Además, permitieron mejorar el traslado de personas y mercancías mediante la integración de distintos modos de transporte, incrementando la eficiencia del sistema. Desde la perspectiva del usuario, se buscó proporcionar información completa que fortaleciera la seguridad y el confort del viaje. El uso de la gestión del tráfico dentro de los STI ayudó a mitigar la congestión, aumentar la seguridad vial y reducir los

costos de transporte y las emisiones contaminantes. En ese contexto, los objetivos se orientaron a implementar sistemas de transporte más inteligentes, complementar los sistemas existentes con STI, considerarlos en la planificación de nuevas infraestructuras y promover la interconexión de los sistemas ya implementados para gestionar de manera efectiva áreas más extensas y no solo puntos aislados como cruces o túneles.

Wang et al. (2016) señalaron que, en China, el desarrollo de los sistemas de transporte inteligentes (ITS) estuvo estrechamente vinculado a las políticas y estrategias gubernamentales, ya que en 1995 el gobierno chino planificó un programa de desarrollo a cinco años, promovido por el Ministerio de Transportes (MOT), orientado a impulsar la investigación en tecnología del transporte, considerando a la tecnología ITS como una herramienta clave para el futuro y a la inteligencia como la dirección del desarrollo del transporte; en ese contexto, a finales de 1995 se emitió el “9.º Plan Quinquenal (1996–2000) y Plan a Largo Plazo 2010 para el Desarrollo de Autopistas y Tecnología del Transporte”, con el objetivo de establecer un centro nacional de investigación y un laboratorio ITS, así como organizar el desarrollo gubernamental, la investigación estratégica y la cooperación internacional en ITS. Asimismo, se adoptó un modelo concurrente de construcción de infraestructura y aplicación de tecnología ITS, reconociendo al transporte como columna vertebral de la economía, destinándose importantes inversiones e incorporándose experiencias internacionales, bajo el consenso de que la implementación de ITS debía iniciarse desde las fases de diseño y construcción de la infraestructura para reducir costos y mejorar la eficiencia, como la instalación anticipada de sistemas de comunicación por fibra óptica y de monitoreo del tráfico; para ello, el Centro Nacional ITS de China desarrolló la arquitectura nacional del sistema, formuló estándares nacionales y promovió el intercambio y la cooperación internacional. Finalmente, las implementaciones se adecuaron a la etapa de desarrollo y a la demanda de los usuarios, diferenciándose de países desarrollados como el

Reino Unido y Japón, que ya contaban con redes viales consolidadas, debido a que en 1995 China presentaba un PIB per cápita de 607 USD y una infraestructura vial incipiente, con una longitud total de autopistas significativamente menor en comparación con países como Estados Unidos, lo que condicionó un enfoque progresivo y adaptado al contexto nacional.

Ozaki (2018) señaló que, en Japón y en el contexto asiático, el desarrollo de la movilidad inteligente y de los sistemas de transporte inteligentes (ITS) ha sido impulsado de manera notable por la participación de empresas vinculadas a áreas metropolitanas, cuyos servicios innovadores han generado beneficios en diversas formas durante los últimos años. En ese sentido, se destacó que los beneficios prácticos derivados de la expansión de los servicios de movilidad inteligente deben compartirse a nivel regional e internacional, así como explorarse los beneficios potenciales de la estandarización técnica, posicionando a dichos servicios como un subsistema clave dentro de un ITS extensivo en las regiones asiáticas. Asimismo, se sugirió que los sectores públicos regionales identifiquen adecuadamente los servicios ITS extendidos considerando las condiciones locales y los desplieguen garantizando la interoperabilidad entre subsistemas, promoviendo de manera conjunta con el sector privado la mejora de las infraestructuras sociales, las normas, las disciplinas de transporte y los marcos regulatorios. Finalmente, se precisó que estas iniciativas no necesariamente siguen el precedente de regiones como Europa, Estados Unidos o Japón, debido a que sus infraestructuras se encuentran en procesos de renovación y a que la rápida evolución de las tecnologías de la información y la comunicación está reformulando los mecanismos de uso de la información, las normas regulatorias y las plataformas tecnológicas, lo que otorga a las regiones asiáticas, por su avance socioeconómico y tecnológico, un rol relevante para liderar futuras iniciativas de ITS.

1.1.2 Nacionales

Herrera (2011) señaló que el rápido avance tecnológico permite prever que, en el futuro, la localización de las personas se determinará mediante coordenadas, convirtiendo al uso del GPS en una herramienta de uso cotidiano, similar a portar un reloj, y que los vehículos serán controlados por sistemas satelitales que reducirán la necesidad de un conductor humano, permitiendo una navegación autónoma con altos niveles de precisión. No obstante, indicó que en el contexto nacional el uso del GPS aún no se encontraba ampliamente difundido debido a los elevados costos de los sistemas AVL (Localización Automática de Vehículos), lo que limitaba su accesibilidad, aunque se estimaba que su implementación se incrementaría progresivamente con el paso del tiempo.

Por su parte, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), a través del Informe N.º 6 del Plan Maestro de Transporte ITS, destacó como principales fortalezas la elaboración de una arquitectura nacional de los sistemas ITS y la formulación de un Plan Maestro, así como el alto nivel de desarrollo tecnológico alcanzado. Asimismo, señaló que tanto entidades públicas como privadas han adoptado estos sistemas para mejorar la movilidad, contando con experiencias previas, procesos de certificación y homologación liderados por INDECOPI, infraestructura ITS en funcionamiento que facilita la integración de plataformas y acceso a financiamiento, principalmente mediante asociaciones público-privadas, lo que posiciona a los ITS como una alternativa viable para el desarrollo del transporte en el Perú.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Justificación

1.5.1.1 Teórica. Se basa en la necesidad de mejorar la comunicación y control en la red vial mediante el uso los ITS aplicados a la estructura de las carreteras, para mejorar la movilidad, conservación y control en la red vial nacional en el Perú dará resultado.

1.5.1.2 Práctica. La justificación práctica parte del modelamiento con sistemas inteligentes de transportes para ser aplicado a las obras viales, y establecer los fundamentos para desarrollar una infraestructura vial o autopista en el futuro provista de un servicio integral para los usuarios viales a nivel nacional.

Se busca prever alternativas de solución moderna que coadyuve a la reducción de los problemas implícitos, con una tecnología que permita mejorar las infraestructuras viales y su servicio con sistemas inteligentes de transportes, tomando como muestra la distancia de los Kms : 1164+500- 1204+500 de la red vial en la carretera Panamericana Norte. Luego con los resultados obtenidos evaluar su implementación a nivel nacional.

1.5.1.3 Metodológico. Se fundamenta en la recolección de datos de campo, modelamiento y finalmente la simulación de los ITS en la red vial. Así mismo, dentro del contexto académico- investigativo de nuestro entorno, se convierte en la aplicación de una metodología que planteará e identificará propuestas que viabilicen mejoras en la infraestructura vial.

1.5.1.4 Social. Los aspectos que tienen influencia directa en la calidad del servicio de transporte y seguridad de desplazamiento de la comunidad económicamente activan en la buena movilidad vial urbana y rural.

El desarrollo económico y bienestar individual y colectivo depende del servicio de transporte. Ya que este es importante para toda actividad económica primaria: Agricultura, minera y pesquera.

1.5.2 Importancia

Las vías nacionales no están articulados adecuadamente a nivel nacional como carreteras Regionales, y que adolecen de señalización y supervisión del uso de las vías que poseen características geométricas en muchos casos no apropiadas que permitan una transitabilidad fácil y fluida, principalmente de vehículos pesados.

Estas vías requieren mejoras que garanticen un adecuado servicio como corredores económicos de los diferentes poblados aledaños a estas vías de comunicación.

La ejecución de la investigación conllevará a revalorar las vías nacionales y por ende el comercio con traslados garantizados en el menor tiempo posible con la aplicación de los ITS y mejora de la red vial.

1.5.3 Fundamento

Para mejorar el ST en la red vial nacional, se está dando prioridad a la conectividad y control del tráfico. Esto busca optimizar la fluidez vehicular e integrar mejor el territorio a nivel regional y nacional. Además, se espera impulsar sectores como el agropecuario, agroindustrial, turístico y de servicios, fomentando un transporte más competitivo y de calidad en el sector privado.

1.6 Limitaciones de la investigación

1.6.1 Espacial

Este estudio se enfoca en la infraestructura de la red vial nacional, utilizando como área de prueba el tramo de la Carretera Panamericana Norte entre los kilómetros 1164+500 y

1204+500, abarcando las regiones de Piura y Tumbes. Dicho tramo se considera un plan piloto dentro de la investigación.

1.6.2 Temporal

Dura doce (12) meses, empezando la investigación en el mes de junio 2024 y concluyendo en junio del 2025.

1.6.3 Social

Las entidades involucradas directa e indirectamente en la presente investigación:

- Ministerio de Economía y Finanzas.
- Gobiernos Regionales relacionados a la costa del Perú.
- Municipalidades involucradas en el tramo de las vías en estudio
- Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC
- Instituto Nacional de estadística (INEI)
- Empresas de transportes Terrestres diversos.
- Conductores de vehículos particulares
- Conductores del servicio público y carga pesada
- Empresas de construcción e instalaciones electrónicas
- Empresas Proveedoras de tecnología
- Proveedores de servicios y mantenimiento de equipos.

1.7 Objetivos de la investigación

1.7.1 Objetivo general

Optimizar el monitoreo del flujo vehicular en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte.

1.7.2 Objetivos específicos

- Optimizar el monitoreo del flujo vehicular en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte.
- Controlar la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos como hidrología, geotecnia y climatología del eje vial, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte.
- Determinar el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de red vial nacional mediante la tecnología de sistemas inteligente de transporte.
- Mitigar la siniestralidad en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis principal

La tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte optimizaría el flujo vehicular, y la conservación vial para la carretera Panamericana Norte del Perú

1.8.2 Hipótesis secundarias

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte optimizaría el monitoreo del flujo vehicular.

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte controlaría en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial.
- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte determinaría el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional
- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte mitigaría la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Base teórica

2.1.1 Vehículos y clasificación

- Ligeros: Autos, camionetas, camioneta rural, microbús.
- Autos: Todo tipo de automóvil de cuatro o dos puertas.
- Camionetas: Son aquellos que tienen tinas y están enfocadas a trabajos de carga.
- Camioneta rural: Vehículo de hasta 16 asientos su peso es de 4,000 Kgs.
- Microbús: Cuentan con capacidad para 15 o 30 pasajeros.
- Bus (B2, B3-1, B4): Son aquellos que tienen capacidad para 30 personas.
- Camiones unitarios (C2, C3, C4): Es autopulsado y transporta un peso igual o mayor a 4,000Kgs.

A. Camiones acoplados.

- Camión de 2 Ejes y Remolque de 3 Ejes: (C2R3):
Camión con 2 ejes y un remolque de 3 ejes, con un peso máximo de 48 000 kg.
- Camión de 3 Ejes y Remolque de 2 Ejes: (C3R2):
Camión con 3 ejes y un remolque de 2 ejes, con un peso máximo de 48 000 kg
- Camión de 3 Ejes y Remolque de 3 Ejes: (C3R3):
Camión con 3 ejes y un remolque de 3 ejes, con un peso máximo de 48 000 kg.
- Tracto Camión de 2 Ejes y Semi-remolque de 2 Ejes: (T2S2):

Tractocamión de 2 ejes con un semirremolque de 2 ejes, con un peso máximo de 37 000 kg

- Tracto Camión de 2 Ejes y Semi-remolque de 3 Ejes: (T2S3):

Tractocamión de 2 ejes con un semirremolque de 3 ejes, con un peso máximo de 41 000 kg.

- Tracto Camión de 3 Ejes y Semi-remolque de 2 Ejes: (T3S2)

Estos vehículos están diseñados para diferentes tipos de carga y transporte, asegurando eficiencia y estabilidad en el traslado de bienes.

2.1.2 tecnologías de información y comunicación (TIC)

Las “TIC”, incluyen instrumentos fundamentales en informática, microelectrónica y telecomunicaciones, posibilitando nuevas formas de interacción. Estas tecnologías contienen herramientas que simplifican la difusión el acceso y el manejo de datos en diversos formatos.

En todo proceso de comunicación, siempre se transmite un mensaje. Para estas tecnologías el mensaje se compone de información e instrucciones que un usuario envía a otro mediante un medio digital.

Las TIC han transformado el manejo de información al fusionar las tecnologías de comunicación, tales como la radio, teléfonos, ya que estas se enfocan en la digitalización y almacenamiento de información. Adicionalmente estas tecnologías han promovido la creación de redes que permiten un acceso más rápido y facial a la información.

2.1.2.1 Tipos de TICs. Abarcan una amplia variedad de herramientas y sistemas que se ajustan al concepto asignado a ellas.

Se realiza una clasificación desde estos enfoques:

A. Clasificación según su enfoque tecnológico.

- Equipos: Son recursos digitales, en los que se puede guardar información y transmitir información.
- Servicios: Ayudan a la adquisición, tratamiento de datos, al igual que la transmisión de información.

Esto permite diferenciar entre los dispositivos electrónicos y las herramientas diseñadas para procesar información. Hoy en día, los equipos como teléfonos celulares e internet facilitan el acceso a servicios de comunicación.

B. Clasificación según el mercado económico de bienes y servicios de información y comunicaciones.

Encontramos los siguientes tipos de TIC:

- Telecomunicaciones: Abarca la telefonía móvil y fija.
- Mercado audiovisual: comprende la televisión y la radio.
- Mercado de servicios informáticos: Incluye computadoras personales, redes de datos como internet y plataformas de mensajería como el correo electrónico.

2.1.2.2 Características de las TIC's

A continuación, las siguientes particularidades de los datos en internet como elementos distintivos de las TIC:

A. Inmaterialidad. Realizan el procedimiento de generación de datos que es transportada con claridad y de manera inmediata a diferentes sectores.

B. Interactividad. Facilitan el intercambio de datos entre el usuario y una computadora, y esta interacción posibilita adaptar los recursos utilizados a las necesidades y características de la persona.

C. Interconexión. Se relaciona con la generación de oportunidades basándose en la conexión de dos tecnologías.

D. Instantaneidad. Brinda información de manera rápida y a diversos lugares.

E. Digitalización. La información es universal y puede ser transmitido por todas las plataformas.

F. Amplio alcance que abarca los campos cultural, económico, educativo, entre otros. las TIC han tenido un impacto importante en las personas, sino que también han logrado expandirse e infiltrarse en campos relevantes como la economía, educación, en escala mundial.

G. Mayor influencia sobre los procesos que sobre los productos. Proporcionan a las personas oportunidad de obtener una amplia gama de información para generar conocimiento, también facilita hacerlo por medio de la conexión.

H. Innovación. Genera la creación e innovación de nuevos medios e información para mejorar la comunicación.

I. Diversidad. No solo persiguen un objetivo específico, sino que son sumamente beneficiosas para la realización de más de una función.

J. Tendencia a la automatización. Se discute el avance de instrumentos para la gestión automática de los datos en una amplia gama de actividades sociales y laborales.

2.1.3 Transporte terrestre

Implica el desplazamiento de individuos y bienes por caminos designados para tal propósito. Estas vías que unen diferentes lugares pueden estar pavimentados o preparados para facilitar el tránsito de vehículos. Un de las mayores fortalezas del transporte por vía terrestre es su menor precio en relación con otros medios. En comparación con los ferrocarriles tanto en inversión como en costos operativos y de conservación de las carreteras son más asequibles.

La tesis doctoral "Transporte y desarrollo económico: Un análisis para Bolivia, Colombia y Venezuela" refiere:

A. Transporte por carreteras. A inicios del siglo XX, la red vial de Venezuela cobra mayor relevancia, La construcción de carreteras, muchas de ellas con pavimento de hormigón, se intensificó después de 1920, el incremento de los ingresos fiscales permitió al estado desarrollo infraestructura clave. Durante los años 70 y 80 se inauguraron segmentos de autopistas, pese a que algunos proyectos no fueron concluidos. A Finales de la década de los 80 las reformas económicas descentralizaron la administración de las vías y establecieron concesiones basadas en peajes (Ramos, 2010).

El gobierno financia la infraestructura de carreteras a excepción de las carreteras urbanas que eran responsabilidad de las municipalidades. La edificación y conservación de las vías de comunicación estaban a cargo de la administración central. A pesar de que se destinaba una parte de sus recursos a carreteras, cerca del 30% de estas rutas eran ideadas y programadas. Este modelo demostró ser ineficaz y afecto de manera adversa el sistema de carreteras del país (Ramos, 2010).

Los planes se enfocaron más en la creación de rutas nuevas que en preservar las redes ya existentes. Los proyectos de infraestructura rural estaban mal planificados y no estaban en

sintonía con las demandas de las comunidades locales. La asignación presupuestal era incierta y dificultaba tanto la administración como la conservación de las redes. La aprobación de la LODDTC en 1989 posibilitó la repartición de la gestión de las vías entre el gobierno central, los estados y los ayuntamientos. El SAVA asumió la responsabilidad de los caminos y acceso a los establecimientos nacionales, regionales y locales. Adicionalmente se establecieron regulaciones para modificar la gestión de carreteras y poner en práctica la descentralización de las carreteras. Algunos países demostraron estar dispuestos a realizar el mantenimiento de las vías, siempre que dispongan un financiamiento adecuado. No obstante Venezuela fue una de las primeras en impulsar la reforma del estado, las instituciones y la organización pública (Ramos, 2010).

La descentralización vial en Venezuela asignó la gestión de carretera a distintos niveles de gobierno pero la falta de recursos y regulaciones claras dificultó su implementación. Aunque se promovieron concesiones privadas para el mantenimiento vial y el transporte público pasó a las municipalidades, pero persistieron problemas de financiamiento y regulación. En el transporte de carga, la falta de organización y las barreras impuestas por gremios generaron ineficiencia a altos costos. En cuanto al ferrocarril se impulsaron planes de expansión mediante concesiones desde 1990, pero los avances han sido limitados por obstáculos administrativos legales (Ramos, 2010).

La Tesis Doctoral denominada: “Sistema de detección y reconocimiento de señalización en carretera mediante técnicas de procesamiento digital de imagen e inteligencia artificial”, en requisitos de los sistemas ITS señaló:

Para medir la efectividad y el rendimiento de un sistema de ITS, es básico considerar características clave como sencillez, fiabilidad. La complejidad computacional debe mantenerse baja para disminuir cobros y mejorar la velocidad de ejecución, sobre todo en

aplicaciones donde el tiempo de respuesta es crítico, como la prevención de accidentes. Además la fiabilidad es esencial, ya que estos sistemas deben identificar incidencias con la menor posibilidad de error posible, lo que requiere una evaluación precisa de su desempeño (Lafuente, 2014).

- Tasa o probabilidad de detección (DR-Detection Rate): Es la probabilidad de detección de los hitos reales. De forma inversa.
- Probabilidad de falsa alarma (FPR-False Positive Rate): Los errores en los algoritmos pueden generar falsas alarmas, que si son excesivas, saturan el sistema y lo vuelven ineficaz. Además, el diseño de un ITS debe equilibrar fiabilidad y costos, optando por sensores y medios de transmisión económicos, compensados con algoritmos que mantengan la precisión (Lafuente, 2014).

La Tesis Doctoral denominada: “Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autovías”, señaló:

Los retos del aumento de vehículos en las ciudades y la seguridad vial mediante el uso de vehículos eléctricos y a gas, avanzando hacia la conducción autónoma. Se basa en controladores de lógica difusa, que replican la toma de decisiones humana en entornos reales. Su arquitectura modular permite integrar nuevos dispositivos, como sensores RFID y actuadores. El objetivo es desarrollar sistemas de control para maniobras autónomas individuales y cooperativas en distintos escenarios, incluyendo adelantamientos, bloqueos. Además, se ha implementado un controlador para altas velocidades (Pérez, 2012).

Las siguientes conclusiones se toman de cada tema desarrollado en la tesis:

A. Control lateral. Hay un estudio que compara las cuatro técnicas de control: Control PI clásico una nueva técnica de control denominada control i-PI, control difuso basado en humanos.

Conocimiento experto y experiencia, y control neuro-difuso:

- El controlador PI tiene un comportamiento inaceptable.
- El controlador difuso tiene un buen comportamiento, y el tiempo necesario para sintonizarlo es menor comparando con los demás.
- El controlador i-PI tiene el mejor resultado en una etapa estable, sin embargo, presenta muchas oscilaciones en la etapa transitoria. Además, tiene algunos problemas cuando la velocidad de referencia cambia a valores negativos.
- El controlador neuro-difuso tiene el mejor comportamiento, ya que tiene la media más baja error a pesar de todo el experimento. Sin embargo, tiene la mayor parte del costo computacional, y debido a la compleja base de reglas, tiene dificultades para ajustarlo en el vehículo.

B. Maniobras en escenarios urbanos. Un sistema automatizado, considerando tres vehículos, para adelantar en carreteras de dos vías con se ha diseñado y validado un tráfico inminente. El controlador propuesto resuelve rápido y seguro el problema, utilizando el comportamiento del conductor en estas situaciones. Un control de cruce inteligente, considerando información de infraestructura a través de RFID (Radio Frequency Identification) sensores, ha sido diseñado e implementado.

Basado en las contribuciones en el control lateral, un nuevo controlador para la marcha atrás ha sido designado. Además, un algoritmo que permite al vehículo salir de la ruta

bloqueada, realizando cambios de marcha automáticamente a través de un módulo analógico que se comunica con la PC a bordo, se ha definido y probado.

Se ha creado y comprobado un sistema de control automático para rotondas, ambos simulaciones y escenarios reales. Solo considerando el radio, las coordenadas centrales y la ecuación paramétrica de un círculo, una generación automática de mapas ha sido logrado Esta arquitectura de control es totalmente modular, permitiendo intercambiar los diferentes bloques.

C. Maniobras en carreteras. El sistema de control lateral para la conducción autónoma ha sido validado para altas velocidades. Los resultados muestran un buen comportamiento del sistema para velocidades superiores a 100 km / h una arquitectura de control para participaren competiciones internacionales ha sido diseñado, adaptado y validado en el GCDC 2011. Nuevos periféricos y comunicación.

Las tarjetas se han añadido de acuerdo con los requisitos de la competencia como aporte de esta tesis, se destaca la modularidad y adaptabilidad de la arquitectura presentada. Para agregar nuevos periféricos, así como sensores de percepción, comunicación con la infraestructura y otros vehículos, y nuevos actuadores. Los controladores de lógica difusa es el núcleo de la arquitectura; Su ajuste intuitivo y fácil implementación pueden reducir la brecha que existe, hasta ahora, entre los sistemas de transporte inteligentes y los conductores humanos.

Para implementar el aporte de esta tesis en el mercado, es necesario para alcanzar una mayor robustez y seguridad en la percepción y comunicación.

Hoy en día hay sistemas disponibles en el mercado. Aunque la automatización completa de un vehículo es un tema pendiente, algunos investigadores y fabricantes se centran en las automatizaciones parciales, que se puede asociar a escenarios particulares,

como: estacionamiento automático, ya en el mercado, o algunos de los sistemas presentados en este trabajo: un sistema autónomo para salir de caminos bloqueados, o maniobras autónomas en rotondas, o control de cruceo inteligente basados en señales RFID, entre otros. Como el futuro trabajo en la investigación de ITS, es importante realizar desarrollos en las comunicaciones, especialmente entre los vehículos en los próximos años. Muchos fabricantes están desarrollando vehículos con actuadores longitudinales (Toyota, Volvo Peugeot-Citro en, entre otros), de hecho, muchos de ellos ya tienen sistemas de control embarcados. Con estas plataformas, la implementación. Los algoritmos de control deben centrarse en el aprendizaje inteligente número mayor de vehículos en diferentes escenarios, así como la fusión de controladores laterales y longitudinales.

Para altas velocidades, permanezca como parte del trabajo a considerar la investigación sobre ITS contribuye a reducir el número de accidentes fatales en carreteras y autopistas Además, más personas con discapacidades motoras o vehículos especiales pueden conducir.

Todavía hay mucho trabajo por hacer hasta que podamos ver vehículos totalmente autónomos en la carretera, si bien la mayor presencia de ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción) en vehículos reales nos invita a pensar que estamos obteniendo más cerca (Pérez, 2012).

2.1.4 Control y fiscalización vial

Es el grupo de acciones que usa el gobierno para asegurar que los conductores respeten las normas de tránsito. Esto incluye multas impuestas por agentes, el sistema de puntos en las licencias, el uso de radares y el control de los tiempos de manejo y descanso. La herramienta principal en este proceso es un sistema eficiente de sanciones, diseñado para castigar de manera efectiva las infracciones. (Pons Seguridad Vial. 2015).

2.1.4.1 Definición de los ITS. Son Sistemas Inteligentes de Transporte que ayudan al control de la información que emplean tecnologías de procesamiento de datos y comunicaciones de manera integrada, con el fin de:

- Optimizar la movilidad de personas y mercancías.
- Mejorar la seguridad, disminuir la congestión del tráfico y facilitar una gestión eficiente de incidentes.
- Lograr los objetivos y metas de las políticas de transporte, como las medidas para gestionar la demanda o priorizar el transporte público.

También integra diferentes métodos y estrategias que pueden usarse con tecnología por separado o en conjunto para mejorar el transporte. Los ITS son herramientas esenciales para hacer que el tránsito sea más seguro y eficiente, especialmente en la administración de las carreteras.

2.1.4.2 Función. Los sistemas ITS intentan mejorar la experiencia de los usuarios del transporte., brindando más confianza y comodidad en sus desplazamientos. También ayudan a los operadores a gestionar mejor el sistema, facilitando la toma de decisiones y optimizando las operaciones. En general, los ITS mejoran el funcionamiento del transporte en tiempo real para conductores, pasajeros, empresas de transporte y otros usuarios.

La implementación de los sistemas ITS depende de intereses comerciales y decisiones políticas en diferentes niveles, lo que influye en las prácticas del sector público y privado. Estos sistemas ofrecen una solución flexible para mejorar el transporte sin necesidad de construir más carreteras, abordando problemas como el uso eficiente de la información, la toma de decisiones y la capacidad de adaptación. Son especialmente útiles en ciudades muy pobladas o en zonas con estrictas normas ambientales, donde las soluciones tradicionales no son viables. ITS utiliza herramientas como sensores, informática y comunicaciones para

hacer el transporte más eficiente, seguro, sostenible y capaz de resistir interrupciones importantes.

2.1.4.3 Aplicaciones ITS. Tienen potencial para mitigar problemas difíciles que afectan actualmente al transporte por carretera.

- Agilizar el tráfico reduciendo la congestión.
- Identificar rápidamente los incidentes y responder de manera efectiva.
- Mejorar la calidad del aire reduciendo la contaminación y minimizando los retrasos en los viajes.
- Aumentar la seguridad mediante alertas tempranas ante posibles accidentes.
- Reducir el impacto de factores ambientales, viales y humanos que influyen en los accidentes.

Los sistemas ITS hacen los viajes más cómodos al brindando información en tiempo real sobre el tráfico y las opciones de transporte. Además, pueden impulsar la economía de una región al mejorar la movilidad, hacer los tiempos de viaje más predecibles y reducir el consumo de energía.

2.1.4.4 Operación de la red vial. Muchas aplicaciones ITS desempeñan un papel clave en la gestión de las redes viales, entre ellas:

- Optimizar el uso de la capacidad disponible en la red vial.
- Los sistemas ITS ayudan a que las carreteras funcionen de forma más eficiente, segura y sostenible. Sus aplicaciones más utilizadas están enfocadas en mejorar el rendimiento de la red vial. Algunos ejemplos incluyen:

- Sistemas diseñados para administrar el tráfico y regular la demanda de viajes mediante el control del tráfico, la gestión de incidentes, el pago electrónico, la planificación de rutas y la administración de estacionamientos.
- Sistemas de información que ayudan a los conductores a elegir la mejor opción de viaje, como guías de ruta y alertas sobre el tráfico en tiempo real.

Los vehículos autónomos conectados están volviéndose una realidad, lo que tendrá un gran impacto en el funcionamiento de las carreteras y requerirá un análisis detallado para su correcta implementación.

2.1.4.5 Beneficios de los ITS. Todos los que usan las carreteras, como conductores, pasajeros, peatones y ciclistas, pueden beneficiarse del uso de los sistemas ITS. Estos sistemas se aplican a diferentes medios de transporte, como autos particulares, autobuses y vehículos comerciales. Algunos ejemplos incluyen:

- Los sistemas ITS benefician a los vehículos comerciales al facilitar procesos como la gestión electrónica de procesos y revisiones automatizadas de seguridad vial. También mejoran el transporte público al ayudar a los operadores a cumplir mejor con los horarios, optimizar sus servicios y aumentar la seguridad tanto en los vehículos como en las estaciones. Además, ofrecen a los pasajeros información en tiempo real sobre horarios y rutas (Asociación Mundial de la Carretera, 2020).

2.2 Marco filosófico

2.2.1 Filosofía de la ingeniería civil

Es una de las profesiones más antiguas actualmente con sus especialidades en Estructuras, Hidráulica, Geotecnia y Transportes.

A. Según la historia. Los chinos crearon la Ruta de la Seda durante 2.000 años y crearon carreteras desde el siglo XI a.C. En su mejor momento, alrededor del 200 a.C., se conectó con los caminos romanos, formando una ruta de 12.800 km desde Cádiz hasta Shanghái. Por otro lado, los incas hicieron una gran red de caminos que unía Quito con el sur de Cuzco. No usaban ruedas, solo caminaban personas y llamas. Tenían un camino en la costa de 3.600 km y otro en los Andes de 2.640 km, conectados por senderos más pequeños. Sus caminos eran anchos, con rampas suaves y muros de piedra para sostenerlos.

En la antigua Babilonia, alrededor del 700 a.C., había caminos que conectaban palacios y templos. Estaban hechos de ladrillos y piedras pegadas con un tipo de cemento a base de betún. Estos caminos fueron los primeros en inspirar las famosas vías romanas. Hoy en día, la Ingeniería Civil trabaja en mejorar los caminos con la ayuda de la tecnología para brindar un mejor servicio a la sociedad (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2022).

B. Según Voltaire. Las naciones europeas comenzaron hace poco a mejorar sus caminos y hacerlos más agradables. En la antigüedad, los emperadores de China y el Imperio Mogol también se preocuparon por esto, pero no alcanzaron el nivel de los romanos. Las vías Apia, Aurelia, Flaminia, Emiliana y Trajana aún existen, ya que solo los romanos tenían la capacidad de construir y mantener caminos de esa calidad.

Los trabajadores que construyeron los caminos del Imperio Romano fueron más útiles que los individuos que edificaron enormes pirámides solo para enterrar a un faraón egipcio.

Los romanos realizaron grandes obras, como modificar lagos, nivelar colinas y cortar montañas para construir caminos, como en la Vía Haminia por orden de Vespasiano. Sus carreteras eran tan resistentes que muchas casas actuales no son tan sólidas. Extendieron sus caminos por todo el Imperio, aunque no siempre con la misma calidad debido a los costos. En

Italia, las vías se elevaban cuatro pies sobre sus bases y, si encontraban un pantano, lo rellenaban. En zonas montañosas, construían rampas suaves y usaban muros para sostener los caminos. Encima colocaban grandes piedras y mármoles de un pie de grosor y diez de largo, diseñados para evitar que los caballos resbalaran. Los caminos romanos impresionan tanto por su utilidad como por su grandiosidad.

La mayoría de estas impresionantes construcciones fueron financiadas con dinero del Estado. César reparó y extendió la Vía Apia con su propio dinero, aunque en realidad era dinero de la República. Para estos trabajos usaban esclavos, pueblos conquistados y habitantes de provincias sin ciudadanía romana. Aunque trabajaban como obligación, recibían un pequeño pago.

El emperador Augusto fue el primero en hacer que las legiones trabajaran junto con la población para construir caminos en regiones como las Galias, España y Asia. También abrió un paso en los Alpes por el valle que hoy se conoce como "Valle de Aosta", pero antes tuvo que conquistar a los pueblos que vivían allí. Además, creó otra ruta a través de los Alpes que conectaba con Lyon y desde allí con toda la región de las Galias. Curiosamente, los pueblos conquistados nunca habían construido algo tan beneficioso para ellos como lo hicieron los romanos.

