



Desarrollo de
Software

**Sistema predictivo de gestión integral de flotas y control
de mantenimientos en la Cooperativa CIFA Internacional,
Machala – Ecuador**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Tecnólogo Superior en Desarrollo de Software

Proyecto Técnico de Titulación

Autor:

Vásquez Bernal Mario Xavier

Tutor:

Ing. Marco Guamán

CUENCA, ECUADOR

2026

Resumen

Introducción: la Cooperativa de Transportes CIFA Internacional, en Machala, lleva su flota de buses de manera manual, con registros en papel y un mantenimiento reactivo que no aprovecha los datos que el propio vehículo produce mientras opera, lo que termina provocando fallas imprevistas y unidades detenidas fuera de servicio. **Objetivo:** desarrollar un sistema web integral de gestión predictiva de flotas que reúna el monitoreo del Internet de las Cosas en tiempo real, el análisis predictivo de fallas mediante inteligencia artificial y el control automatizado del mantenimiento, con el fin de reducir el tiempo de inactividad operativa y mejorar la disponibilidad de las unidades. **Métodos:** la investigación fue aplicada, de diseño no experimental descriptivo-tecnológico y enfoque mixto, y el desarrollo se organizó en siete iteraciones bajo Scrum. La telemetría se capturó con un dispositivo Teltonika FMC150 y un adaptador de lectura del bus CAN, se procesó en un backend modular sobre una base de datos relacional, y la detección de anomalías se resolvió con el algoritmo Isolation Forest. **Resultados:** el sistema se implementó y se desplegó en producción, y se validó con una unidad piloto que transmitió más de cuarenta y tres mil lecturas reales de telemetría. El modelo, entrenado con esos datos, identificó ocho desviaciones respecto al comportamiento normal e indicó en cada caso el parámetro anómalo, y se verificó el flujo completo desde el dispositivo hasta la notificación. **Conclusión:** se comprobó la viabilidad de la solución con datos reales de operación, lo que sienta las bases tecnológicas para anticipar fallas y reducir la inactividad de la flota.

Palabras clave: Internet de las Cosas, gestión de flotas, mantenimiento predictivo, telemetría, inteligencia artificial.

Abstract

Introduction: the CIFA Internacional Transport Cooperative, in Machala, runs its bus fleet manually, with paper records and reactive maintenance that overlooks the data each vehicle produces while operating, which ends up causing unexpected failures and units left out of service. **Objective:** to develop a comprehensive predictive fleet management web system that brings together real-time Internet of Things monitoring, artificial-intelligence-based failure prediction and automated maintenance control, in order to reduce operational downtime and improve unit availability. **Methods:** the study was applied, with a non-experimental descriptive-technological design and a mixed approach, and the development was organized into seven Scrum iterations. Telemetry was captured with a Teltonika FMC150 device and a CAN bus reading adapter, processed in a modular backend over a relational database, and anomaly detection was solved with the Isolation Forest algorithm. **Results:** the system was implemented and deployed in production, and validated with a pilot unit that transmitted more than forty-three thousand real telemetry readings. The model, trained on those data, identified eight deviations from normal behavior and indicated the anomalous parameter in each case, and the full flow from device to notification was verified. **Conclusion:** the feasibility of the solution was confirmed with real operating data, which lays the technological foundations to anticipate failures and reduce fleet downtime.

Keywords: Internet of Things, fleet management, predictive maintenance, telemetry, artificial intelligence.

Índice general

Resumen	2
Abstract	3
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	8
Derechos de Autor	9
Certificación del Tutor	10
Declaración de Autoría	11
Dedicatoria	12
Agradecimiento	13
Introducción	14
1 Capítulo I: Problemática	17
1.1 Diagnóstico	17
1.2 Antecedentes	17
1.3 Formulación del problema	18
1.4 Delimitación del estudio	18
2 Capítulo II: Marco Referencial	20
2.1 Antecedentes	20
2.1.1 Problemática identificada en la literatura	20
2.1.2 Soluciones propuestas en investigaciones previas	20
2.1.3 Caso de estudio: Cooperativa CIFA Internacional	21
2.2 Marco Teórico	22

2.2.1	Sistemas Inteligentes de Transporte	22
2.2.2	Gestión Inteligente de Flotas	22
2.2.3	Mantenimiento Predictivo	22
2.2.4	Trazabilidad y Control	23
2.2.5	IoT y Monitoreo en Tiempo Real	23
2.2.6	Integración tecnológica en la propuesta	24
2.3	Conceptos Fundamentales	24
2.3.1	GPS	24
2.3.2	CAN Bus y protocolo J1939	24
2.3.3	Telemetría	25
2.3.4	MQTT	25
2.3.5	Broker Mosquitto	25
2.3.6	Node.js y NestJS	26
2.3.7	PostgreSQL	26
2.3.8	WebSocket	26
2.3.9	Machine Learning	27
2.3.10	Isolation Forest	27
2.3.11	Teltonika FMC150 y adaptador ECAN02	27
2.4	Marco Institucional y Legal	28
2.4.1	Cooperativa CIFA Internacional	28
2.4.2	Ubicación geográfica	28
2.4.3	Actividad económica	28
2.4.4	Estructura organizacional	29
2.4.5	Normativa aplicable al transporte terrestre	29
2.4.6	Contexto operativo actual	29
3	Capítulo III: Metodología de Investigación	30
3.1	Enfoque de investigación	30
3.2	Tipo y diseño de investigación	30
3.3	Población y muestra	30
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	31
3.4.0.1	Observación directa	31
3.4.0.2	Revisión documental	31
3.4.0.3	Simulación de datos telemétricos	31
3.5	Fases de la investigación	31
3.6	Metodología de desarrollo de software	32

3.7	Métodos y técnicas de análisis de datos	34
4	Capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados	36
4.1	Diseño de la arquitectura tecnológica	36
4.2	Integración de la telemetría en tiempo real y el análisis predictivo	36
4.3	Implementación de la gestión del mantenimiento y las alertas	38
4.4	Evaluación del desempeño mediante indicadores	38
4.5	Síntesis de los resultados	39
5	Capítulo V: Propuesta de Investigación	40
5.1	Descripción general de la propuesta	40
5.2	Arquitectura del sistema	40
5.3	Diseño de la solución	41
5.3.1	Arquitectura tecnológica	41
5.3.2	Diagrama de componentes	42
5.3.3	Diagrama de despliegue	44
5.4	Diseño de base de datos	45
5.5	Control de acceso por roles	46
5.6	Módulo de monitoreo	47
5.7	Módulo de mantenimiento	48
5.8	Módulo de inteligencia artificial	48
5.9	Dashboard web	49
5.10	Aplicación móvil	49
5.11	Validación de la propuesta	49
	Cronograma de actividades	50
	Conclusiones	51
	Recomendaciones	52
	Referencias	53
	Apéndice	54

Índice de Tablas

1	Historias de usuario por sprint	33
2	Resumen de la telemetría capturada en la unidad piloto	37
3	Anomalías detectadas por el modelo en la unidad piloto	37
4	Cronograma de actividades del proyecto	50

Índice de Figuras

1	Arquitectura del sistema predictivo de gestión de flotas de la Cooperativa CIFA Internacional	42
2	Diagrama de componentes del sistema	44
3	Diagrama de despliegue del sistema	45
4	Modelo entidad-relación de la base de datos del sistema	47



DERECHOS DE AUTOR

Los derechos de esta obra son irrenunciables y corresponden a su **AUTOR**, incluido sus derechos patrimoniales. El **Instituto Tecnológico Superior Particular Sudamericano** tiene licencia gratuita e intransferible sobre esta obra para uso no comercial, de necesitar uso comercial requiere autorización de su titular.



www.sudamericano.edu.ec

Bolívar y Manuel Vega - San Blas

(593 T) 2838323 - 2843619

0995976449

info@sudamericano.edu.ec



CARRERA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Aprobación del Trabajo de Titulación

Doy fe que el trabajo desarrollado por el estudiante: **Vásquez Bernal Mario Xavier**, con el título “Sistema predictivo de gestión integral de flotas y control de mantenimientos en la Cooperativa CIFA Internacional, Machala – Ecuador”, cumple con los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Atentamente,



Ing. Marco Guamán

C.I 0301707030



www.sudamericano.edu.ec

Bolívar y Manuel Vega - San Blas (593 7) 2838323 - 2843619 0996976449

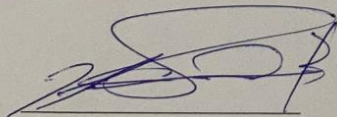
info@sudamericano.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, **Vásquez Bernal Mario Xavier**, estudiante del **Instituto Tecnológico Superior Particular Sudamericano** de la ciudad de Cuenca - Ecuador, que cursó la Tecnología en Desarrollo de Software, declaro en forma libre y voluntaria que la presente investigación que versa sobre "Sistema predictivo de gestión integral de flotas y control de mantenimientos en la Cooperativa CIFA Internacional, Machala – Ecuador" así como las expresiones vertidas en la misma, son autoría de la compareciente, quien ha realizado en base a recopilación bibliográfica, consultas de internet y consultas de campo.

En consecuencia, asumo la responsabilidad de la originalidad de la misma y el cuidado al remitirme a las fuentes bibliográficas respectivas para fundamentar el contenido expuesto.

Atentamente,



Vásquez Bernal Mario Xavier

Cédula: 010706604-5



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis hijos, quienes han sido mi mayor motivación para culminar esta etapa. Cada esfuerzo realizado tuvo como propósito ser un ejemplo de constancia y perseverancia para ellos, y demostrarles que las metas, por difíciles que parezcan, se pueden alcanzar con dedicación.

A mi esposa, por su apoyo incondicional, su paciencia y su comprensión durante todo este proceso, factores fundamentales para poder concluir este trabajo.

A mis padres, por inculcarme desde siempre el valor del esfuerzo y la constancia, y a mi tía, por su cariño y apoyo constante; ambos fueron un pilar importante en este camino.

Finalmente, a todas las personas que de alguna manera contribuyeron con su tiempo, consejos y palabras de aliento durante este proceso, mi sincero agradecimiento.

Agradecimiento

Expreso mi gratitud al Instituto Tecnológico Superior Sudamericano y a sus docentes por la formación recibida. De manera especial, agradezco a mi tutor por su guía a lo largo del desarrollo de este proyecto, y a la Cooperativa de Transportes CIFA Internacional por abrir sus puertas y permitir la instalación y validación del sistema en una de sus unidades.

Introducción

En Ecuador la gestión de flotas de buses sigue siendo, mayormente, un trabajo que depende del papel y la memoria. Los registros de mantenimiento en la actualidad se llevan en gran medida en cuadernos, las fallas mecánicas se notifican ya cuando el vehículo esta averiado, y la información operativa de cada unidad de transporte queda dispersa entre carpetas, documentos excel sin actualizar y en el conocimiento personal de cada mecánico. Esta problemática no es exclusiva de una sola organización, en provincias como El Oro la operación diaria de las unidades se encuentra saturada por el cumplimiento estricto de los itinerarios lo que causa poco margen para la organización y procesamiento de la información de manera ordenada.

La Cooperativa de Transportes CIFA Internacional, con sede en la ciudad de Machala, desempeña su labor bajo estas condiciones. La flota de buses con motorización diésel recorren en territorio intercantonal como interprovincial con ausencia de un sistema que centralice toda la información técnica de las unidades de transporte o que detecte fallas antes de que afecten al servicio que prestan, ya que cuando un vehículo presenta algún problema la respuesta es netamente reactiva, así mismo al programar un mantenimiento este esta basado en periodos de tiempo establecidos mas no en el estado real del motor

Planteamiento del problema

La problemática revela dos dimensiones. La primera puramente operativa en el que la organización desconoce la ubicación en tiempo real, el estado operativo, los parámetros normales de funcionamiento de las unidades como el nivel de combustible, la temperatura del motor o si alguno de los parámetros se encuentran fuera del rango normal de funcionamiento lo que apunta a una falla próxima de la unidad. La segunda dimensión es la gestión ya que al no tener una información centralizada del historial técnico de la unidad hace casi imposible poder detectar diferentes patrones de falla o planificar mantenimientos con sustento en información real.

Las plataformas de rastreo satelital GPS existentes acotan una función específica en el mercado que es resolver parcialmente el problema de la geolocalización, pero omiten los datos de funcionamiento mecánico del motor así como la carencia de módulos de gestión de mantenimientos. La integración de posición, la unificación de indicadores técnicos, el historial de mantenimientos y el analisis predictivo todo en un solo sistema no está contemplada en ninguna oferta estandarizada para el sector específico del transporte ecuatoriano.

De esa deficiencia surge la pregunta que orienta este trabajo: ¿cómo diseñar e implementar un sistema web que integre monitoreo IoT en tiempo real, análisis predictivo de fallas y gestión automatizada de mantenimientos, con el propósito de reducir el tiempo de inactividad operativa y mejorar la disponibilidad de la flota vehicular de la Cooperativa CIFA Internacional?

Justificación

En el plano técnico, el proyecto no propone herramientas nuevas, mas bien retoma tecnologías que ya han dado resultado en otros escenarios y las pone a trabajar juntas en un caso concreto. Los datos del vehículo se leen del CAN bus con un Teltonika FMC150 y su adaptador ECAN02, y de ahí salen por red celular 4G, usando tanto el protocolo propio del fabricante como MQTT. Esa información llega a un backend que esta construido en NestJS, que la procesa y la guarda, mientras el análisis predictivo se ejecuta por separado en Python con Isolation Forest. Del lado del usuario, una interfaz en React muestra todo en tiempo real gracias a WebSocket. El aporte real, entonces, no pasa por ninguno de estos componentes tomado de forma aislada ya que todos existían de antes, sino por la manera en que se articulan en una única plataforma, pensada para las condiciones en que opera realmente una cooperativa de transporte del sur del Ecuador.

En la práctica la cooperativa Cifa internacional presenta esta problemática que el sistema podría solucionar. Si la plataforma funciona como se esta proponiendo, tendría la función de predecir fallas mecánicas, reducir los tiempos de inactividad y gestionar los mantenimientos de toda la flota con datos reales en lugar de realizarlos por intuición. El beneficio para la cooperativa seria directo.

En lo académico, lo que este trabajo deja registrado es cómo se conecta un equipo de telemetría real con un software organizado en módulos y servicios que corren por separado, y todo esto funcionando ya en producción, no en una prueba de laboratorio. Ese registro sirve de referencia para quienes emprendan proyectos parecidos en la carrera de Desarrollo de Software del Instituto Superior Tecnológico Particular Sudamericano, y también para otros estudios del sector transporte que se hagan en el Ecuador.

Objetivos de la investigación

Desarrollar un sistema web integral de gestión predictiva de flotas que integre monitoreo IoT mediante dispositivos Teltonika FMC150 con conectividad GPS 4G y lectura del protocolo CAN/J1939 a través del adaptador ECAN02, predicción de fallas mediante técnicas de inteligencia artificial, control automatizado del mantenimiento y gestión de notificaciones, con la finalidad de reducir el tiempo de inactividad operativa y mejorar la disponibilidad de las unidades de transporte de la Cooperativa CIFA Internacional.

Los objetivos específicos que guían el desarrollo son:

1. Diseñar la arquitectura tecnológica necesaria para implementar el sistema integral de gestión predictiva de flotas vehiculares.
2. Integrar mecanismos de telemetría vehicular en tiempo real y modelos de análisis predictivo que permitan apoyar la detección temprana de fallas mecánicas.
3. Desarrollar las funciones que permitan llevar el historial de mantenimiento de cada unidad, programar los servicios previstos y emitir las alertas de manera automática.

4. Medir el rendimiento del sistema a través de indicadores ligados a la operación diaria y al mantenimiento de una flota piloto en la Cooperativa CIFA Internacional.

Capítulo I: Problemática

1.1 Diagnóstico

La ciudad de Machala mueve buena parte del tránsito interurbano del sur del país. Por aquí cruzan las rutas que conectan con Cuenca, Guayaquil, Loja y la frontera con Perú, y eso hace del transporte terrestre un servicio muy demandado y de operación casi continua. Dentro de ese panorama, la Cooperativa de Transportes CIFA Internacional mantiene su flota rodando sin pausa, cumpliendo itinerarios que no se pueden permitir una falla que se prolongue.

Al revisar de cerca cómo trabaja la organización, se advierte que no cuenta con ningún sistema centralizado para manejar la información técnica y operativa de sus unidades. Lo que existe son registros de mantenimiento guardados en documentos físicos o en hojas de cálculo sueltas, que cada socio lleva por su cuenta. No hay una base de datos común que reúna el historial de las intervenciones, los kilometrajes de cada servicio ni las alertas técnicas que van generando los vehículos

A eso se suma que la flota no cuenta con ningún mecanismo de monitoreo activo. Los buses de la cooperativa, unidades equipadas con motores diésel, poseen sistemas electrónicos de diagnóstico accesibles a través del sistema integrado de electrónica propia del motor. Sin embargo, esa información nunca ha sido utilizada. Cada vehículo genera datos en tiempo real sobre temperatura del refrigerante, presión de aceite, RPM, velocidad, toda esa información se pierde porque no existe ningún dispositivo que la capture y transmita. Para resolver esto, se utiliza el adaptador ECAN02, que lee el bus CAN por inducción electromagnética sobre los cables CAN-H y CAN-L sin necesidad de cortar ni modificar el cableado original del vehículo, transmitiendo esos datos al dispositivo telemático FMC150 para su envío en tiempo real.

El resultado es predecible: el mantenimiento se realiza de dos formas. La primera es correctiva, cuando el vehículo ya falló. La segunda es preventiva por tiempo o kilometraje, sin considerar el estado real de los componentes. Ninguno de los dos enfoques aprovecha los datos que el propio vehículo genera durante su operación.

1.2 Antecedentes

El uso de telemetría vehicular para gestionar flotas y anticipar fallas no es un tema nuevo en la literatura. Naim et al. (2025) documentaron la integración de GPS, inteligencia artificial y mantenimiento predictivo en sistemas de logística, demostrando que el acceso a datos en tiempo real reduce significativamente los tiempos de inactividad. En una línea similar, Vira et al. (2026) presentaron un modelo de mantenimiento predictivo no supervisado para flotas de buses IoT, construido sobre datos reales de operación, con resultados prometedores en la detección temprana de fallos graduales.

En el Ecuador, el trabajo de Flores-Cortez y Gonzales Crespín (2023) exploró la aplicación de tecnologías IoT para el control y seguimiento del transporte de carga terrestre, identificando mejoras concretas en trazabilidad y control de variables logísticas. Por su parte, Toalombo-Vargas (2021) analizó distintas aplicaciones de los sistemas inteligentes de transporte en el país, enfatizando que la falta de información en tiempo real es uno de los principales factores que limita la eficiencia del sector.

La producción reciente amplía ese panorama con casos afines. Arizaga Mondragón y Arizaga Ricaurte (2024) revisaron el impacto de la inteligencia artificial en la gestión del mantenimiento predictivo dentro de la industria, y concluyeron que su aplicación mejora la anticipación de los fallos y reduce los costos de las intervenciones de emergencia. Nalla (2025) centró su propuesta en el mantenimiento predictivo para la gestión de flotas a partir del análisis de las señales que emite el propio vehículo, mientras que Cavus et al. (2025) sistematizaron los enfoques basados en inteligencia artificial para la nueva generación de vehículos, orientados a optimizar tanto su operación como su disponibilidad. Más cerca del contexto local, Enríquez Torres (2025) planteó un esquema de monitoreo en tiempo real de variables operativas, y Gualapuro Sánchez et al. (2025) documentaron aplicaciones del Internet de las Cosas para la recolección y el análisis de información en tiempo real; dos antecedentes que confirman el interés creciente del país por incorporar estas tecnologías al sector productivo.

Lo que estos trabajos tienen en común es la premisa: los vehículos modernos generan datos que, bien aprovechados, permiten pasar del mantenimiento reactivo al predictivo. Lo que ninguno de ellos resuelve es la integración de esa telemetría con un sistema de gestión integral adaptado a las condiciones de una cooperativa de transporte de pasajeros en Ecuador, donde la infraestructura tecnológica es limitada y los buses son de origen variado con protocolos de diagnóstico.

1.3 Formulación del problema

La inexistencia de una solución tecnológica que integre telemetría vehicular por CAN, monitoreo en tiempo real, gestión digital del mantenimiento y análisis predictivo de anomalías impide el control eficiente de la flota vehicular de la Cooperativa CIFA Internacional. Esa carencia afecta directamente la disponibilidad de las unidades, incrementa los costos asociados a fallas imprevistas y limita la capacidad de la organización para tomar decisiones basadas en datos.

1.4 Delimitación del estudio

Este proyecto se limita al diseño y el desarrollo de un sistema web de gestión predictiva de flotas para la Cooperativa de Transportes CIFA Internacional, con sede en la ciudad de Machala, provincia de El Oro. Esta delimitación es intencional, pues en lugar de una herramienta genérica para cualquier empresa, el trabajo se concentra en una sola cooperativa y en sus condiciones reales de operación, dentro del transporte interurbano del sur del Ecuador.

En lo que respecta al alcance, la solución abarca todo lo necesario para llevar la flota de forma integral. Permite vigilar el estado de las unidades en tiempo real, registrar y programar los mantenimientos, anticiparse a los comportamientos que se salen de lo normal y hacer llegar las alertas a quienes deben atenderlas. Para lograrlo, cada vehículo lleva instalado un dispositivo de telemetría que recoge sus variables de operación y las envía por la red celular hasta un servidor central; ahí la información se procesa, se almacena y se analiza, para luego mostrarse en un tablero web y en una aplicación móvil.

La comprobación del sistema se hará con una implementación piloto en la misma cooperativa, midiendo indicadores como la disponibilidad de los vehículos, el cumplimiento de los mantenimientos programados y la detección de anomalías. Queda fuera del estudio la integración con sistemas de otras cooperativas y el despliegue en rutas ajenas a la jurisdicción de la cooperativa CIFA Internacional.

Capítulo II: Marco Referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Problemática identificada en la literatura*

Varios estudios recientes coinciden en señalar algo que resulta evidente al analizar cualquier flota de transporte: los esquemas de mantenimiento reactivo siguen dominando, pese a que las herramientas para hacer algo mejor existen desde hace años. Gualapuro Sánchez et al. (2025) documentan esta brecha en la industria electromecánica, donde la dependencia de mantenimientos no planificados genera tiempos prolongados de parada y costos operativos innecesariamente altos. Arizaga Mondragón y Arizaga Ricaurte (2024) agregan que los modelos predictivos convencionales fallan cuando los datos de entrada son insuficientes o de baja calidad, algo especialmente común en organizaciones que no han sistematizado la captura de información.

La dificultad no siempre está en la tecnología disponible. Enríquez Torres (2025) muestra que muchos de los sistemas de monitoreo todavía se apoyan en revisiones periódicas y en registros hechos a mano, y aclara que esto no se debe a la falta de opciones, sino a la resistencia al cambio y a lo difícil que es conectar dispositivos físicos con plataformas pensadas para ese fin. Álvarez Calvo (2025) observa ese mismo comportamiento, aunque desde la inteligencia artificial, y señala que las organizaciones sí cuentan con datos, pero rara vez los conectan con herramientas que les permitan tomar decisiones a partir de ellos.

Ya en el terreno del transporte terrestre, Flores-Cortez y Gonzales Crespin (2023) demostraron que no vigilar de forma continua las variables logísticas acaba generando pérdidas económicas que sí pueden medirse, como el gasto excesivo de combustible, los desvíos que pasan inadvertidos y la dificultad para comprobar en qué estado viaja la carga. Toalombo-Vargas (2021) llega a conclusiones similares desde el análisis de los sistemas de transporte urbano e interurbano en Ecuador, donde la falta de información en tiempo real agrava los problemas de congestión y eficiencia.

Para las flotas inteligentes, el reto es distinto. Vira et al. (2026) apuntan que detectar fallas de manera temprana sigue siendo difícil porque los datos de fallo son escasos: hay miles de registros de operación normal y muy pocos de eventos de avería. Nalla (2025) confirma que, por esa razón, la mayoría de flotas continúa haciendo mantenimiento correctivo aunque tengan sensores instalados.

2.1.2 *Soluciones propuestas en investigaciones previas*

Frente al panorama anterior, las propuestas más interesantes de la literatura suelen apoyarse en tres elementos que trabajan de forma conjunta. El primero es la recolección de datos directamente desde los vehículos; el segundo, la transmisión de esa información en tiempo real; y el tercero, su análisis con algún modelo de aprendizaje automático. El valor de estas soluciones aparece cuando los tres se encadenan dentro de un mismo flujo, porque así los datos capturados en la vía terminan

convirtiéndose en información útil para anticipar decisiones, en lugar de quedar como simples registros aislados.

Gualapuro Sánchez et al. (2025) proponen una arquitectura IoT que recolecta, transmite y analiza información de activos industriales en tiempo real, demostrando mejoras en eficiencia operativa y reducción de costos. Álvarez Calvo (2025) va en la misma dirección, integrando análisis de datos y machine learning para optimizar procesos y fortalecer la toma de decisiones en entornos industriales complejos.

Arizaga Mondragón y Arizaga Ricaurte (2024) aportan el enfoque predictivo son algoritmos de inteligencia artificial que estan entrenados con datos históricos que identifican patrones de comportamiento anómalo antes de que se materialice la falla. Nalla (2025) demuestra con datos reales que el análisis inteligente de señales operativas mejora significativamente la detección de problemas mecánicos en flota.

En el sector transporte, Flores-Cortez y Gonzales Crespín (2023) desarrollaron una solución telemática basada en sensores, GPS y plataformas web para supervisar variables operativas de vehículos de carga. Toalombo-Vargas (2021) destaca el valor de los Sistemas Inteligentes de Transporte para integrar sensores, comunicaciones y plataformas de información en una gestión vehicular más coordinada. Naim et al. (2025) presentan la integración de GPS, inteligencia artificial y mantenimiento predictivo como una combinación que mejora la disponibilidad de las flotas logísticas y reduce sus tiempos de inactividad. Por su parte, Vira et al. (2026) proponen modelos no supervisados capaces de identificar anomalías en flotas de buses IoT sin necesitar datos etiquetados de fallas, lo que los hace aplicables en contextos donde esos datos no existen.