Con la caída del Imperio Romano, se abandonaron las construcciones públicas, el arte y la industria. Los caminos de las Galias quedaron en ruinas, excepto uno que la reina Brunquilda intentó reparar, aunque por poco tiempo. Las antiguas vías se convirtieron en terrenos difíciles de transitar, llenos de lodo y piedras, lo que hacía que los viajes fueran muy lentos y el comercio prácticamente desapareciera. Durante los inviernos, viajar era casi imposible debido al mal estado de los caminos, especialmente en Alemania y Francia. No fue hasta el reinado de Luis XIV que se empezaron a construir nuevas carreteras que otras

naciones imitaron. Las calzadas romanas eran más estrechas que las actuales, pero también mucho más resistentes, por lo que no necesitaban reparaciones constantes. Además, estaban decoradas con monumentos y columnas miliarias (Las columnas miliarias eran pilares de piedra que los romanos colocaban a lo largo de sus vías o caminos principales para marcar las distancias), ya que en Roma y Grecia no se permitía enterrar a los muertos dentro de las ciudades ni en los templos, algo que más tarde se hizo en las iglesias cristianas, causando problemas de salud pública. Solo los emperadores romanos tenían monumentos funerarios dentro de Roma.

Antes del Imperio Romano, los caminos eran solo senderos naturales utilizados por comerciantes y viajeros para trasladarse entre ciudades cercanas. No tenían un diseño planificado ni mejoras hechas por el ser humano. En esa época, no se comprendía la importancia de las vías terrestres para el desarrollo de la sociedad ni su impacto en la administración, la política y el comercio de un país. Fueron los romanos quienes entendieron el valor estratégico de los caminos, especialmente aquellos construidos y mantenidos por el Estado. Durante el Imperio, se creó una gran red de carreteras para mantener el control sobre sus territorios y facilitar la comunicación, lo que permitió consolidar su poder militar y político en gran parte del mundo conocido en ese entonces.

Tras la caída de Roma, los caminos fueron abandonados y la humanidad retrocedió en infraestructura vial hasta el siglo XIX. Los romanos construyeron caminos extremadamente sólidos sin preocuparse por costos, ya que usaban esclavos y prisioneros. Gracias a su calidad, muchos perduraron por siglos y han permitido reconstruir la enorme red que abarcaba gran parte de Europa, Asia y el norte de África.

C. Según el enfoque de investigación. Es un procedimiento ordenado y objetivo que busca responder preguntas o comprobar hipótesis para expandir el conocimiento. A través de la

observación y experimentación, se generan nuevos avances en ciencia y tecnología. Este estudio busca simular sistemas inteligentes para mejorar las carreteras nacionales, garantizando movilidad, conservación y control de las vías (Organización de Estados Iberoamericanos, 2020).

La filosofía de la tecnología es una subdisciplina autónoma dentro de los estudios CTS, con sus propias tradiciones y referentes. La revista Teorema presenta un volumen monográfico que expone el estado actual de esta. El Análisis filosófico de la tecnología ha sido históricamente un campo marginal, separado de la filosofía de la ciencia, aunque en los últimos años ha ganado relevancia.

Carl Mitcham es una de las figuras más destacadas en la filosofía de la tecnología. En su libro *Thinking Through Technology* (1994), señala dos grandes tradiciones filosóficas sobre la tecnología, cuyos orígenes se atribuyen a Ernst Kapp y Lewis Mumford. Su aporte ha sido fundamental para el desarrollo y comprensión de esta disciplina.

Ernst Kapp fue el autor del primer tratado sistemático llamado *Filosofía de la tecnología*. (1877). Ingeniero de formación y posteriormente profesor en Alemania, Planteó la tecnología como una extensión de los órganos humanos. (*Organprojektion*). Su enfoque se enmarca en su "filosofía geográfica", donde considera la historia como el testimonio del esfuerzo humano por adaptarse al entorno mediante la tecnología. Para Kapp, incluso la cultura es una forma de tecnología, vista como una extensión de las capacidades humanas para colonizar el espacio y el tiempo.

Lewis Mumford, en oposición a Ernst Kapp, analizó la tecnología desde una perspectiva crítica, destacando su carácter autoritario cuando se orienta hacia el poder, la riqueza o la superioridad militar en lugar de potenciar el desarrollo humano. Señaló el peligro del "mito de la máquina", la creencia en la inevitabilidad y beneficio absoluto de la tecnología,

abogando por su uso en favor de la humanidad. Mientras que Kapp, dentro de la tradición "ingenieril" descrita por Carl Mitcham, veía la tecnología como un punto de partida incuestionable, Mumford enfatizó la necesidad de someterla a un análisis ético y social.

Carl Mitcham señala que Lewis Mumford fue el pionero de la tradición humanística en la filosofía de la tecnología. Esta perspectiva analiza la tecnología de manera crítica e interpretativa, considerándola como un resultado del pensamiento y la creatividad, más que como un fundamento en sí mismo. En esta línea se encuentran pensadores como José Ortega y Gasset, Martin Heidegger y Jacques Ellul. En contraste, la tradición ingenieril, originada en Alemania y basada en el neohegelianismo y neokantismo, ve la tecnología como un hecho dado y busca corregir sus aspectos negativos a través de enfoques éticos y políticos.

D. En la tradición humanística. La tecnología es concebida como un fenómeno que trasciende sus aspectos materiales, vinculándose estrechamente con los cambios culturales e históricos de la humanidad. Esta visión, desarrollada por pensadores como Lewis Mumford, José Ortega y Gasset y Martin Heidegger, ha evolucionado en Estados Unidos con la contribución de filósofos como Paul Durbin, Larry Hickman y Carl Mitcham. En este enfoque, la fenomenología y el pragmatismo sirven como bases filosóficas fundamentales, influyendo en múltiples estudios contemporáneos sobre la tecnología, como lo expone Paul Durbin en su análisis sobre la filosofía de la tecnología en América.

La filosofía de la tecnología es un área de estudio relativamente nueva en comparación con otras ramas filosóficas como la ética o la epistemología. Su surgimiento está vinculado tanto a cambios en la percepción pública del avance tecnológico como a la evolución de las tendencias filosóficas contemporáneas. Durante mucho tiempo, enfoques esencialistas en filosofía de la ciencia, como el empirismo lógico, veían la tecnología solo como una aplicación de la ciencia, lo que reducía el interés académico en su estudio. Sin embargo, la aparición de

perspectivas historicistas y naturalistas en filosofía de la ciencia, junto con el desarrollo de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), ha promovido una visión más contextualizada de la tecnología, revelando su complejidad y sus múltiples implicaciones filosóficas.

Además, en las últimas décadas, la tecnología ha adquirido una creciente relevancia como problema social, es un tema de debate en los medios de comunicación, foros públicos y agendas políticas. El rápido avance tecnológico ha evidenciado la conexión entre la economía, las instituciones y la vida cotidiana con los dispositivos y procesos tecnológicos. A su vez, ha evidenciado las repercusiones ambientales y los dilemas éticos asociados a ámbitos como la energía nuclear, la biotecnología o Internet. El estudio académico de la tecnología ha crecido significativamente, reflejándose en un aumento de publicaciones especializadas, congresos y monografías dedicadas al tema. Este cambio en la conceptualización académica también responde a una transformación en la percepción cultural de la tecnología, que ha dejado de ser vista exclusivamente como una simple extensión de la ciencia aplicada para convertirse en un fenómeno complejo que merece una reflexión filosófica propia.

Tras la Segunda Guerra Mundial, se estableció el "contrato social para la ciencia", un acuerdo que definió la relación entre ciencia, tecnología y sociedad. De este acuerdo surgió el "modelo lineal de innovación", que plantea que el conocimiento científico básico lleva al desarrollo de nuevas tecnologías, lo que a su vez impulsa la producción y el bienestar social. Esta idea fue presentada en el informe *Science: The Endless Frontier* de Vannevar Bush y guió la política científica de Estados Unidos durante dos décadas. En términos simples, este modelo sostiene que invertir en ciencia genera avances tecnológicos que, con el tiempo, mejoran la economía y la calidad de vida de las personas.

- La tecnología se entiende como una ciencia aplicada, cuyo desarrollo depende de la investigación en ciencia básica.
- La aplicación del conocimiento científico permite obtener beneficios sociales, ya que la tecnología busca solucionar problemas a partir de la ciencia.
- La financiación de la investigación básica recae principalmente en el Estado, ya que el conocimiento científico genera beneficios sociales, pero no siempre es rentable para el sector privado.

Diferentes enfoques académicos han puesto en duda la idea de que la tecnología es simplemente una aplicación de la ciencia. Según John Staudenmaier (1985), la tecnología tiene su propia historia y no depende únicamente del conocimiento científico. Muchos inventos han surgido a partir de la práctica y la experiencia, más que de teorías científicas. Además, el desarrollo tecnológico está influenciado por factores, lo que lo hace un proceso complejo y no simplemente una consecuencia de la ciencia. También se ha señalado que la innovación no sigue un camino fijo desde la investigación hasta su uso práctico, sino que es un proceso dinámico y con múltiples influencias. Por ello, para entender la tecnología, es necesario analizar su contexto histórico y el impacto que tiene en la sociedad.

- La tecnología transforma los conceptos científicos.
- La tecnología trabaja con datos distintos a los de la ciencia.
- El conocimiento tecnológico tiene características propias.
- La tecnología depende de habilidades técnicas.

Estos enfoques no niegan la conexión entre ciencia y tecnología, rechazan la idea de que la tecnología sea únicamente una aplicación de la ciencia. Estudios recientes sobre el desarrollo tecnológico han permitido comprender mejor cómo interactúan ambos campos, destacando

que la tecnología también se nutre de la práctica, la experiencia y factores sociales, económicos y culturales, en lugar de seguir un camino lineal desde la investigación científica hasta su aplicación.

- La tecnología surge del conocimiento tecnológico y de otros factores como valores, contextos sociales, económicos y políticos.
- El conocimiento tecnológico incluye tanto conocimiento codificado como conocimiento tácito.
- El conocimiento codificado abarca el conocimiento científico, el conocimiento tecnológico vinculado a la ciencia (tanto en contenido como en método) y el conocimiento técnico que no depende de teorías científicas.
- La relación entre ciencia y tecnología varía según el campo, siendo muy estrecha en áreas como la biotecnología y más distante en sectores como la producción mecánica o el transporte.

Al dejar de considerar la tecnología como una simple aplicación de la ciencia, se abre la posibilidad de analizarla desde perspectivas epistemológicas, éticas y políticas. En los últimos años, uno de los temas clave ha sido el estudio del conocimiento científico como un saber especializado que ayuda a evaluar y gestionar la tecnología en la sociedad actual. Estas investigaciones han vinculado la filosofía de la tecnología y la moral, destacando que el conocimiento científico, impulsando la creación y evolución de nuevas tecnologías, sino que también es una herramienta fundamental para controlar y minimizar sus impactos negativos.

Algunas ideas surgidas después de Kuhn en la filosofía de la ciencia y la sociología del conocimiento también resultan clave para el análisis de la tecnología. Entre ellas destacan que el conocimiento científico está influenciado por valores, que su interpretación es flexible

y que sus afirmaciones pueden ser inciertas. Investigadores como Sheila Jasanoff, Brian Wynne y otros han analizado cómo esta nueva perspectiva del conocimiento afecta la regulación de la tecnología y ayuda a mitigar sus efectos sociales y ambientales. Se espera que la colaboración entre la filosofía de la ciencia y el estudio de la tecnología genere nuevos avances, combinando perspectivas que antes se estudiaban por separado.

Este volumen busca ayudar al estudio filosófico de la tecnología, destacando cómo investigadores formados en filosofía de la ciencia pueden encontrar en ella un campo de análisis con problemas y temas propios. Incluye aportes de reconocidos filósofos españoles que han impulsado este ámbito en el país durante más de una década, así como la colaboración del experto estadounidense Carl Mitcham. La edición contó con el apoyo de varios académicos, cuyo trabajo ha ayudado a dar mayor visibilidad a la filosofía de la tecnología en España.

2.3 Base tecnológica

2.3.1 Innovación tecnológica

Las empresas deben actualizarse constantemente porque las demandas tanto de los consumidores como de la industria evolucionan con el tiempo. En este escenario, la innovación tecnológica tiene un rol fundamental, ya que no solo implica mejoras en la tecnología, sino también en otros aspectos de la empresa.

La innovación tecnológica consiste en crear o mejorar productos y servicios para el mercado. No solo se trata de lanzar cosas nuevas, sino también de optimizar lo que ya existe. Además, esta innovación no solo se enfoca en la venta, sino también en mejorar los procesos internos de producción.

Aunque su nombre lo sugiere, la innovación tecnológica no se limita solo a la tecnología. También abarca avances en áreas como la ciencia, las finanzas y el comercio, con

el propósito de optimizar la variedad y calidad de productos y servicios. También busca optimizar la organización y gestión empresarial, mejorando sistemas ya existentes.

La innovación tecnológica comprende un conjunto de actividades científicas, financieras y comerciales orientadas a introducir mejoras en el mercado y en los procesos de producción. En el ámbito de la infraestructura vial, el desarrollo de sistemas inteligentes contribuye a fortalecer la seguridad y la conservación de la red vial nacional mediante la implementación de tecnologías avanzadas.

2.3.2 Semáforo inteligentes

Un semáforo inteligente es aquel que puede adaptarse y tomar decisiones según distintos factores como el flujo de vehículos, la velocidad promedio y la calle en la que se encuentra. Su funcionamiento es dinámico y se ajusta a las condiciones del tráfico. Aunque existen diversas tecnologías para su implementación, aún no se ha encontrado la solución definitiva para disminuir la congestión vehicular en la ciudad. Este enfoque presenta varias ventajas, las cuales se analizarán más adelante.

Estos semáforos inteligentes han sido diseñados para abordar diversos problemas de tránsito que afectan a nivel global, tales como la congestión vehicular, los tiempos excesivos de viaje, las esperas innecesarias, el aumento en el consumo de combustible y la contaminación ambiental. Su implementación busca optimizar la movilidad urbana y mejorar la eficiencia en el uso de las vías.

2.3.2.1 Tecnología. Existen diversas maneras de implementar semáforos inteligentes, desde decidir el tiempo de las luces según el tráfico hasta tomar decisiones más avanzadas, como cambiar el flujo vehicular en caso de un accidente, la capacidad de decisión de estos semáforos depende en gran medida de la tecnología que emplean, ya que utilizan sensores, algoritmos de inteligencia artificial y sistemas de comunicación en tiempo real para ajustar

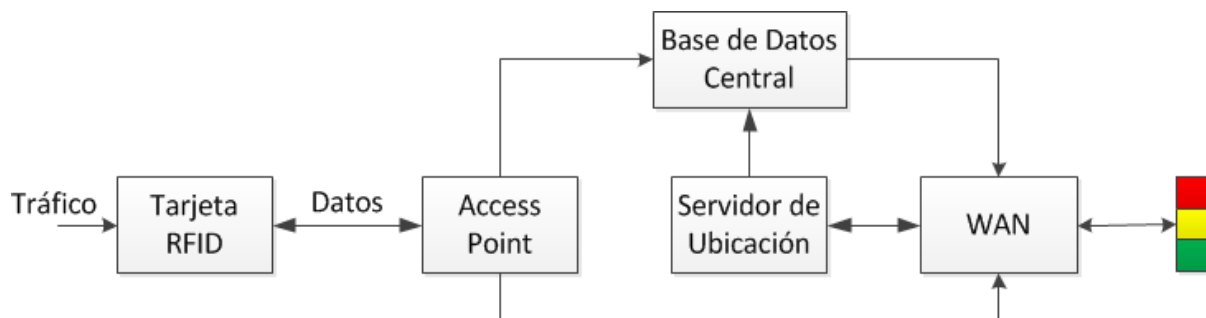
los tiempos de señalización según el flujo vehicular. Esto permite una gestión más eficiente del tráfico, reduciendo la congestión y mejorando la movilidad en las ciudades, como el uso de RFID para optimizar su funcionamiento.

a. Semáforo inteligente con RFID. El propósito de este sistema es mejorar la circulación vehicular ajustando el tiempo de los semáforos según la cantidad de autos en cada intersección. Para lograrlo, utiliza cuatro elementos principales: una tarjeta RFID para identificar vehículos, un punto de acceso para transmitir datos, un servidor de redes WAN para la comunicación y una base de datos central que analiza la información y decide la mejor opción para agilizar el tráfico.

El sistema RFID, o identificación por radiofrecuencia, permite almacenar y recuperar datos a distancia mediante dispositivos llamados etiquetas, tarjetas o transpondedores RFID.

Figura 1

Esquema del semáforo inteligente utilizando RFID



Nota. Adaptado de "Diseño de un sistema de semaforización Inteligente", por Monterrey, 2020, Universidad Piloto de Colombia.

El control del tráfico inteligente se basa en datos reales obtenida a través del sistema RFID (Ver figura 1). Los datos captados por los sensores se almacenan, el sistema funciona a través de una base de datos centralizada que almacena la ubicación y el tiempo de cada

vehículo. Para ello, utiliza etiquetas con identificadores únicos que permiten rastrear su movimiento y optimizar el flujo del tráfico.

En cada intersección, el tiempo de espera en los semáforos se ajusta según la congestión, la cantidad de vehículos en fila y otros factores. La comunicación entre el semáforo y el sistema de control se realiza mediante internet.

Los sensores ubicados en varios puntos registran información sobre el tiempo y tipo de vehículo, almacenándola en una tabla. Con estos datos, es posible calcular la velocidad promedio de los vehículos, su aceleración después de detenerse y otras características del tráfico. En caso de un accidente u otra situación inusual, el tráfico aún puede gestionarse gracias a la información acumulada en la base central. Además, el sistema es capaz de aprender de las decisiones previas y generar un panorama general del flujo vehicular al identificar diversos escenarios.

- El sistema permite analizar el tráfico para identificar patrones de circulación en un día específico, establecer la mejor secuencia de movilidad y detectar la ruta con mayor actividad.

El principal reto busca desarrollar un sistema de tráfico avanzado que pueda analizar y predecir el flujo vehicular en toda la ciudad. Sin embargo, una de las principales dificultades de esta tecnología es que cada vehículo debe contar con una etiqueta RFID, lo que puede limitar a que el sistema funcione de manera efectiva.

b. Semáforo inteligente usando redes de sensores inalámbricos. El sistema semaforico inteligente permite regular el tráfico ajustando de manera dinámica los tiempos de espera. Su funcionamiento se basa en principios similares a los semáforos que emplean tecnología RFID.

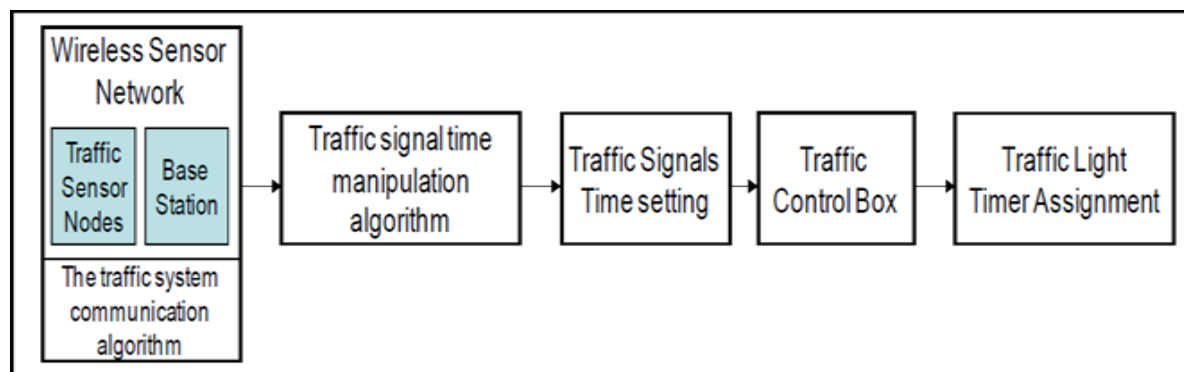
El sistema se divide en dos partes esenciales: una red de sensores inalámbricos (WSN) que recoge información sobre el tráfico y una estación base (BS) que analiza esos datos y aplica los algoritmos para regular la circulación.

La red de sensores inalámbricos está formada por varios dispositivos que recopilan información importante sobre el flujo vehicular, como la cantidad de vehículos, su velocidad, longitud y procesos de salida. Esta información es enviada en tiempo real a la estación base para su procesamiento y análisis.

El sistema emplea TDMA para la comunicación, optimizando el uso de energía al permitir que los nodos de la red permanezcan inactivos hasta que se les asigne un intervalo de tiempo para transmitir datos.

Figura 2

Esquema del semáforo inteligente usando redes de sensores inalámbricos



Nota. Adaptado de "Diseño de un sistema de semaforización Inteligente", por Monterrey, 2020, Universidad Piloto de Colombia.

El TSN (Traffic Sensor Nodes) es el dispositivo responsable de identificar y contabilizar los vehículos, enviando datos al sistema de manera constante. Para su operación, el sistema necesita cuatro elementos clave: un sensor que capta la presencia de los vehículos, un procesador que analiza los datos, una unidad de comunicación que transmite la

información y una fuente de energía. Además, en cada carril se instalan dos sensores TSN con una separación de aproximadamente 30 metros (Figura 2)

El TSCA (Traffic System Communication Algorithm) se encarga de coordinar la comunicación entre los sensores de tráfico (TSN) y la base de datos, además de interactuar con la caja de control de tráfico. Luego de recopilar y almacenar los datos, estos se envían al TSTMA (Traffic Signal Time Manipulation Algorithm), que ajusta de manera automática la duración de los semáforos según la información recibida. Este algoritmo adaptativo calcula el tiempo de las luces roja y verde en cada intersección basándose en una matriz de conflictos de direcciones (ver figura 3).

La matriz de conflictos evalúa las diferentes situaciones que pueden presentarse al activar un semáforo en determinada dirección. Para ello, analiza un cruce común en zonas metropolitanas, lo que facilita una mejor gestión del tráfico y ayuda a disminuir la congestión vehicular.

Figura 3

Matriz de conflictos

| | OD | OC | OI | ED | EC | EI | ND | NC | NI | SD | SC | SI |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| OD | | | | | | X | | X | | | | |
| OC | | | | | | X | | X | X | X | X | X |
| OI | | | | X | X | | | X | X | | X | X |
| ED | | | X | | | | | | | | X | |
| EC | | | X | | | | X | X | X | | X | X |
| EI | X | X | | | | | | X | X | | X | X |
| ND | | | | | X | | | | | | | X |
| NC | X | X | X | | X | X | | | | | | X |
| NI | | X | X | | X | X | | | | | X | |
| SD | | X | | | | | | | X | | | |
| SC | | X | X | X | X | X | | | X | | | |
| SI | | X | X | | X | X | X | X | | | | |

Nota. Adaptado de "Diseño de un sistema de semaforización Inteligente", por Monterrey, 2020, Universidad Piloto de Colombia.

La matriz de conflictos asigna letras para identificar las direcciones de los vehículos: N para norte, S para sur, E para este y O para oeste. También define los tipos de movimientos con D para giros a la derecha, C para seguir recto e I para giros a la izquierda. Por ejemplo, "NC" significa que un vehículo se mueve hacia el norte y continúa en línea recta. Dentro de la matriz, las "X" marcan movimientos prohibidos, las áreas sombreadas representan situaciones imposibles y los espacios en blanco indican trayectorias permitidas en la intersección.

2.3.2.2 Equipos de control electrónico

a. Sensores de sistemas de tráfico. Los dispositivos de preferencia son sistemas instalados en los postes de los semáforos que permiten interrumpir el ciclo normal de las luces para dar prioridad de paso a vehículos de emergencia, como ambulancias, bomberos o patrullas. Estos dispositivos ayudan a reducir el tiempo de respuesta en situaciones críticas, optimizando la circulación y mejorando la seguridad vial (ver figura 4).

Los dispositivos son:

- Son dispositivos de tamaño reducido y diseño compacto.
- Se instalan en la misma dirección del tráfico que regulan.
- Generalmente se colocan en las señales de tránsito que controlan.

Figura 4

Sensores de Sistemas de Tráfico



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?”, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

b. Cámaras de tráfico. Estos dispositivos permiten observar el tráfico en tiempo real, ayudando a regular los semáforos y proporcionando información a la policía y al público a través de internet. Pueden ser cámaras y/o radares. Algunos radares alertan a los conductores sobre su presencia, lo que puede hacer pensar que solo sirven para imponer multas, aunque no todos tienen ese propósito. (ver figura 5).

Hay cosas en común con las cámaras de tráfico:

- Tienen un diseño compacto.
- Pueden orientarse en cualquier dirección según el tipo de control que realicen.

Figura 5

Cámaras de tráfico



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

c. Radar de semáforo (Red Light Cameras). El Radar de Semáforo supervisa el tráfico y se activa cuando un vehículo cruza con la luz roja, capturando una o varias imágenes de la intersección como evidencia (ver figura 6, 7, 8 y 9).

A veces, el Radar de Semáforo controla las faltas por exceso de velocidad además de detectar cruces con luz roja.

Hay cosas en común con los radares de semáforo:

- Diversos lentes.

- Son grandes

Figura 6

Radars de semáforo



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?”, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

- Tienen un flash y pueden incluir varias unidades de flash montadas.

Figura 7*Radars con flash externo*

Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

- Dispone al menos un armario eléctrico ubicado junto al semáforo que supervisan.

Figura 8*Radars con armario eléctrico*

Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

- Están claramente señalizados.

Figura 9

Carteles de señalización



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

- Una señal de velocidad de radar es un dispositivo luminoso que muestra al conductor la velocidad a la que está circulando en ese punto (Ver figura 10).

Figura 10

Señalización de velocidad a) y b)



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

d. Radar ó cámara de velocidad (Speed Camera). Es un dispositivo que detecta y sanciona a los vehículos que superan un límite de velocidad, ya sea en un punto específico o a lo largo de un tramo. Para esto, utiliza tecnología de radar o sensores instalados bajo el pavimento.

Los radares pueden instalarse de forma fija o móvil. Los radares móviles pueden colocarse en trípodes, instalarse en vehículos policiales camuflados o utilizarse manualmente por agentes de tránsito (ver figura 11 y 12).

Los radares fijos funcionan de manera similar a los Radares de Semáforo. Suelen identificarse fácilmente por su apariencia, que generalmente coincide con la de ciertos modelos comunes mostrados en imágenes de referencia.

Figura 11

Radar Pórtico de instalación fija



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

Figura 12

Caja con dos o más lentes acompañado normalmente de cámara de tráfico



Nota. Adaptado por “¿Qué significa ITS?, por Asociación Mundial de la Carretera”, 2020, Manual PIARC.

e. Radar de Velocidad (Speed Cameras). Los radares fijos registran infracciones cuando un vehículo supera el límite de velocidad en un punto determinado. Además, existen sistemas como SPECS que calculan la velocidad promedio de un vehículo en un tramo específico. Si un radar de semáforo también controla el exceso de velocidad, no es necesario instalar un radar adicional, ya que la velocidad máxima permitida puede configurarse directamente en el sistema del semáforo.

Figura 13

Radar de velocidad



Nota. Adaptado por “Radar móvil, conoce todos los tipos de radares”, por RACE, 2023, Radar móvil.

f. Radar de Semáforo. Es fundamental reportar solo radares de semáforo reales y no confundirlos con otros dispositivos de control de tráfico. En caso de que un radar de semáforo también registre infracciones por exceso de velocidad, es importante indicar el límite de velocidad en el mapa.

Figura 24

Radar de semáforo



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

g. Fake/Dummy Cameras. A veces, aunque un radar parece estar en funcionamiento, en realidad solo es una carcasa vacía o no contiene un radar activo.

Figura 35

Fake/Dummy Cameras



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

h. Colocación de radares. Los radares deben instalarse en la carretera o calle designada para su colocación. La ubicación exacta varía según el tipo de cámara utilizada.

.(ver figuras: 13, 14, 15, 16,17, 18, 19 y 20).

Los radares de velocidad deben colocarse en el punto exacto donde se encuentra la cámara, preferiblemente en la línea de detención del semáforo. Si el radar monitorea solo un sentido del tráfico, se debe instalar una cámara, mientras que, si registra ambos sentidos, es necesario colocar dos cámaras. Además, se requiere un radar de semáforo por cada sentido del tráfico que se controle.

De este modo, en una intersección donde se cruzan dos vías de doble sentido y cada dirección cuenta con cámaras para registrar el tráfico, se requieren cuatro radares para monitorear correctamente todas las infracciones.

i. DeTect. Este equipo, con tecnología avanzada desarrollada en Brasil, no solo detecta infracciones, sino que también recopila datos sobre el uso de las vías. Esta información es útil para los gobiernos municipales, ya que les ayuda a determinar cuándo es necesario el mantenimiento o la renovación de las carreteras. Además, el sistema incorpora funciones inteligentes que registran múltiples imágenes durante el tiempo en que el semáforo está en rojo, permitiendo a la Policía analizar con precisión las infracciones cometidas.

A continuación, se presenta varios tipos adicionales de los equipos que vienen siendo usados:

Figura 16

Radar de semáforo indicando velocidad del vehículo lateral



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

Figura 17

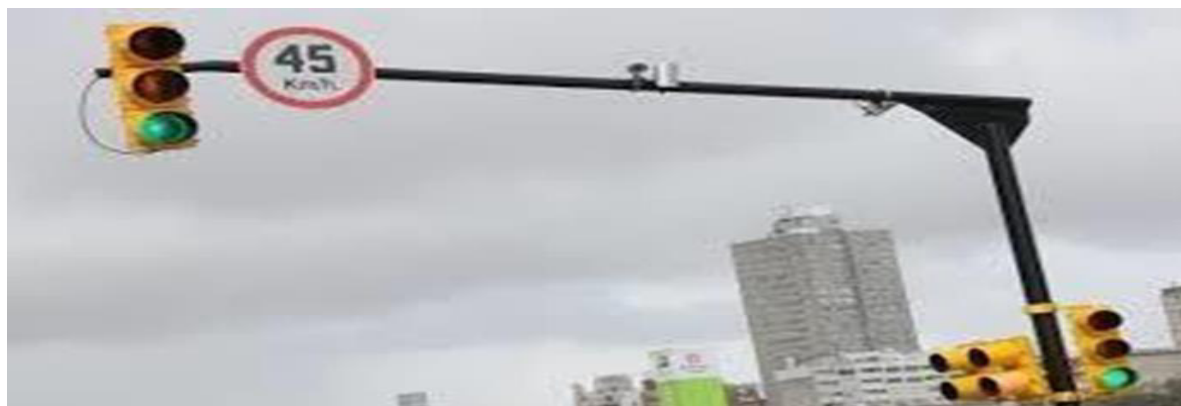
Radar de semáforo indicando velocidad del vehículo front



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

Figura 18

Cámaras de registro de velocidad



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

Figura 19

Radar de registro de velocidad



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

Figura 20

Cámaras de video vigilancia de vías



Nota. Adaptado por "Radar móvil, conoce todos los tipos de radares", por RACE, 2023, Radar móvil.

Figura 21

Señalizadores de fiscalización electrónica



Nota. Adaptado por "Todo sobre señalizadores" por Transfer Multisort Elektronik, 2022, TME.

Figura 22

Cámaras móviles de control de velocidades



Nota. Adaptado por "Todo sobre señalizadores", por Transfer Multisort Elektronik, 2022, TME.

Figura 23

Central de Cámaras de video vigilancia de vías



Nota. Adaptado por "Todo sobre señalizadores", por Transfer Multisort Elektronik, 2022, TME.

2.3.2.3 Infraestructura del sistema inteligente de transporte. La función principal de los ITS es modernizar las operaciones del sistema vial a nivel nacional. Esto ayuda a optimizar el flujo vehicular, reducir accidentes y aumentar la eficacia en la gestión del tráfico,

además de generar ahorro de energía y beneficios ambientales. Su implementación se adapta a las necesidades específicas de cada región, ya sea costa, sierra o selva.