2.1.3 Caso de estudio: Cooperativa CIFA Internacional

La Cooperativa de Transportes CIFA Internacional desarrolla sus actividades en la ciudad de Machala y opera rutas de transporte interprovincial e intercantonal desde El Oro hacia otras provincias de la Costa. La organización no dispone de ninguna plataforma centralizada para gestionar la información técnica y operativa de su flota.

El mantenimiento de los vehículos se registra en documentos físicos o en hojas de cálculo independientes, sin un sistema que consolide esa información ni que permita un seguimiento uniforme de cada unidad. La organización tampoco cuenta con mecanismos de monitoreo en tiempo real que permitan conocer variables críticas del estado mecánico de los buses durante la operación.

Esta situación genera riesgos operativos concretos, incrementa los costos de mantenimiento por la naturaleza reactiva de las intervenciones y limita la capacidad de la cooperativa para anticipar fallas y planificar con criterio técnico. La presente investigación propone un sistema predictivo de gestión integral de flotas que resuelva esas carencias integrando telemetría vehicular vía CAN, monitoreo en tiempo real, gestión de mantenimiento e inteligencia artificial.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 *Sistemas Inteligentes de Transporte*

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) por sus siglas en inglés constituyen una respuesta tecnológica al crecimiento de la movilidad urbana e interurbana. No son un solo producto ni una sola plataforma: son la combinación de comunicaciones, sensores, sistemas de información y dispositivos de localización aplicada a la gestión del transporte. Toalombo-Vargas (2021) explica que estos sistemas producen información útil para mejorar la seguridad vial, reducir la congestión y optimizar el uso de la infraestructura. Flores-Cortez y Gonzales Crespín (2023) muestran que en entornos logísticos su aplicación fortalece el control operativo y reduce pérdidas asociadas al transporte terrestre.

Lo que hace relevantes a los ITS para este proyecto no es su definición académica sino lo que permiten hacer en la práctica: conocer dónde está cada vehículo, en qué estado se encuentra y qué está haciendo, en tiempo real. Naim et al. (2025) demuestran que esa información, bien utilizada, transforma la gestión de flotas de un proceso reactivo a uno preventivo y orientado a datos.

2.2.2 *Gestión Inteligente de Flotas*

La gestión de flotas existe desde que hay vehículos que coordinar. Lo que ha cambiado en los últimos años es la cantidad de información disponible y la capacidad de procesarla. Naim et al. (2025) describen cómo la combinación de GPS, inteligencia artificial y mantenimiento predictivo reduce tiempos de inactividad y mejora la eficiencia de entrega en operaciones logísticas modernas. Toalombo-Vargas (2021) agrega que las tecnologías inteligentes aplicadas al transporte fortalecen tres dimensiones clave: seguridad, economía y eficiencia.

Aplicado al caso de la CIFA Internacional, la gestión inteligente de flotas implica dejar de ver cada bus como una unidad aislada y empezar a verlo como un nodo de una red que genera datos continuamente. Flores-Cortez y Gonzales Crespín (2023) muestran que ese cambio de perspectiva, apoyado en tecnología, permite reducir pérdidas operativas y mejorar el control sobre variables críticas. Naim et al. (2025) concluyen que el acceso en tiempo real a esa información impulsa una gestión proactiva que puede anticipar desviaciones, incidentes y necesidades de mantenimiento antes de que afecten el servicio.

2.2.3 *Mantenimiento Predictivo*

El mantenimiento predictivo no reemplaza al preventivo ni al correctivo, sino que los complementa. Su ventaja está en que orienta las intervenciones técnicas a partir de la evidencia del estado real del equipo, y no según intervalos de tiempo fijados de antemano ni esperando a que algo falle. Álvarez Calvo (2025) señala que la inteligencia artificial y el aprendizaje automático elevan la precisión de ese análisis, lo que hace posible tomar decisiones en tiempo real que el mantenimiento tradicional no alcanza a ofrecer. Enríquez Torres (2025) confirma que el monitoreo

digital de variables críticas reduce averías y fortalece la continuidad operativa.

La dimensión económica también importa. Arizaga Mondragón y Arizaga Ricaurte (2024) señalan que la inteligencia artificial aplicada al mantenimiento mejora la predicción de fallos a partir de datos históricos y en tiempo real, optimizando el uso de repuestos y reduciendo los costos de intervención de emergencia. Álvarez Calvo (2025) agrega que ese enfoque mejora la competitividad operativa al hacer más eficiente el uso del tiempo técnico y la capacidad de respuesta ante problemas.

2.2.4 Trazabilidad y Control

La trazabilidad en el transporte es la capacidad de saber qué ocurrió, cuándo ocurrió y bajo qué condiciones. Toalombo-Vargas (2021) explica que los sistemas inteligentes de transporte producen esa información de manera continua, y que su interpretación mejora tanto la seguridad como la economía de la operación. Flores-Cortez y Gonzales Crespin (2023) demuestran en un caso real que la trazabilidad aplicada al transporte terrestre reduce pérdidas logísticas y mejora el control sobre las rutas.

Cuando esa trazabilidad se combina con monitoreo y plataformas digitales, la organización tiene una visión completa del desempeño de su flota. Naim et al. (2025) sostienen que la integración de localización, IA y análisis de datos optimiza las rutas y aumenta la confiabilidad del servicio. Enríquez Torres (2025) muestra que la digitalización del monitoreo fortalece la supervisión de variables críticas y mejora la capacidad de reacción ante desviaciones de los parámetros normales.

2.2.5 IoT y Monitoreo en Tiempo Real

El Internet de las Cosas convirtió los vehículos en generadores de datos. Cada bus con un dispositivo telemático instalado produce, de forma continua, información sobre su posición, velocidad, temperatura del motor, RPM y estado del sistema de diagnóstico. Gualapuro Sánchez et al. (2025) muestran que aprovechar esos datos en tiempo real mejora la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos industriales. Enríquez Torres (2025) explica que digitalizar el monitoreo permite visualizar las variables críticas, anticiparse a las anomalías y reforzar la respuesta técnica en entornos de operación continua.

Lo particular del IoT vehicular es que no se queda en observar cómo se comporta el activo en el momento, porque además va armando un historial que más adelante sirve para entrenar modelos predictivos. Gualapuro Sánchez et al. (2025) demuestran que el monitoreo continuo aumenta la capacidad de análisis y mejora la toma de decisiones, y Flores-Cortez y Gonzales Crespin (2023) muestran que la telemetría aplicada al transporte permite supervisar las variables logísticas desde plataformas accesibles y con mayor precisión operativa. En esa misma línea, Toalombo-Vargas (2021) sostiene que esta convergencia tecnológica responde a las necesidades actuales de eficiencia y seguridad en el transporte. Naim et al. (2025) concluyen que unir la localización, la inteligencia artificial y el monitoreo continuo convierte la gestión de flotas en un proceso confiable, preventivo y

guiado por los datos.

2.2.6 Integración tecnológica en la propuesta

La convergencia del IoT, el monitoreo en tiempo real, la inteligencia artificial y la analítica de datos ha hecho posible dejar atrás la supervisión reactiva para pasar a una gestión sustentada en evidencia. Gualapuro Sánchez et al. (2025) muestran que esa integración permite reducir costos gracias al análisis continuo de la información operativa. Álvarez Calvo (2025), por su parte, afirma que la IA se ha vuelto un soporte clave para innovar en procesos complejos.

En este proyecto, esa convergencia toma forma concreta: dispositivos Teltonika FMC150 que leen parámetros CAN del bus Bonluck a través del adaptador ECAN02 y los transmiten por la red celular, un backend en NestJS que los procesa y almacena en PostgreSQL, un módulo Python con Isolation Forest que detecta anomalías en esos datos, y un dashboard en React que hace todo eso visible para quien gestiona la flota. Flores-Cortez y Gonzales Crespín (2023) evidencian que ese tipo de integración mejora la trazabilidad y el control en el transporte terrestre. Toalombo-Vargas (2021) resalta que los sistemas inteligentes representan una respuesta tecnológica viable frente a las necesidades de movilidad, eficiencia y sostenibilidad contemporáneas.

2.3 Conceptos Fundamentales

2.3.1 GPS

El Sistema de Posicionamiento Global —GPS, del inglés *Global Positioning System*— es una tecnología de navegación satelital operada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Funciona con una constelación de al menos 24 satélites en órbita media terrestre que emiten señales de temporización: el receptor en tierra calcula su posición al medir el tiempo que tarda en recibir la señal de cuatro o más satélites y aplicar trilateración.

Para la gestión de flotas, el GPS entrega en tiempo real la latitud, longitud, altitud y velocidad de cada unidad. Esos datos son la base de cualquier sistema de monitoreo vehicular y la fuente primaria para generar reportes de recorridos, controlar desvíos de ruta y verificar el cumplimiento de itinerarios (Naim et al., 2025).

2.3.2 CAN Bus y protocolo J1939

El bus CAN (*Controller Area Network*) es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Bosch en 1983 para conectar los módulos electrónicos de un vehículo sin necesidad de un computador central. Su diseño tolera bien las interferencias electromagnéticas y permite que múltiples dispositivos compartan el mismo canal de comunicación con alta eficiencia.

J1939 es la especialización del bus CAN para vehículos de trabajo pesado, definida por la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE). Estandariza los mensajes y parámetros del vehículo —llamados PGN, *Parameter Group Numbers*— que describen variables como velocidad, RPM,

temperatura del refrigerante, presión de aceite, nivel de combustible y códigos de diagnóstico activos (DTC). En este proyecto, el acceso al bus CAN/J1939 de las unidades Bonluck se realiza con el adaptador ECAN02, que lee las señales de los cables CAN-H y CAN-L por inducción electromagnética, sin cortar ni empalmar el cableado original del vehículo. Esa lectura se entrega al dispositivo telemático Teltonika FMC150, que captura los parámetros operativos de cada unidad en tiempo real.

2.3.3 Telemetría

La telemetría es el proceso de capturar, transmitir y recibir datos desde sistemas remotos hacia una plataforma centralizada de monitoreo. En el contexto vehicular combina receptores GPS, interfaces de diagnóstico y comunicaciones inalámbricas para llevar al servidor, en tiempo real, la posición, velocidad, temperatura del motor, RPM y estado del sistema de diagnóstico de cada vehículo.

Su relevancia práctica es que elimina la necesidad de intervenciones físicas periódicas para conocer el estado de la flota. La información llega de forma automática y continua, y queda disponible tanto para el monitoreo operativo como para el análisis histórico (Flores-Cortez & Gonzales Crespin, 2023).

2.3.4 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) es un protocolo de mensajería diseñado específicamente para comunicaciones entre máquinas en entornos con ancho de banda limitado o alta latencia. Funciona con un modelo publicador-suscriptor: los dispositivos publican mensajes en un intermediario central llamado broker, y los clientes que necesitan esa información se suscriben a los tópicos correspondientes.

Para la transmisión de telemetría vehicular, MQTT es una elección natural. Consume pocos recursos computacionales, funciona bien con la conectividad 4G de los dispositivos en campo y garantiza la entrega de mensajes incluso en condiciones de red inestable. Gualapuro Sánchez et al. (2025) documentan su uso en aplicaciones IoT industriales donde la continuidad de la transmisión es crítica.

2.3.5 Broker Mosquitto

Eclipse Mosquitto es una implementación de código abierto de un broker MQTT, distribuida bajo licencia EPL/EDL y mantenida por la Fundación Eclipse. El broker es el intermediario que recibe los mensajes de los dispositivos publicadores —en este caso los Teltonika FMC150 instalados en cada bus— y los distribuye a los suscriptores que los necesiten, como el servicio backend del sistema.

Mosquitto es compatible con las versiones del protocolo MQTT 3.1, 3.1.1 y 5.0, es ligero y

estable en producción, y tiene amplio soporte en la comunidad de desarrollo IoT. En la arquitectura del sistema cumple la función de punto de entrada de todos los datos telemétricos de la flota, previo a su procesamiento por la API.

2.3.6 *Node.js y NestJS*

Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript del lado del servidor construido sobre el motor V8 de Chrome. Su modelo basado en eventos y operaciones de entrada/salida no bloqueantes le da un rendimiento alto para aplicaciones que manejan muchas conexiones concurrentes, como APIs REST y servicios en tiempo real.

NestJS es un framework para backend construido sobre Node.js con soporte nativo para TypeScript. Organiza el código en módulos, controladores y servicios con responsabilidades bien definidas, aplicando principios de arquitectura que facilitan el desarrollo de aplicaciones escalables y mantenibles. En este proyecto, NestJS gestiona los endpoints de la API, la lógica de negocio, la ingesta de telemetría —tanto desde el broker Mosquitto como desde el protocolo nativo de los dispositivos Teltonika— y la comunicación con la base de datos PostgreSQL a través del ORM Prisma.

2.3.7 *PostgreSQL*

PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto con más de 35 años de desarrollo activo. Su robustez, cumplimiento del estándar SQL e integridad transaccional lo hacen adecuado para almacenar grandes volúmenes de datos con consistencia. Soporta tipos de datos avanzados, índices especializados y extensiones que amplían su funcionalidad base.

En el sistema de gestión de flotas, PostgreSQL almacena las entidades principales: vehículos, conductores, registros de telemetría, historial de mantenimientos, alertas y usuarios. Su capacidad para manejar consultas complejas y generar reportes históricos lo convierte en la opción natural para este tipo de aplicación.

2.3.8 *WebSocket*

WebSocket es un protocolo de comunicación bidireccional y persistente sobre TCP, estandarizado en el RFC 6455. A diferencia del modelo HTTP clásico de solicitud-respuesta, WebSocket mantiene abierto el canal de comunicación una vez establecida la conexión inicial, lo que reduce la latencia y el consumo de ancho de banda en aplicaciones que necesitan actualizaciones continuas.

En el dashboard del sistema, WebSocket es el mecanismo que permite actualizar la posición y el estado de los vehículos en el mapa sin que el usuario tenga que recargar la página. Cuando el backend recibe nuevos datos telemétricos de un bus, los distribuye de inmediato a todos los clientes conectados a través del canal WebSocket.

2.3.9 *Machine Learning*

El aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial orientada a construir modelos que aprenden patrones a partir de datos históricos y los usan para hacer predicciones o clasificaciones sobre nuevas observaciones, sin reglas programadas explícitamente para cada caso.

Aplicado al mantenimiento predictivo, permite estudiar cómo se han comportado a lo largo del tiempo variables como las RPM, la temperatura del motor y la velocidad, y así detectar las señales que anticipan una posible falla. Su valor práctico está en que convierte los datos de la operación diaria en conocimiento sobre el cual se puede actuar, porque en vez de esperar a que algo falle, el sistema aprende a reconocer los patrones que aparecen justo antes de ese fallo (Álvarez Calvo, 2025; Arizaga Mondragón & Arizaga Ricaurte, 2024).

2.3.10 *Isolation Forest*

Isolation Forest es un algoritmo no supervisado para la detección de anomalías. Su funcionamiento es conceptualmente distinto al de otros métodos, ya que en vez de modelar el comportamiento normal para después buscar las desviaciones, el algoritmo aísla de forma directa los puntos atípicos. Construye múltiples árboles de decisión de forma aleatoria, particionando el espacio de características. Los puntos anómalos, por ser escasos y diferentes al resto, requieren menos particiones para quedar aislados, lo que se traduce en una longitud de camino promedio más corta en el árbol.

Esa propiedad lo hace especialmente útil para este proyecto: detecta comportamientos inusuales en las variables del vehículo sin necesitar datos etiquetados de fallas previas, que en el caso de la CIFA Internacional simplemente no existen. Su eficiencia computacional y su desempeño en datos multivariados lo convierten en la elección adecuada para un sistema de detección de anomalías en telemetría vehicular con operación continua (Vira et al., 2026).

2.3.11 *Teltonika FMC150 y adaptador ECAN02*

El Teltonika FMC150 es un dispositivo telemático de la empresa lituana Teltonika Telematics, diseñado para vehículos de trabajo pesado y flotas comerciales. Combina conectividad 4G LTE Cat 1, receptor GNSS de alta sensibilidad e interfaz CAN para la lectura de datos del vehículo. En este proyecto, esa interfaz recibe los parámetros J1939 del bus Bonluck a través del adaptador ECAN02, el lector por inducción descrito en la sección anterior, lo que evita cualquier intervención sobre el cableado original de las unidades.

La configuración se realiza con la herramienta Teltonika Configurator, que permite definir qué parámetros se capturan, con qué frecuencia y bajo qué condiciones se transmiten al servidor. Para la transmisión, el dispositivo utiliza el protocolo propio del fabricante —Codec 8 Extended, un formato binario que empaqueta los registros AVL con sus identificadores de entrada/salida— sobre TCP, además de soportar MQTT. En este proyecto, el FMC150 transmite vía SIM 4G de Claro

los valores de posición GPS, velocidad, RPM, temperatura del refrigerante, nivel de combustible, voltajes y odómetro hacia el servidor de la plataforma.

2.4 Marco Institucional y Legal

2.4.1 *Cooperativa CIFA Internacional*

La Cooperativa de Transportes CIFA Internacional es una organización de economía popular y solidaria dedicada al servicio público de transporte terrestre de pasajeros en la provincia de El Oro. Opera con habilitación de la Agencia Nacional de Tránsito y presta servicio en rutas intercantonales e interprovinciales desde Machala hacia distintos destinos de la región costera del Ecuador.

La flota incluye unidades de origen chino de la marca Bonluck, equipadas con motores diésel y sistemas electrónicos de diagnóstico accesibles vía CAN. La organización tiene socios propietarios de cada unidad y un equipo administrativo encargado de la gestión operativa. La ausencia de herramientas tecnológicas para centralizar esa gestión es el punto de partida de este proyecto.

2.4.2 *Ubicación geográfica*

La sede de la Cooperativa CIFA Internacional está en Machala, capital de El Oro, en la región costera del sur del Ecuador, a unos cuatro metros sobre el nivel del mar. Machala es la quinta ciudad más poblada del país, con alrededor de 300 000 habitantes, y funciona como nodo logístico del suroccidente ecuatoriano con conexiones viales hacia Guayas, Azuay, Loja y la frontera con el Perú.

Las condiciones climáticas de la zona —temperaturas que promedian los 25 °C con alta humedad— tienen incidencia directa en el desgaste mecánico de los vehículos y en la frecuencia con que se requieren intervenciones de mantenimiento, especialmente en sistemas de refrigeración y eléctrico.

2.4.3 *Actividad económica*

La cooperativa presta el servicio de transporte público de pasajeros en modalidad intercantonal e interprovincial. Dentro de la clasificación CIU corresponde al sector de transporte y almacenamiento. Su actividad está sujeta a la regulación tarifaria y técnica de la ANT, que define las condiciones mínimas de habilitación vehicular y las rutas autorizadas.

La viabilidad económica de la organización depende directamente de que sus buses estén operativos. Una unidad parada por falla mecánica no solo deja de generar ingresos para el socio propietario: afecta el servicio a los pasajeros y puede acarrear sanciones de la autoridad de tránsito. Ese contexto le da sentido a la propuesta de este proyecto: reducir el tiempo de inactividad no planificado tiene un impacto económico concreto.

2.4.4 Estructura organizacional

La cooperativa funciona bajo el marco de la Ley Orgánica de Economía Popular y Solidaria. Sus órganos de gobierno son la Asamblea General de Socios como autoridad máxima, el Consejo de Administración como órgano directivo y la Gerencia como nivel ejecutivo. La gestión técnica del parque vehicular —mantenimientos, revisiones, control de flota— recae en la Gerencia con apoyo del área operativa.

2.4.5 Normativa aplicable al transporte terrestre

El marco legal que regula la actividad de la cooperativa se compone de los siguientes instrumentos:

La **Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV)** y su Reglamento General fijan las condiciones técnicas de habilitación vehicular, los estándares operativos y los requisitos para que una operadora pueda prestar servicio público.

La **Agencia Nacional de Tránsito (ANT)** es el organismo rector: emite los títulos habilitantes, supervisa los requisitos técnicos de los vehículos, regula las tarifas y expide resoluciones sobre revisión técnica vehicular, renovación de flota y seguridad.

El **Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)** define las políticas nacionales del sector y planifica la infraestructura vial.

La **Ley Orgánica de Economía Popular y Solidaria** y su Reglamento establecen el marco jurídico de constitución, gobierno y control de las cooperativas como organizaciones sociales y solidarias.

La normativa de **revisión técnica vehicular** fija los estándares de seguridad activa, pasiva, emisiones y condiciones mecánicas que los vehículos de transporte público deben acreditar anualmente para operar.

2.4.6 Contexto operativo actual

La cooperativa gestiona sus mantenimientos con registros físicos y hojas de cálculo. No existe un sistema que consolide el historial técnico de toda la flota ni mecanismos de monitoreo que permitan conocer en tiempo real variables como posición, velocidad, temperatura del motor o códigos de diagnóstico activos de cada unidad.

Los mantenimientos se hacen de dos formas: correctivos cuando el vehículo ya falló, o preventivos por intervalos fijos sin considerar el estado real de cada bus. El resultado es que los socios asumen costos de emergencia que podrían haberse evitado, y la planificación técnica se hace sin datos confiables.

Esta situación es la que motiva el desarrollo del sistema propuesto. No es una hipótesis teórica: es el problema real que la organización enfrenta y que este proyecto busca resolver con tecnología concreta.

Capítulo III: Metodología de Investigación

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de esta investigación es mixto, y no por cumplir con un requisito metodológico, sino porque el propio problema lo pide. Una parte del trabajo es netamente cuantitativa, pues los datos de telemetría que genera cada bus son números, como las RPM, la temperatura, la velocidad y las coordenadas, y el análisis de anomalías con Isolation Forest arroja resultados numéricos que se pueden medir y comparar. Pero hay otra parte que no se deja capturar con cifras, y tiene que ver con entender cómo administra hoy la cooperativa su flota, qué procesos existen y cuáles no, y qué esperan los responsables de una herramienta tecnológica. Esa parte exige entrevistas, observación directa y un criterio más interpretativo.

El componente cuantitativo se ve refleja en la telemetría, en los indicadores de desempeño del sistema y en la evaluación de la fase piloto aplicada. El componente cualitativo, en cambio, guía el levantamiento de requerimientos y la comprensión del contexto en que opera la organización. En este sentido, los dos se complementan y ninguno reemplaza al otro (Hernández-Sampieri et al., 2018).

3.2 Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada. El objetivo no es generar conocimiento teórico sobre telemetría vehicular o inteligencia artificial: eso ya existe en la literatura. El objetivo es tomar ese conocimiento y convertirlo en un sistema funcional que resuelva un problema real en una organización real de Machala.

El diseño es no experimental de tipo descriptivo-tecnológico. No se manipulan variables del entorno, sino que se analiza la situación actual de la cooperativa, se diseña la solución, se implementa y se evalúa. La fase de diagnóstico es descriptiva porque caracteriza los procesos vigentes. La fase de desarrollo es tecnológica porque construye el sistema aplicando principios de ingeniería de software. La fase de validación tiene un componente longitudinal al evaluar el comportamiento del sistema durante el período piloto.

3.3 Población y muestra

La población del estudio comprende la flota vehicular operativa de la Cooperativa CIFA Internacional y el personal administrativo vinculado a la gestión de mantenimiento y control de flota. Para el levantamiento de información y análisis de requerimientos se trabajará con el personal administrativo relacionado con la gestión técnica: gerencia, área operativa y los socios con mayor participación en el control del parque vehicular.

La implementación piloto del sistema se realizará sobre una muestra de la flota, seleccionada

en coordinación con la administración de la cooperativa. El criterio de selección priorizará las unidades con mayor frecuencia de operación e historial documentado de intervenciones de mantenimiento, dado que esos vehículos ofrecen más datos para evaluar el desempeño del módulo predictivo.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa. Se realizó en las instalaciones de la cooperativa mediante una ficha de observación estructurada. El objetivo fue identificar de primera mano cómo se registran las intervenciones, en qué condiciones físicas operan los vehículos y cuáles son las características técnicas de la flota que luego condicionan el diseño del sistema.

Revisión documental. Abarcó tres fuentes principales. La primera fue la documentación técnica del Teltonika FMC150, el adaptador ECAN02 y el protocolo J1939; la segunda, la normativa ecuatoriana aplicable al transporte terrestre; y la tercera, la literatura científica revisada en el Marco Referencial. Esta técnica incluyó, además, el análisis de los registros de mantenimiento que ya existían en la cooperativa, en la medida en que estuvieron disponibles..

Simulación de datos telemétricos. Durante la fase de desarrollo, y al no contar todavía con un despliegue físico completo, se generaron conjuntos de datos sintéticos que imitan la telemetría real de los vehículos, tanto en condiciones normales como de anomalía. Con esos datos fue posible validar el flujo completo de ingesta, la persistencia de las lecturas y la lógica que genera las alertas, sin tener que esperar a que los dispositivos estuvieran instalados en la flota. El entrenamiento del modelo Isolation Forest, en cambio, se hará con las lecturas reales que capture el FMC150 durante la fase piloto, justamente porque un modelo de detección de anomalías entrenado solo con datos sintéticos terminaría aprendiendo patrones que no corresponden a la operación real de cada unidad.

3.5 Fases de la investigación

La investigación se desarrolla en cuatro fases secuenciales:

Fase 1 — Diagnóstico: levantamiento de la situación actual mediante observación directa y revisión documental. Resultado esperado: listado de procesos existentes, requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, y características técnicas de la flota piloto.

Fase 2 — Diseño: definición de la arquitectura del sistema, modelo relacional de la base de datos, especificación de módulos y diagramas de componentes, despliegue y flujos de datos. Incluye la configuración del Teltonika FMC150 y del adaptador ECAN02 para la lectura de parámetros CAN en bus piloto.

Fase 3 — Desarrollo: implementación incremental de los módulos de la plataforma. Backend

en NestJS con TypeScript y el ORM Prisma, frontend en React con Vite y Tailwind CSS, ingesta de telemetría por MQTT y por el protocolo nativo Teltonika, módulo de detección de anomalías en Python con Scikit-Learn, y base de datos PostgreSQL. El desarrollo se organiza en sprints bajo el marco de trabajo Scrum, como se detalla en la sección siguiente.

Fase 4 — Validación: implementación piloto en la Cooperativa CIFA Internacional. La evaluación usa indicadores de disponibilidad vehicular, tiempo de inactividad no planificado, cumplimiento de mantenimientos programados y capacidad de detección temprana de anomalías. Los resultados se comparan con los procedimientos anteriores de la organización para medir el impacto real de la solución.