La infraestructura centralizada de los ITS permitirá integrar la información de los centros de control a nivel nacional. Su objetivo es garantizar vías más seguras y eficientes, brindando datos en tiempo real. La gestión de este sistema estará a cargo del MTC mediante una Dirección de Información de Transporte.

2.3.2.4 Sistemas de los ITS.

a. Cámara de control y vigilancia (CCTV). Se implementará un CCTV, el cual transmite señales de video a un número limitado de monitores. Esto restringe el acceso a un grupo específico de personas con propósitos determinados, a diferencia de la televisión abierta, donde la señal está disponible para cualquier receptor.

El sistema de cámaras en un CCTV incluye un conjunto de dispositivos diseñados para vigilar áreas específicas y capturar imágenes. Las cámaras de tráfico pueden ser analógicas o digitales, pero las analógicas tienen desventajas como menor calidad de imagen, espacio de almacenamiento reducido y dificultad para encontrar grabaciones específicas. Existen dos tipos de cámaras CCTV según su método de grabación: algunas graban continuamente, mientras que otras cuentan con detectores que activan la grabación solo ante actividades inusuales, lo que optimiza el uso de energía y almacenamiento.

Las imágenes capturadas en los sistemas de CCTV pueden visualizarse en tiempo real o grabarse. Para esto, se utilizan diversos dispositivos de almacenamiento o equipos digitales conectados a monitores. Los observadores pueden revisar las imágenes en el lugar o de forma remota a través de redes como Internet o líneas telefónicas. Además, los sistemas modernos incluyen accesorios como iluminación adicional para grabaciones en lugares oscuros y detectores de movimiento programables para registrar actividades específicas.

Las estaciones meteorológicas desempeñan un papel clave en la seguridad vial, ya que permiten monitorear las condiciones climáticas que pueden afectar el tráfico. Factores como la neblina y la humedad en la calzada reducen la adherencia de los neumáticos, mientras que la lluvia intensa, la nieve o la niebla afectan la visibilidad, incrementando el riesgo de accidentes.

Para mejorar la seguridad en condiciones adversas, la aplicación de los sistemas ITS se enfoca en dos áreas clave:

Los sistemas de información meteorológica

- Sensores atmosféricos, dispositivos que miden y envían información sobre la temperatura del aire, tipo e intensidad de precipitación.
- Sensores de estado de la calzada, dispositivos que detectan la temperatura del pavimento, el suelo, así como las condiciones de la vía (seca, mojada o helada).
- Mapas térmicos de las carreteras de la red.
- Modelos de predicción, sistemas que combinan pronósticos meteorológicos, datos de sensores y radares, junto con información estadística, para anticipar el estado de las carreteras en función de las condiciones climáticas locales.
- Sistema de comunicaciones, infraestructura que permite transmitir información en tiempo real al ordenador central del sistema, a los responsables de mantenimiento vial y a los conductores, mejorando la seguridad y la gestión del tráfico.
- Los sistemas avanzados de advertencia al conductor informan sobre condiciones peligrosas en la carretera provocadas por el clima, como hielo, lluvia intensa, nieve o neblina, permitiendo que los conductores tomen precauciones y reduzcan el riesgo de accidentes.

- Los sistemas de información sobre las condiciones de la carretera proporcionan datos a los conductores antes o durante el viaje, permitiéndoles conocer el estado del tráfico y el clima antes de llegar a zonas afectadas, mejorando así la seguridad y la planificación del trayecto.
- Los sistemas de advertencia de peligro alertan a los conductores sobre riesgos inmediatos en la vía, como accidentes, condiciones climáticas adversas o obstáculos, permitiéndoles reaccionar con anticipación para evitar incidentes.

c. Postes S.O.S. Los postes ayudarán a los conductores con información y asistencia en la carretera. A menudo, se usan más para dar información que para pedir ayuda.

Para funcionar, los postes usan tecnologías modernas como fibra óptica y SDH. Estas tecnologías permiten que los operadores de emergencias vean imágenes de la carretera a través de cámaras instaladas en los postes.

d. Sistema de peaje free-flow (Telepeaje). El objetivo del sistema es usar tecnología para evitar congestiones de tráfico y hacer la vía más eficiente y sostenible, a la vez que se cubren los costos de mantenimiento de los sistemas y la carretera.

Los sistemas de cobro pueden ser manuales, donde el personal se encarga de recibir el pago directamente, o automatizados, utilizando dispositivos electrónicos como peajes con lectura de tarjetas, pagos sin contacto o sistemas de reconocimiento de matrículas para agilizar el proceso; automáticos, donde se usan tarjetas bancarias sin necesidad de personal; o electrónicos, conocidos como telepeajes, que permiten el cobro sin que los vehículos se detengan gracias a la tecnología inalámbrica.

El sistema Free-Flow cobra a los usuarios según la distancia recorrida sin detener el vehículo. Para esto, los conductores deben tener un dispositivo (TAG) que permita

identificarles y realizar el cobro. Además, el usuario puede pagar por adelantado o después del viaje.

Con este sistema, los vehículos no tienen que frenar, lo que reduce la contaminación y el riesgo de accidentes, como los choques por alcance. Sin embargo, el sistema Free-Flow es más complejo de operar debido a los requisitos tecnológicos y la gestión del cobro, especialmente por el uso del post-pago, lo que aumenta los costos de operación. Esto es más complicado que el cobro manual, donde el pago es inmediato en efectivo.

e. Estación de toma de datos – Pesaje. RFX Wireless Tecnología de pesaje y la energía solar eficiente.

f. Radar fijo. El control de velocidades con condiciones climáticas difíciles, como lluvia, neblina, arena y polvo, es necesario debido a que no existen otras tecnologías que sean tan efectivas para este tipo de situaciones.

g. Cámara de lecturas de matrículas. Para controlar el tráfico en las carreteras, solo se necesita un equipo de lectura de matrículas por cada carril que se quiera monitorear.

h. Paneles de mensaje variable. Se evalúan los aspectos clave en el diseño, tamaño, fabricación e instalación de las estructuras que soportan los paneles de mensaje variable, comparando materiales como el acero y el aluminio. Se destaca el uso del aluminio estructural, menos común que el acero, y se analizan sus similitudes en fabricación e instalación en carreteras, además de su comportamiento diferenciado en situaciones de accidente.

Estos paneles necesitan mantenimiento, por lo que deben ser accesibles. Esto implica que deben tener ciertas características para evitar deformaciones y deben incluir elementos secundarios de seguridad y acceso. También se debe considerar la provisión de energía

eléctrica y señales para los equipos, lo que afecta el diseño de los registros y refuerzos necesarios.

i. Centro de control – ITS. Esta parte se encarga de preprocesar, procesar y postprocesar las imágenes capturadas. Estas funciones pueden realizarse manual o automáticamente, utilizando herramientas de hardware y software.

El centro de control se recibe la información, cuando es necesario, se toman decisiones y se ejecutan acciones. Este proceso puede ser manual, con el personal encargado tomando decisiones y operando los sistemas, o automático. Se recomienda un sistema semiautomático, donde los encargados del control tomen las decisiones principales, como el cierre de un carril o la reducción de velocidad, pero siempre con información previa al conductor.

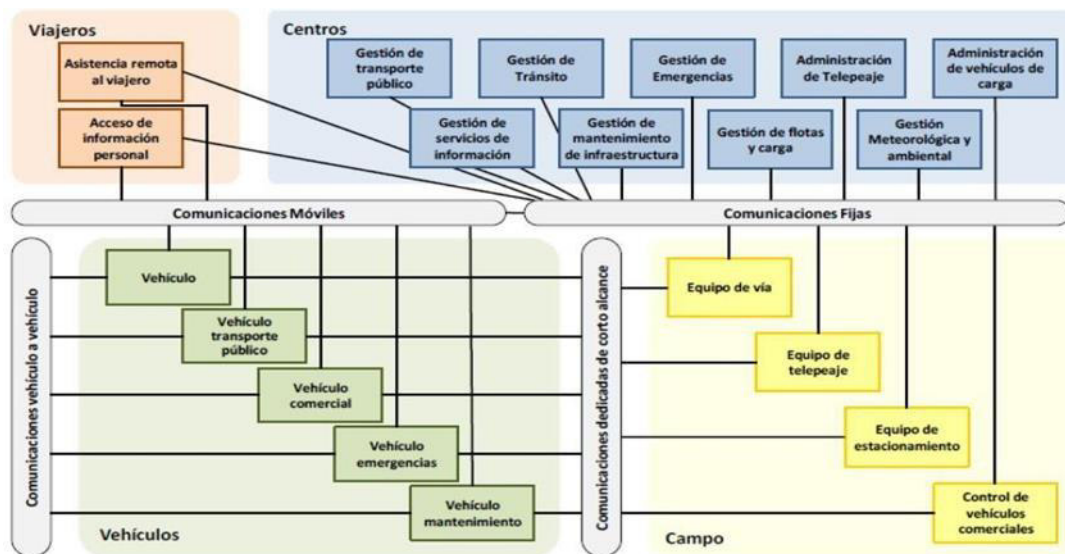
El Centro de Control y una Base de Datos, ubicada en Canoas de Punta Sal, almacenarán la información, que será reportada en tiempo real a la Central del MTC.

2.3.3 Arquitectura de ITS

El tramo forma parte del Plan Maestro y del desarrollo de la arquitectura y sistemas inteligentes de transporte (ITS) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En este estudio, se incluye un diagrama que representa la arquitectura física de los sistemas ITS a nivel nacional. (ver figura 23).

Figura 24

Arquitectura física



Nota. Adaptado por "Arquitectura física", por González, 2012, Universidad Politécnica de Madrid.

2.3.3.1 Línea base para los ITS. Red Vial Nacional Pavimentada 19, 689 Kms.

No hay un registro exacto de los daños en la Carretera Panamericana Norte, entre los kilómetros 1164+500 y 1204+500. Sin embargo, se ha notado que varios elementos de la infraestructura sufren daños con frecuencia, como choques contra las barandas de seguridad, señales de tránsito y el desgaste de los puentes y el pavimento debido al peso excesivo de algunas cargas.

Estos problemas ponen en riesgo el mantenimiento y la conservación de la vía, afectando la inversión que el Estado Peruano destina a su mejora y preservación.

2.3.3.2 Kilometraje a modelar con ITS.

- Km. 1165+360 (P.M.V)-P. de Armas-Máncora
- Km. 1169+500 (RADAR)

- Km. 1178+00 (S.O.S)
- Km. 1180+00 (P.M.V-CARPITAS)
- Km. 1181+000 (ESCANER VEHICULAR)-ADUANAS
- Km. 1181+500 (RADAR)
- Km. 1181+500 (ESTACION METEOROLOGICA)
- Km. 1185+000 (PVM) Dv. PUNTA SAL
- Km. 1195+800 (PVM) CANOAS DE PUNTA SAL
- Km. 1196+500 (TELEPEAJE) CANCAS
- Km. 1198+000 (PESAJE)
- Km 1201+500 (RADAR)
- Km. 1202+000 (S.O.S) –Punta Mero
- Km. 1204+000 (PMV)-PUNTA MERO
- CENTRAL DE CONTROL DE ITS (MTC-LIMA)

2.4 Marco legal

2.4.1 Normativa del Perú – ITS

Plan Maestro, carece de normativa para la aplicación de los ITS para el Perú.

2.4.2 Normativa Internacional. ITS

ISO 14817-1, 2015: [<https://www.iso.org/standard/65668.html>]

ISO 14817-1: 2015

Específica la estructura lógica (marco) y el contenido de datos (sustancia) de los diccionarios de datos (DDs) de los ITS. Específicamente, esta parte de ISO 14817 especifica lo siguiente: - marco utilizado para identificar y definir todos los conceptos de datos; - los meta- atributos utilizados para describir, estandarizar y administrar cada uno de los conceptos de datos definidos en este marco; - requisitos utilizados para registrar estas definiciones; - convenciones de nomenclatura para los conceptos de datos;

- un conjunto de conceptos de datos preferidos dentro del dominio ITS; - Método de modelado de datos para definir los conceptos de datos de ITS, cuando se utiliza. Los DDs admiten conceptos de datos derivados de cualquier número de metodologías y / o técnicas

de arquitectura de sistemas internacionales, regionales o nacionales. Los formatos de datos y los procedimientos operativos comunes facilitarán la migración y la interoperabilidad entre dichos enfoques. Un registro de conceptos de datos es un diccionario de datos electrónico que admite algunas características adicionales. El CIDCR se refiere a la implementación específica de un registro de concepto de datos ITS que se opera bajo los auspicios de ISO/ TC 204. El término registro de concepto de datos puede referirse al CIDCR y / o cualquier otro registro de concepto de datos nacional o regional que decida cumplir. a esta parte de la norma ISO 14817.

La Subdirección General de Estudios y Proyectos de la DGC del Ministerio de Fomento de España, en sus recomendaciones sobre los requisitos de los ITS, establece lineamientos para su incorporación en estudios informativos, anteproyectos y proyectos de construcción de la red estatal de carreteras. Estas recomendaciones destacan la importancia de integrar tecnologías avanzadas para optimizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del sistema vial.

A. Delimitación del concepto ITS en el ámbito de la Red Estatal de Carreteras. Los ITS son tecnologías aplicadas a la gestión y operación de carreteras para mejorar la seguridad, el tráfico y la conservación vial. Estos sistemas incluyen herramientas para controlar el flujo vehicular, gestionar la seguridad en condiciones especiales, monitorear el estado de la vía, administrar peajes y reducir el impacto ambiental.

Los ITS se dividen en categorías generales y funciones específicas, abordando áreas como la gestión del tráfico, la seguridad en túneles, la vigilancia del pavimento y el control de emisiones. En muchos casos, su implementación ocurre después de la construcción de la carretera, pero se recomienda integrarlos desde la fase de planificación para optimizar su eficacia.

Estas recomendaciones aplican únicamente a los ITS bajo la tutela de la DGC, excluyendo aquellos fuera de su competencia. Se consideran usuarios tanto conductores particulares como operadores de transporte comercial.

Los aspectos clave en la aplicación de los ITS incluyen el contexto en el que se instalan, la estructura de referencia para su diseño, la organización de los dispositivos en función de su propósito y los elementos comunes que soportan su funcionamiento dentro de la infraestructura vial.

Los usuarios de los ITS incluyen tanto conductores de vehículos particulares como transportistas de pasajeros y carga. Se consideran los sistemas ITS mencionados previamente según sus dominios y funciones, aunque en algunos casos pueden añadirse otros. Sin embargo, quedan fuera de estas recomendaciones los ITS que no estén dentro de las competencias de la DGC.

En la metodología, se definen conceptos clave: el contexto ITS de una carretera o tramo, el modelo de referencia que organiza los ITS en niveles y capas para su integración en

estudios y proyectos, el sistema ITS como un conjunto estructurado de dispositivos con funciones específicas en la vía, y la infraestructura ITS, que incluye los elementos compartidos necesarios para su operatividad.

2.4.2.1 ASTM E2259 – 03a (2018). Standard Guide for Archiving señala:

a. Esta especificación define los elementos de datos archivados para el monitoreo del tráfico en los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS). Abarca datos convencionales de tráfico, información obtenida directamente de los ITS y registros de tiempo de viaje de vehículos de prueba. Además, establece los nombres de los datos, sus relaciones y las definiciones de los procedimientos utilizados para su recolección, incluyendo la instrumentación empleada, la metodología aplicada y las recomendaciones para calcular estadísticas de tráfico.

b. Esta especificación está dirigida principalmente a desarrolladores y administradores del sistema de gestión de datos archivados (ADMS). También puede ser utilizada por operadores de tráfico y planificadores que requieran conocer el contenido de estos sistemas. Dado que los ITS operan en distintos niveles gubernamentales, los datos archivados están disponibles tanto para entidades gubernamentales como para el sector privado, lo que hace que esta especificación sea aplicable a ambos ámbitos.

c. Muchos usuarios pueden querer desarrollar sistemas integrados de gestión de datos de tráfico archivados que combinen información de ITS con datos de monitoreo de tráfico convencional. Para este último caso, se requiere un conjunto ampliado de elementos de datos que se ajuste a la estructura de estos programas. Esta especificación establece un conjunto básico de elementos aplicables a los datos generados por ITS, así como elementos adicionales necesarios para el monitoreo convencional. Se denomina "sistema básico" al que utiliza solo datos de ITS y "sistema extendido" al que integra ambos tipos de datos. Además, los registros

de los vehículos de prueba se almacenan en tablas separadas, pero pueden vincularse mediante identificadores de enlace de la carretera.

d. Esta especificación se aplica a los datos de tráfico recopilados por ITS y almacenados en un ADMS. Del mismo modo, también puede utilizarse para otros tipos de datos históricos y de monitoreo de tráfico almacenados en un ADMS, incluyendo los datos de tiempo de viaje de los vehículos de prueba.

e. Esta especificación no abarca las aplicaciones de datos de tráfico, como los sistemas automatizados de información de tránsito (ATIS). En muchos casos, los datos archivados provienen de sistemas en tiempo real, pero estos se consideran solo fuentes de datos y no repositorios de almacenamiento.

f. Esta especificación especifica una estructura de datos lógica.

g. Se establecen los requisitos de metadatos para estos sistemas, proporcionando metadatos específicos para los elementos definidos en esta especificación. Además, se incluyen marcadores de posición para aquellos metadatos que varían según cada instalación. Todas las especificaciones de metadatos cumplen con los estándares de la Práctica E2468.

h. Esta especificación presupone la existencia de datos cuya calidad ha sido verificada. Los controles de calidad aplicables deben cumplir, al menos, con los establecidos en las Pautas de AASHTO para Programas de Datos de Tráfico, cuando corresponda. A medida que se desarrollen controles de calidad específicos para los datos generados por ITS, estos deberán ser implementados. Además, todas las verificaciones realizadas deben estar documentadas en los metadatos del archivo.

i. Se asume que las estadísticas resumidas almacenadas en el archivo han sido calculadas de manera estandarizada por el software que los genera. Estos cálculos deben seguir los lineamientos establecidos en las Pautas de AASHTO para programas de datos de

tráfico. Cualquier desviación de estos métodos debe estar claramente especificada en los metadatos del archivo.

j. Esta especificación presupone la existencia de información vial, sin definir su estructura específica. Aunque las mediciones de tráfico y tiempo de viaje se realizan dentro de esta red, su diseño no está incluido en el alcance de la especificación. Las entidades definidas incorporarán una "ubicación de enlace" o "descripción de enlace" con claves foráneas que se vinculen a una base de datos de red vial no especificada.

k. Esta especificación asume la existencia de un sistema de referencia de ubicación y no especifica un estándar para la referencia de ubicación.

l. Los valores expresados en unidades pulgada-libra son los estándares oficiales. Las conversiones a unidades del Sistema Internacional (SI), indicadas entre paréntesis, son únicamente informativas y no se consideran estándares.

m. Esta norma no abarca todas las consideraciones de seguridad relacionadas con su uso. Así como verificar las regulaciones aplicables antes de su implementación.

- MTC: Decreto Supremo N° 17-2009 – Reglamento Nacional de Administración de Transporte.
- D.S. N° 021-2008 – Transporte de Residuos Sólidos.
- D.S. N° 009-2004 y D.S. N° 037-2007 – Transporte de Mercancías Generales.
- La regulación de transporte de carga en Santiago: características, evaluación y propuestas. Autor: Carlos Antonio Díaz, Alexander Galetovic y Ricardo Sangueza, Año 2004.

- El transporte automotor de carga en Argentina. Autor: Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial – Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Año 2005.
- Guía del Conductor. Autor: MTC, Año 2008.
- Transporte terrestre; tránsito; legislación. Ley de tránsito y transporte terrestre (pp. 2096-2197). Venezuela. Leyes, decretos, etc.
- Plan Intermodal de Transportes del Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones/OGPP. Informe Final - Parte 5, Apéndice 1/1, Consorcio BCEOM-GMI-WSA, junio de 2005.
- El régimen jurídico de los contratos de transporte de carga – Aspectos teóricos de los contratos de transporte de carga. Clasificación. Naturaleza y régimen jurídico. Responsabilidad del transportista. Licencia de Operación de Transporte. Código Civil de la República de Cuba. Ley No. 59/1987.

2.5 Marco conceptual

- Cobro electrónico de peaje

El cobro electrónico es un sistema que permite el pago automático de tarifas sin necesidad de una transacción física. A través de tecnología de comunicación remota, La transferencia se realiza sin que el vehículo deba detenerse por completo, garantizando así un flujo constante y reduciendo la congestión vehicular. También se conoce como telepeaje o free Flow (Vela, 2009).

- Confort

Calidad de transporte para los usuarios en la vía

- Conservación Vial

Implica la ejecución de diversas actividades integradas, como la definición de políticas, planificación, organización y operación., con el objetivo de garantizar una conservación vial eficiente. Esto busca asegurar la economía y comodidad de los usuarios viales (Manual de Carreteras Mantenimiento, 2014, p. 20).

- Infraestructura vial

La infraestructura vial abarca todos los componentes que facilitan el tránsito de vehículos de manera segura y eficiente, garantizando un desplazamiento cómodo entre distintos puntos.

- Movilidad vial

La movilidad se refiere al acto de trasladarse, ya sea de una persona o un vehículo, a lo largo de una vía, enfatizando el concepto de desplazamiento.

- Red Vial

Grupo de vías que comparten la misma categoría funcional, ya sea a nivel nacional, departamental o regional, así como vecinal o rural.

- Red Vial Nacional

Hace referencia a las vías de interés nacional, integradas por los principales ejes longitudinales y transversales que conforman la base del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Actúa como receptor de las carreteras departamentales o regionales, así como de las vías vecinales o rurales.

- Seguridad Vial

Abarca un grupo de acciones destinadas a prevenir accidentes de tránsito y mitigar sus efectos, protegiendo la vida y la salud. También incluye el uso de tecnologías para mejorar la seguridad en cualquier medio de transporte terrestre, como ómnibus, camiones, automóviles, motocicletas, bicicletas y peatones (Cultura Seguridad, 2018).

- Sistema inteligente de transporte.

Conjunto de dispositivos tecnológicos como cámaras, tarjetas electrónicas de peaje, balanzas electrónicas, paneles solares, estación climatológica, bandas sonoras de calzada, paneles con tecnología led para señalización vertical, accesorios para su instalación (pórticos fibra óptica y otros), central general de comunicación y operacionalización de datos.

Un sistema inteligente de transporte es un programa informático que integra características y comportamientos similares a la inteligencia humana (España, 2018).

- Usuario vial

Transportista que hace uso de una infraestructura vial o autopista, pasajero o persona que hace uso los medios de transporte público u otro medio móvil y peatón que utiliza zonas alternas de la infraestructura.

- Vía

Camino, arteria o calle.

- Vía de Evitamiento

Una circunvalación o variante es una carretera diseñada para evitar el tránsito a través de una zona urbana, mejorando la fluidez y reduciendo la congestión en el área central.

- Vía Urbana

Arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no integran el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

3.1.1 *Los tipos de investigación identificados*

- De acuerdo a la orientación: Aplicada
- De acuerdo a la técnica de contratación: Explicativa
- De acuerdo a la dirección: Retrospectiva y Prospectiva
- De acuerdo al tipo de fuente de recolección de datos: Retrolectiva y Prolectiva.
- De acuerdo al fenómeno de evolución: Longitudinal
- De acuerdo a la comparación de poblaciones: Comparativa.

3.1.2 *Nivel de investigación*

El presente trabajo se desarrolló en el nivel IV, Predictiva II, y utilizó una investigación analítica, sistemática y controlada, cuyo propósito fue descubrir o interpretar los hechos y fenómenos, así como las relaciones y la fluidez del comportamiento del transporte en la infraestructura vial. Este proceso permitió detectar las relaciones de causa y efecto.

3.1.3 *Código de nomenclatura UNESCO*

La UNESCO define los campos de investigación como categorías amplias que agrupan diversas disciplinas y especialidades dentro de la ciencia y la tecnología.

La investigación se enmarca en un código y nomenclatura, ver la tabla 1.

Tabla 1*Código y nomenclatura UNESCO*

| Campo | Disciplina | Subdisciplina | Código |
|-----------------------|-------------------------------|--|---------------|
| Ciencias tecnológicas | Tecnología de la construcción | Control y regulación del tránsito vehicular, | 3305.99 |

Nota. Adaptado por "Nomenclatura para los campos de las ciencias y las tecnologías", por UNESCO, 2020.

3.1.4 Diseño

El diseño de la investigación estuvo basado en una correlación entre variables de la unidad de análisis, que en este caso fue el servicio que prestaba el eje vial al usuario vial. Dado que la captura de datos se realizó en un solo momento de forma temporal, el diseño de estudio fue de tipo experimental-básico. Además, fue longitudinal, ya que se recopiló información durante un período determinado, cumpliendo con los criterios de homogeneidad, representatividad y aleatoriedad.

Esquema de diseño:

GC -----O1

GE ----- X -----O2

Donde:

GE : Grupo Experimental

O1: Factor Resultantes A priori

X : Reingeniería de Procesos

O2: Factor Resultante con la acción Reingeniería de Procesos

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población estuvo conformada por la frecuencia de circulación de vehículos en un tramo piloto, donde se desplazaban en promedio 2000 vehículos diarios. Esta información fue descrita en la delimitación espacial y considerada dentro del marco teórico del estudio.

3.2.2 Tamaño de la muestra

Para la investigación piloto, se contó con una población de promedio de 2000 vehículos de circulación diaria en el sector Máncora-Punta Mero, dentro del eje vial de Integración Perú-Ecuador. Esta selección cumplió con los criterios básicos del diseño, asegurando la representatividad de los datos y la validez del estudio.

Por tanto, la muestra tiene el mismo tamaño de la población debido a que el conteo vehicular indicado por el MTC, no se puede delimitar un número exacto de vehículos en un día, ya que la toma de información con los formatos del MTC se deben llenar la cantidad recolectada, sin importar si es igual, menor o mayor al promedio de la población.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Estrategia de la prueba de hipótesis

3.3.1.1 Hipótesis Nula General (h_0)

La tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte no optimizaría el flujo vehicular, y conservación vial en la infraestructura de la red vial terrestre del Perú

3.3.1.2 Hipótesis Nulas Específicas (HO)

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no optimizaría el monitoreo del flujo vehicular.
- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no controlaría en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial.
- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no determinaría el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional.
- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no mitigaría la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

3.3.2 Variables e indicadores

3.3.2.1 Variables

- Sistemas inteligentes de transporte
- Usuario vial
- Infraestructura vial
- Siniestralidad
- Movilidad
- Seguridad vial
- Conservación vial
- Control vial

3.3.2.1.1 Variable de hipótesis principal

V.I: Tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte

V.D: Flujo vehicular, rugosidad del pavimento.

3.3.2.1.2 Variables de las hipótesis secundarias

V.I: Tecnología de sistemas inteligentes de transporte

V.D: Accidentes, señalización. Flujo vehicular.

a). V.I.: Tecnología de sistemas inteligentes de transporte.

V. D: Inventario de señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (tiempos: (hidrología, geotecnia y climatología).

b). V.I: Tecnología de sistemas inteligentes de transporte

V. D: Registros de vehículos, siniestros, avería vehicular, velocidad.

c). V.I: Tecnología de sistemas inteligentes de transporte

V.D: Siniestros, muertos, heridos, choques, accidentados.

d). V.I: Tecnología de sistemas inteligentes de transporte

3.3.3.2 Indicadores

3.3.3.2.1 Indicadores hipótesis principal

V.I: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, sos, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.

V.D: Flujo vehicular, rugosidad de pavimento, derecho de vía.

3.3.3.2.2 Indicadores hipótesis secundarias

a) V.D: Accidentes, señalización reglamentaria

V.I: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.

b) V.D: Grado de seguridad

V.I: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.

c) V.D: Grado de comportamiento del usuario vial

V.I: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.

3.3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 2

Operacionalización de las variables

| VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADORES |
|-------------------------------------|---|--|
| Sistemas inteligentes de transporte | Infraestructura Vial Operación y Mantenimiento. Desplazamiento, Administración. | Eje vial y/o Carretera-Vehículo. Cantidad-Calidad-Cobertura-Monitoreo. Control de peaje, Equipos, siniestros, accidentes, velocidad, mortalidad, averías de vehículos. |
| Flujo vehicular | Población Turismo Trabajo | Censo Poblacional-Desarrollo Económico. Local-Nacional-Internacional. |
| Conservación vial | Infraestructura Vial | Comercio-Industria-Profesional Confort |

Nota. Elaboración propia.

3.4 Instrumentos

Para la ejecución del proyecto de investigación, se utilizó como instrumento de recolección de datos sobre el flujo y la congestión vehicular el formato adjunto en el anexo 3, el cual se aplicó a la muestra seleccionada in situ en Máncora - Pta Mero de la Ruta PE-1N de la red vial nacional. Además, se realizó un inventario de los elementos que conformaban el eje vial piloto en su estado actual, identificando los puntos negros o críticos de la vía. Se llevó a cabo el levantamiento progresivo de datos sobre los puentes, peajes, señalización vertical, estaciones de control y demás infraestructuras de la carretera.

Se determina los elementos inteligentes de transportes para evaluar las posibles mejoraras de la infraestructura de la red vial nacional.

Se utiliza los componentes del sistema inteligente de transporte INFRAESTRUCTURA VIAL -VEHÍCULO, utilizando herramientas computacionales.

3.4.1 Técnicas de procesamiento de datos

La técnica utilizada fue la aplicación de instrumentos de recolección de datos mediante formatos elaborados por el investigador. El levantamiento de la información se realizó en diferentes periodos para permitir el análisis respectivo. Esta información sirvió como base para la elaboración del "plan de análisis", el cual, de manera general, consistió en describir el tipo de tratamiento cuantitativo aplicado a los datos recopilados.

3.4.2 Técnicas de análisis e interpretación de la información

Una vez procesados los datos con los softwares de simulación, se utilizó el SPSS V.25 para validar los resultados obtenidos y realizar el análisis correspondiente.

3.4.3 Instrumentos de medición de actividades

Los instrumentos que se utilizaron para medir y evaluar fueron los equipos de ITS, así como los equipos de calibración y reajustes de actividades y control de movimientos.

3.4.4 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos o formatos de recolección de datos se encontraron en el anexo 3 del presente informe de plan de tesis.

3.4.5 Validación de los instrumentos

Para la validación de los instrumentos, se recurrió al juicio de expertos calificados, quienes determinaron la adecuación de los ítems de los respectivos instrumentos. La característica, presentación y solicitud de validación se encontraron en el anexo 2.

Se aplicó un formato diseñado para recopilar datos sobre el estudio del tráfico vehicular, el cual incluyó el flujo vehicular antes y después de la implementación de los sistemas inteligentes de transporte. Cabe destacar que se sistematizó la validez de contenido de la primera variable, correspondiente a la variable "usuario vial", basándose en lo expuesto en la mayoría de los textos relacionados con sistemas inteligentes de transporte aplicados a la infraestructura vial.

Para el presente estudio, se aplicaron procedimientos cuantitativos como recolección de información, observación y escalas de medición estadística. La recolección de datos se llevó a cabo fundamentalmente en el trabajo de campo.

3.5 Procedimientos

3.5.1 Diseño estadístico

Fase 1: Preparación y Selección de Herramientas de Software

En esta fase, se utilizaron herramientas de software específicas para el análisis y la simulación de los datos del tráfico. El programa Excel se empleó para la simulación inicial de la información, mientras que los programas TRANSCAD y TRANSMODELER fueron las principales herramientas de modelado y simulación del sistema de transporte. Ambos

programas son fundamentales en la evaluación y gestión del tráfico en redes viales, con capacidades avanzadas para modelar comportamientos vehiculares y planificar escenarios futuros.

Fase 2: Aplicación de TransCAD

El uso de TransCAD, un Sistema de Información Geográfica (SIG) especializado en transporte, permitió almacenar, visualizar, gestionar y analizar los datos de tráfico. Este software integró herramientas de modelado de transporte y SIG, lo que facilitó la creación de un sistema de soporte de decisiones para el análisis del tráfico en diversas escalas y tipos de vías. Además, TransCAD proporcionó un motor GIS potente con extensiones especializadas en el transporte, permitiendo que los datos fueran procesados y analizados de manera eficiente a bajo costo en plataformas comunes como Microsoft Windows.

Fase 3: Implementación de TransModeler

En la fase final, se utilizó TransModeler, un software de simulación de tráfico que permitió modelar redes viales complejas, desde autopistas hasta zonas urbanas. Con TransModeler, se simuló el comportamiento del tráfico en entornos bidimensionales y tridimensionales, analizando aspectos como el flujo vehicular, las señales de tráfico, las operaciones de ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) y el rendimiento general de la red.

3.5.2 Análisis de la población

Tabla 3

Análisis de la población

| ANOS | 2000 | 2005 | 2020 | 2025 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Perú | 25661690 | 27803947 | 29885340 | 31875784 |
| COSTA | | | | 16,849,194 |
| Callao | 773101 | 868819 | 961996 | 1052286 |
| Ica | 649332 | 701000 | 749422 | 793752 |
| La Libertad | 1465970 | 1591126 | 1710426 | 1822557 |
| Lambayeque | 1093051 | 1199399 | 1302641 | 1400523 |
| Lima | 7475495 | 8137406 | 8771928 | 9365699 |
| Moquegua | 147374 | 159381 | 170962 | 181978 |
| Piura | 1545771 | 1640442 | 1914346 | 1,974,262 |
| Tacna | 277188 | 317308 | 357086 | 396174 |
| Tumbes | 193840 | 220053 | 251363 | 264,519 |

Nota. Adaptado de "Análisis poblacional", por Instituto Nacional de Estadística e informática, 2020.

En la Tabla 4 se observó que la cantidad aproximada de la población costera y de los usuarios permanentes de la Carretera Panamericana al año 2025 fue de 16,849,194. En particular, se destacó la relevancia de las regiones donde se llevó a cabo el estudio, con una población estimada en Piura de 1,974,262 habitantes y en Tumbes de 264,519 habitantes. Cabe señalar que el turismo internacional no fue considerado en este análisis, ya que fue materia de otro estudio.

3.6 Análisis de datos

El flujo vehicular monitoreado típicamente en la zona de estudio se describe en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 4

Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Sur a Norte (Fecha: 31 Ene 2025)

















| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1-2 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 2-3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 3-4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4-5 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 5-6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 6-7 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7-8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 8-9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 9-10 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 10-11 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 11-12 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 12-13 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 14-15 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 15-16 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 16-17 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 17-18 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 18-19 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 19-20 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 20-21 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 21-22 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22-23 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 23-24 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| TOTAL | 89 | 68 | 78 | 57 | 71 | 81 | 64 | 75 | 61 | 59 | 34 | 56 | 41 | 39 | 36 | 51 | 37 |

Tabla 5

Tipos de vehículos registrados Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Sur a Norte (Fecha: 31 Ene 2025)

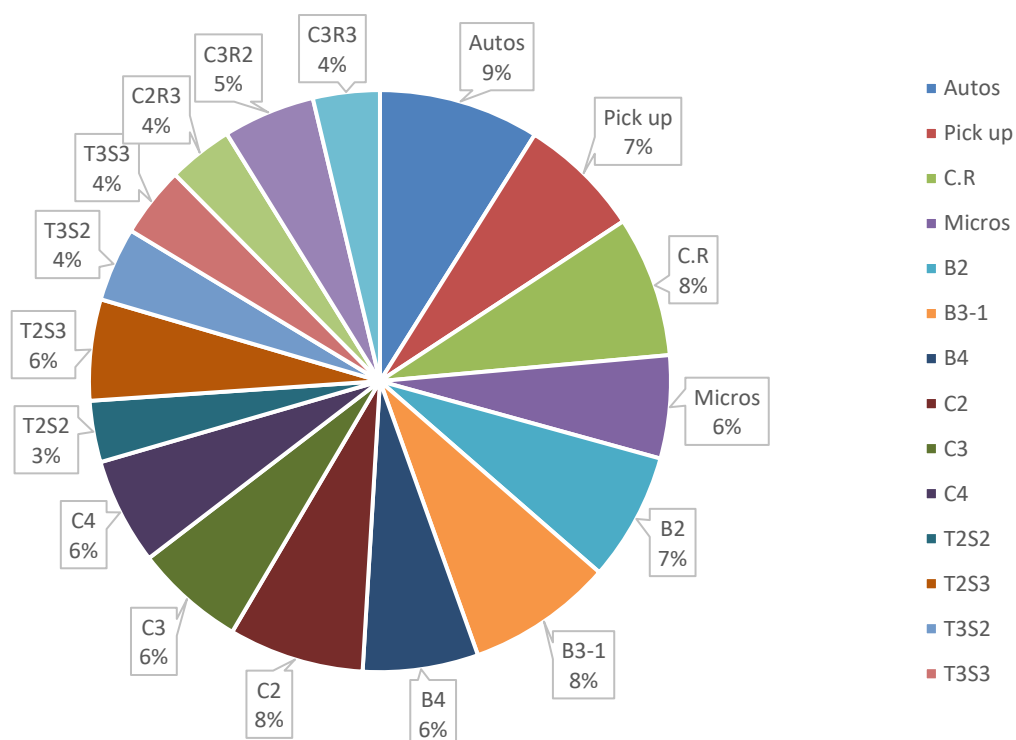
| HORA | VEHICULOS LIGEROS | | | | BUS | | | CAMIONES UNITARIOS | | | CAMIONES ACOPLADOS | | | | | | TOTAL | % | | |
|--------------|-------------------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------|----|
| | Autos | Pick up | C.R | Micros | B2 | B3-1 | B4 | C2 | C3 | C4 | T2S2 | T2S3 | T3S2 | T3S3 | C2R3 | C3R2 | | | C3R3 | |
| 0-1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 37 | 4% |
| 1-2 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 48 | 5% | |
| 2-3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 39 | 4% | |
| 3-4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 41 | 4% | |
| 4-5 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 44 | 4% | |
| 5-6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4% | |
| 6-7 | 5 | 2 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 36 | 4% | |
| 7-8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 43 | 4% | |
| 8-9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 37 | 4% | |
| 9-10 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 40 | 4% | |
| 10-11 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 44 | 4% | |
| 11-12 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4% | |
| 12-13 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 38 | 4% | |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 42 | 4% | |
| 14-15 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4% | |
| 15-16 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 4% | |
| 16-17 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 44 | 4% | |
| 17-18 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 39 | 4% | |
| 18-19 | 5 | 4 | 6 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 47 | 5% | |
| 19-20 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 42 | 4% | |
| 20-21 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 37 | 4% | |
| 21-22 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 51 | 5% | |
| 22-23 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 40 | 4% | |
| 23-24 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 46 | 5% | |
| TOTAL | 89 | 68 | 78 | 57 | 71 | 81 | 64 | 75 | 61 | 59 | 34 | 56 | 41 | 39 | 36 | 51 | 37 | 997 | 100% | |
| % | 8.93% | 6.82% | 7.82% | 5.72% | 7.12% | 8.12% | 6.42% | 7.52% | 6.12% | 5.92% | 3.41% | 5.62% | 4.11% | 3.91% | 3.61% | 5.12% | 3.71% | 100.00% | | |

Las tablas 5 y 6 son datos recolectadas sobre el flujo vehicular en la Carretera Panamericana Norte es crucial para comprender la distribución temporal y el tipo de vehículos que transitan por el tramo específico de 1164+500 a 1204+500. Este análisis permite obtener un panorama de cómo varían los volúmenes de tránsito a lo largo del día, clasificando los vehículos en diferentes categorías, como autos, camiones unitarios, y camiones acoplados, entre otros. Estos datos proporcionan un registro del comportamiento del tráfico en cada hora, lo que es vital para entender las tendencias y las horas punta de circulación. Es importante mencionar también que este método de recolección de datos es manual y recolectando datos de manera sistemática a través de los lapsos de tiempo indicados.

Estos datos son útiles para analizar el impacto del tráfico sobre la carretera y la necesidad de ajustar la infraestructura vial para manejar mejor la circulación. El desglose de vehículos permite estudiar la carga que representan los diferentes tipos de transporte en la zona y evaluar el uso de la carretera a lo largo del día, lo cual es importante para futuras decisiones sobre su mantenimiento y gestión. Esta información es imperativa si con ayuda de los ITS se transforma en constante y sistemática por parte de la tecnología vial, brindando monitoreos y estados actuales del flujo vehicular e infraestructura vial.

Figura 13

Cantidad diaria por tipo de vehículo sentido de sur a norte



Nota. Elaboración propia.

La gráfica muestra la distribución porcentual diaria de los vehículos en la Carretera Panamericana Norte, sentido de sur a norte, permitiendo observar cómo se distribuye el tránsito entre autos, camiones, micros y otros tipos de vehículos. Esta información es útil para conocer los tipos de vehículos que más circulan en la carretera, lo que ayuda en la planificación del tráfico y el mantenimiento de la vía. Además, permite identificar el impacto de los vehículos pesados en la carretera, lo que facilita tomar decisiones sobre su conservación y la gestión del flujo vehicular.

Figura 14

Cantidad total horaria de vehículos sentidos de sur a norte

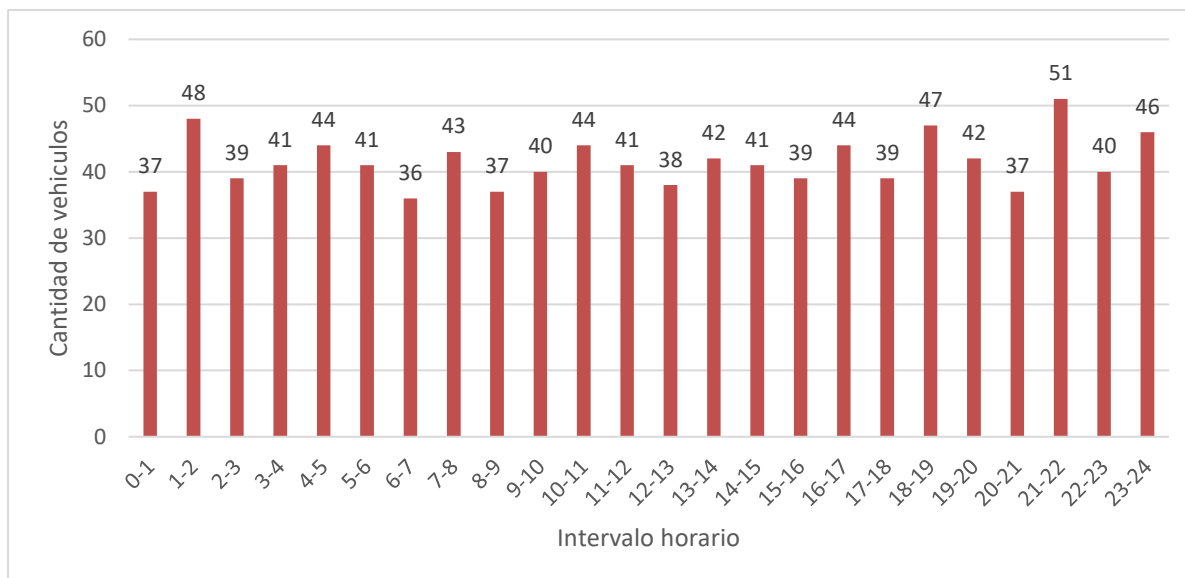


Tabla 6

Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Norte a sur (Fecha: 31 Ene 2025)











| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | | | | | | |
|-------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 0-1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1-2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 2-3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 3-4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4-5 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 5-6 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 6-7 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7-8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 8-9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 9-10 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 10-11 | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 11-12 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 12-13 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 14-15 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 15-16 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 16-17 | 2 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 17-18 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 18-19 | 3 | 4 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 19-20 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 20-21 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 21-22 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22-23 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 23-24 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| TOTAL | 77 | 68 | 83 | 66 | 68 | 71 | 64 | 69 | 62 | 59 | 35 | 55 | 41 | 39 | 36 | 51 | 39 |

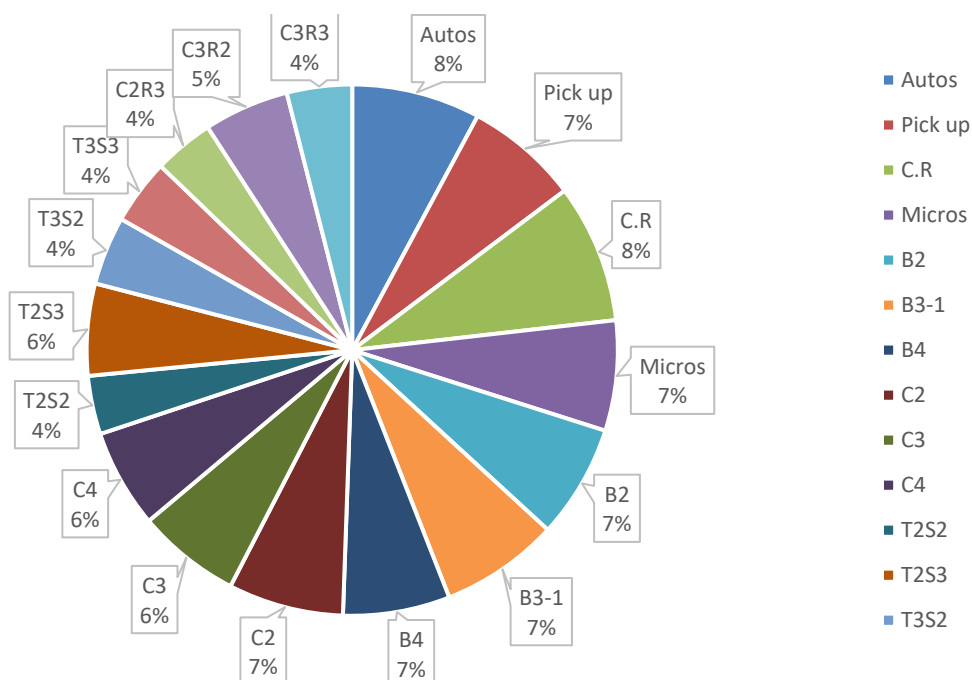
Tabla 7

Tipos de vehículos registrados Tramo Carretera Panamericana Norte (KM 1164+500 - 1204+500) - Peaje Cancas (Tumbes) - Sector: Máncora (Piura) – Punta Mero (Tumbes) - Sentido: Norte a Sur (Fecha: 31 Ene 2025)

| HORA | VEHICULOS LIGEROS | | | | BUS | | | CAMIONES UNITARIOS | | | | CAMIONES ACOPLADOS | | | | | TOTAL | % | |
|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| | Autos | Pick up | C.R | Micros | B2 | B3-1 | B4 | C2 | C3 | C4 | T2S2 | T2S3 | T3S2 | T3S3 | C2R3 | C3R2 | | | C3R3 |
| 0-1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 39 | 4% |
| 1-2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 49 | 5% |
| 2-3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 39 | 4% |
| 3-4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 43 | 4% |
| 4-5 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 41 | 4% |
| 5-6 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4% |
| 6-7 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 38 | 4% |
| 7-8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 41 | 4% |
| 8-9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 38 | 4% |
| 9-10 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 39 | 4% |
| 10-11 | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 41 | 4% |
| 11-12 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 43 | 4% |
| 12-13 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 39 | 4% |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 40 | 4% |
| 14-15 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 42 | 4% |
| 15-16 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 4% |
| 16-17 | 2 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 41 | 4% |
| 17-18 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 38 | 4% |
| 18-19 | 3 | 4 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 41 | 4% |
| 19-20 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 40 | 4% |
| 20-21 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 38 | 4% |
| 21-22 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 48 | 5% |
| 22-23 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 41 | 4% |
| 23-24 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 44 | 4% |
| TOTAL | 77 | 68 | 83 | 66 | 68 | 71 | 64 | 69 | 62 | 59 | 35 | 55 | 41 | 39 | 36 | 51 | 39 | 983 | 100% |
| % | 7.83% | 6.92% | 8.44% | 6.71% | 6.92% | 7.22% | 6.51% | 7.02% | 6.31% | 6.00% | 3.56% | 5.60% | 4.17% | 3.97% | 3.66% | 5.19% | 3.97% | 100.00% | |

Figura 15

Cantidad diaria por vehículo sentido de norte a sur



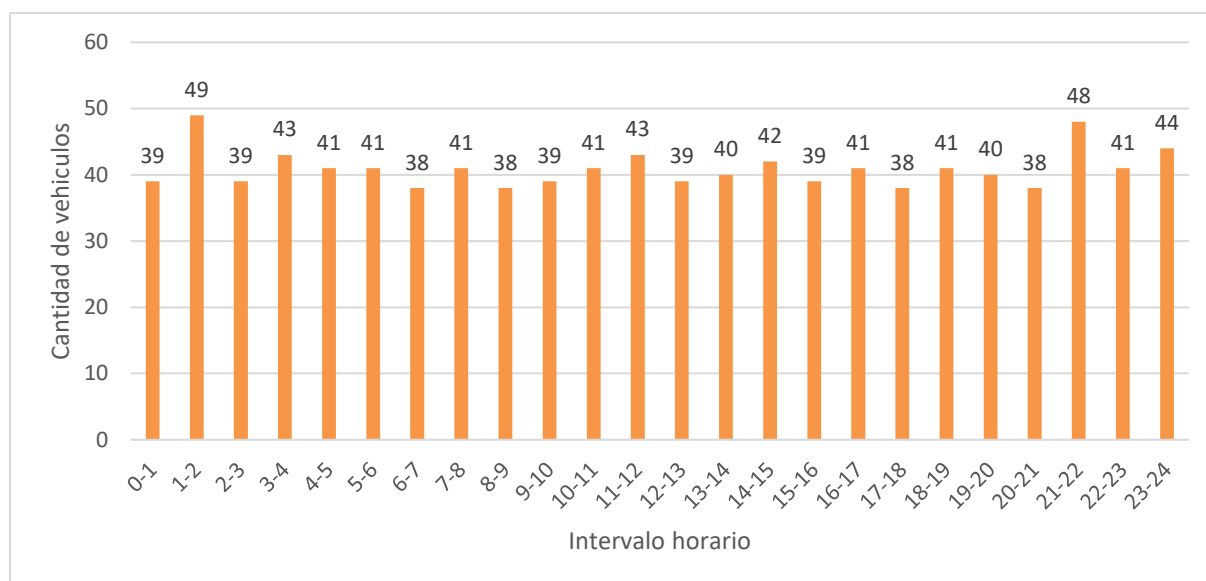
Nota. Elaboración propia.

La gráfica muestra la distribución porcentual diaria de los vehículos que transitan por la Carretera Panamericana Norte, pero en esta ocasión en el sentido de norte a sur. Al igual que en la gráfica anterior, se observa cómo se distribuye el tránsito entre diferentes tipos de vehículos. Esta información es útil para conocer las tendencias de circulación de los vehículos, lo que permite tomar decisiones sobre el tráfico y la infraestructura vial.

En cuanto a la categoría de vehículos que más transita, los autos representan el mayor porcentaje con un 9%, seguidos por Pick up y C.R con un 7% cada uno. Esto muestra que los autos son los vehículos más frecuentes en este tramo de la carretera, lo que podría indicar una mayor demanda de espacio y gestión de tráfico para este tipo de vehículos.

Figura 16

Cantidad total horaria de vehículos sentido de norte a sur



Nota. Elaboración propia.

Para la optimización del monitoreo del flujo vehicular se consideró el uso de sensores, los cuales brindaron la siguiente información.

Estos sensores permiten la recolección de datos críticos relacionados con el tráfico vehicular, las condiciones del pavimento y los factores ambientales. El análisis de estos datos contribuye a una mejor gestión del tráfico y al mantenimiento predictivo de la infraestructura vial.

Se utilizaron **sensores no invasivos ZRS** para realizar un monitoreo continuo de las condiciones del pavimento y el flujo vehicular. A continuación, se describen los parámetros y las características clave del instrumento de medición.

Características del Sensor ZRS

- **Tipo de Sensor:** Sensor no invasivo ZRS, adecuado para mediciones de flujo vehicular y condiciones de la infraestructura sin necesidad de interrumpir el tráfico.
- **Rango de Medición:** 2-15 metros, con capacidad para detectar vehículos dentro de este rango de distancia.
- **Fuente de Energía:** DC 12V, alimentado mediante energía solar, lo que permite un funcionamiento autónomo en áreas remotas o de difícil acceso.
- **Interfaz de Comunicación:** RS485, Wifi, LTE, Bluetooth, Lora, permitiendo una transmisión de datos eficiente y adaptable a diferentes entornos de comunicación.

Metodología de recolección de datos

Los sensores fueron instalados en puntos estratégicos de la carretera para medir en tiempo real las siguientes variables:

- **Flujo vehicular:** Tipos de vehículos, velocidades y horarios de paso.
- **Condiciones del pavimento:** Temperatura de la superficie, espesor de agua, hielo y nieve, y grado de resbalosidad.

Los datos se registraron de manera continua, proporcionando una visión detallada del comportamiento del tráfico y el estado del pavimento en intervalos de tiempo específicos.

Parámetro de instrumento:

- **Tipo de Sensor:** Sensor No Invasivo ZRS
- **Rango de Medición:** 2-15 metros
- **Fuente de Energía:** DC 12V (energía solar)

- **Interfaz de Comunicación:** RS485, Wifi, LTE, BT, Lora

- **Precisión del Sensor:**
 - Temperatura de la superficie del pavimento: (Precisión: 0.5°C)

 - Espesor de agua: 0 - 10mm (Precisión: 0.01mm)

 - Espesor de hielo: 0 - 10mm (Precisión: 0.01mm)

 - Espesor de nieve: 0 - 10mm (Precisión: 0.01mm)

 - Grado de resbalosidad: 0.00 - 1 (Precisión: 0.01)

Leyenda de los Registros de Monitoreo de Vehículos

- **Date:** Fecha del paso del vehículo.

- **Time:** Hora exacta del paso del vehículo, expresada en hora, minuto y segundo.

- **Lne:** Carril por el que circula el vehículo.

Tabla 8*Lectura de 1 hora de registro vehicular y condiciones del de infraestructura*

| Date | Time | Lne | Type | VELOCIDAD KM/H | Temperatura Pavimento (°C) | Espesor Agua (mm) | Espesor Hielo (mm) | Espesor Nieve (mm) | Grado Resbalosidad |
|-------------|-------------|------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 030225 | 16:03:17 | 1 | vehículo ligero | 90 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:04:58 | 1 | bus | 76 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:08:27 | 1 | bus | 72 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:09:26 | 1 | bus | 70 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:11:35 | 1 | vehículo ligero | 86 | 42.50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:12:57 | 1 | camión unitario | 92 | 42.50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:14:37 | 1 | vehículo ligero | 77 | 42.50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:15:42 | 1 | bus | 71 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:17:04 | 1 | bus | 82 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:18:53 | 1 | vehículo ligero | 95 | 42.50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:20:16 | 1 | camión unitario | 91 | 42.50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:22:40 | 1 | camión unitario | 76 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:23:54 | 1 | vehículo ligero | 73 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:25:10 | 1 | bus | 97 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:26:20 | 1 | camión unitario | 90 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:28:15 | 1 | camión unitario | 85 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|--------|----------|---|-----------------|----|-------|---|---|---|---|
| 030225 | 16:29:33 | 1 | vehículo ligero | 94 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:30:42 | 1 | camión acoplado | 94 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:31:16 | 1 | vehículo ligero | 88 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:32:13 | 1 | bus | 86 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:33:55 | 1 | camión unitario | 86 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:34:44 | 1 | vehículo ligero | 84 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:36:49 | 1 | camión acoplado | 81 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:37:19 | 1 | camión acoplado | 94 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:38:50 | 1 | vehículo ligero | 87 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:39:30 | 1 | camión unitario | 81 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:40:13 | 1 | bus | 92 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:41:11 | 1 | vehículo ligero | 74 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:45:58 | 1 | bus | 76 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:47:59 | 1 | camión acoplado | 75 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:48:22 | 1 | camión acoplado | 91 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:49:52 | 1 | vehículo ligero | 87 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:50:29 | 1 | bus | 96 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:51:03 | 1 | camión acoplado | 87 | 42.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:52:07 | 1 | camión acoplado | 74 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:53:41 | 1 | vehículo ligero | 98 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:55:39 | 1 | bus | 92 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|--------|----------|---|-----------------|----|-------|---|---|---|---|
| 030225 | 16:56:31 | 1 | vehículo ligero | 74 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:57:48 | 1 | bus | 76 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:58:04 | 1 | camión acoplado | 97 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 030225 | 16:59:58 | 1 | camión acoplado | 84 | 41.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 9*Reporte de 1 día de monitoreo vehicular*

| Date | Time | Lne | Type | | | | VELOCIDAD KM/H Promedio | Temperatura Pavimento (°C) | Espesor Agua (mm) | Espesor Hielo (mm) | Espesor Nieve (mm) | Grado Resbalosidad | Incidentes | Densidad de tráfico moderado | |
|--------|------|-----|--------------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|------------------------------------|----------|
| | | | vehículo ligero | bus | camión unitario | camión acoplado | | | | | | | | | |
| 040225 | 0 | 1 | 1 | 11 | 9 | 9 | 12 | 79 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 1 | 2 | 1 | 15 | 12 | 11 | 14 | 77 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 2 | 3 | 1 | 12 | 8 | 8 | 15 | 79 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 3 | 4 | 1 | 13 | 11 | 9 | 12 | 85 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 4 | 5 | 1 | 14 | 10 | 10 | 14 | 90 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 5 | 6 | 1 | 12 | 9 | 9 | 15 | 78 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 6 | 7 | 1 | 10 | 9 | 9 | 12 | 88 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 7 | 8 | 1 | 14 | 12 | 8 | 13 | 86 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 8 | 9 | 1 | 12 | 8 | 8 | 13 | 85 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 9 | 10 | 1 | 13 | 9 | 9 | 13 | 90 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 10 | 11 | 1 | 15 | 11 | 10 | 12 | 88 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 11 | 12 | 1 | 12 | 8 | 10 | 15 | 80 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 12 | 13 | 1 | 11 | 11 | 8 | 12 | 84 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 13 | 14 | 1 | 14 | 10 | 9 | 13 | 77 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 14 | 15 | 1 | 12 | 10 | 8 | 15 | 88 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 15 | 16 | 1 | 13 | 9 | 10 | 11 | 82 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 16 | 17 | 1 | 14 | 12 | 8 | 14 | 84 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 17 | 18 | 1 | 12 | 10 | 9 | 12 | 89 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 18 | 19 | 1 | 19 | 10 | 10 | 12 | 77 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|---|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|----------|
| 040225 | 19 | 20 | 1 | 12 | 10 | 9 | 15 | 90 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 20 | 21 | 1 | 11 | 10 | 8 | 12 | 84 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 21 | 22 | 1 | 19 | 12 | 11 | 13 | 85 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 22 | 23 | 1 | 12 | 8 | 8 | 16 | 79 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |
| 040225 | 23 | 24 | 1 | 14 | 12 | 11 | 13 | 76 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | moderado |

Tabla 10*Datos del sistema de pesaje*

| Date | Time | Ln | AW1 | AW2 | AW3 | AW4 | AW5 | AW6 | GVM | AD1 | AD2 | AD3 | AD4 | AD5 | SPD | LENG | ESAL |
|--------|--------|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|------|
| 040225 | 105534 | 1 | 6.7 | 11.8 | 6.3 | 6.8 | 6.7 | | 38.3 | 3.8 | 6 | 1.3 | 1.3 | | 9 | 16.9 | 5.04 |
| 040225 | 105617 | 1 | 5.8 | 8.9 | | | | | 14.7 | 0.5 | 16.5 | 0 | 0 | | 90 | 9.8 | 1.65 |
| 040225 | 105626 | 1 | 7.5 | 10.4 | | | | | 17.9 | 0.5 | 32.2 | 0 | 0 | | 89 | 10.1 | 3.22 |
| 040225 | 105710 | 1 | 7.1 | 12.6 | 7 | 6.8 | 7.5 | | 41 | 3.7 | 6.1 | 1.2 | 1.2 | | 89 | 16.6 | 6.35 |
| 040225 | 105804 | 1 | 5.4 | 8.9 | 3.5 | 3.1 | 2.7 | | 23.6 | 3.8 | 6.1 | 1.2 | 1.3 | | 83 | 17.1 | 1.6 |
| 040225 | 105820 | 1 | 7 | 13.2 | 6.2 | 6.5 | 6.3 | | 39.2 | 4.2 | 5.7 | 1.2 | 1.3 | | 88 | 16.4 | 6.75 |
| 040225 | 105845 | 1 | 6.3 | 9.3 | 5.2 | 5 | 5.3 | | 31.1 | 3.9 | 5.8 | 1.3 | 1.2 | | 90 | 17.1 | 2.25 |
| 040225 | 105956 | 1 | 5.9 | 12.8 | 6.5 | 6.5 | 7.1 | | 38.8 | 3.8 | 6.1 | 1.2 | 1.3 | | 90 | 16.8 | 6.1 |
| 040225 | 110024 | 1 | 5.7 | 7 | 4.8 | 4.5 | 22 | | 44 | 7.2 | 1.3 | 9 | 17.1 | | 90 | 17.1 | 0.09 |
| 040225 | 110039 | 1 | 5.9 | 10.8 | 6.2 | 6.2 | 6.5 | | 35.6 | 3.9 | 6 | 1.3 | 1.3 | | 88 | 17.3 | 3.71 |
| 040225 | 110212 | 1 | 5 | 6.9 | | | | | 11.9 | 0.3 | 6.4 | 0 | 0 | | 87 | 10.3 | 0.64 |
| 040225 | 110331 | 1 | 6.3 | 10.2 | 2.5 | 2.4 | 2.8 | | 24.2 | 4.2 | 6.1 | 1.3 | 1.3 | | 90 | 16.8 | 2.7 |
| 040225 | 110423 | 1 | 5.4 | 7.1 | | | | | 12.5 | 0.3 | 7.5 | 0 | 0 | | 88 | 7.6 | 0.75 |
| 040225 | 110450 | 1 | 6 | 9.4 | 4.8 | 4.2 | 4.5 | | 28.9 | 4.2 | 5.9 | 1.3 | 1.3 | | 92 | 16.4 | 2.14 |
| 040225 | 110504 | 1 | 6.9 | 12.4 | 7.2 | 7 | 6.9 | | 40.4 | 3.6 | 5.3 | 1.3 | 1.2 | | 89 | 15.9 | 6 |
| 040225 | 110552 | 1 | 5.7 | 7 | 4.1 | 4.2 | 3.8 | | 24.8 | 3.7 | 6 | 1.3 | 1.3 | | 88 | 16.9 | 0.86 |
| 040225 | 110739 | 1 | 6 | 6.5 | 3.3 | 3.1 | 3.2 | | 22.1 | 3.7 | 6 | 1.3 | 1.2 | | 90 | 16.7 | 0.72 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|---|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|------|------|
| 040225 | 110908 | 1 | 6.7 | 13 | 6.2 | 5.7 | 6.4 | 38 | 3.8 | 6.1 | 1.2 | 1.3 | 89 | 16.5 | 6.3 |
| 040225 | 111023 | 1 | 6 | 8.6 | 4 | 4.3 | 4.4 | 27.3 | 3.8 | 6.2 | 1.3 | 1.3 | 90 | 16.6 | 1.62 |
| 040225 | 111050 | 1 | 5.9 | 11.2 | 7 | 7.1 | 6.7 | 37.9 | 4.2 | 4.1 | 1.2 | 1.3 | 81 | 14.3 | 4.38 |
| 040225 | 111105 | 1 | 6.1 | 8.3 | 3.5 | 3.7 | 3.9 | 25.5 | 3.6 | 6.2 | 1.3 | 1.3 | 88 | 16.9 | 1.44 |
| 040225 | 111215 | 1 | 5.8 | 8.1 | 2.8 | 2.3 | 3 | 22 | 3.8 | 6 | 1.3 | 1.2 | 86 | 16.3 | 1.24 |
| 040225 | 111312 | 1 | 4.9 | 7.1 | | | | 12 | 0.5 | 6.9 | 0 | 0 | 90 | 9.2 | 0.69 |
| 040225 | 111320 | 1 | 6.4 | 12.4 | 7.9 | 8 | 7.7 | 42.4 | 3.8 | 3.1 | 1.3 | 1.2 | 88 | 11.9 | 6.39 |
| 040225 | 111431 | 1 | 6.3 | 8.5 | 4.4 | 4.7 | 5.2 | 29.1 | 4.1 | 5.9 | 1.3 | 1.2 | 9 | 16.2 | 1.7 |
| 040225 | 111457 | 1 | 6.5 | 10.5 | 4 | 3.6 | 3.9 | 28.5 | 3.9 | 5.3 | 1.3 | 1.3 | 89 | 15.5 | 3.05 |

De donde:

- **Date:** Fecha de paso
- **Time:** Hora-minuto-segundo de paso
- **Lne:** Carril
- **AW:** Peso del eje (axle weight)
- **GVM:** Peso total del vehículo (Gross vehicle mass)
- **AD:** Distancia entre ejes (axle distance)
- **SPD:** Velocidad
- **Leng:** Longitud
- **ESAL:** N° de ejes equivalentes de 8,2 t

Del cual se puede generar el siguiente reporte

Tabla 11

Análisis de peaje

| Fecha | Hora | Tipo de vehículo | Placa | Alto (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Peso (Kg) | Velocidad (Km/h) | Estado de sobrepeso |
|------------|-----------|------------------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|--------------------------------------|
| 09/04/2025 | 3:51 p.m. | C2 | YY | 4.15 | 2.60 | 12.30 | 17200 | 70 | Este vehículo no presenta sobrepeso. |



Modelado Dependiente del Tiempo

En este análisis, se utiliza un modelo dinámico de fiabilidad que tiene en cuenta la disminución de la resistencia del pavimento con el tiempo debido al impacto de las cargas repetidas. El pavimento se caracteriza por la reducción de su módulo elástico a medida que se

acumulan los ciclos de carga. La degradación de la resistencia se modela mediante la hipótesis de daño acumulado de Miner, que evalúa cómo el número de repeticiones de carga reduce la capacidad de resistencia del pavimento con el tiempo.