3.6 Metodología de desarrollo de software

Para la construcción del sistema se adoptó Scrum, adaptado a las condiciones reales del proyecto: un solo desarrollador, un tutor académico que cumple el papel de revisor técnico y la contraparte de la cooperativa como dueño del producto. No tiene sentido simular un equipo de desarrollo donde no lo hay; lo que sí se conserva de Scrum es lo que aporta valor en este contexto: el trabajo en iteraciones cortas con entregables funcionales verificables, la revisión al cierre de cada iteración y la repriorización del trabajo pendiente según lo aprendido en la anterior.

El desarrollo se organizó en siete sprints, cada uno con un objetivo concreto y un entregable funcional:

Sprint 1 — Modelo de datos y estructura base: diseño del esquema relacional en PostgreSQL con el ORM Prisma —trece entidades que cubren personas, usuarios, roles, vehículos, dispositivos, telemetría, mantenimiento, predicciones, alertas, notificaciones y auditoría— y estructura modular del backend en NestJS, con un módulo por dominio.

Sprint 2 — Autenticación y control de acceso: inicio de sesión con tokens JWT, gestión de personas y usuarios, asignación de roles (administrador, gerente, propietario y conductor) y guards de autorización que validan el rol requerido en cada endpoint de la API.

Sprint 3 — Vehículos y dispositivos IoT: registro y administración de las unidades de la flota y de los equipos telemáticos instalados en ellas, con filtrado por alcance de rol: el propietario solo accede a sus vehículos y el conductor a las unidades que tiene asignadas.

Sprint 4 — Gestión de mantenimiento: catálogo de tipos de mantenimiento con intervalos por kilometraje y por tiempo, órdenes de mantenimiento con su ciclo de estados y detalle de costos por intervención.

Sprint 5 — Telemetría y motor de alertas: ingesta y almacenamiento de lecturas GPS/OBD2, motor de predicción por intervalos de kilometraje que genera predicciones, alertas y notificaciones de forma automática al recibir cada lectura de odómetro, y bitácora de auditoría de las acciones relevantes del sistema.

Sprint 6 — Integración con hardware real y despliegue: suscriptor MQTT para la recepción de telemetría, decodificador del protocolo Teltonika Codec 8 Extended sobre TCP y puesta en producción del sistema con HTTPS.

Sprint 7 — Módulo predictivo y aplicación móvil (en ejecución): servicio Python con Isolation Forest entrenado con las lecturas reales del FMC150 capturadas durante el piloto, y aplicación móvil híbrida desarrollada con Capacitor para la recepción de notificaciones.

Al cierre de cada sprint el resultado se probó contra datos reales o simulados antes de pasar al siguiente, de modo que la plataforma siempre estuvo en un estado funcional y demostrable. Esa forma de trabajar es la que permite que la validación del Capítulo IV se apoye en un sistema completo y no en módulos sueltos.

El trabajo de cada iteración se organizó a partir de historias de usuario, redactadas desde la perspectiva de quien usa el sistema. La Tabla 1 recoge las principales, agrupadas por el sprint en el que se desarrollaron.

Tabla 1
Historias de usuario por sprint

Sprint	ID	Historia de usuario	Criterio de aceptación
Sprint 1	HU-01	Como administrador, quiero una estructura de datos unificada de la flota, para consolidar en un solo lugar la información técnica que hoy está dispersa.	Existen las entidades de personas, vehículos, dispositivos, telemetría y mantenimiento con sus relaciones.
Sprint 2	HU-02	Como usuario, quiero iniciar sesión de forma segura, para acceder únicamente a la información que me corresponde.	El ingreso valida las credenciales y entrega un token; sin token no hay acceso.
	HU-03	Como administrador, quiero asignar roles a cada usuario, para controlar lo que puede hacer dentro del sistema.	Cada operación de la API verifica el rol requerido antes de ejecutarse.
Sprint 3	HU-04	Como administrador, quiero registrar los vehículos y sus dispositivos, para mantener el inventario de la flota al día.	Se crea, edita y consulta cada unidad y su equipo telemático.

Continúa en la página siguiente

Continuación de la Tabla 1

Sprint	ID	Historia de usuario	Criterio de aceptación
	HU-05	Como propietario, quiero ver solo mis vehículos, para no acceder a las unidades de otros socios.	El propietario visualiza únicamente sus unidades y el conductor las que tiene asignadas.
Sprint 4	HU-06	Como propietario, quiero registrar el historial y programar el mantenimiento por kilometraje o tiempo, para dejar de depender de cuadernos.	Se registran órdenes con su costo y el sistema calcula el próximo vencimiento.
Sprint 5	HU-07	Como gerente, quiero que el sistema almacene la telemetría de cada bus, para consultar su estado y su historial.	Cada lectura recibida se persiste y queda disponible para consulta.
	HU-08	Como propietario, quiero recibir una alerta cuando se acerque un mantenimiento, para atenderlo antes de que ocurra la falla.	Al alcanzar el umbral de kilometraje se genera la predicción, la alerta y la notificación.
Sprint 6	HU-09	Como administrador, quiero que el sistema reciba los datos reales del dispositivo instalado, para operar con información verdadera.	La telemetría del dispositivo ingresa al servidor y se refleja en el tablero.
Sprint 7	HU-10	Como gerente, quiero que el sistema detecte comportamientos anómalos en la telemetría, para anticipar fallas que el kilometraje no prevé.	El modelo genera alertas de anomalía e indica el parámetro fuera de su rango normal.
	HU-11	Como propietario, quiero consultar el estado de mi flota desde el celular, para no depender de un computador.	La aplicación móvil muestra la información de las unidades y las alertas.

3.7 Métodos y técnicas de análisis de datos

Para el componente cuantitativo se utilizan dos tipos de análisis. El primero es descriptivo: medidas de tendencia central y dispersión aplicadas a los indicadores operativos de la flota durante el piloto —disponibilidad, tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación. El segundo es el

análisis de anomalías con Isolation Forest, que produce una puntuación de anomalía por registro de telemetría y permite identificar comportamientos fuera del patrón normal de cada vehículo.

Para el componente cualitativo se aplica análisis de contenido a las notas de observación, con el objetivo de identificar patrones en los procesos actuales y contrastarlos con las funcionalidades del sistema desarrollado.

Capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados

Los resultados que se presentan a continuación se organizan según los cuatro objetivos específicos que orientaron la investigación. Cada sección da cuenta de lo que se construyó, de cómo se comportó frente a datos reales de operación y de las limitaciones que impone una validación piloto. La evidencia central proviene de una unidad de la flota de la Cooperativa CIFA Internacional equipada con el dispositivo telemático durante la fase de campo, cuyos datos son reales y no producto de una simulación.

4.1 Diseño de la arquitectura tecnológica

El primer objetivo se cumplió con el diseño y la puesta en producción de la arquitectura del sistema. La solución quedó organizada en capas independientes que trabajan por separado. La primera es la de captura, formada por el dispositivo instalado en el vehículo; la segunda, la de ingesta, que recibe la telemetría por dos vías paralelas; la tercera, la de procesamiento, donde el servidor aplica la lógica de negocio y guarda la información; y la última, la de presentación, integrada por un tablero web y una aplicación móvil.

El procesamiento se resolvió como un único núcleo modular, con un módulo por cada dominio del negocio, entre ellos autenticación, vehículos, dispositivos, telemetría, mantenimiento, predicciones, alertas, notificaciones y auditoría. A ese núcleo lo acompaña un servicio de inteligencia artificial aparte, que se comunica con él mediante peticiones internas. Esa separación respondió a una razón concreta, y es que el componente de análisis está escrito en otro lenguaje y sigue su propio ciclo de entrenamiento, así que aislarlo simplificó tanto su desarrollo como su despliegue. Toda la plataforma corre como servicios en contenedores sobre un solo servidor, con el acceso cifrado y una base de datos que solo puede alcanzarse desde el interior del propio servidor. El resultado es una arquitectura verificable y no un diagrama teórico, porque el sistema está desplegado y operativo bajo un dominio propio.

4.2 Integración de la telemetría en tiempo real y el análisis predictivo

El segundo objetivo se validó con datos reales. Una de las unidades de la flota, un bus Bonluck del año 2017 con un odómetro cercano al millón y medio de kilómetros, se equipó con el dispositivo telemático y su adaptador para leer el bus del motor, y empezó a transmitir durante su operación diaria en rutas intercantonales e interprovinciales.

Durante la ventana de la fase de campo, la unidad envió **43,812 lecturas reales** de telemetría, todas acompañadas de la trama original del dispositivo, lo que descarta que se trate de datos sintéticos. La transmisión fue continua, con un promedio cercano a las doce mil lecturas por día, y en el 98,5, de los registros el motor estuvo encendido, lo que indica que la captura ocurrió durante la

operación y no con el vehículo detenido. La Tabla 2 resume las variables más relevantes del período.

Tabla 2

Resumen de la telemetría capturada en la unidad piloto

Indicador	Valor
Lecturas reales registradas	43 812
Lecturas con motor encendido	98,5 %
Distancia recorrida en el período	1 666 km
Velocidad promedio en marcha	64,2 km/h
Velocidad máxima registrada	126 km/h
Temperatura promedio del motor	70,7 °C
Régimen máximo del motor	3 239 RPM

Elaboración propia a partir de la telemetría de la unidad piloto.

Sobre esos datos reales se entrenó el modelo de detección de anomalías. A diferencia del enfoque por kilometraje, este componente no depende de umbrales fijos, sino que aprende el comportamiento normal de la unidad y marca los registros que se apartan de ese patrón. En el período evaluado identificó **ocho desviaciones**, siete de nivel de advertencia y una crítica, e indicó en cada caso cuál fue el parámetro que se salió de su rango habitual. La Tabla 3 detalla esos hallazgos.

Tabla 3

Anomalías detectadas por el modelo en la unidad piloto

N.º	Nivel	Parámetro fuera del rango normal
1	Crítico	Temperatura del motor y voltaje del sistema eléctrico (posible falla eléctrica)
2	Advertencia	Temperatura del motor por encima del rango
3	Advertencia	Régimen del motor y voltaje del sistema
4	Advertencia	Temperatura del motor y régimen del motor
5	Advertencia	Voltaje del sistema y régimen del motor
6	Advertencia	Temperatura del motor y voltaje del sistema
7	Advertencia	Régimen del motor por encima del rango
8	Advertencia	Temperatura del motor por debajo del rango

Elaboración propia. El modelo indica el parámetro anómalo y su rango normal aprendido.

Que el modelo no se limite a marcar la anomalía, sino que además nombre el parámetro responsable, es lo que lo vuelve útil para un usuario sin formación técnica, porque en lugar de un

puntaje abstracto entrega un motivo entendible. La anomalía crítica, por ejemplo, combinó una temperatura del motor y un voltaje del sistema fuera de lo esperado, un patrón que apunta a un problema eléctrico y que amerita revisión.

4.3 Implementación de la gestión del mantenimiento y las alertas

El tercer objetivo se materializó en los módulos que administran la vida técnica de la flota. El sistema reúne en un solo lugar el historial de cada vehículo, es decir, qué intervención se hizo, en qué fecha, con qué kilometraje y a qué costo, y permite programar el mantenimiento según el kilometraje acumulado o el tiempo transcurrido. Cada tipo de mantenimiento tiene sus propios intervalos, y a partir de la última orden registrada el sistema calcula cuándo vence el siguiente y avisa con anticipación.

Lo más importante de este objetivo no está en cada módulo por separado, sino en que el flujo completo quedó verificado con datos reales. Cuando llega una lectura de telemetría, el sistema evalúa el estado de la unidad, genera la predicción que corresponde, la convierte en una alerta con su nivel de severidad y la reparte como notificación a los responsables, que son el propietario y el conductor de la unidad afectada. Ese recorrido, desde el dispositivo en el vehículo hasta la notificación en manos del responsable, se comprobó de principio a fin durante la fase de campo, y no de manera aislada. A eso se suma el control de acceso por roles, que asegura que cada socio vea solamente la información de sus propias unidades, algo indispensable para que una cooperativa donde cada dueño administra sus buses acepte la plataforma.

4.4 Evaluación del desempeño mediante indicadores

El cuarto objetivo consistió en evaluar el desempeño del sistema mediante indicadores de gestión. La plataforma incluye una vista de desempeño por vehículo que calcula, a partir de la telemetría, un conjunto de indicadores repartidos en cuatro áreas. La primera es la utilización de la unidad, que abarca la distancia recorrida, las horas de operación, el tiempo en marcha y el tiempo detenido con el motor encendido; la segunda es el comportamiento de conducción; la tercera, el estado del motor y del sistema eléctrico; y la cuarta, una estimación del consumo de combustible con su costo por kilómetro. Estos indicadores no son teóricos, ya que se calculan sobre las lecturas reales de la unidad piloto y se muestran en un lenguaje que el personal administrativo puede entender.

Ahora bien, conviene ser preciso sobre el alcance de esta evaluación. La fase de campo se hizo sobre una sola unidad piloto y durante un período acotado, suficiente para demostrar que la captura, el procesamiento, la detección de anomalías y el cálculo de los indicadores funcionan con información verdadera, pero todavía no para cuantificar la reducción del tiempo de inactividad en toda la flota. El diagnóstico inicial dejó establecida una línea base de referencia, que es el promedio de días fuera de servicio por fallas no planificadas, y los indicadores necesarios para medir su variación quedaron instrumentados dentro del sistema. Medir ese impacto de forma consolidada

exige extender la operación a más unidades y a un horizonte de tiempo mayor, algo que se plantea como la continuidad natural del piloto.

4.5 Síntesis de los resultados

En conjunto, los resultados confirman que la propuesta es viable en condiciones reales. La arquitectura se diseñó y se puso en producción, la telemetría se integró y se validó con más de cuarenta y tres mil lecturas verdaderas, y el análisis predictivo detectó desviaciones reales y explicó su origen. La gestión del mantenimiento y el flujo de alertas operaron de extremo a extremo, y los indicadores de desempeño quedaron disponibles sobre datos reales. La respuesta a la pregunta de investigación se sostiene, entonces, en un sistema que efectivamente funciona, y no en una simple promesa.

Capítulo V: Propuesta de Investigación

5.1 Descripción general de la propuesta

La propuesta consiste en un sistema web de gestión predictiva de flotas y control de mantenimientos para la Cooperativa de Transportes CIFA Internacional. El sistema integra telemetría vehicular en tiempo real, análisis predictivo de anomalías e inteligencia artificial en una sola plataforma orientada a la operación diaria de la organización.

Los vehículos de la flota transmiten sus datos operativos a través de dispositivos Teltonika FMC150 conectados al bus CAN de cada unidad Bonluck mediante el adaptador ECAN02, que lee las señales J1939 por inducción sin intervenir el cableado original. El FMC150 captura posición GPS, velocidad, RPM, temperatura del refrigerante, nivel de combustible, voltajes y odómetro, y los transmite a través de la red 4G hacia el servidor de la plataforma. Toda esa información queda disponible en tiempo real para los administradores de la flota.

Además del monitoreo, el sistema gestiona el historial técnico de cada vehículo: mantenimientos realizados, programados y pendientes. Cuando un mantenimiento se acerca a su fecha de vencimiento o cuando el módulo de inteligencia artificial detecta un comportamiento anómalo en la telemetría, el sistema genera alertas automáticas y las distribuye a los responsables. El objetivo final es que la cooperativa pase de administrar su flota de forma reactiva a hacerlo con datos y con anticipación.

5.2 Arquitectura del sistema

La arquitectura sigue un modelo distribuido de cuatro capas. La primera capa corresponde a los vehículos: cada bus tiene un Teltonika FMC150 que, a través del adaptador ECAN02, captura los parámetros del bus CAN/J1939 y los transmite por la red celular 4G con SIM de Claro. La segunda capa es la de ingesta en el servidor, con dos puntos de entrada: el decodificador del protocolo nativo Teltonika —Codec 8 Extended sobre TCP— y el broker MQTT Mosquitto; ambos entregan los mensajes al backend desarrollado en NestJS. La tercera capa incluye los servicios de procesamiento: el backend gestiona la lógica de negocio y almacena la información en PostgreSQL mediante el ORM Prisma, mientras que un servicio Python independiente ejecuta el modelo de Isolation Forest para la detección de anomalías. La cuarta capa son los clientes: un dashboard web en React con visualización de mapas en Leaflet y una aplicación móvil híbrida construida con Capacitor para notificaciones.

La comunicación entre el backend y los clientes usa WebSocket para las actualizaciones en tiempo real y REST para las consultas y operaciones de gestión. La arquitectura permite escalabilidad horizontal: si la flota crece, se agregan dispositivos sin modificar la lógica central.

5.3 Diseño de la solución

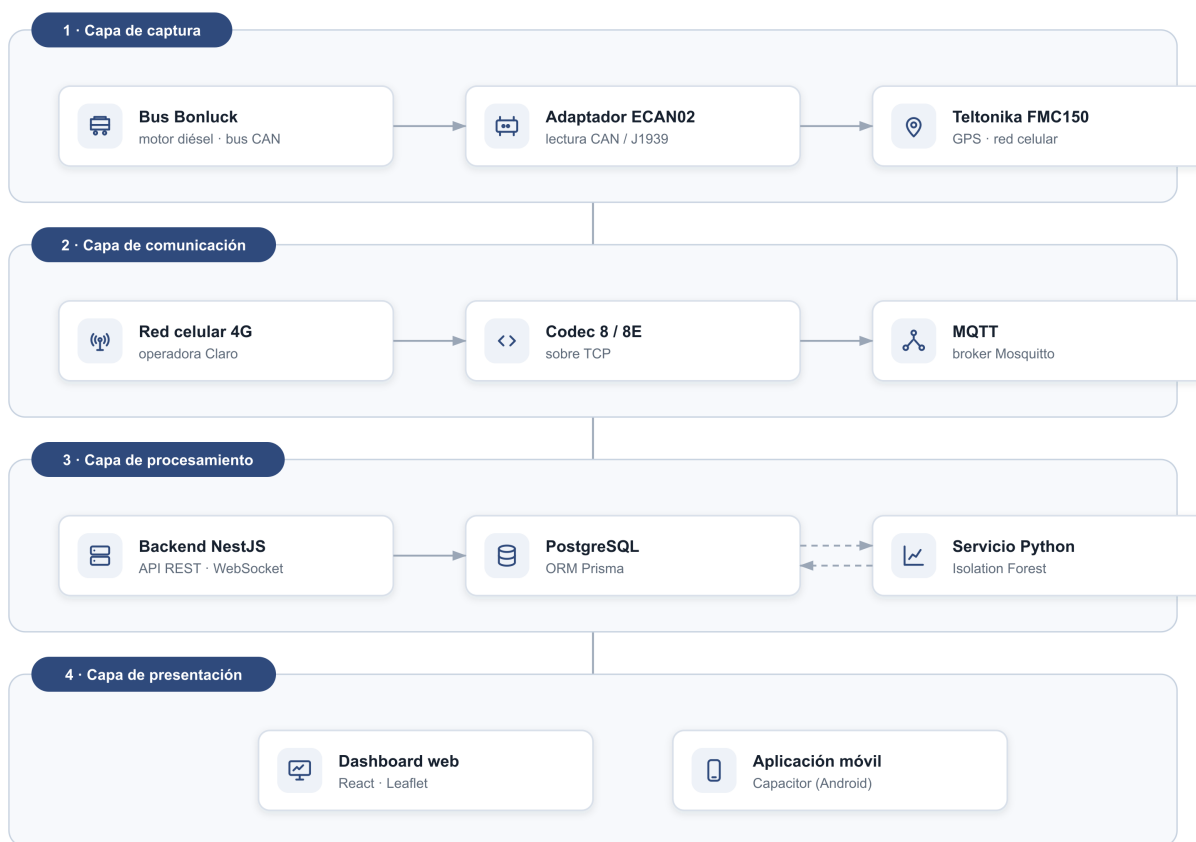
5.3.1 Arquitectura tecnológica

El stack tecnológico fue seleccionado considerando tres criterios: compatibilidad con el hardware telemático disponible, madurez del ecosistema y viabilidad de despliegue en producción dentro del contexto de la cooperativa.

- **Captura de datos:** Teltonika FMC150 con conectividad GPS 4G, conectado al bus CAN/J1939 de las unidades Bonluck a través del adaptador ECAN02. SIM de Claro para conectividad 4G en Ecuador.
- **Comunicación:** doble canal de ingesta en el servidor. El primero es el protocolo nativo de Teltonika, Codec 8 Extended sobre TCP, que es el formato con el que el FMC150 empaqueta y envía sus registros. El segundo es MQTT con broker Eclipse Mosquitto, con tópicos estructurados por identificador de vehículo.
- **Backend:** NestJS con TypeScript sobre Node.js. Gestiona los módulos de autenticación y roles, personas y usuarios, vehículos, dispositivos, telemetría, mantenimiento, predicciones, alertas, notificaciones y auditoría. Expone una API REST documentada con Swagger y un canal WebSocket para las actualizaciones en tiempo real.
- **Base de datos:** PostgreSQL con Prisma como ORM desde NestJS.
- **Inteligencia artificial:** el análisis predictivo opera en dos niveles. El primero es una regla determinística por intervalos de kilometraje integrada en el backend, que genera predicciones y alertas de mantenimiento a partir del odómetro. El segundo es un servicio Python con Scikit-Learn que implementa Isolation Forest: recibe datos de telemetría del backend por HTTP y devuelve puntuaciones de anomalía.
- **Frontend:** React con Vite y Tailwind CSS para el dashboard. Leaflet para la visualización geográfica de la flota en tiempo real.
- **Aplicación móvil:** desarrollo híbrido con Capacitor, que reutiliza la base de código React del dashboard y la empaqueta como aplicación nativa para dispositivos Android e iOS.

Figura 1

Arquitectura del sistema predictivo de gestión de flotas de la Cooperativa CIFA Internacional



Elaboración propia.

5.3.2 Diagrama de componentes

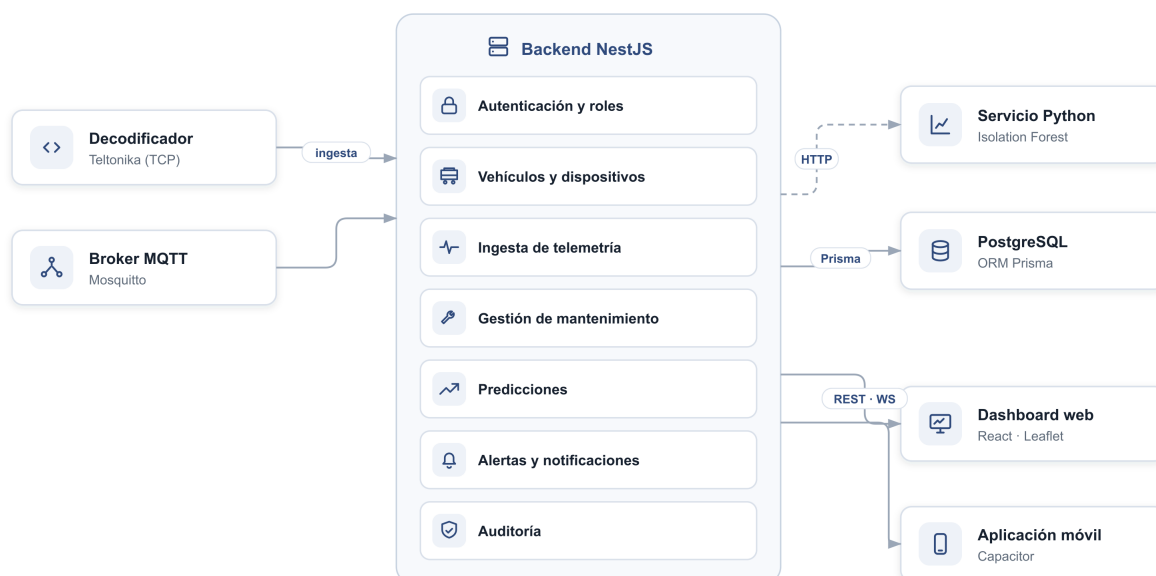
El sistema se organiza en los siguientes componentes:

- **Módulo IoT:** el Teltonika FMC150 transmite la telemetría del vehículo por el protocolo Codec 8 Extended sobre TCP o por MQTT. El decodificador Teltonika y el broker Mosquitto la reciben y la entregan al módulo de ingesta del backend.
- **Módulo de ingesta y telemetría:** recibe los datos de ambos canales, los valida, los persiste en PostgreSQL y dispara el análisis predictivo con cada lectura nueva.
- **Módulo de usuarios y roles:** gestiona la autenticación con JWT, las personas y usuarios del sistema, y los cuatro roles de acceso (administrador, gerente, propietario y conductor) con sus permisos por endpoint.
- **Módulo de vehículos y dispositivos:** gestiona el catálogo de unidades, el propietario

y conductor asignados, el estado operativo de cada bus y los equipos telemáticos instalados.

- **Módulo de mantenimiento:** almacena el historial técnico, programa intervenciones con su detalle de costos y genera alertas automáticas por kilometraje o tiempo.
- **Módulo de inteligencia artificial:** servicio Python independiente que aplica Isolation Forest sobre los datos de telemetría y retorna puntuaciones de anomalía al backend.
- **Módulo de alertas y notificaciones:** consolida las alertas generadas por el motor predictivo y las distribuye como notificaciones al propietario y conductor de cada unidad afectada.
- **Módulo de auditoría:** bitácora inmutable que registra las acciones relevantes del sistema con el usuario responsable, los datos anteriores y los nuevos.
- **Dashboard web:** interfaz React con mapa Leaflet, indicadores de flota, historial de telemetría, gestión de mantenimientos, panel de alertas y reportes descargables.
- **Aplicación móvil:** construida con Capacitor sobre la misma base React; recibe notificaciones push y permite consultar el estado de los vehículos y los mantenimientos desde dispositivos móviles.