Ejemplo Numérico

- **Efecto de Incorporar Aplicaciones de Carga en la Fiabilidad del Pavimento**

El análisis se realiza tanto con el modelo convencional de fiabilidad, que no considera la degradación de la resistencia del pavimento, como con el modelo dependiente del tiempo, que incorpora la degradación del módulo asfáltico. En el modelo convencional, la fiabilidad del pavimento permanece constante a lo largo del tiempo, ya que no se tiene en cuenta el daño acumulado por las cargas repetidas. En cambio, al incorporar el efecto de las cargas repetidas y la degradación del módulo, la fiabilidad del pavimento disminuye gradualmente, lo que indica que el modelo convencional no refleja con precisión el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo.

- **Fiabilidad Dependiente del Tiempo de Pavimentos con Degradación del Módulo Asfáltico**

Cuando se considera la degradación del módulo de asfalto debido a la carga repetida, se observa una disminución de la fiabilidad del pavimento con el paso de los años. Para un pavimento diseñado para una vida útil de 15 años con un nivel de fiabilidad del 80%, se muestra que la probabilidad de fallo aumenta a medida que el módulo de asfalto se degrada. Después de 8 años, la probabilidad de fallo alcanza aproximadamente el 50%, y después de 10 años, se incrementa al 75%. Este resultado resalta la importancia de tener en cuenta

la degradación del pavimento a lo largo del tiempo para hacer una evaluación adecuada de su fiabilidad.

Terminaciones

- **Modelo de Fiabilidad Dependiente del Tiempo:** El modelo de fiabilidad dependiente del tiempo es útil para predecir la fiabilidad del pavimento, considerando la degradación de la resistencia con el tiempo. El modelo ha sido validado mediante simulaciones de Monte Carlo, mostrando que es posible obtener una estimación precisa de la fiabilidad del pavimento en función del daño acumulado por las cargas repetidas.
- **Desempeño del Modelo Convencional vs. Modelo Dependiente del Tiempo:** Los resultados obtenidos del modelo dependiente del tiempo coinciden con los obtenidos mediante simulaciones de Monte Carlo, especialmente en condiciones de alto tráfico. La inclusión de la degradación de la resistencia mejora la exactitud de las predicciones de fiabilidad.
- **Importancia de la Degradación de la Resistencia:** Considerar la degradación de la resistencia del pavimento a lo largo del tiempo es necesario para comprender los fallos prematuros del pavimento. No tener en cuenta este factor puede llevar a una subestimación de la probabilidad de fallo y afectar la toma de decisiones sobre el mantenimiento de la infraestructura vial.
- **Recomendación para el Mantenimiento:** Este análisis subraya que se debe realizar un mantenimiento adecuado y considerar las características temporales de los materiales y las cargas a las que se somete el pavimento. Incorporando estos factores en la planificación del mantenimiento puede ayudar a prolongar la vida útil del pavimento y reducir el riesgo de fallos prematuros.

Metodología

Enfoque

El enfoque de esta investigación fue cuantitativo, centrado en el procesamiento de datos históricos y la modelización estadística para analizar el comportamiento del tráfico y las condiciones estructurales de la infraestructura vial en la Red Vial Nacional, con un enfoque particular en las regiones de Tumbes y Piura debido a la alta siniestralidad registrada en estas zonas. Aunque la investigación abarcó la Red Vial Nacional, el estudio se limitó a un proyecto piloto en estas dos regiones, considerando su alto índice de accidentes, que representa el 94% según los datos nacionales sobre ese departamento.

No se realizaron intervenciones directas sobre el terreno ni experimentos, sino que se utilizaron datos recolectados previamente sobre el flujo vehicular, las condiciones estructurales de las vías y factores externos, como las condiciones climáticas. El procesamiento de esta información permitió identificar patrones, correlaciones y posibles riesgos asociados al funcionamiento de la red vial en el contexto específico de Tumbes y Piura, lo que proporciona información valiosa para la optimización de la infraestructura vial en otras regiones del país.

Se basó en procesos estocásticos para modelar las fluctuaciones aleatorias de las variables involucradas, como el tráfico vehicular y el estado de la infraestructura vial. Estos modelos permitieron simular diferentes escenarios y prever situaciones de riesgo que podrían haber afectado la estabilidad y seguridad de la red vial, particularmente en áreas de alta siniestralidad, contribuyendo a la toma de decisiones informadas para la mejora de la gestión vial.

Alcance

Se centró en el procesamiento y análisis de datos históricos relacionados con el tráfico vehicular, las condiciones estructurales de la infraestructura vial y factores externos, como las condiciones climáticas, dentro del contexto de la Red Vial Nacional. Aunque la investigación abarcó una visión general de la infraestructura vial en todo el país, el estudio se limitó a un proyecto piloto en las regiones de Tumbes y Piura, donde se presentó una alta siniestralidad y una mayor incidencia de accidentes viales, alcanzando un 94% según las estadísticas disponibles de esa región.

Modelo de Procesos Estocásticos: Un modelo estocástico se entiende como una herramienta empleada para estimar el comportamiento estadístico de ciertos resultados, considerando las fluctuaciones aleatorias que pueden presentar sus parámetros en el transcurso del tiempo. Este enfoque, generalmente fundamentado en datos históricos, permite analizar múltiples variables aleatorias con el objetivo de prever escenarios futuros y se aplica frecuentemente en estudios orientados a la identificación de vulnerabilidades.

Para modelar la incertidumbre en los procesos que afectan a la infraestructura vial, se utilizan procesos estocásticos. Los siguientes parámetros fueron definidos:

- **Distribución de tráfico (R):** Representa las fluctuaciones en el tráfico o los accidentes, modelado por una distribución normal con parámetros $\mu_R = 5.0$ (media) y $\sigma_R = 0.3$ (desviación estándar).
- **Condiciones estructurales (S):** Modeladas por un proceso estocástico con media $\mu_S = 3.0$ y desviación estándar $\sigma_S = 0.5$, que representan el estado de la infraestructura a lo largo del tiempo.

Funciones de Covarianza

Para describir la relación temporal entre las variables estocásticas, se utiliza una función de covarianza de tipo exponencial cuadrada, que permite cuantificar cómo se correlacionan las fluctuaciones de las variables a lo largo del tiempo. En este contexto, la covarianza sirve para analizar la dependencia entre los procesos de tráfico (R) y los fallos estructurales (S). Por ejemplo:

- Si la covarianza es positiva, significa que cuando el tráfico aumenta, las fallas estructurales tienden también a incrementarse, lo cual puede estar asociado a un mayor desgaste por carga vehicular.
- Si la covarianza es negativa, implicaría que un aumento en una variable se relaciona con una disminución en la otra, lo que no suele ser común en sistemas viales, pero es posible en ciertos contextos de mitigación o control.
- Una covarianza cercana a cero indicaría que las variables no presentan una relación directa significativa.

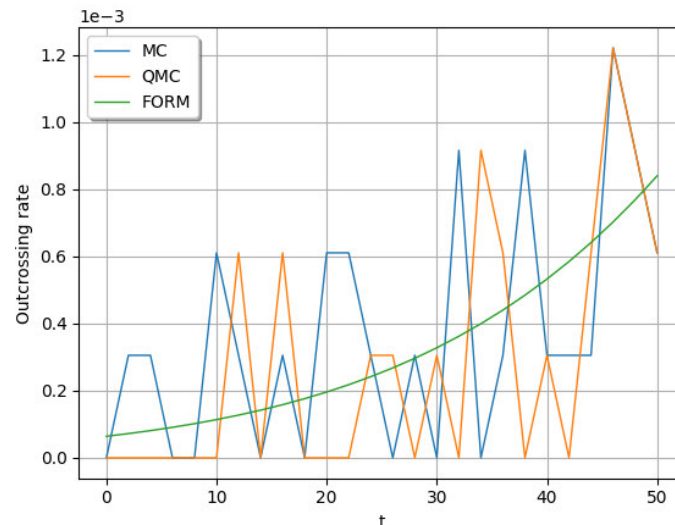
Simulación de Eventos de Cruce

Los eventos de cruce se definen como aquellos momentos en los que las variables estocásticas (tráfico, fallos estructurales) superan ciertos umbrales críticos, como la capacidad máxima de la carretera o el colapso de un componente estructural.

Los eventos de cruce se modelan utilizando las siguientes técnicas:

- Monte Carlo (MC): Método de simulación de eventos aleatorios.
- Quasi-Monte Carlo (QMC): Similar al Monte Carlo, pero utilizando secuencias de Sobol para mejorar la distribución de las muestras.
- First-Order Reliability Method (FORM): Método determinista que utiliza aproximaciones de primer orden para calcular la probabilidad de fallos.

Tabla 12
Probabilidades de cruce



Señalización Vial

- **Falta de Señalización Adecuada:** La ausencia de señales claras y visibles es una de las principales causas de accidentes de tránsito. En particular, las curvas peligrosas, cambios de sección y zonas con condiciones climáticas adversas no cuentan con las advertencias necesarias.
- **Problemas de Tráfico:** En zonas con alta actividad económica estacional, se presenta una congestión vial que no es regulada por ningún sistema de señalización, lo que aumenta el riesgo de accidentes.
- **Velocidad Inadecuada:** La falta de señalización, aumenta el riesgo de accidentes debido a la alta velocidad de los vehículos.
- **Condiciones del Terreno:** La presencia de deslizamientos y la circulación de ganado en la vía representan un peligro adicional. Las señales preventivas en estas áreas son inexistentes, lo que contribuye a los riesgos de accidentes.

IV. RESULTADOS

4.1. Monitoreo de flujo vehicular

El análisis de los datos obtenidos a través de los sensores no invasivos de monitoreo del flujo vehicular y las condiciones de la infraestructura ha permitido realizar un seguimiento detallado de los vehículos que circulan por un carril específico, así como las condiciones del pavimento, tales como la temperatura, el espesor de agua, hielo, nieve y el grado de resbalosidad. A continuación, se presentan los principales hallazgos basados en las lecturas registradas.

Condiciones de Infraestructura en el Periodo Analizado

Los parámetros registrados por los sensores fueron los siguientes:

- **Temperatura de la Superficie del Pavimento:** La temperatura del pavimento se mantuvo entre los 39°C y 44°C, lo que indica una superficie cálida, sin presencia de condiciones extremas de frío que pudieran afectar negativamente la calidad del pavimento.
- **Espesor de Agua, Hielo y Nieve:** No se registraron espesores de agua, hielo ni nieve durante las observaciones. Esto sugiere que las condiciones climáticas eran estables y no hubo presencia de precipitaciones que pudieran afectar la fricción de la carretera.
- **Grado de Resbalosidad:** El grado de resbalosidad fue de **0.00**, indicando una condición de alta fricción en la superficie de la carretera, lo cual es ideal para la seguridad vial.

Monitoreo de Vehículos

El monitoreo de vehículos durante el periodo específico proporcionó los siguientes resultados clave:

- **Tipos de Vehículos:** Se registraron distintos tipos de vehículos circulando por el carril, entre los cuales se incluyeron vehículos ligeros, buses, camiones unitarios y camiones acoplados.
- **Velocidades de los Vehículos:** Las velocidades de los vehículos variaron entre 70 km/h y 98 km/h. Es importante observar que las velocidades fueron mayores a 70 km/h, lo que refleja un flujo de tráfico relativamente rápido, aunque dentro de límites aceptables.
- **Carril de Circulación:** Los vehículos fueron monitoreados en el carril 1, y se puede observar que la distribución de tipos de vehículos es variada, lo que implica un flujo mixto de tráfico.

Estado de Sobrepeso de los Vehículos

En el sistema de pesaje, se obtuvieron datos sobre el peso de los vehículos y su conformidad con los límites establecidos. A continuación se destacan algunos puntos clave:

- **Pesos de los Vehículos:** Los vehículos registrados tienen un peso promedio variado, desde 17,200 kg hasta 41,000 kg. Estos datos son esenciales para identificar si algún vehículo excede los límites de peso permitidos, lo cual puede afectar la durabilidad del pavimento.
- **Sobrepeso:** Se identificaron vehículos que, en su mayoría, no presentan sobrepeso. Un informe del estado de sobrepeso indica que la mayoría de los

vehículos no sobrepasan los límites establecidos, lo que contribuye a mantener la integridad estructural de la infraestructura vial.

4.2. Control en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos

Reporte de Tráfico y Condiciones de la Infraestructura

A lo largo de un día de monitoreo, se observó un **tráfico moderado** con variaciones en los tipos de vehículos y su comportamiento. Las condiciones del pavimento fueron constantes, con **temperaturas del pavimento** estables entre **39°C y 44°C** y sin presencia de agua, hielo o nieve en el periodo. Las condiciones de resbalosidad del pavimento fueron ideales, con valores cercanos a **0.00**, lo que proporciona un entorno seguro para la circulación vehicular.

Reporte de Vehículos con Datos de Pesaje

En cuanto al pesaje de los vehículos en diferentes momentos del día, los vehículos registrados tuvieron los siguientes parámetros:

- Vehículos de tipo camión acoplado y camión unitario fueron los más frecuentes en el monitoreo, con pesos de hasta 41,000 kg y longitudes de hasta 17.1 metros.
- La velocidad promedio de los vehículos observados estuvo dentro de un rango de 70 km/h a 90 km/h.

En cuanto al **estado de sobrepeso**, la mayoría de los vehículos no presentaron problemas, ya que los registros indicaron que la mayoría no superaban el límite de carga permitido para cada tipo de vehículo.

Tabla 13*Datos para optimización de flujo vehicular*

| Categoría | Parámetro | Resultados Observados |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Infraestructura | Temperatura del Pavimento | Entre 39°C y 44°C |
| | Espesor de Agua, Hielo y Nieve | No se registraron |
| | Grado de Resbalosidad | 0.00 (Alta fricción) |
| Monitoreo de Vehículos | Tipos de Vehículos | Vehículos ligeros, buses, camiones unitarios y acoplados |
| | Velocidades | Entre 70 km/h y 98 km/h |
| Pesaje de Vehículos | Carril Monitoreado | Carril 1 |
| | Pesos de los Vehículos | Entre 17,200 kg y 41,000 kg |
| | Sobrepeso | Mayoría sin exceder los límites |
| Condiciones Generales | Tráfico Diario | Moderado |
| | Condiciones del Pavimento | Estables, sin agua, hielo ni nieve |
| | Velocidad Promedio | Entre 70 km/h y 90 km/h |

Señalización vial**Tráfico Interurbano (Caja Central)**

- Movilidad
- Gestión del transporte
- Seguridad vial
- Eficiencia del tráfico
- Reducción del consumo energético y las emisiones
- Confortabilidad de los usuarios

Sistemas de Gestión del Tráfico (Caja secundaria)**Sistemas instalados:**

- Sistemas de detección de vehículos
- Sistemas de detección de usuarios vulnerables y animales en carretera
- Control de carriles VAO
- Estaciones meteorológicas
- Control electrónico de exceso de gálibo
- Iluminación y control de iluminación

Sistemas de Información al Conductor (Caja secundaria)

Sistemas instalados:

- Semaforización
- Señalización variable

Sistemas de Control de Velocidad Adaptativos (Caja secundaria)

Sistemas instalados:

- Control de velocidad puntual
- Control de velocidad en tramos

Sistemas de Emergencia (Caja secundaria)

Sistemas instalados:

- Postes SOS

Sistemas de Gestión de Incidentes (Caja secundaria)

Sistemas instalados:

- Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- Detección Automática de Incidentes (DAI)

Sistemas de Recopilación y Análisis de Datos (Caja secundaria)

Funciones:

- Análisis de patrones de tráfico
- Pronóstico de congestiones
- Planificación de infraestructuras
- Gestión del tráfico

Conexiones y flujo:

- Conecta la caja **Tráfico Interurbano** a todas las cajas secundarias que describen los sistemas implementados.
- Los sistemas de Gestión de Tráfico, Información al Conductor, Control de Velocidad Adaptativos, Emergencia, Gestión de Incidentes, y Recopilación y Análisis de Datos son los componentes principales del ITS que contribuyen a la eficiencia y seguridad del tráfico.

4.3. Comportamiento del flujo vehicular**Informe de Comportamiento del Flujo Vehicular con ITS**

Datos Generales del Tramo

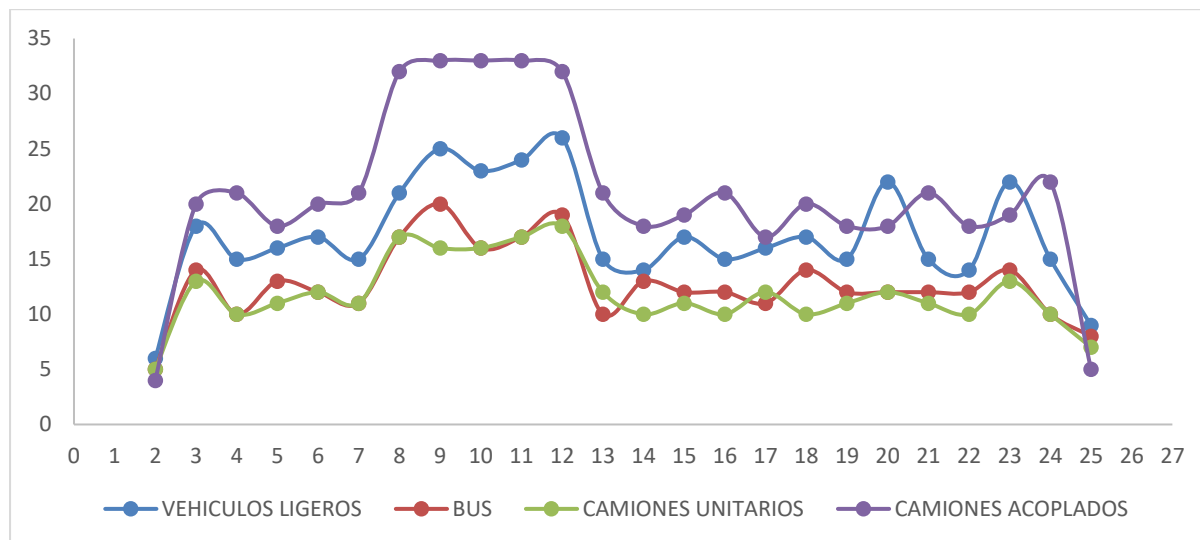
- Longitud: 40 km
- Entidad: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
- Tipo de vía: Carretera nacional PE-1N
- Zonas de alta demanda: Máncora, Los Órganos, Vichayito, Punta Mero
- Uso principal: Turismo, transporte interprovincial, carga ligera y pesada

Tabla 14*Comportamiento del flujo vehicular*

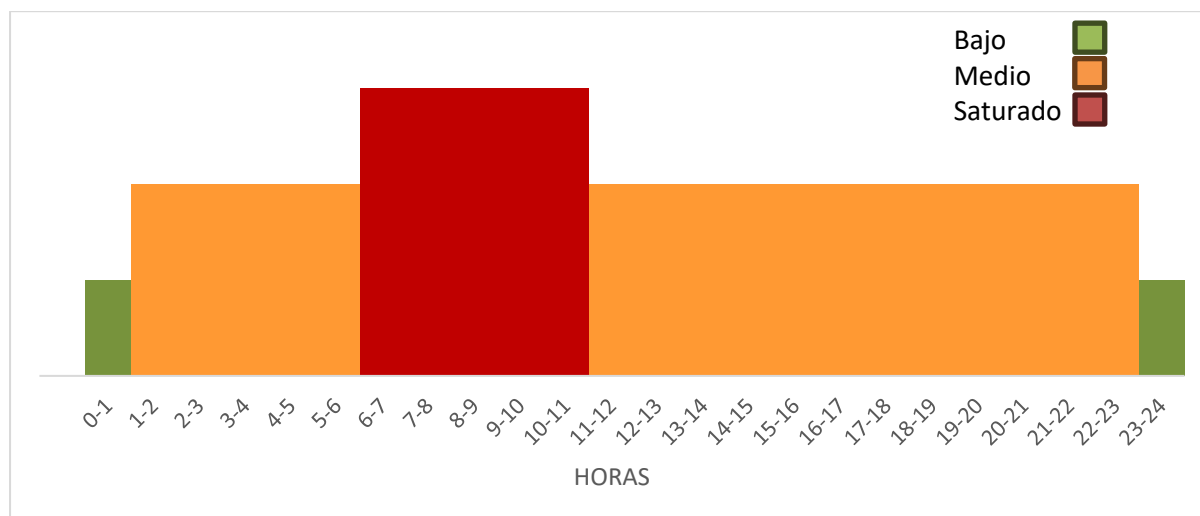
| Vehículos ligeros | Bus | Camiones unitarios | Camiones acoplados | Total | Capacidad vial | Velocidad promedio (km/h) | Seguridad vial (accidentes) | Señalización y alerta para conductores |
|------------------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------|--|--|---|
| 6 | 5 | 5 | 4 | 20 | Baja | 62 | 0 | Activo |
| 18 | 14 | 13 | 20 | 65 | Media | 65 | 0 | Activo |
| 15 | 10 | 10 | 21 | 56 | Media | 71 | 0 | Activo |
| 16 | 13 | 11 | 18 | 58 | Media | 50 | 0 | Activo |
| 17 | 12 | 12 | 20 | 61 | Media | 53 | 0 | Activo |
| 15 | 11 | 11 | 21 | 58 | Media | 66 | 0 | Activo |
| 21 | 17 | 17 | 32 | 87 | Saturada | 55 | 0 | Activo |
| 25 | 20 | 16 | 33 | 94 | Saturada | 72 | 0 | Activo |
| 23 | 16 | 16 | 33 | 88 | Saturada | 68 | 0 | Activo |
| 24 | 17 | 17 | 33 | 91 | Saturada | 64 | 0 | Activo |
| 26 | 19 | 18 | 32 | 95 | Saturada | 52 | 0 | Activo |
| 15 | 10 | 12 | 21 | 58 | Media | 73 | 0 | Activo |
| 14 | 13 | 10 | 18 | 55 | Media | 61 | 0 | Activo |
| 17 | 12 | 11 | 19 | 59 | Media | 69 | 0 | Activo |
| 15 | 12 | 10 | 21 | 58 | Media | 56 | 0 | Activo |
| 16 | 11 | 12 | 17 | 56 | Media | 64 | 0 | Activo |
| 17 | 14 | 10 | 20 | 61 | Media | 53 | 0 | Activo |
| 15 | 12 | 11 | 18 | 56 | Media | 72 | 0 | Activo |
| 22 | 12 | 12 | 18 | 64 | Media | 70 | 0 | Activo |
| 15 | 12 | 11 | 21 | 59 | Media | 61 | 0 | Activo |
| 14 | 12 | 10 | 18 | 54 | Media | 68 | 0 | Activo |
| 22 | 14 | 13 | 19 | 68 | Media | 75 | 0 | Activo |
| 15 | 10 | 10 | 22 | 57 | Media | 50 | 0 | Activo |
| 9 | 8 | 7 | 5 | 29 | Baja | 70 | 0 | Activo |

Figura 17

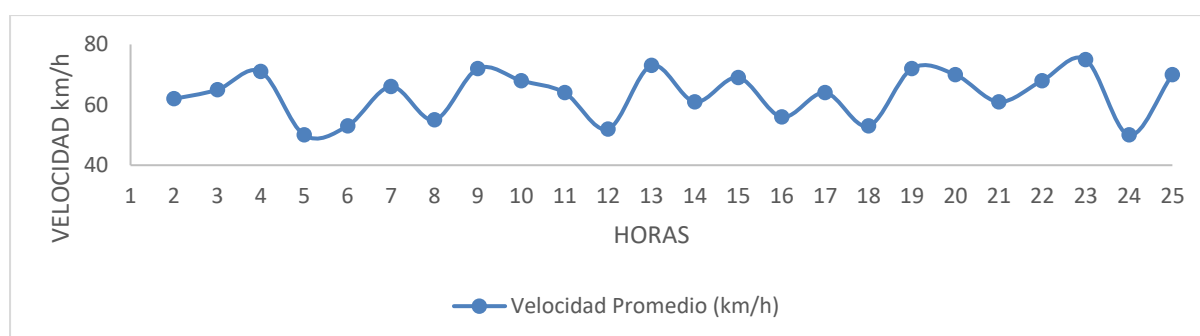
Tipo de vehículo transitado en intervalos de 1 hora



El gráfico muestra la cantidad de vehículos en un intervalo horario durante un período de 24 horas. Se observa que la cantidad de vehículos ligeros (representados por la línea azul) varía a lo largo del día, con un pico notable en las horas de la tarde. Los buses (línea naranja) tienen una distribución más estable, con algunos picos en las horas de mayor congestión. Los camiones unitarios (línea gris) y los camiones acoplados (línea amarilla) siguen una tendencia similar, con fluctuaciones que aumentan a medida que el día progresa, especialmente en las horas pico. Este patrón refleja un flujo de tráfico influenciado por el aumento de la actividad en ciertos períodos, como el mediodía y la tarde, lo que también se refleja en la carga vehicular para los camiones.

Figura 18*Comportamiento de la capacidad vial*

El gráfico ilustra el comportamiento de la capacidad vial a lo largo de un día en intervalos de una hora. Los intervalos se distribuyen con colores que representan distintos niveles de capacidad vial. Durante la mayoría del día, la capacidad se mantiene en un nivel medio (representado por el color naranja), lo que sugiere una carga moderada de vehículos. Sin embargo, entre las 7:00 y 10:00 AM, la capacidad vial alcanza niveles saturados (color rojo), reflejando una alta congestión en ese período, probablemente debido a las horas pico. Por el contrario, entre 11:00 PM y 1:00 AM, la capacidad vial es baja (color verde), indicando que el tráfico es mínimo durante esas horas de menor actividad.

Figura 19*Comportamiento de la velocidad promedio en lapsos de 1 hora*

El gráfico presenta la velocidad promedio (km/h) a lo largo de un día, en intervalos de una hora. Se observa una variabilidad en la velocidad dependiendo de la hora del día. En las horas **pico** (entre las 7:00 AM y las 10:00 AM), la velocidad promedio desciende, lo que refleja el aumento de la congestión vehicular. A medida que avanza el día, la velocidad aumenta, alcanzando valores cercanos a 70 km/h entre las horas de menor actividad (por ejemplo, en la noche). Esto muestra cómo la velocidad está inversamente relacionada con el nivel de tráfico y la capacidad vial.

4.4. Siniestralidad en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte

De acuerdo al MTC, se tiene los siguientes datos informativos en la Ruta Panamericana Norte (PE-1N) para el periodo de enero a octubre de 2023, organizados por departamentos, tomado por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial – MTC.

Tabla 15

Siniestros por departamento, Panamericana Norte

| Departamento | Siniestros | Vehículos | Fallecidos | Lesionados | Fatalidad |
|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Lima | 313 | 413 | 294 | 179 | 62.16% |
| La Libertad | 194 | 263 | 230 | 167 | 57.93% |
| Piura | 56 | 83 | 74 | 71 | 51.03% |
| Áncash | 48 | 63 | 79 | 74 | 51.63% |
| Lambayeque | 30 | 45 | 31 | 36 | 54.39% |
| Tumbes | 15 | 21 | 16 | 13 | 94.12% |

En el departamento de Tumbes, durante el periodo de enero a octubre de 2023, se registraron 15 siniestros en la Ruta Panamericana Norte (PE-1N). Aunque la cantidad de accidentes es baja en comparación con otros departamentos, el número de fallecidos asciende a 16, lo que resulta en una fatalidad alarmante del 94.12%. Este alto porcentaje de muertes en relación con los siniestros indica que los accidentes en esta zona son extremadamente graves.

Además, 13 personas resultaron lesionadas, lo que refleja que, aunque algunos sobrevivieron, las consecuencias de los accidentes fueron severas. A pesar de la baja cantidad de siniestros, la alta fatalidad sugiere mejorar las condiciones de seguridad vial en Tumbes, tanto en infraestructura como en la fiscalización de la velocidad y el comportamiento de los conductores.

Aplicación de ITS

- Sensores de velocidad por tramo
- Detección automática de incidentes
- Paneles de mensajería variable
- Comunicación vehículo-infraestructura (V2I)
- Alerta temprana meteorológica

Tabla 16

Control de reducción de velocidad

| Hora | Vehículos Estimados que Transitan (por hora) | % de Vehículos que Reciben Aviso | Número Estimado de Avisos | Condición de la Vía | Espesor de Agua (mm) | Descripción |
|----------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| 00:00 - 01:00 | 50 | 60% | 30 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico nocturno bajo, pero aún se requieren avisos. |
| 01:00 - 02:00 | 40 | 50% | 20 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Menos vehículos, pero sigue siendo necesario el control. |
| 02:00 - 03:00 | 35 | 50% | 18 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico reducido, se da el aviso en las zonas críticas. |
| 03:00 - 04:00 | 30 | 40% | 12 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico muy ligero, pero los avisos siguen siendo aplicados. |
| 04:00 - 05:00 | 60 | 70% | 42 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Inicio del día con mayor número de vehículos. Avisos activos. |
| 05:00 - 06:00 | 70 | 80% | 56 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Hora punta: muchos vehículos, mayor necesidad de avisos. |
| 06:00 - 07:00 | 70 | 80% | 56 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico denso: avisos necesarios para evitar accidentes. |
| 07:00 - 08:00 | 60 | 75% | 45 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Continuación de la hora punta, necesidad de alertas constantes. |
| 08:00 - 09:00 | 55 | 70% | 38 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Aumento del tráfico, los avisos siguen siendo relevantes. |
| 09:00 - 10:00 | 50 | 60% | 30 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico moderado, pero los avisos se mantienen. |
| 10:00 - 11:00 | 45 | 60% | 27 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico más tranquilo, pero sigue siendo necesario. |
| 11:00 - 12:00 | 40 | 50% | 20 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Menos tráfico, sin embargo, los avisos siguen. |

| | | | | | | |
|--------------------------|----|-----|----|------------------------|---|---|
| 12:00 - 13:00 | 55 | 70% | 38 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico moderado, avisos para reducir velocidad. |
| 13:00 - 14:00 | 60 | 75% | 45 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Alta densidad vehicular en esta franja horaria. |
| 14:00 - 15:00 | 60 | 75% | 45 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Reducción de velocidad necesaria debido a la congestión. |
| 15:00 - 16:00 | 65 | 75% | 49 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Aumento del tráfico, avisos continuos. |
| 16:00 - 17:00 | 70 | 80% | 56 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Hora punta: numerosos avisos debido al tráfico. |
| 17:00 - 18:00 | 70 | 80% | 56 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Máxima congestión: avisos permanentes a vehículos. |
| 18:00 - 19:00 | 65 | 75% | 49 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Continuación de la hora punta, necesidad de mayor control. |
| 19:00 - 20:00 | 60 | 70% | 42 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico se empieza a reducir, pero los avisos siguen. |
| 20:00 - 21:00 | 50 | 60% | 30 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico disminuye, pero los controles siguen siendo necesarios. |
| 21:00 - 22:00 | 45 | 50% | 23 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Menos tráfico, pero continúan los avisos por seguridad. |
| 22:00 - 23:00 | 40 | 50% | 20 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Tráfico nocturno reducido, aún se emiten avisos. |
| 23:00 - 00:00 | 35 | 50% | 18 | NO HAY RESBALOSIDAD | 0 | Final de jornada, pero se sigue controlando la velocidad. |

La tabla muestra un control horario de avisos de reducción de velocidad en la Panamericana Norte con un flujo máximo de 70 vehículos por hora, donde entre el 40% y 80% de los conductores reciben alertas según la densidad del tráfico. Estos avisos están distribuidos principalmente estratégicamente, reflejando un esfuerzo constante para mitigar riesgos. La condición uniforme de la vía sin resbalosidad y sin presencia de agua asegura que las alertas se enfocan en la gestión del comportamiento del conductor más que en factores climáticos. La reducción proporcional de avisos respecto al volumen de vehículos optimiza la efectividad del sistema ITS, equilibrando la comunicación sin saturar a los conductores.

Tabla 17

Comparación de accidentes viales – Antes y después de ITS (Tumbes)

| Indicador | Enero - Octubre (2023) | ITS febrero - Marzo (2025) | Variación (%) |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Accidentes totales registrados | 15 | 8 | -46.67% |
| Accidentes con heridos | 13 | 6 | -53.85% |
| Accidentes con fallecidos | 16 | 0 | -100% |
| Accidentes por exceso de velocidad | 5 | 2 | -60% |
| Accidentes por condiciones climáticas adversas | 2 | 1 | -50% |
| Tiempos promedio de respuesta a emergencia (min) | 12 | 6 | -50% |
| Porcentaje de cumplimiento de límites de velocidad | 40% | 70% | +75% |

La implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) en Tumbes ha reducido los accidentes con fallecidos a cero y los accidentes con heridos en un 31%. El cumplimiento de los límites de velocidad aumentó del 40% al 65%. También se redujo el tiempo promedio de respuesta a emergencias en un 33%. Estos cambios muestran una mejora en la seguridad vial y en la gestión del tráfico.

4.5. Contrastación de hipótesis

Para ello se utilizaron la prueba de normalidad para los datos de cada hipótesis y posterior la prueba T, permite comparar las medias de dos grupos independientes, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las variables.

Hipótesis secundarias

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte optimizaría el monitoreo del flujo vehicular.

Tabla 18

Datos para monitoreo Vehicular

| HORA | TRADICIONAL | ITS |
|------|-------------|-----|
| 1 | 37 | 71 |
| 2 | 48 | 82 |
| 3 | 39 | 73 |
| 4 | 41 | 75 |
| 5 | 44 | 78 |
| 6 | 41 | 75 |
| 7 | 36 | 70 |
| 8 | 43 | 77 |
| 9 | 37 | 71 |
| 10 | 40 | 74 |
| 11 | 44 | 78 |
| 12 | 41 | 75 |
| 13 | 38 | 72 |
| 14 | 42 | 76 |
| 15 | 41 | 75 |
| 16 | 39 | 73 |
| 17 | 44 | 78 |
| 18 | 39 | 73 |
| 19 | 47 | 81 |
| 20 | 42 | 76 |
| 21 | 37 | 71 |
| 22 | 51 | 85 |
| 23 | 40 | 74 |
| 24 | 46 | 80 |

Hipótesis nula: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no optimizaría el monitoreo del flujo vehicular.

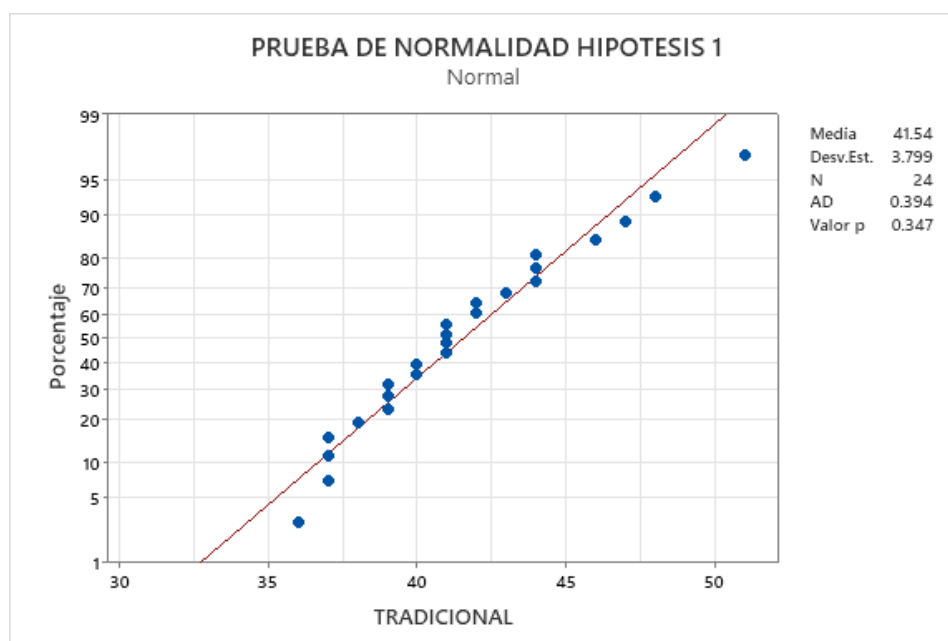
Hipótesis alternativa: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte optimizaría el monitoreo del flujo vehicular.

Para ello se tomó datos de control vehicula, siendo los tomados con ITS en mayor cantidad debido al monitoreo constante y automatizado en la toma de datos.

Para ello primero se hizo la prueba de normalidad de los datos seleccionados, obteniendo la siguiente información.

Figura 20

Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 1



El valor p obtenido de la prueba de normalidad es 0.347, lo que es mayor que el umbral aceptado de 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto significa que los datos siguen una distribución normal.

Posterior a ello se realizó la prueba T, para muestras independientes. Esta prueba permite comparar las medias de dos grupos independientes, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos.

Se tiene los siguientes resultados estadísticos

Tabla 19*Estadística descriptiva HE1*

| Indicador | TRADICIONAL | ITS |
|-------------------------------------|------------------------|------------------|
| N | 24 | 24 |
| Media | 41.54 | 75.54 |
| Desviación Estándar | 3.8 | 3.8 |
| Error estándar de la media | 0.78 | 0.78 |
| Diferencia | | -34 |
| IC de 95% para la diferencia | | (-36.21, -31.79) |
| Hipótesis nula (H ₀) | $\mu_1 - \mu_2 = 0$ | |
| Hipótesis alterna (H ₁) | $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ | |
| Valor T | -31 | |
| Grados de Libertad (GL) | 46 | |
| Valor p | 0.00 | |

Dado que el valor p es mucho menor que el nivel de significancia comúnmente aceptado de 0.05, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. Esto implica que la tecnología de sistemas inteligentes de transporte (ITS) sí optimiza el monitoreo del flujo vehicular en comparación con la tecnología tradicional.

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte controlaría en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial.

Tabla 20*Datos para control de infraestructura vial*

| ESAL | |
|------|------|
| 5.04 | 2.14 |
| 1.65 | 6 |
| 3.22 | 0.86 |
| 6.35 | 0.72 |
| 1.6 | 6.3 |
| 6.75 | 1.62 |
| 2.25 | 4.38 |
| 6.1 | 1.44 |
| 0.09 | 1.24 |
| 3.71 | 0.69 |
| 0.64 | 6.39 |
| 2.7 | 1.7 |
| 0.75 | 3.05 |

Se tomo datos de ESAL que se lograron medir con los ITS propuestos, señalando que antes de esta implementación no se contaba con este tipo de datos por los que para verificar la validación de hipótesis, se considera que estos valores son mayores a 0 (se toma valor de 0 ya que no hay registros de ese control).

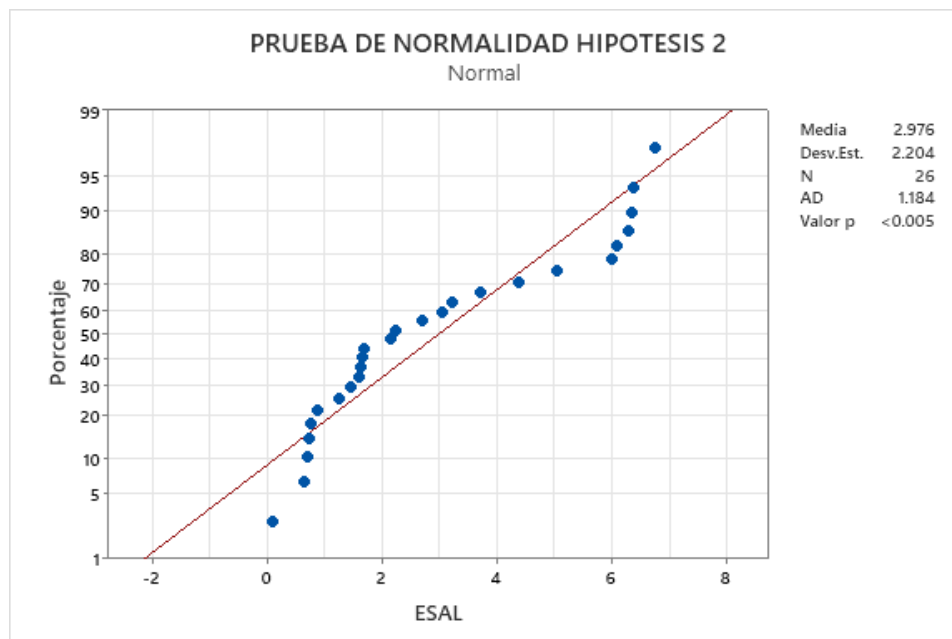
Hipótesis nula: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no controla en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial.

Hipótesis alternativa: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte controla en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial.

Para ello primero se hizo la prueba de normalidad de los datos seleccionados, obteniendo la siguiente información.

Figura 21

Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 2



Los resultados indican q no son datos paraméricamente normales, por lo que para la prueba estadística se empleare la prueba del WILCOXON.

Tabla 21

Estadística descriptiva HE2

| Indicador | Valor |
|-------------------------|--------------|
| Muestra | ESAL |
| N | 26 |
| Mediana | 2.95 |
| Número de prueba | 26 |
| Estadística de Wilcoxon | 351 |
| Valor p | 0.00 |

Dado que el valor p es mucho menor que 0.05, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. Esto sugiere que la tecnología de sistemas inteligentes de transporte sí controla en tiempo real la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos del eje vial, como se plantea en la hipótesis alternativa.

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte determinaría el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional

Tabla 22

Datos para comportamiento de flujo vehicular

| Velocidad Promedio (km/h) | |
|------------------------------|----|
| 62 | 61 |
| 65 | 69 |
| 71 | 56 |
| 50 | 64 |
| 53 | 53 |
| 66 | 72 |
| 55 | 70 |
| 72 | 61 |
| 68 | 68 |
| 64 | 75 |
| 52 | 50 |
| 73 | 70 |

Se tomo datos de velocidad promedio por hora que se lograron medir con los ITS propuestos, señalando que antes de esta implementación no se contaba con este tipo de datos por los que para verificar la validación de hipótesis, se considera que estos valores son mayores a 0 (se toma valor de 0 ya que no hay registros de ese control).

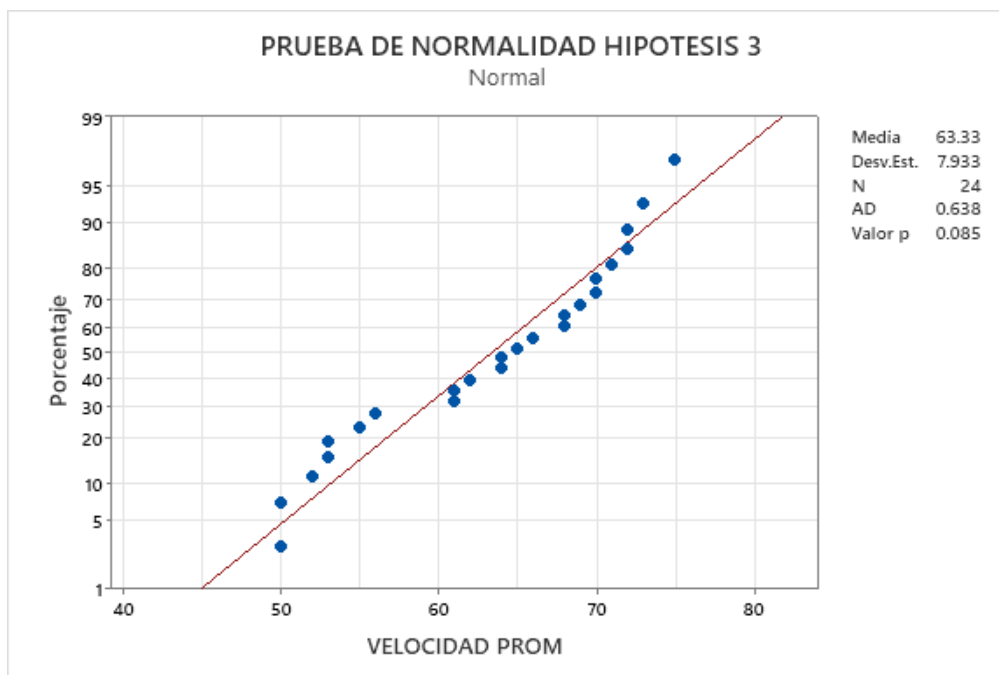
Hipótesis nula: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no determinan el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional.

Hipótesis alternativa: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte determinan el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional.

Para ello primero se hizo la prueba de normalidad de los datos seleccionados, obteniendo la siguiente información.

Figura 22

Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 3



El valor p obtenido de la prueba de normalidad es 0.08, lo que es mayor que el umbral aceptado de 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto significa que los datos siguen una distribución normal.

Posterior a ello se realizó la prueba T, para muestras independientes. Esta prueba permite comparar las medias de 1 grupos independiente, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa con el valor de 0, ya que antes de los ITS no se consideraba estos datos en el monitoreo.

Tabla 23*Estadística descriptiva HE3*

| Indicador | Valor |
|-----------------------------------|--------------|
| N | 24 |
| Media | 63.33 |
| Desviación Estándar | 7.93 |
| Error estándar de la media | 1.62 |
| Límite inferior de 95% para μ | 60.56 |
| Hipótesis nula (H_0) | $\mu = 0$ |
| Hipótesis alternativa (H_1) | $\mu > 0$ |
| Valor T | 39.11 |
| Valor p | 0.000 |

Dado que el valor p es mucho menor que 0.05, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. Esto sugiere que la tecnología de sistemas inteligentes de transporte sí determina el comportamiento del flujo vehicular en la infraestructura de la red vial nacional, como se plantea en la hipótesis alternativa.

- La tecnología de sistemas inteligentes de transporte mitigaría la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

Tabla 24*Datos para Siniestralidad*

| Indicador | Enero - Octubre (2023) | ITS febrero - Marzo (2025) |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Accidentes totales registrados | 15 | 8 |
| Accidentes con heridos | 13 | 6 |
| Accidentes con fallecidos | 16 | 0 |
| Accidentes por exceso de velocidad | 5 | 2 |

| | | |
|--|----|---|
| Accidentes por condiciones climáticas adversas | 2 | 1 |
| Tiempos promedio de respuesta a emergencia (min) | 12 | 6 |

Se tomo datos de incidentes reportados en 2023 tomados por el MTC y los encontrados con la aplicación de los ITS.

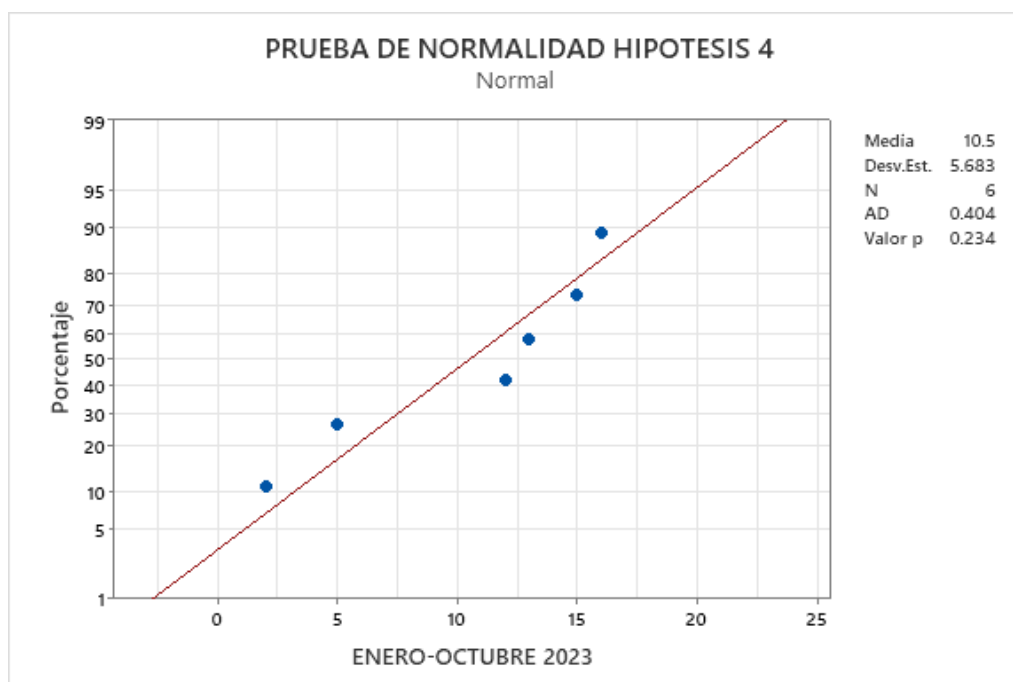
hipótesis nula: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte no mitigara la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

Hipótesis alternativa: La tecnología de sistemas inteligentes de transporte mitiga la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

Para ello primero se hizo la prueba de normalidad de los datos seleccionados, obteniendo la siguiente información.

Figura 23

Prueba de normalidad para los datos de la hipótesis específica 4



El valor p obtenido de la prueba de normalidad es 0.08, lo que es mayor que el umbral aceptado de 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto significa que los datos siguen una distribución normal.

Posterior a ello se realizó la prueba T, para muestras independientes. Esta prueba permite comparar las medias de 1 grupos independiente, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa con el valor de 0, ya que antes de los ITS no se consideraba estos datos en el monitoreo.

Tabla 25

Estadística descriptiva HE4

| Estadísticas Descriptivas | Enero-octubre 2023 | Febrero-marzo 2025 ITS |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| N | 6 | 6 |
| Media | 10.5 | 3.83 |
| Desv. Est. | 2.3 | 3.25 |
| Error estándar de la media | - | - |
| Estimación de la diferencia | Valor | |
| Diferencia | 6.67 | |
| IC 95% para la diferencia | (0.35, 12.99) | |
| Prueba | Valor | |
| Hipótesis nula | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ | |
| Hipótesis alterna | $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ | |
| Valor T | 2.49 | |
| GL (Grados de libertad) | 7 | |
| Valor p | 0.041 | |

Dado que el valor p es menor que el nivel de significancia ($0.041 < 0.05$), rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alternativa (H_1). Esto significa que hay evidencia suficiente para afirmar que la tecnología de sistemas inteligentes de transporte mitiga la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este estudio, el monitoreo del flujo vehicular se ha optimizado mediante el uso de sensores no invasivos que permiten un seguimiento detallado del tráfico y las condiciones de la infraestructura vial. Los resultados obtenidos muestran que las velocidades de los vehículos varían entre 70 km/h y 98 km/h, con un grado de resbalosidad de 0.00, lo que indica condiciones de alta fricción y seguridad. Este hallazgo está en línea con lo señalado por Hernández (2013), quien destaca la importancia de integrar tecnología de monitoreo en tiempo real para gestionar el flujo vehicular y mejorar la eficiencia del sistema de transporte. Además, en comparación con estudios internacionales como los de Slobozia (2015), que indican que los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) optimizan el flujo vehicular a través de la recopilación y análisis de datos en tiempo real, este estudio demuestra la efectividad de los ITS en la mejora de la movilidad y seguridad vial en el contexto peruano.

El estudio revela que el control en tiempo real de las condiciones del pavimento y de la infraestructura vial ha permitido mantener un flujo vehicular seguro y eficiente. Las temperaturas del pavimento entre 39°C y 44°C, junto con la ausencia de agua, hielo o nieve, indican una infraestructura vial en condiciones óptimas para la circulación. Este control de la infraestructura coincide con lo que mencionan autores como Santos (2011), quienes subrayan la importancia de integrar tecnologías de control automático y monitoreo para gestionar variables externas como el clima y la geotecnia. Además, los resultados coinciden con el enfoque de China en la implementación de ITS durante la fase de diseño y construcción de infraestructuras viales, lo cual optimiza los costos y mejora la durabilidad de las carreteras.

Respecto al monitoreo del flujo vehicular en la red vial muestran que los vehículos ligeros, buses y camiones circulan con velocidades promedio de entre 70 km/h y 90 km/h, con una distribución de tráfico mixta que varía a lo largo del día. Este comportamiento se alinea con los estudios realizados por Hernández (2013), quienes identifican que los ITS

ayudan a optimizar la circulación al adaptar las señales y el control de tráfico a las necesidades cambiantes durante el día. Similarmente, en la investigación realizada en España (Santos, 2011), se destaca el uso de sistemas inteligentes que adaptan los parámetros del tráfico en función de los patrones observados. El monitoreo del flujo vehicular en este estudio ha sido eficaz, mostrando cómo la integración de tecnología mejora la toma de decisiones sobre la gestión de tráfico, lo que es consistente con las experiencias previas en otros países que implementan ITS para el análisis del comportamiento vehicular.

En relación con la siniestralidad, los resultados muestran una reducción significativa en los accidentes con fallecidos, que disminuyeron a cero, y en los accidentes con heridos, que se redujeron en un 31% en el departamento de Tumbes tras la implementación de los ITS. Estos resultados son consistentes con los estudios de Slobozia (2015), que indican que los sistemas inteligentes de transporte contribuyen a reducir la siniestralidad al integrar tecnologías de detección de incidentes y control de velocidad. Además, los datos respaldan los hallazgos de Wang et al. (2016), quienes evidencian cómo los ITS implementados en países como China han logrado mitigar los accidentes viales al proporcionar alertas en tiempo real sobre condiciones peligrosas y optimizar la respuesta ante emergencias. La mejora en la seguridad vial observada en este estudio muestra la efectividad de los ITS en la reducción de accidentes y en la gestión de incidentes, lo cual es un avance importante en comparación con los estudios previos que destacan el potencial de estas tecnologías para mejorar la seguridad en carreteras.

VI. CONCLUSIONES

- El monitoreo del flujo vehicular a través de los sensores no invasivos ha permitido un seguimiento preciso de las condiciones del pavimento y el tráfico en la red vial nacional. Los datos obtenidos muestran que la temperatura del pavimento osciló entre 39°C y 44°C, sin registros de agua, hielo ni nieve, y con un grado de resbalosidad de 0.00, lo que indica una fricción adecuada para la seguridad vial. La velocidad de los vehículos varió entre 70 km/h y 98 km/h, con una distribución variada de tipos de vehículos, lo que refleja un flujo vehicular relativamente rápido pero dentro de los límites aceptables. Estos resultados evidencian la efectividad del sistema de monitoreo para garantizar la seguridad y la eficiencia en la circulación de vehículos.
- El control en tiempo real de la infraestructura vial y los agentes externos, como las condiciones climáticas y geotécnicas, ha sido efectivo para mantener un entorno seguro para la circulación vehicular. La temperatura del pavimento se mantuvo estable entre 39°C y 44°C, y no se registraron condiciones adversas como agua, hielo o nieve. El sistema ITS ha logrado controlar adecuadamente las condiciones de resbalosidad, alcanzando un valor de 0.00, lo que contribuye a la estabilidad del pavimento. Los resultados también muestran que la infraestructura vial está en óptimas condiciones para el tránsito, mejorando así la seguridad y eficiencia en el flujo vehicular.
- El comportamiento del flujo vehicular ha sido analizado y se observó que la velocidad promedio de los vehículos en la red vial nacional se mantuvo entre 70 km/h y 90 km/h, con picos en las horas de mayor congestión. La distribución de tipos de vehículos fue variada, incluyendo vehículos ligeros, buses, camiones unitarios y acoplados. Durante las horas pico, la capacidad vial alcanzó niveles saturados, brindando estos datos a las centrales de monitoreo para dar solución al evento. La

implementación de los ITS permitió ajustar la gestión del tráfico en función de los patrones observados, lo que ha contribuido a una mejor distribución del flujo vehicular a lo largo del día.

- La implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) tuvo un impacto positivo en la reducción de la siniestralidad en la red vial nacional. En el departamento de Tumbes, la cantidad de accidentes con fallecidos se redujo a cero, mientras que los accidentes con heridos disminuyeron en un 31%. El cumplimiento de los límites de velocidad aumentó del 40% al 70%, lo que también contribuyó a la mejora de la seguridad vial. Estos datos indican un avance positivo en la reducción de los accidentes y en la mejora de la respuesta ante emergencias, destacando la efectividad de las tecnologías implementadas en la mejora de la seguridad vial.

VII. RECOMENDACIONES

- Es fundamental continuar monitoreando la temperatura del pavimento y la fricción para asegurar la seguridad vial. Además, se deben implementar medidas para mantener la estabilidad de la infraestructura sin la presencia de agua, hielo u otros factores climatológicos.
- Aumentar la cantidad de sensores no invasivos en diferentes tramos de la red vial para obtener datos más detallados sobre el flujo vehicular y las condiciones de los vehículos, incluyendo el peso y la velocidad.
- Continuar mejorando el tiempo de respuesta a emergencias con los sistemas ITS, especialmente en áreas de alta siniestralidad como Tumbes, para mantener la seguridad y reducir el impacto de los accidentes.
- La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte ITS en las carreteras peruanas no constituye elemento complementario, si no una herramienta técnica fundamental para la gestión moderna segura y sostenible de la infraestructura vial.

VIII. REFERENCIAS

- Asociación Mundial de la Carretera. (2020). *¿Qué significa ITS? RNO-ITS*. <https://rno-its.piarc.org/es/conceptos-basicos-its/que-significa-its>
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. (2022). *Cimbra N.º 376*. CITOP. http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra376_04.pdf
- Comisión Europea. (2010). *Directiva 2010/40/UE sobre los sistemas de transporte inteligente en el sector del transporte por carretera y las interfaces con otros modos de transporte*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Cultura Seguridad. (2018). *Seguridad vial: Capacitación presencial*. Cultura Seguridad. <https://culturaseguridad.com/capacitacion/presencial/seguridad-vial/>
- Department for Transport. (2012). *Intelligent transport system in the United Kingdom: Report on information on national ITS actions*. UK Government Publications.
- España, J. (2018). *Inteligencia artificial y sistemas*. Issuu. de https://issuu.com/angeljosueespana/docs/inteligencia_artificial_y_sistemas
- Euston96. (2015). *Transporte Terrestre*. <https://www.euston96.com/transporte-terrestre/>
- Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial-MTC. (2018). Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Perú.
- González, A. (2012). *Arquitectura física del sistema de instrumentación y control de ITER*. En *Diseño del sistema de control para el banco de pruebas de una unidad de medida de plasma* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-8-Arquitectura-fisica-del-sistema-de-Instrumentacion-y-Control-de-ITER_fig1_279639307

Hernández, E. (2013). *Sistemas inteligentes de transporte (SIT): Principios de evaluación de proyectos para sistemas integrados de transporte urbano con autobuses de tránsito rápido (SITUART) y de valuación de sus empresas concesionarias* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México].

<https://www.unam.mx/repositorio/tesis/hernandez2013>

Herrera, R. (2011). *GPS aplicado a la ubicación de vehículos de transporte terrestre y sus alternativas en su gestión*. Editorial Académica Española.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). *Análisis poblacional*.

<https://www.gob.pe/inei/>

Janušová, L., & Čičmancová, S. (2015). Improving safety of transportation by using intelligent transport systems. *Procedia Engineering*, 134, 256-263.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.025>

Kapp, E. (1877). *Grundlinien einer Philosophie der Technik*. Hamburg: Alemania.