Figura 2
Diagrama de componentes del sistema



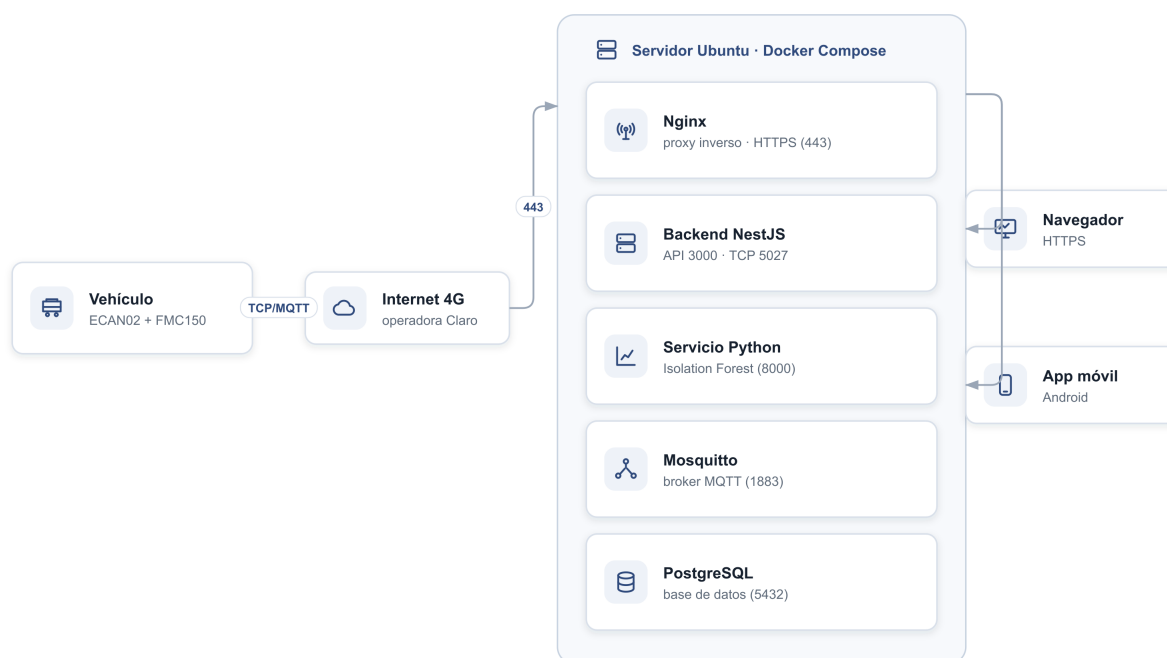
Elaboración propia.

5.3.3 Diagrama de despliegue

El sistema se despliega sobre un servidor Ubuntu usando Docker Compose. Los servicios que corren en producción son: Nginx como proxy inverso con certificado SSL, el servicio NestJS en el puerto 3000 —que además escucha en el puerto TCP 5027 el protocolo nativo de los dispositivos Teltonika—, el broker Mosquitto en el puerto 1883, el servicio Python en el puerto 8000, y PostgreSQL en el puerto 5432 con volumen persistente para los datos, expuesto únicamente en la interfaz local del servidor y accesible desde el exterior solo mediante túnel SSH.

Los dispositivos FMC150 en los vehículos se comunican con el servidor por internet a través de la SIM 4G de Claro. Los usuarios acceden al dashboard por HTTPS (puerto 443) desde el navegador o la aplicación móvil desde cualquier punto con conexión a internet.

Figura 3
Diagrama de despliegue del sistema



Elaboración propia.

5.4 Diseño de base de datos

La base de datos sigue un modelo relacional implementado en PostgreSQL, administrado desde el backend con el ORM Prisma. El esquema tiene trece entidades. El núcleo de gestión lo forman *Personas*, *Usuarios*, *Roles* y *UsuarioRoles*: cada usuario del sistema está vinculado a una persona con cédula única y puede tener uno o varios roles activos. No existe una entidad separada de conductores: tanto los propietarios como los conductores son usuarios del sistema, y cada vehículo los referencia directamente. Ese diseño refleja la realidad de la cooperativa, donde cada socio es dueño de sus unidades y necesita ver la información de su flota, no la de los demás.

El área operativa la componen *Vehículos* (placa, marca, modelo, año, tipo de combustible, odómetro inicial y número de disco), *EstadosOperativos* como catálogo, *DispositivosIoT* —el equipo telemático instalado en cada unidad— y *Lecturas*, la tabla de telemetría que almacena cada transmisión del FMC150. El área de mantenimiento incluye *TiposMantenimiento* (con intervalos por kilometraje y por días), *ÓrdenesMantenimiento* con su *DetalleÓrdenes* de costos, *Predicciones*, *Alertas* y *Notificaciones*. Completa el esquema *AuditoríaLogs*, una bitácora que registra las acciones relevantes con sus datos anteriores y nuevos.

La entidad de lecturas es la de mayor volumen: cada bus genera múltiples registros por

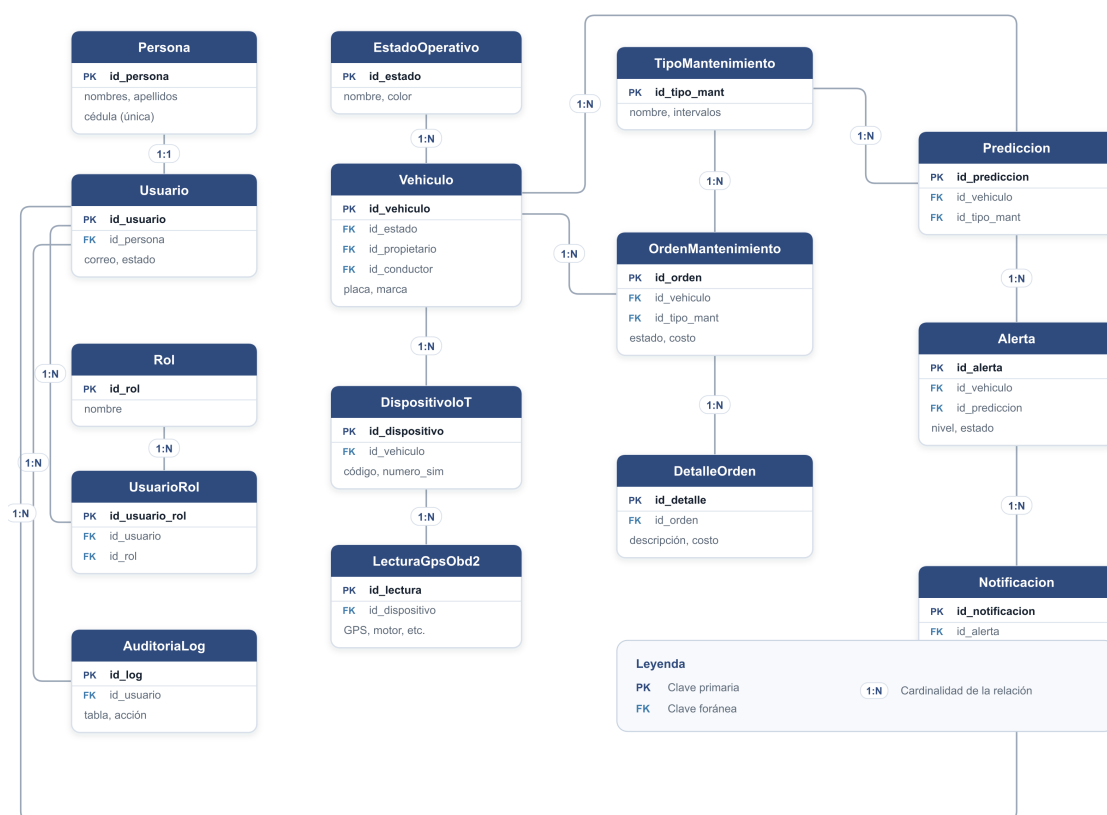
minuto durante su operación, con más de cuarenta campos por lectura —posición, velocidad, RPM, temperatura, voltajes, nivel de combustible, odómetro, eventos de conducción brusca y calidad de señal GSM, entre otros. Es una tabla de solo inserción: las lecturas nunca se actualizan ni se eliminan, igual que los registros de auditoría. El diseño contempla índices sobre el dispositivo y la marca de tiempo en esa tabla para garantizar un rendimiento adecuado en las consultas históricas y en el análisis predictivo.

5.5 Control de acceso por roles

El sistema define cuatro roles, que son administrador, gerente, propietario y conductor. La autenticación se apoya en tokens JWT, y cada petición a la API pasa por dos verificaciones, una que comprueba que el token sea válido y otra que confirma que el rol del usuario tenga permiso sobre el recurso solicitado.

La parte menos visible, aunque más importante para la cooperativa, es el filtrado por alcance. Un administrador o un gerente ven la flota completa, mientras que un propietario solo ve los vehículos registrados a su nombre y un conductor únicamente las unidades que tiene asignadas. Ese filtrado no se hace en la interfaz, sino en el servidor, sobre cada consulta de vehículos, lecturas, alertas y órdenes de mantenimiento, de manera que ningún usuario puede llegar a datos ajenos aunque manipule las peticiones. En una organización donde cada socio es dueño de sus propias unidades, esa separación va más allá de un detalle técnico, porque es una condición para que la plataforma llegue a ser aceptada.

Figura 4
Modelo entidad-relación de la base de datos del sistema



Elaboración propia.

5.6 Módulo de monitoreo

El módulo de monitoreo centraliza la supervisión en tiempo real de toda la flota. Su función principal es mostrar en un mapa interactivo dónde está en ese momento cada bus, con un indicador de estado que cambia según los parámetros operativos que llegan del FMC150.

Entre las variables que pueden verse en tiempo real están la velocidad, las RPM, la temperatura del refrigerante, el nivel de combustible, los voltajes del sistema eléctrico y los eventos de conducción, como las frenadas y aceleraciones bruscas, que provienen del bus CAN/J1939 y de los sensores del propio dispositivo. El módulo, además, genera y guarda el historial de recorridos de cada unidad, de modo que se puede revisar después la ruta que siguió un vehículo en cualquier momento del día.

Cuando un parámetro supera los umbrales configurados, por ejemplo una temperatura del motor demasiado alta, unas RPM fuera del rango normal o un comportamiento anómalo en la telemetría, el módulo avisa al operador sin esperar a que el conductor reporte el problema. Esa diferencia es la que convierte al monitoreo en una herramienta de prevención, y no apenas de rastreo.

5.7 Módulo de mantenimiento

El módulo de mantenimiento es el registro técnico centralizado de la flota. Guarda el historial completo de cada vehículo, es decir, qué intervención se hizo, en qué fecha, con cuántos kilómetros y a qué costo. Esa información, que hoy está dispersa en los documentos físicos de cada socio, queda disponible en un solo lugar para toda la organización.

La programación de mantenimientos puede hacerse con dos criterios, el kilometraje acumulado o el tiempo transcurrido desde la última intervención. Cada tipo de mantenimiento define sus propios intervalos, y el sistema calcula el próximo vencimiento a partir de la última orden registrada para ese vehículo o, si no hay ninguna, del odómetro inicial de la unidad. Cuando un mantenimiento se acerca a su vencimiento, el sistema lo señala con anticipación y envía alertas a los responsables antes de que el plazo se incumpla.

El módulo también maneja los mantenimientos correctivos, y registra el kilometraje, el detalle de los trabajos y el costo de cada intervención imprevista junto al historial preventivo. Ese historial único por vehículo es la base que después alimenta el análisis predictivo.

5.8 Módulo de inteligencia artificial

El análisis predictivo del sistema trabaja en dos niveles. El primero ya está integrado en el backend y es determinístico. Cada vez que llega una lectura con odómetro, el sistema calcula cuántos kilómetros faltan para el próximo mantenimiento de cada tipo, tomando como base la última orden registrada del vehículo, y cuando esa distancia baja del umbral configurado genera de forma automática una predicción, la alerta correspondiente con su nivel de severidad y las notificaciones para el propietario y el conductor de la unidad. Este nivel no necesita entrenamiento y funciona desde el primer día de operación.

El segundo nivel es el modelo de detección de anomalías con Isolation Forest, un algoritmo no supervisado implementado con Scikit-Learn en un servicio Python independiente. El proceso funciona así: el backend envía periódicamente al servicio un lote de registros de telemetría de cada vehículo, el servicio aplica el modelo —entrenado sobre el historial de operación normal de cada unidad— y devuelve una puntuación de anomalía por registro. Cuando esa puntuación supera el umbral definido, se genera una alerta predictiva. A diferencia del primer nivel, este modelo necesita datos de operación real para entrenarse, por lo que su puesta en marcha está prevista con las lecturas capturadas por el FMC150 durante la fase piloto.

La ventaja de Isolation Forest sobre otros algoritmos es que no necesita datos etiquetados de fallas para funcionar. En el caso de la CIFA Internacional, donde ese tipo de datos no existe, eso no es un detalle menor: es lo que hace viable el módulo.

5.9 Dashboard web

El dashboard web es la interfaz principal del sistema. Está construido en React con Vite y Tailwind CSS, y se estructura en cuatro vistas principales.

La primera es el mapa de flota en tiempo real: un panel Leaflet con la posición actual de todos los buses, indicadores de estado por colores y acceso al detalle de cada unidad con un clic. La segunda es el panel de mantenimientos: resumen de intervenciones próximas, vencidas y en curso, con acceso al historial técnico de cada vehículo. La tercera es el panel de alertas: todas las alertas activas —tanto las de mantenimiento como las predictivas del módulo de IA— ordenadas por severidad y fecha. La cuarta es el módulo de reportes: generación de informes descargables en PDF o CSV sobre recorridos, mantenimientos, consumo de combustible y eventos de telemetría por período.

La interfaz se diseñó con criterios de usabilidad orientados a usuarios que no necesariamente tienen formación técnica: el personal administrativo de la cooperativa debe poder consultar el estado de la flota y gestionar mantenimientos sin necesitar conocimientos de programación.