Korean Transport Institute. (2001). *Economic growth and transport models in Korea*. Korean Institute for Transport Policy Studies. <https://www.koti.re.kr/>

Lafuente, S. (2014). *Sistema de detección y reconocimiento de señalización en carretera mediante técnicas de procesamiento digital de imagen e inteligencia artificial*. [Tesis doctoral, Universidad de Alcalá]. <https://escuela-doctorado.uah.es/es/tesis/tesis/>

Ministerio de Fomento. (2013). *El transporte urbano y metropolitano en España: Retos y perspectivas*. Gobierno de España. <https://www.mitma.gob.es/>

Ministerio de Fomento. (2014). *Nota de servicio 1/2014* .

https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/notadeservicio12014.pdf

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Desarrollo de la arquitectura y plan maestro de sistemas inteligentes de transporte (ITS) de Perú*.
<https://www.mtc.gob.pe/transportes/infraestructura/ITS>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de carreteras: Mantenimiento o conservación vial*.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*. The University of Chicago Press.
- Monterrey, L. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de semaforización inteligente para el manejo del tráfico vehicular en la zona centro del municipio de Fusagasugá* [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia].
https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9865/ProyectoDeGrado_Semaforizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Organización de Estados Iberoamericanos. (2020.). *Teorema del transporte terrestre*. OEI.
<https://www.oei.es/historico/salactsi/teorema00.htm>
- Ozaki, H. (2018). Technical standardization of ITS and Asian initiatives for intelligent mobility. *IATSS Research*, 42(3), 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.06.003>
- Pérez, J. (2012). *Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autovías* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
<https://www.upm.es/tesis/perez2012>
- Pons Seguridad Vial. (2015). *Fiscalización vial eficiente: La mejor estrategia para reducir la siniestralidad vial*. Pons Seguridad Vial. <https://ponsseguridadvial.com/fiscalizacion-vial-eficiente-la-mejor-%20-%20la-siniestralidad-%20estrategia-%20para-reducir%20vial>

- Race. (2023). *Radar móvil, conoce todos los tipos de radares*. <https://www.race.es/radar-movil-tramo-tipos-radares>
- Ramos, I. (2010). *Transporte y desarrollo económico: Un análisis para Bolivia, Colombia y Venezuela (1990–2005)* [Tesis doctoral, Universidad de los Andes].
<https://www.ula.ve/tesis/ramos2010>
- Santos, M. (2011). Un enfoque aplicado del control inteligente. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 8(4), 312-325.
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.04.005>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno de México. (2010). *Programa para la planeación, desarrollo e implementación de los sistemas inteligentes de transporte carretero en México*.
- Transfer Multisort Elektronik (TME). (2022). *Todo sobre señalizadores*.
<https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/22529/Todo-sobre-senalizadores/>
- Vela, A. (2009). *Nuevos sistemas tecnológicos en peajes*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de ingeniería].
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/F73DE98090F08287052582DD0060617D/\\$FILE/tesis_nuevos_sistemas_tecno_peaje_uni.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/F73DE98090F08287052582DD0060617D/$FILE/tesis_nuevos_sistemas_tecno_peaje_uni.pdf)
- Voltaire. (2020). *Caminos*. En *Diccionario filosófico*. E-Torre de Babel. <https://www.e-torredebabel.com/Biblioteca/Voltaire/caminos-Diccionario-Filosofico.htm>
- Wang, X., Zhang, F., Li, B., & Gao, J. (2016). Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 573-586.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

TITULO: “TECNOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED VIAL NACIONAL-PERU

AUTOR: JOSÉ LUIS VERA VITÓN

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLE | INDICADORES | METODOLOGÍA |
|---|---|--|---|--|---|
| <p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo la tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte optimizará la operación del flujo vehicular, en la conservación vial en la infraestructura en la carretera</p> | <p>OJETIVO GENERAL</p> <p>Optimizar el monitoreo del flujo vehicular en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte.</p> | <p>HIPOTESIS PRINCIPAL</p> <p>La tecnología de Sistemas Inteligentes de Transporte optimizaría el flujo vehicular, y la conservación vial para la carretera Panamericana Norte del Perú</p> | <p>HIPÓTESIS PRINCIPAL</p> <p>HG0: Tecnología de sistemas de Transporte para la Carretera Panamericana Norte del Perú</p> <p>HG0-1. Movilidad, Vial e Infraestructura vial</p> | <p>HIPÓTESIS PRINCIPAL.</p> <p>HG0: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.</p> <p>HG0-1: Flujo vehicular, tipo y rugosidad de</p> | <p>Los Tipos de Investigación para el estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> •De acuerdo a la orientación: Aplicada •De acuerdo a la técnica de contratación: n: Explicativa •De acuerdo a la dirección: Retrospectiva y Prospectiva |

| | | | | | |
|--|---|--|--|---|--|
| <p>Panamericana Norte del Perú?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte optimizará el monitoreo del flujo vehicular? • ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte controlarán en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial? | <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimizar el monitoreo del flujo vehicular en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte. • Controlar la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos como hidrología, geotecnia y climatología del eje vial, mediante la tecnología de | <p>HIPOTESIS ESPECÍFICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La tecnología de sistemas inteligentes de transporte optimizaría el monitoreo del flujo vehicular. • La tecnología de sistemas inteligentes de transporte controlaría en tiempo real, la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología) del eje vial. | <p>HIPÓTESIS ESPECIFICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HE0: Sistemas Inteligentes de Transporte HE0-1: monitoreo del flujo vehicular, • HE0: Sistemas Inteligentes de Transporte HE0-1: la señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (hidrología, geotecnia y climatología). | <p>pavimento y derecho de vía.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>a) HE0: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica, centro de control, fibra óptica, postes.</p> <p>HE0-1: Accidentes, señalización. flujo vehicular.</p> <p>b) HE0: Cámaras, sensores, paneles, tarjetas de peaje, SOS, bandas sonoras, estación meteorológica,</p> | <ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo al tipo de fuente de recolección de datos: Retrolectiva y Prolectiva. • De acuerdo al fenómeno de evolución: Longitudinal • De acuerdo a la comparación de poblaciones: Comparativa. <p>Nivel de Investigación Utilizará el Nivel IV (doctoral), Predictiva II (Prueba Estadística).</p> <p>Diseño de investigación Descriptivo-Correlacional</p> <p>Universo - 2000 vehículos diarios</p> |
|--|---|--|--|---|--|

| | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte determinarán el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional? • ¿La tecnología de los sistemas inteligentes de transporte mitigará la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional? | <p>los sistemas inteligentes de transporte.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de red vial nacional mediante la tecnología de sistemas inteligentes de transporte. • Mitigar la siniestralidad en la red vial nacional, mediante la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte. | <ul style="list-style-type: none"> • La tecnología de sistemas inteligentes de transporte determinaría el comportamiento del flujo vehicular, en la infraestructura de la red vial nacional • La tecnología de sistemas inteligentes de transporte mitigaría la siniestralidad en la infraestructura de la red vial nacional. | | <p>centro de control, fibra óptica, postes</p> <p>HE0-1: Inventario de señalización, puentes, pavimento, obras de arte y los agentes externos (tiempos:</p> | <p>Muestra</p> <p>- 322 vehículos</p> <p>Instrumentos</p> <p>Estudio de Trafico Programas computacionales. (SPSSv.25.)</p> |
|---|--|---|--|---|--|

Anexo 2: Carta de validación de instrumentos

Lima, 4 de abril del 2025

Dr. Ing. Duber Soto

Presente

Asunto: **VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.**

Es muy grato comunicarme con usted para expresarle mi saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la Escuela Universitaria de Postgrado en Ingeniería Civil de la UNFV, promoción 2018, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación y con la cual optaré el grado de Doctor en Ingeniería Civil.

El título de mi proyecto de investigación es: **“TECNOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED VIAL NACIONAL-PERÚ”** y siendo

imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas de investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

Carta de presentación
Operacionalización de las variables
Matriz de consistencia
Formatos de estudio de tráfico

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,

José Luis Vera Vitón

D.N.I: 27371245 Reg.

CIP N° 97326

Anexo 3. Instrumentos de Recolección de Datos

EJE VIAL: CARRETERA PANAMERICANA NORTE KM. 1164+500 - 1204+500

SECTOR: MANCORA- PUNTA MERO

SENTIDO: SUR A NORTE

ESTACION: PEAJECANCAS

| HORA | VEHICULOS LIGEROS | | | | BUS | | | CAMIONES UNITARIOS | | | CAMIONES ACOPLADOS | | | | | | TOTAL | % | |
|-------|-------------------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| | Autos | Pick up | C.R. | Micros | B2 | B3-1 | B4 | C2 | C3 | C4 | T2S2 | T2S3 | T3S2 | T3S3 | C2R3 | C3R2 | | | C3R3 |
| 0-1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 37 | 3.70% |
| 1-2 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 48 | 4.80% |
| 2-3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 39 | 3.90% |
| 3-4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 41 | 4.10% |
| 4-5 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 44 | 4.40% |
| 5-6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4.10% |
| 6-7 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 3.90% |
| 7-8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 43 | 4.30% |
| 8-9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 37 | 3.70% |
| 9-10 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 40 | 4.00% |
| 10-11 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 44 | 4.40% |
| 11-12 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4.10% |
| 12-13 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 38 | 3.80% |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 42 | 4.20% |
| 14-15 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4.10% |
| 15-16 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 3.90% |
| 16-17 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 44 | 4.40% |
| 17-18 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 39 | 3.90% |
| 18-19 | 5 | 4 | 6 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 47 | 4.70% |
| 19-20 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 42 | 4.20% |
| 20-21 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 37 | 3.70% |
| 21-22 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 51 | 5.10% |
| 22-23 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 40 | 4.00% |
| 23-24 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 46 | 4.60% |
| TOTAL | 89 | 68 | 81 | 57 | 71 | 81 | 64 | 75 | 61 | 59 | 34 | 56 | 41 | 39 | 36 | 51 | 37 | 1000 | 100.00% |
| % | 9% | 6.80% | 8.10% | 5.70% | 7.10% | 8.10% | 6.40% | 7.50% | 6.10% | 5.90% | 3.40% | 5.60% | 4.10% | 3.90% | 3.60% | 5.10% | 3.70% | 100.00% | |

Anexo 4. índice medio diario

EJEVIAL: CARRETERA PANAMERICANA NORTEKM. 1164+500 - 1204+500

SECTOR: MANCORA- PUNTA MERO

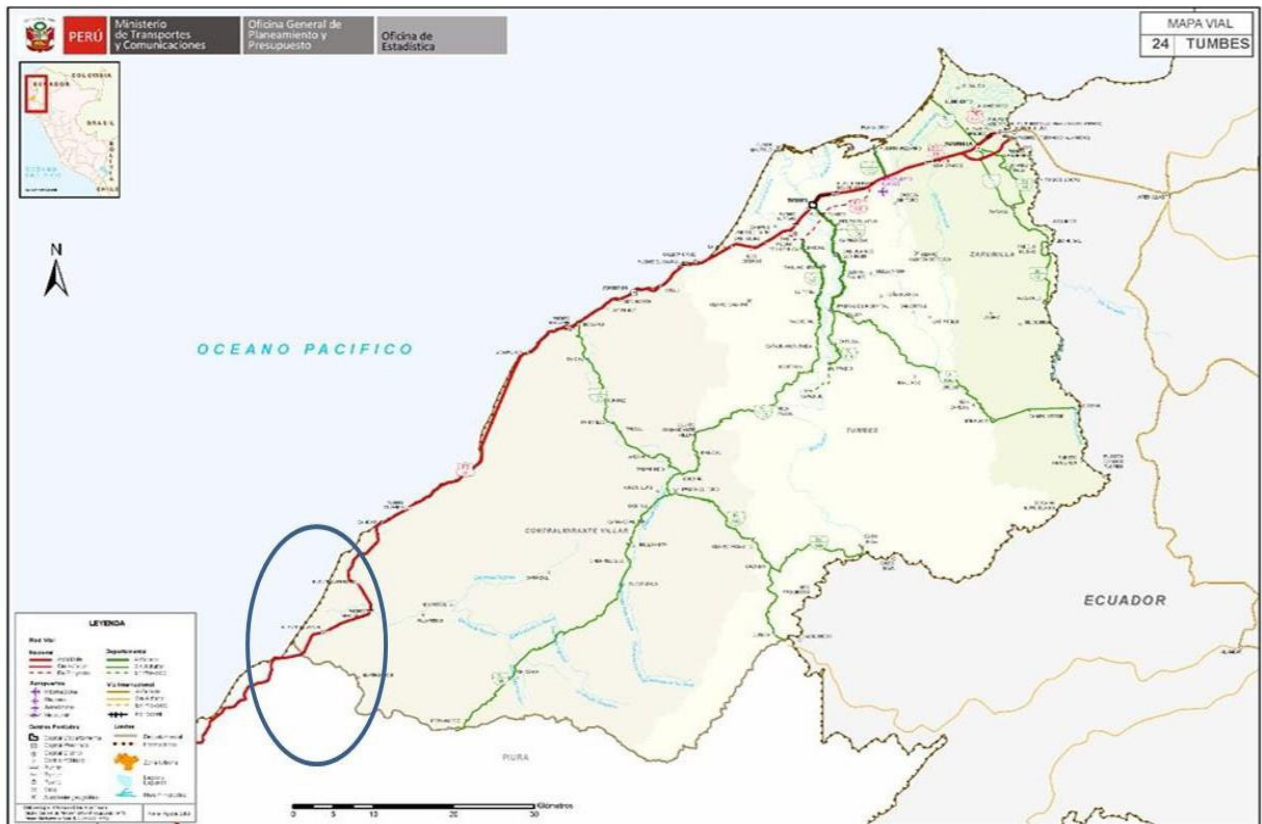
SENTIDO: NORTE A SUR

ESTACION: PEAJE CANCAS

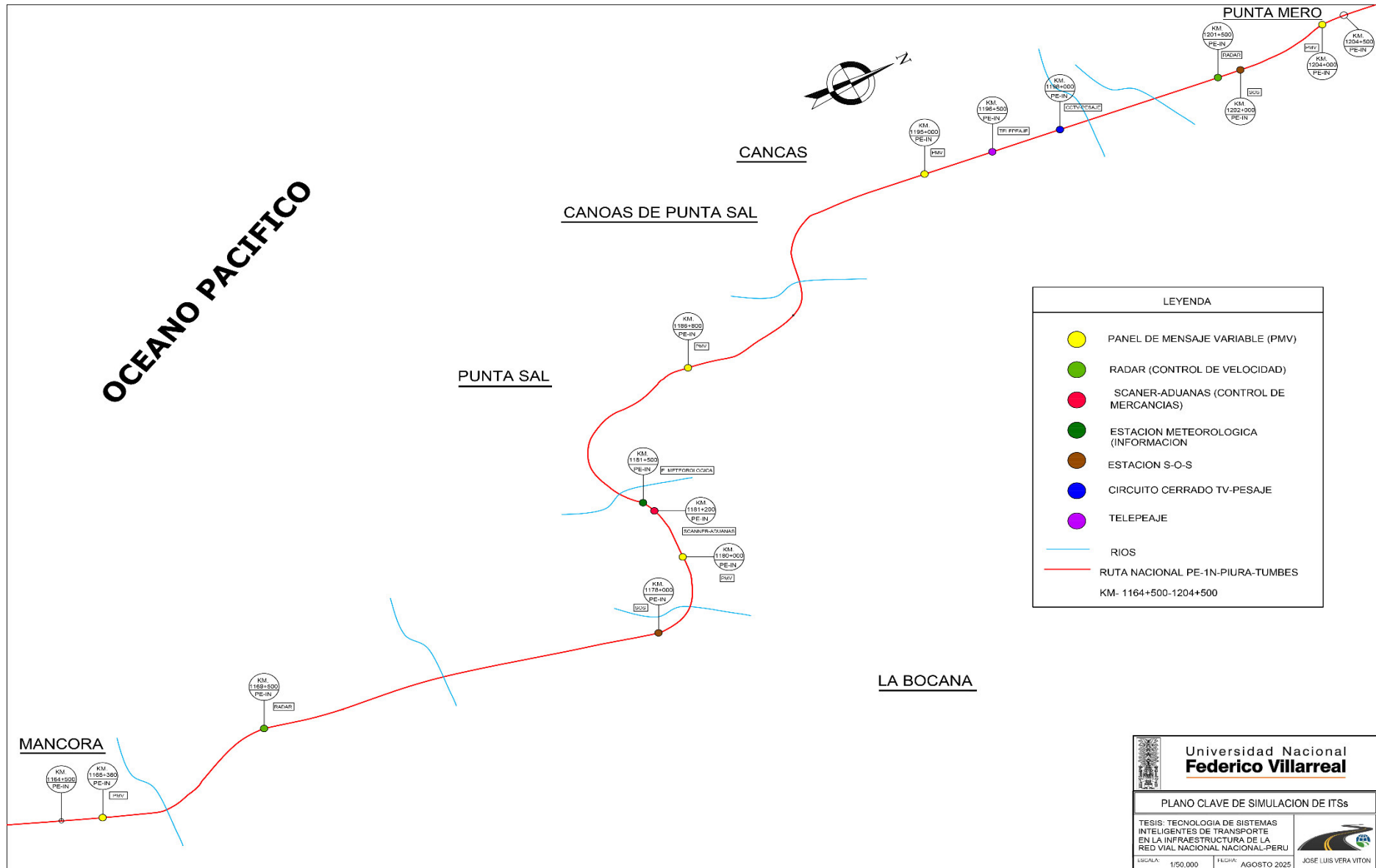
| HORA | VEHICULOS LIGEROS | | | | BUS | | | CAMIONES UNITARIOS | | | CAMIONES ACOPLADOS | | | | | | TOTAL | % | |
|-------|-------------------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| | Autos | Pick up | C.R. | Micros | B2 | B3-1 | B4 | C2 | C3 | C4 | T2S2 | T2S3 | T3S2 | T3S3 | C2R3 | C3R2 | | | C3R3 |
| 0-1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 31 | 3.10% |
| 1-2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 45 | 4.50% |
| 2-3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 44 | 4.40% |
| 3-4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 3.90% |
| 4-5 | 2 | 4 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 43 | 4.30% |
| 5-6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 40 | 4.00% |
| 6-7 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 41 | 4.10% |
| 7-8 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 42 | 4.20% |
| 8-9 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 40 | 4.00% |
| 9-10 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 42 | 4.20% |
| 10-11 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 40 | 4.00% |
| 11-12 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 41 | 4.10% |
| 12-13 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 43 | 4.30% |
| 13-14 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 42 | 4.20% |
| 14-15 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 43 | 4.30% |
| 15-16 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 38 | 3.80% |
| 16-17 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 42 | 4.20% |
| 17-18 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 39 | 3.90% |
| 18-19 | 3 | 4 | 5 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 43 | 4.30% |
| 19-20 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 45 | 4.50% |
| 20-21 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 | 3.90% |
| 21-22 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 44 | 4.40% |
| 22-23 | 5 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 45 | 4.50% |
| 23-24 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 49 | 4.90% |
| TOTAL | 77 | 83 | 84 | 66 | 68 | 71 | 64 | 69 | 62 | 60 | 35 | 55 | 41 | 39 | 36 | 51 | 39 | 1000 | 100.00% |
| % | 8% | 8.30% | 8.40% | 6.60% | 6.80% | 7.10% | 6.40% | 6.90% | 6.20% | 6.00% | 3.50% | 5.50% | 4.10% | 3.90% | 3.60% | 5.10% | 3.90% | 100.00% | |

Anexo 5. Planos

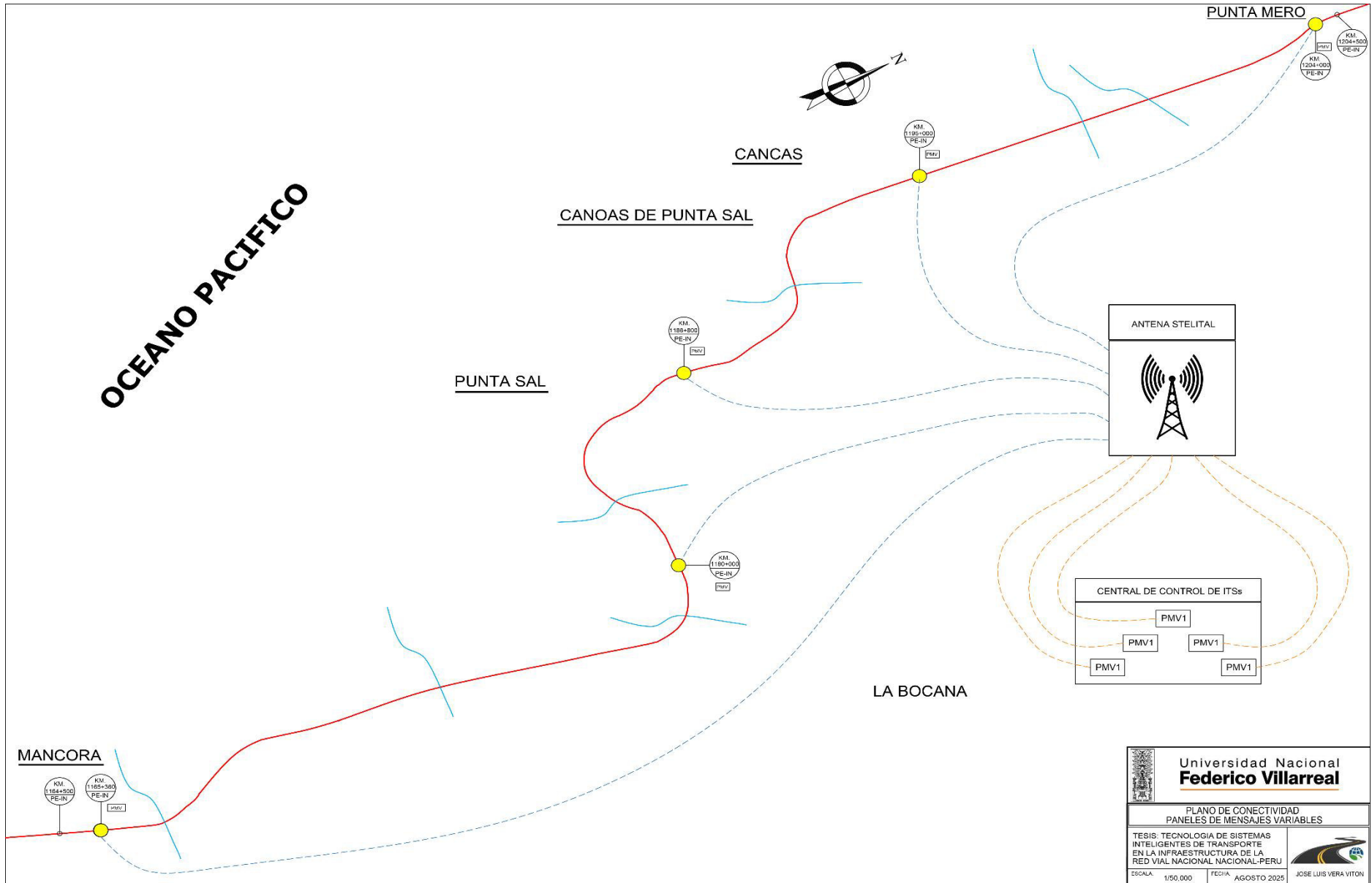
1. PLANO DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO



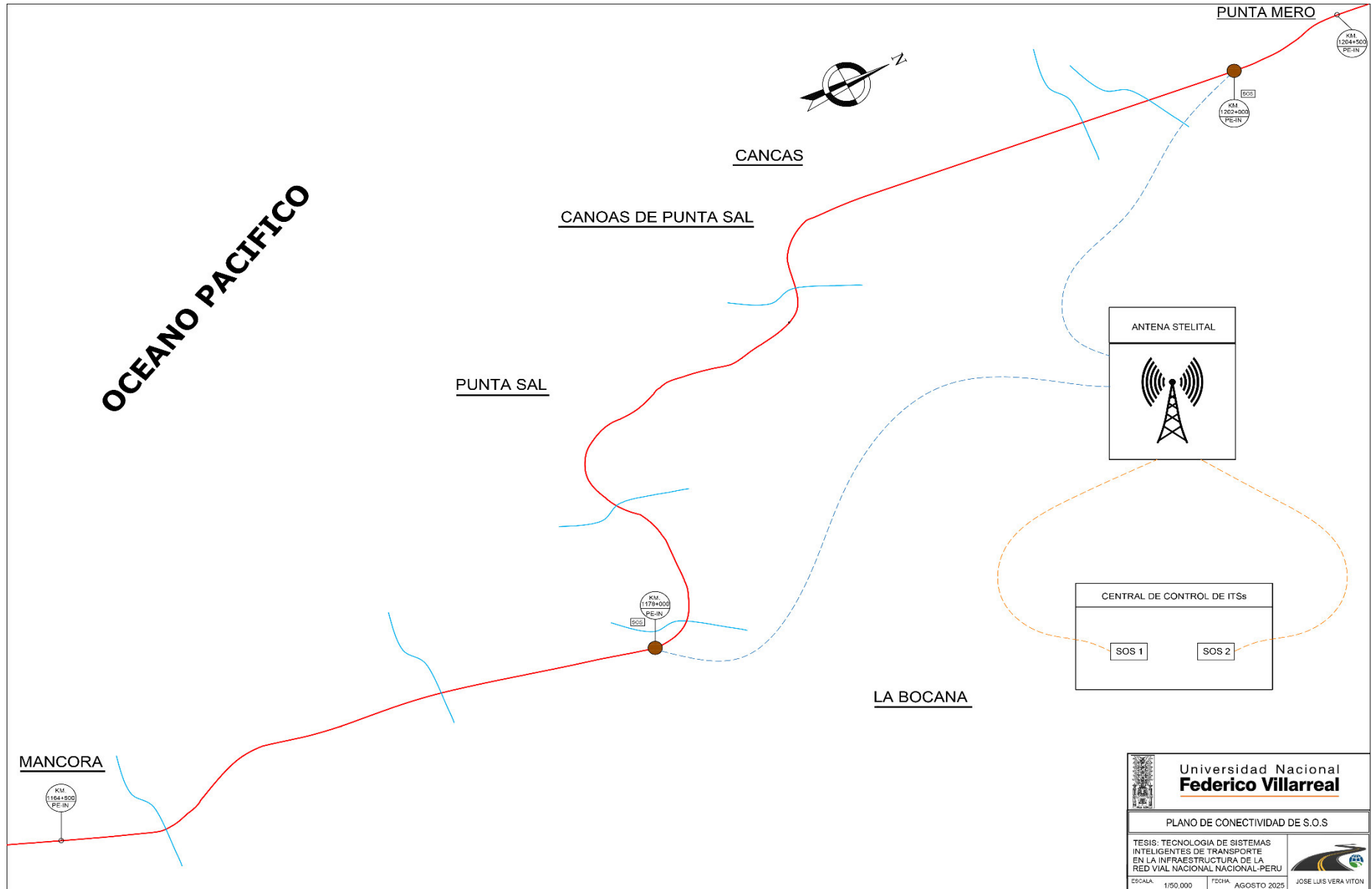
Plano de Ubicación de la Investigación de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS)



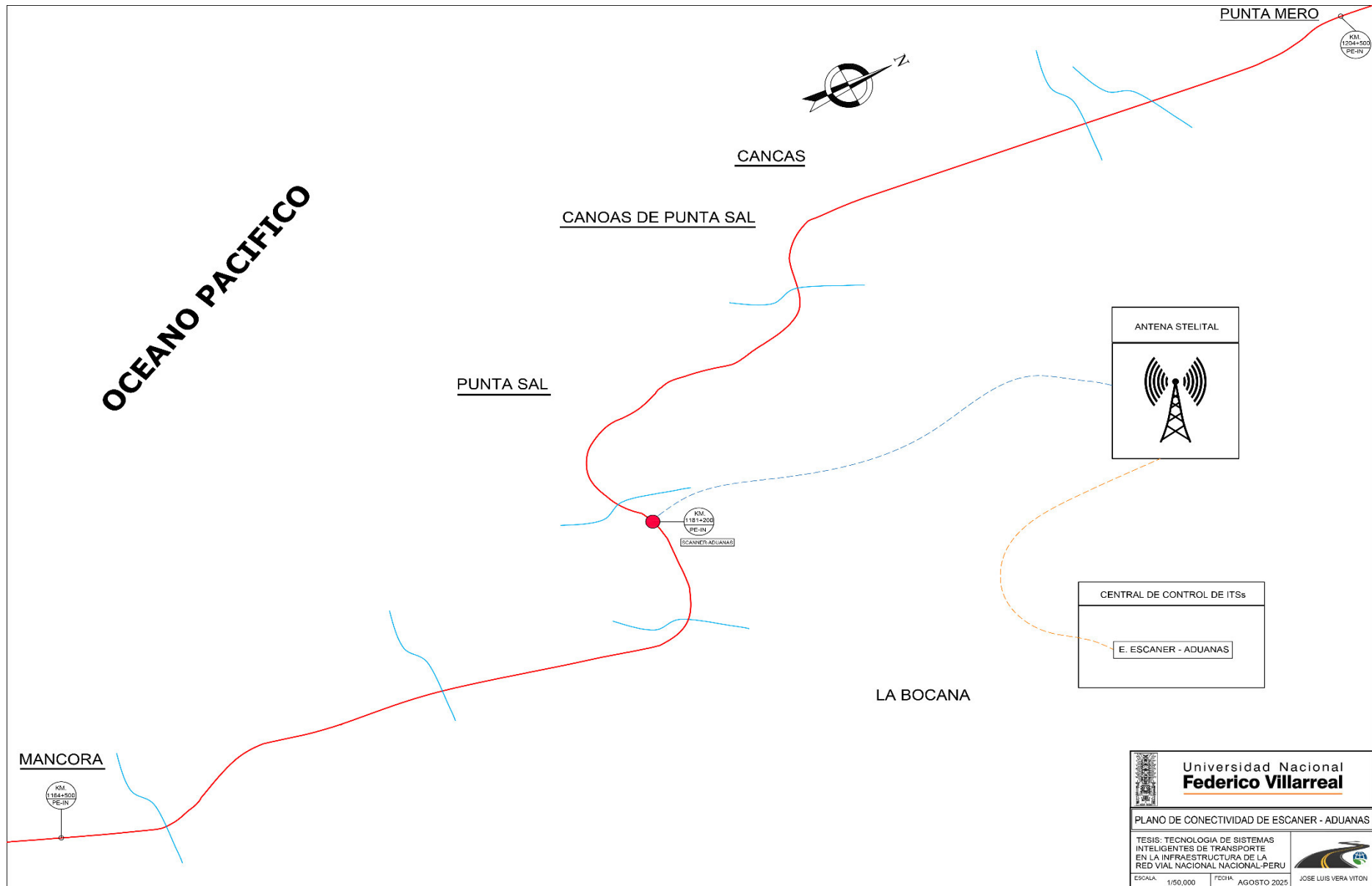
Plano Clave de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS)



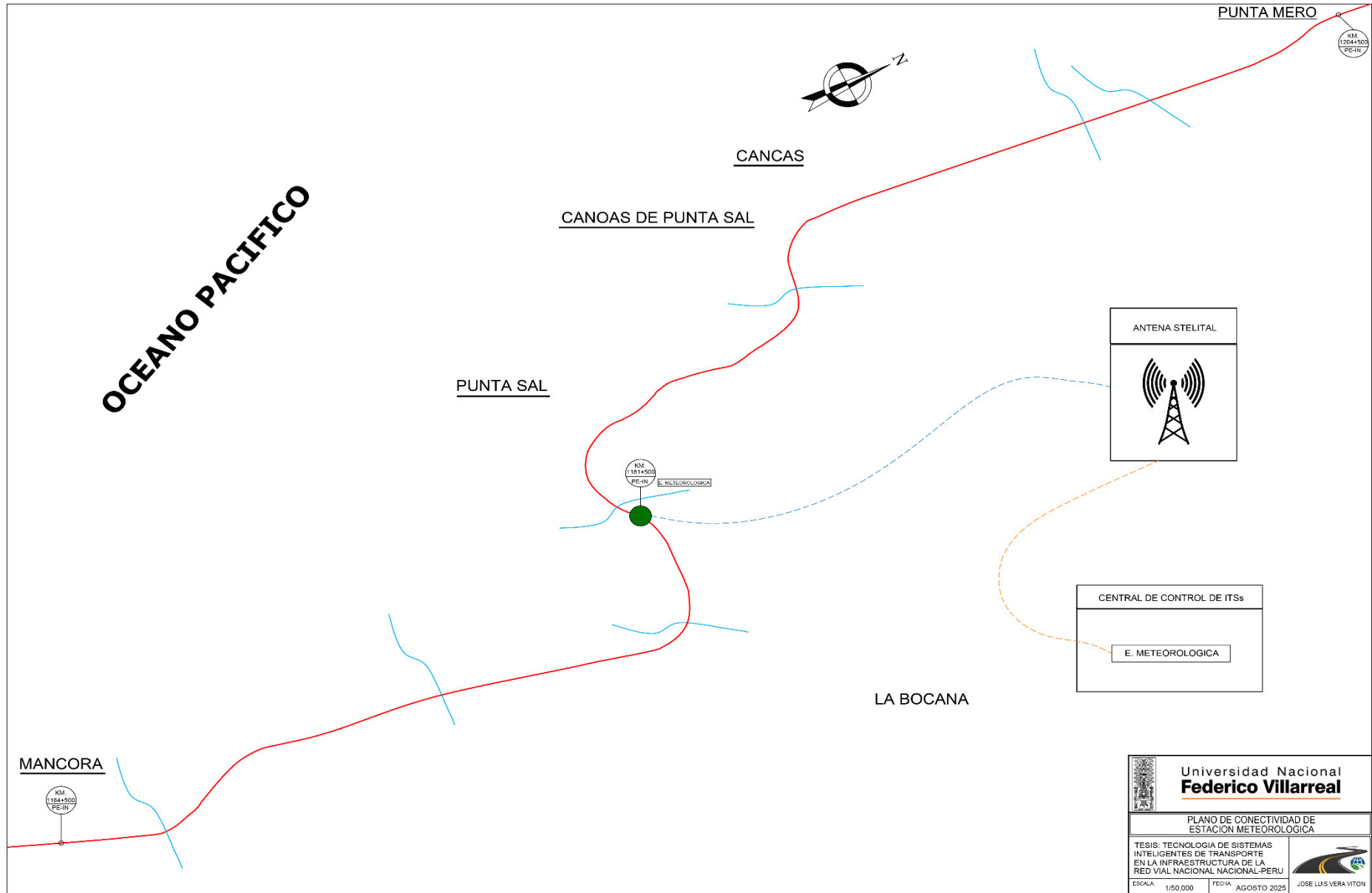
A. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) – Paneles de Mensajes Variables



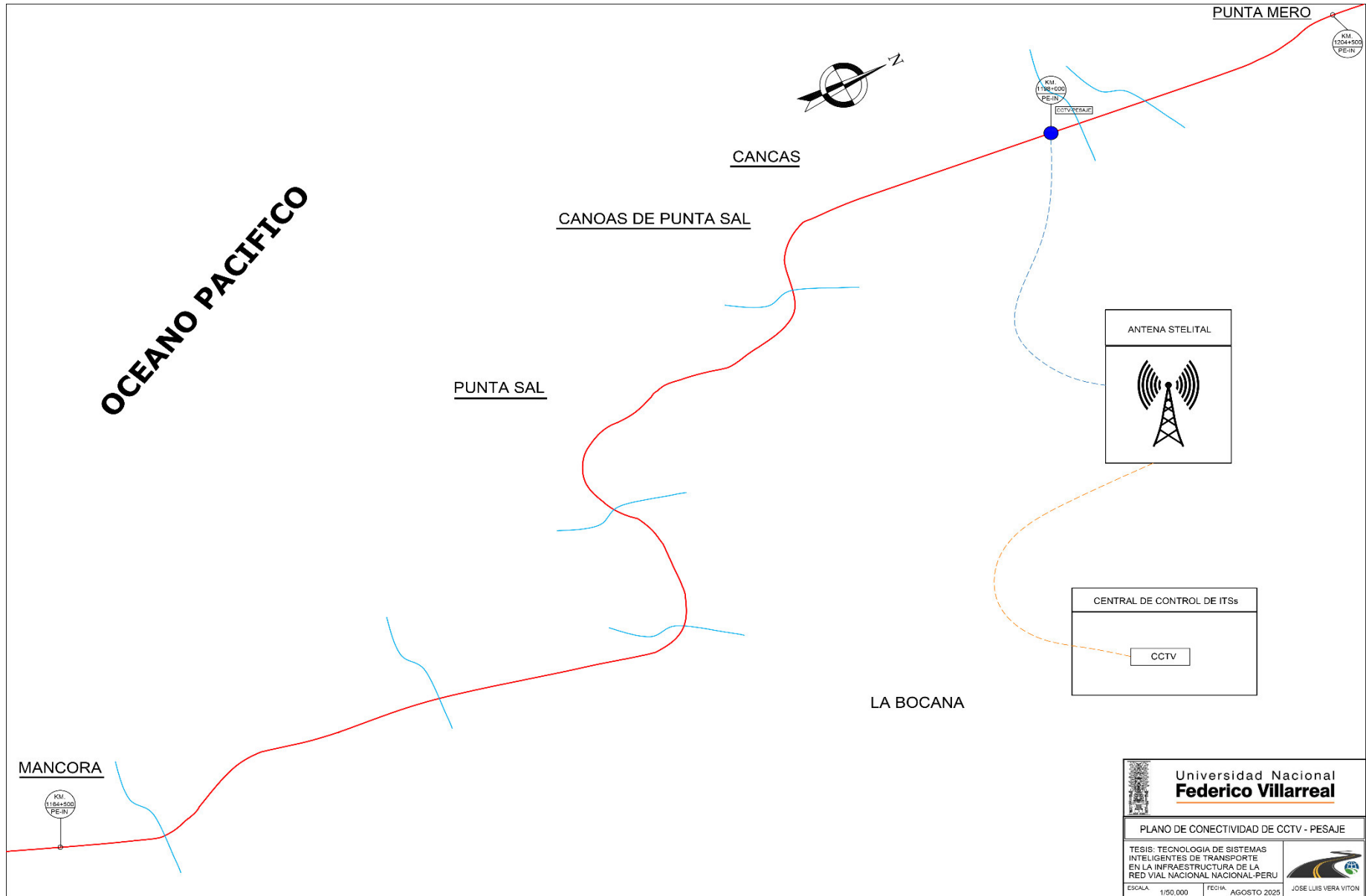
C. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) –SOS



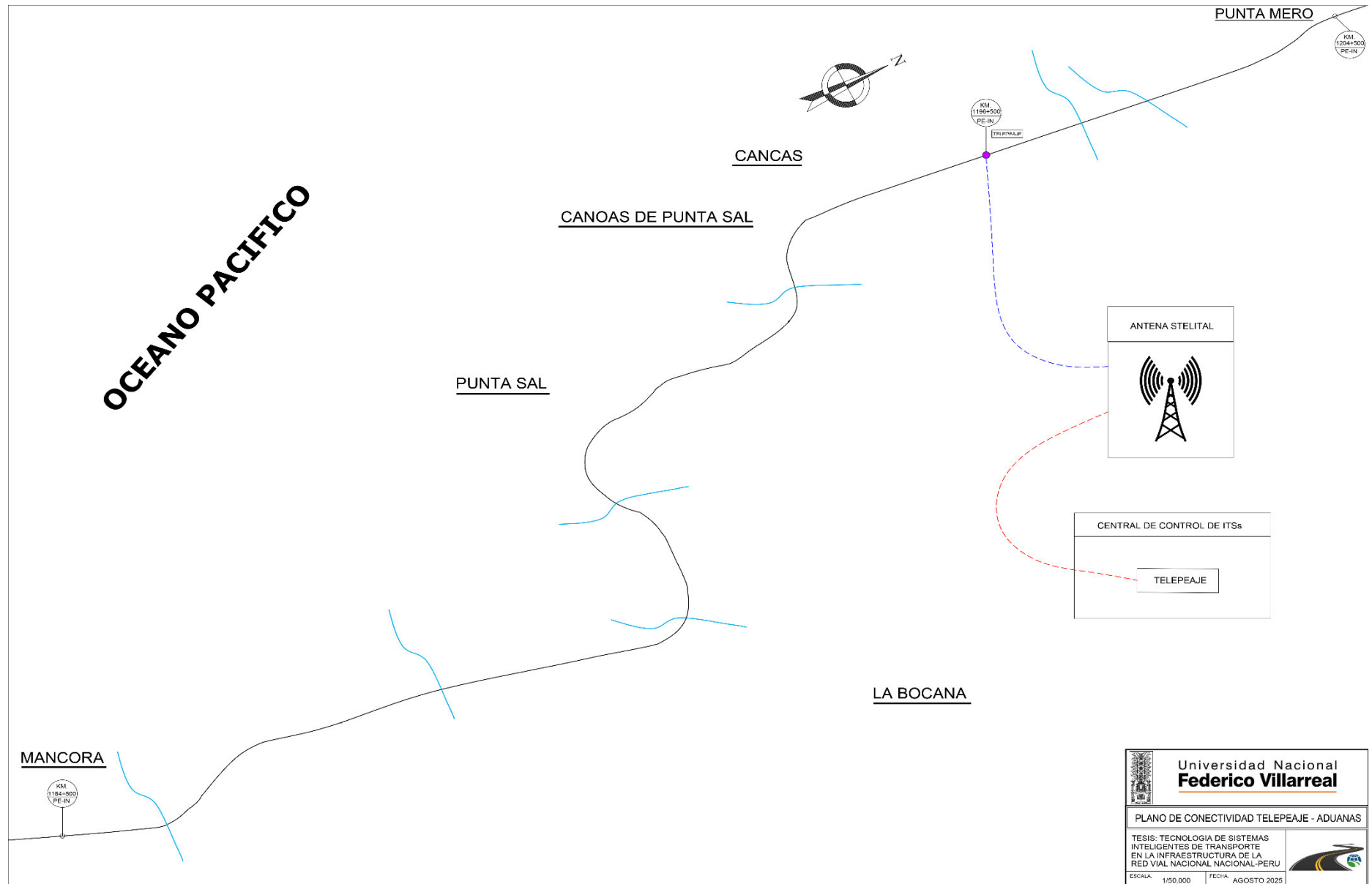
D. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) –ESCANER CONTROL ADUANAS



E. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) –E. Meteorológica



F. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) –CCTV-PESAJE



G. Plano de Ubicación de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) –TELEPEAJE

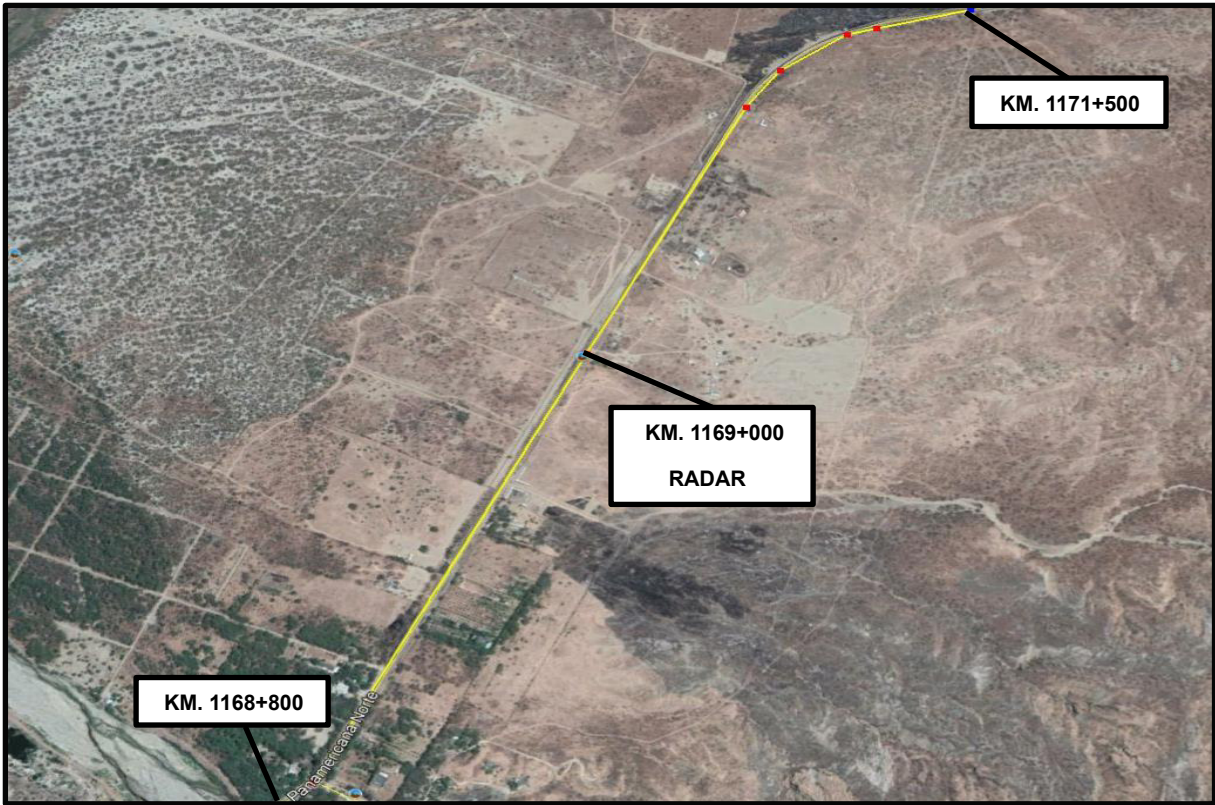
2. PLANO DEL MODELAMIENTO DE LOS ITS EN LA CARRETERA
PANAMERICANA NORTE KM. 1164+500 – KM. 1204+500-MÁNCORA (PIURA)
PTA MERO (TUMBES)



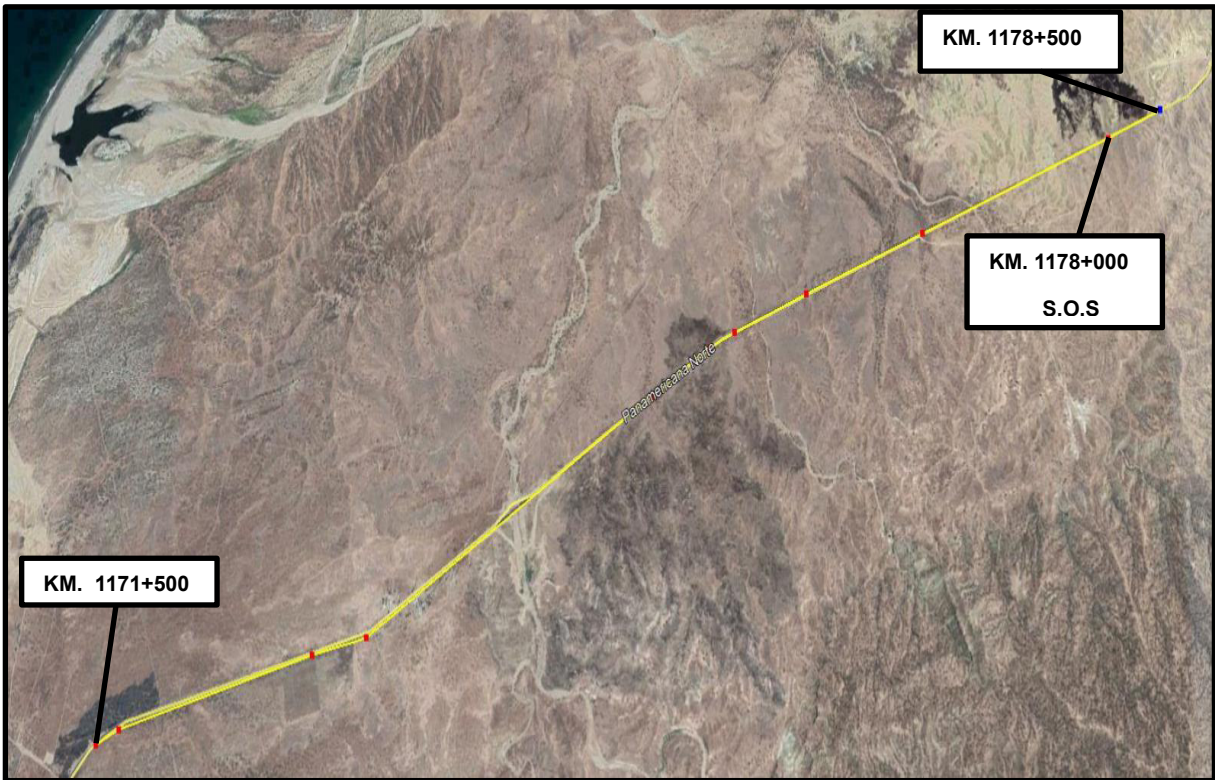
Plano 1



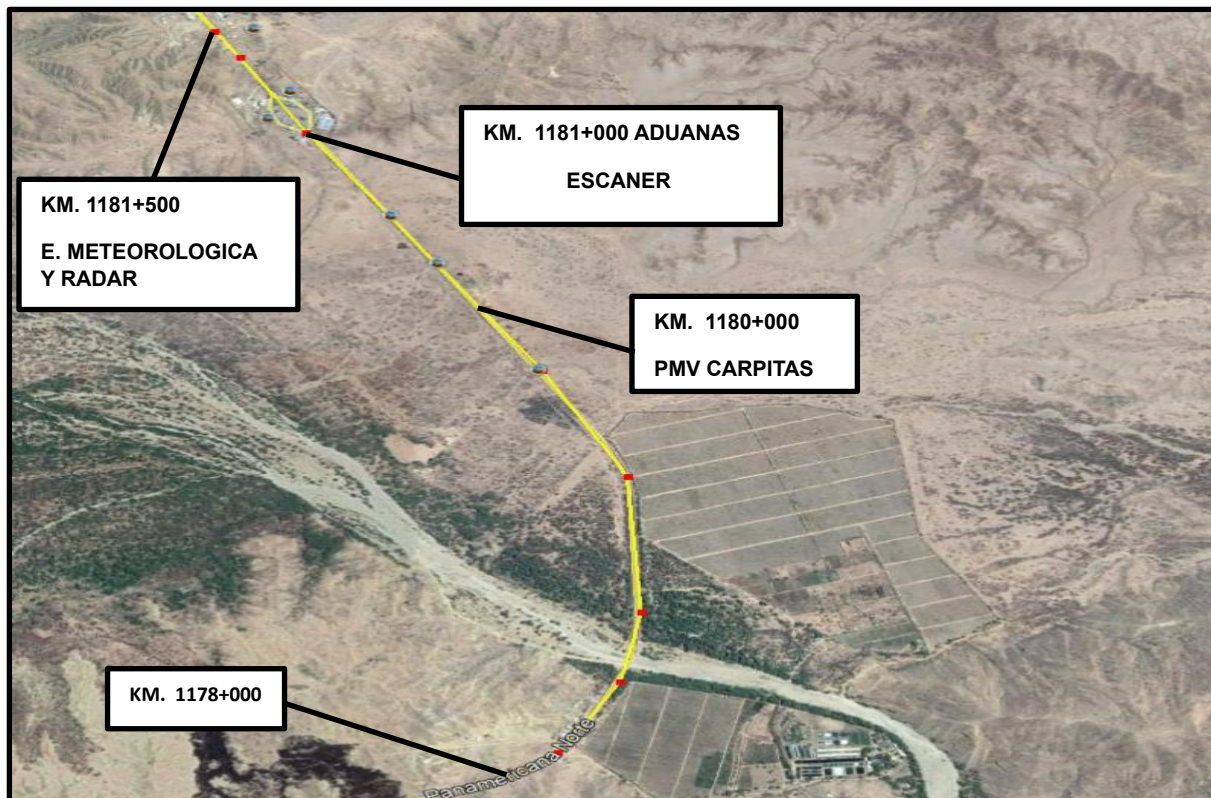
Plano 2



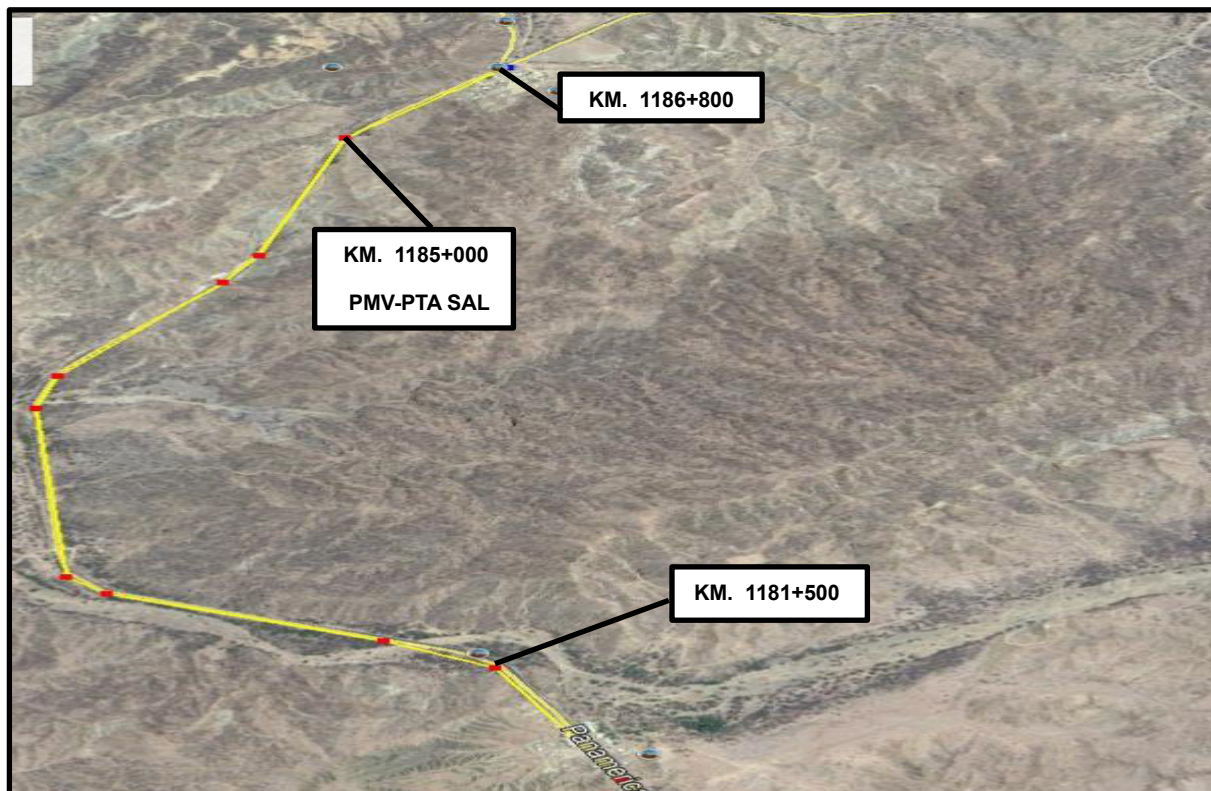
Plano 3



Plano 4



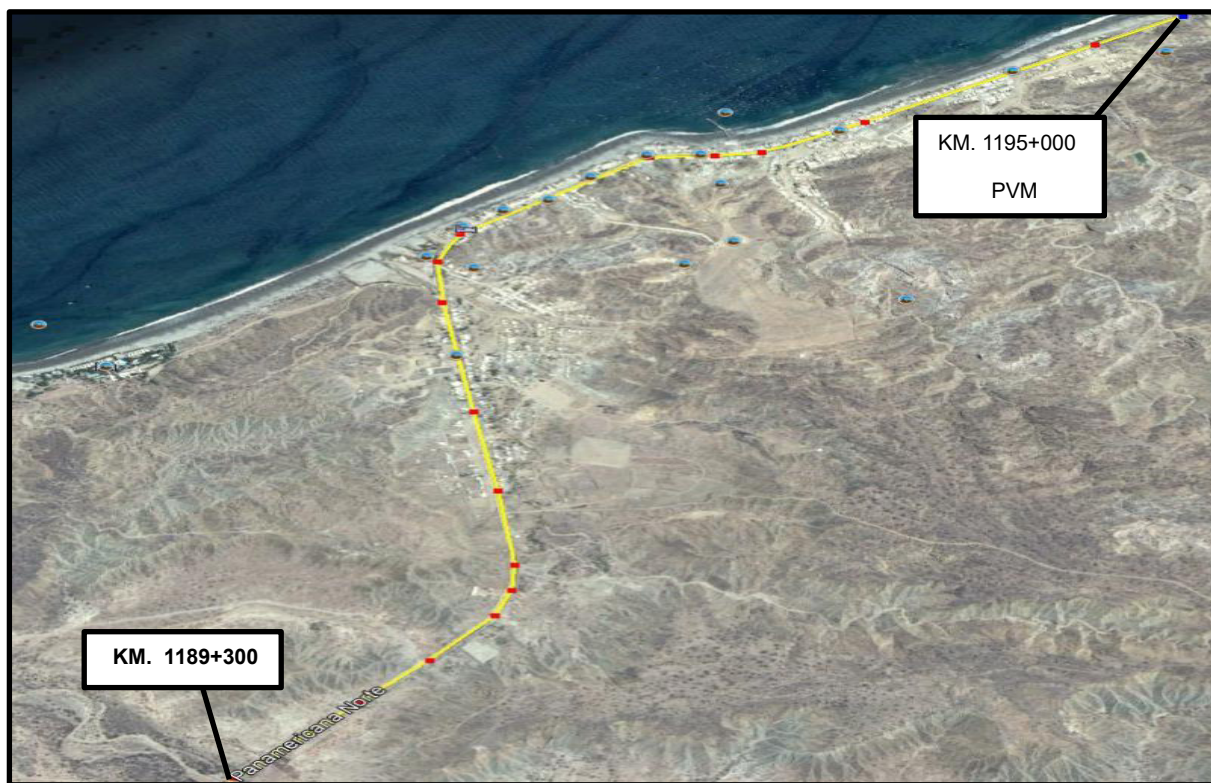
Plano 5



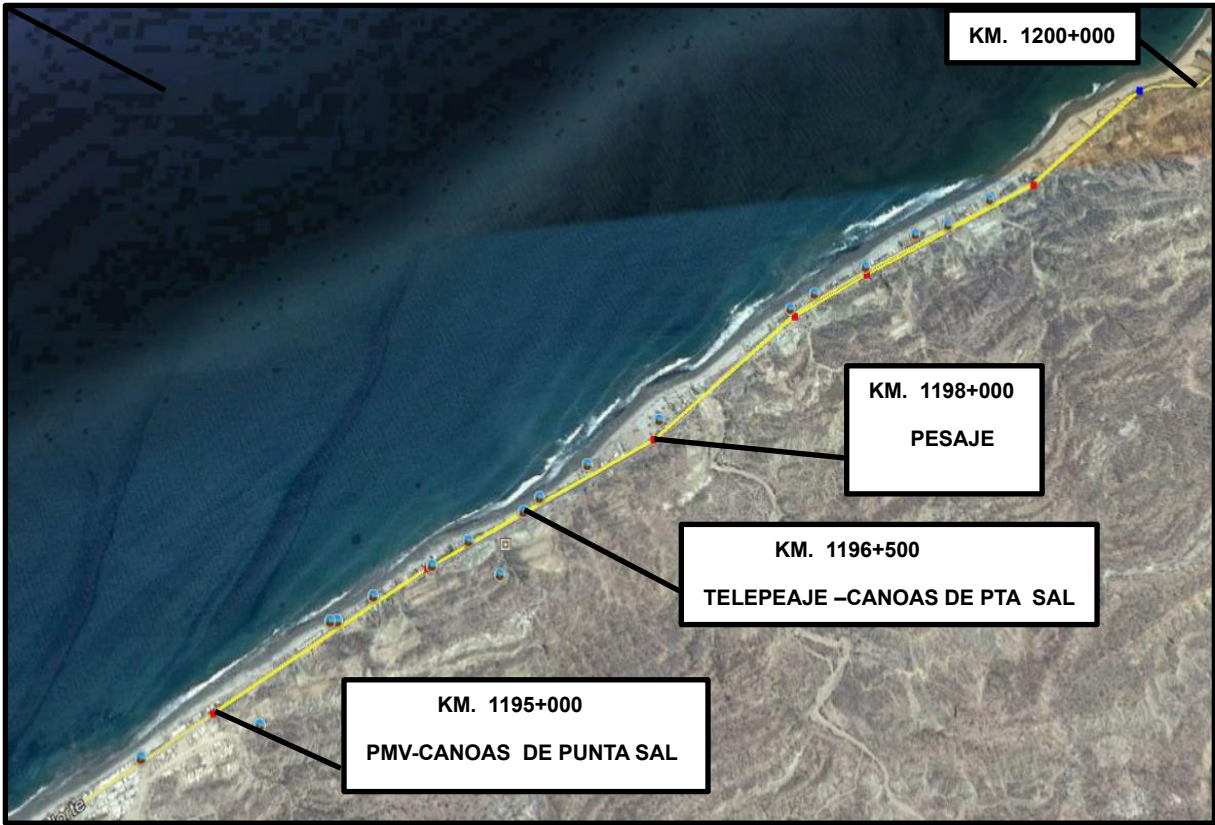
Plano 6



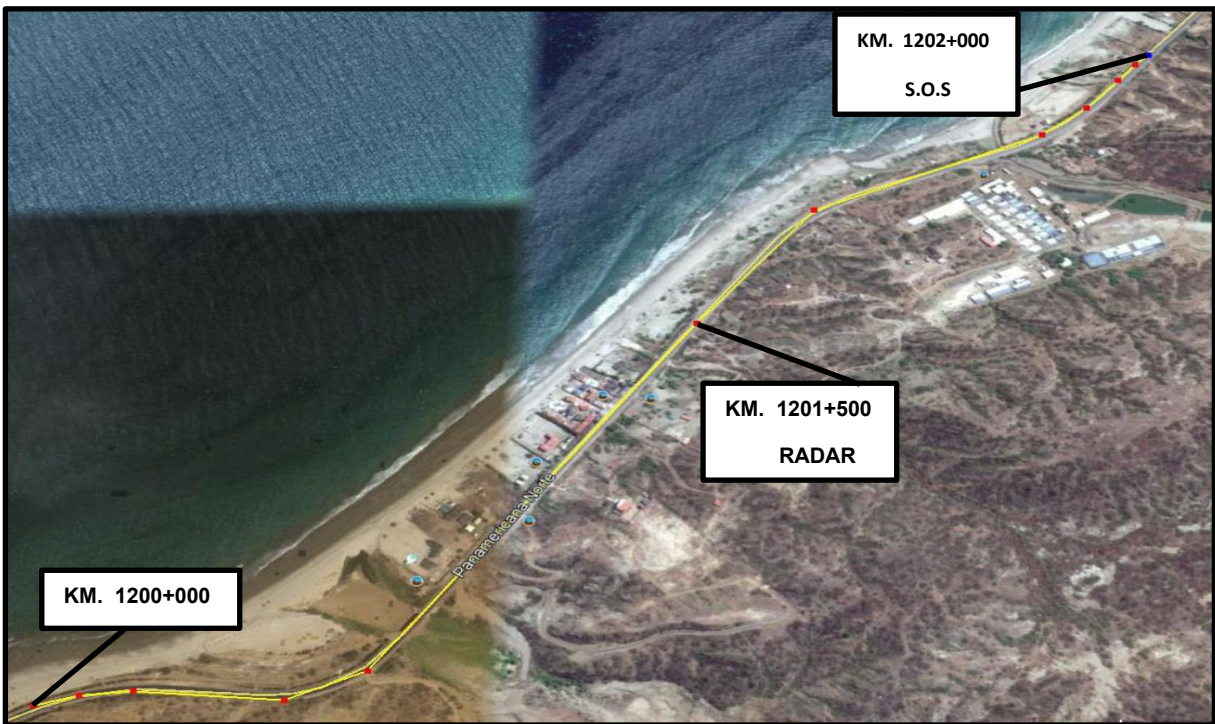
Plano 7



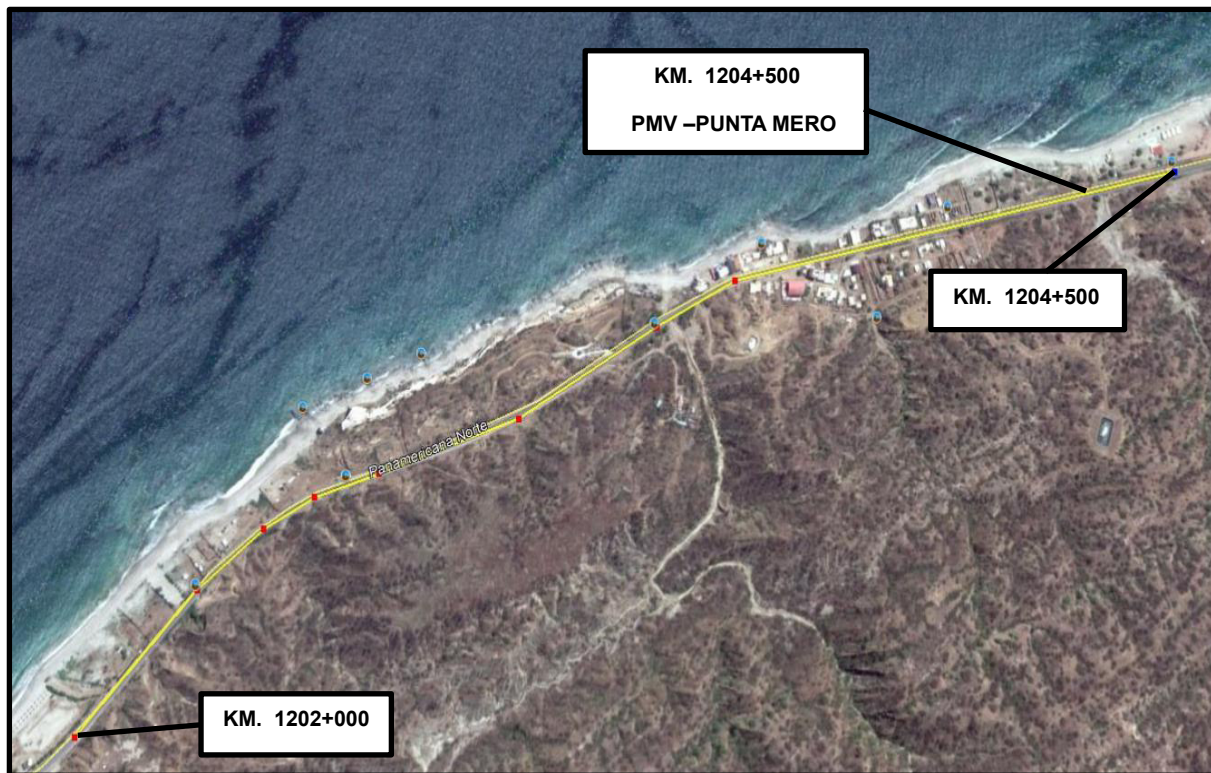
Plano 8



Plano 9



Plano 10



Plano 11