5.10 Aplicación móvil

La aplicación móvil complementa el dashboard sin reemplazarlo. Está desarrollada con Capacitor, un framework que permite reutilizar la misma base de código React del dashboard y empaquetarla como aplicación nativa para Android e iOS, con acceso a las capacidades del dispositivo como las notificaciones push. Su propósito es garantizar que los responsables de la flota reciban las alertas críticas dondequiera que estén, sin tener que estar frente a un computador.

Los usuarios reciben notificaciones push cuando el sistema detecta una anomalía, cuando un mantenimiento vence o cuando se registra un código de diagnóstico activo en algún vehículo. Desde la aplicación también pueden consultar el estado actual de la flota, revisar mantenimientos programados y reportar novedades operativas.

5.11 Validación de la propuesta

La validación se realizará en dos etapas. La primera es funcional: verificar que el sistema hace lo que dice que hace —que los datos llegan del FMC150 al dashboard, que los mantenimientos se registran correctamente, que las alertas se generan y distribuyen como se diseñó. Esta etapa se completa durante la fase de desarrollo con pruebas unitarias, de integración y con datos simulados.

La segunda etapa es la implementación piloto en la cooperativa. Un conjunto de unidades de la flota se equipa con el Teltonika FMC150 y el adaptador ECAN02, el sistema entra en operación real, mientras se recopilan los datos necesarios para evaluar su desempeño. Los indicadores de evaluación son: disponibilidad vehicular de las unidades piloto, número de alertas predictivas generadas y verificadas, cumplimiento del plan de mantenimientos programados y tiempo de inactividad no planificado comparado con el período anterior.

Cronograma de actividades

El proyecto se desarrolló entre finales de abril y julio de 2026, a partir de la primera tutoría realizada el 27 de abril. El trabajo se distribuyó en las cuatro fases de la investigación y en las siete iteraciones de desarrollo, de modo que cada mes concentró un conjunto definido de tareas con entregables verificables. La Tabla 4 resume esa distribución.

Tabla 4
Cronograma de actividades del proyecto

Actividad	Abril	Mayo	Junio	Julio
Definición del tema y planteamiento del problema	X			
Levantamiento de requerimientos: entrevistas y observación	X	X		
Diseño de la arquitectura y del modelo de datos		X		
Desarrollo — Sprints 1 y 2 (modelo de datos, autenticación y roles)		X		
Desarrollo — Sprints 3 y 4 (vehículos, dispositivos y mantenimiento)		X	X	
Desarrollo — Sprint 5 (telemetría y motor de alertas)			X	
Desarrollo — Sprint 6 (integración con hardware y despliegue)			X	X
Instalación del dispositivo y fase piloto en la cooperativa				X
Desarrollo — Sprint 7 (módulo predictivo y aplicación móvil)				X
Análisis de resultados y redacción del documento final			X	X

Elaboración propia. El proyecto inició el 27 de abril de 2026.

Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo responden, una por una, a los objetivos específicos que lo orientaron.

Respecto al diseño de la arquitectura tecnológica, se concluye que fue posible construir una solución en capas, con un núcleo modular y un servicio de análisis independiente, y llevarla más allá del plano teórico hasta ponerla en producción. La plataforma no se quedó en un prototipo de laboratorio, ya que se ejecuta sobre un servidor real, con acceso cifrado y bajo un dominio propio, lo que demuestra que la propuesta es técnicamente viable en un entorno operativo.

En cuanto a la integración de la telemetría y el análisis predictivo, se concluye que capturar los datos del vehículo en tiempo real es factible y confiable. La unidad piloto transmitió 43,812 lecturas reales durante su operación, con información del motor tomada directamente del bus del vehículo, y sobre esos datos el modelo de detección de anomalías identificó ocho desviaciones respecto al comportamiento normal, señalando en cada caso el parámetro responsable. Ese resultado confirma que el enfoque no supervisado es el adecuado para una organización que, como la cooperativa, no cuenta con un historial de fallas etiquetadas.

Sobre la implementación de la gestión del mantenimiento y las alertas, se concluye que el sistema cumple su propósito de reemplazar los registros dispersos en papel por un historial técnico centralizado, con programación por kilometraje o por tiempo y con generación automática de avisos. Lo más valioso es que el recorrido completo, desde la lectura del dispositivo hasta la notificación del responsable, se verificó de extremo a extremo con datos reales, y no como piezas sueltas.

Con relación a la evaluación del desempeño, se concluye que los indicadores de gestión quedaron instrumentados y operativos sobre datos reales, y que la fase de campo validó el funcionamiento integral de la solución. Aun así, corresponde reconocer con honestidad que cuantificar el impacto sobre la reducción del tiempo de inactividad exige extender la operación a más unidades y a un horizonte de tiempo mayor. La línea base quedó establecida, y los medios para medir su variación quedaron dispuestos dentro del sistema.

En síntesis, y respondiendo a la pregunta de investigación, se concluye que sí es factible diseñar e implementar un sistema web que integre el monitoreo del Internet de las Cosas en tiempo real, el análisis predictivo de fallas y la gestión automatizada del mantenimiento. La arquitectura se construyó, se desplegó y se validó con datos reales de una unidad en servicio, lo que sienta las bases tecnológicas para reducir la inactividad y mejorar la disponibilidad de la flota de la Cooperativa CIFA Internacional.

Recomendaciones

A partir de lo aprendido durante el desarrollo y la fase de campo, se plantean las siguientes recomendaciones.

- Extender la implementación a un conjunto más amplio de unidades y prolongar el período de operación, de manera que los indicadores de disponibilidad y de inactividad entreguen una medición consolidada del impacto y no solo una validación funcional. La cooperativa dispone de una flota considerable, lo que ofrece un escenario propicio para esa ampliación.
- Activar en el dispositivo la lectura de la tasa de consumo de combustible, con el fin de sustituir la estimación actual, calculada a partir del nivel del tanque, por una medición directa que precise aún más el costo por kilómetro.
- Acompañar el despliegue con un plan de capacitación al personal administrativo y operativo, y con la elaboración de un manual de uso, ya que la adopción efectiva de la herramienta depende tanto de su funcionamiento como de la familiaridad de quienes la operan.

Referencias

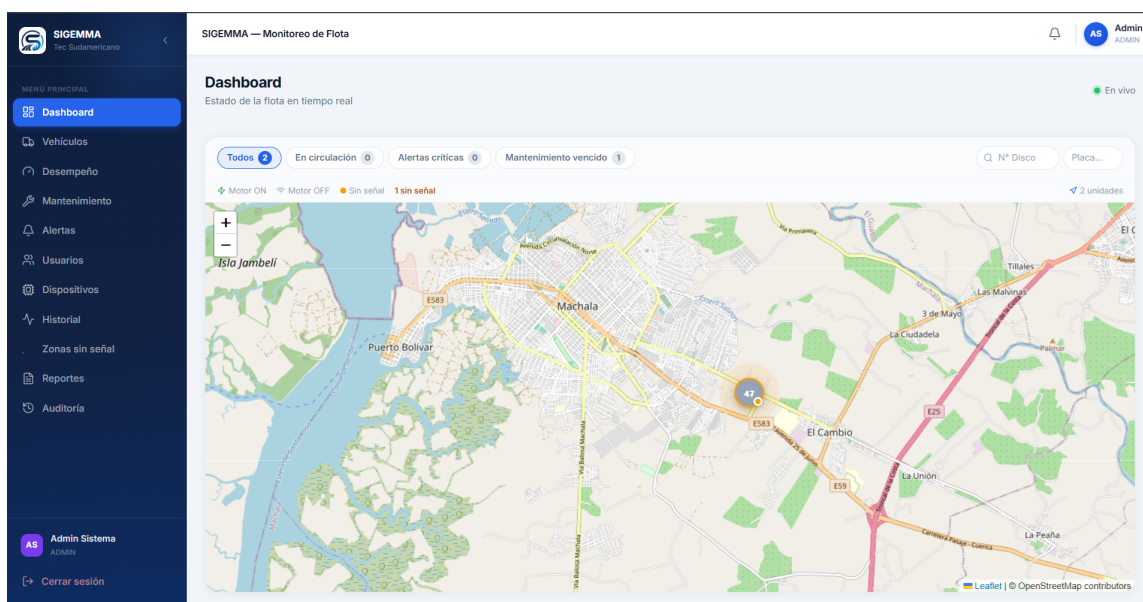
- Álvarez Calvo, R. F. (2025). La IA y el Machine Learning aplicada a la ingeniería industrial a favor de la mejora en la gestión de operaciones. *Rhombus*, 5(Especial).
- Arizaga Mondragón, J. A., & Arizaga Ricaurte, J. I. (2024). Impacto de la inteligencia artificial en la gestión de mantenimiento predictivo en la industria. *Iberoamerican Journal of Engineering & Technology Studies*, 4(2). <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v4i2.644>
- Cavus, M., Dissanayake, D., & Bell, M. (2025). Next Generation of Electric Vehicles: AI-Driven Approaches for Predictive Maintenance and Battery Management. *Energies*, 18(5), 1041. <https://doi.org/10.3390/en18051041>
- Enríquez Torres, W. G. (2025). Propuesta de monitoreo en tiempo real de variables en un grupo electrógeno mediante la implementación de tecnología 4.0.), 6(1). <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i1.598>
- Flores-Cortez, O. O., & Gonzales Crespín, B. (2023). Aplicación de tecnologías IoT en el control y seguimiento de transporte de carga terrestre. *Revista Minerva*, 6(1), 43-56. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v6i1.16416>
- Gualapuro Sánchez, J. S., Trujillo Ronquillo, D. F., & Morales Tamayo, Y. (2025). Aplicaciones del internet de las cosas (IoT) en la industria electromecánica para la recolección, análisis y monitoreo en tiempo real. *Revista Ingenio Global*, 4(1), 88-104. <https://doi.org/10.62943/rig.v4n1.2025.163>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Naim, S. W., Nangraj, S. S., Khan, A. H., Hassan, S. M., & Ashraf, S. N. (2025). Reengineering Logistics and Fleet Management: Integration of GPS, AI, and Predictive Maintenance. *The Asian Bulletin of Big Data Management*, 5(2). <https://doi.org/10.62019/abbdm.v5i2.321>
- Nalla, N. R. (2025). Predictive Maintenance in Fleet Management: Analyzing Audio Data for Hazard Detection. *Journal of Electrical Systems*, 21(1s), 132-136.
- Toalombo-Vargas, V. M. (2021). Intelligent Transport Systems: Different Applications for Land Transport. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM*, 1(1), 195-212. <https://doi.org/10.18502/espoch.v1i1.9556>
- Vira, G., Yeap, T., & Kiringa, I. (2026). Predictive Maintenance by the Unsupervised Clustering of Gradual Faults in a Fleet of IoT-based Public Buses. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 22(1), 1-31. <https://doi.org/10.1145/3773280>

Apéndice

Este apartado reúne las evidencias visuales del sistema en funcionamiento durante la fase de campo. Cada anexo corresponde a una captura real de la plataforma en operación con los datos de la unidad piloto.

Anexo 1

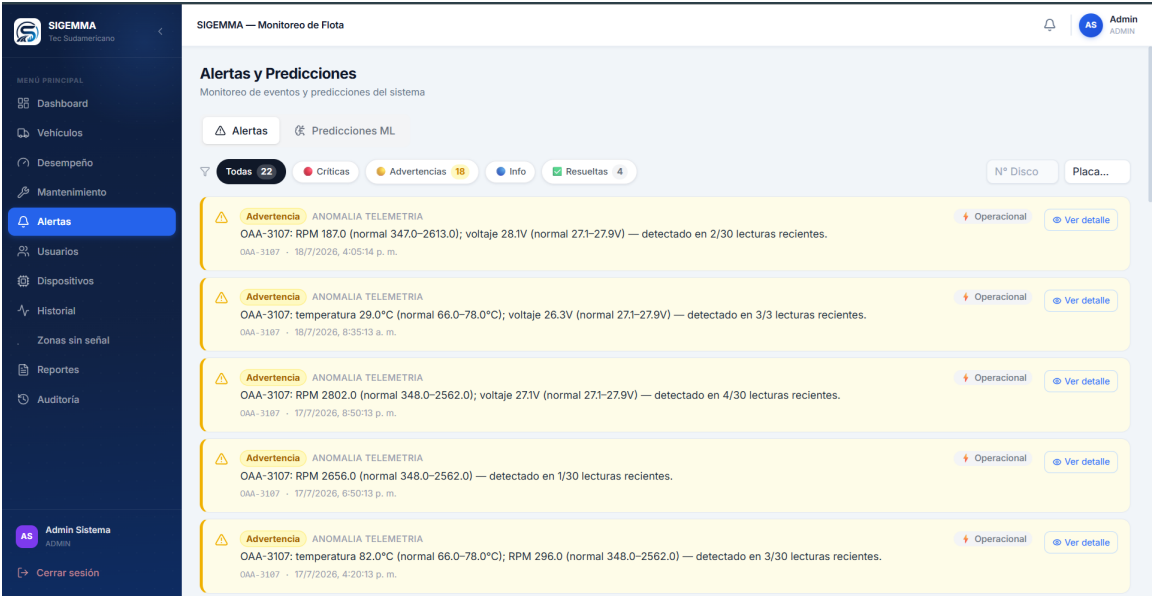
Tablero web con el mapa de la flota en tiempo real



Elaboración propia.

Anexo 2

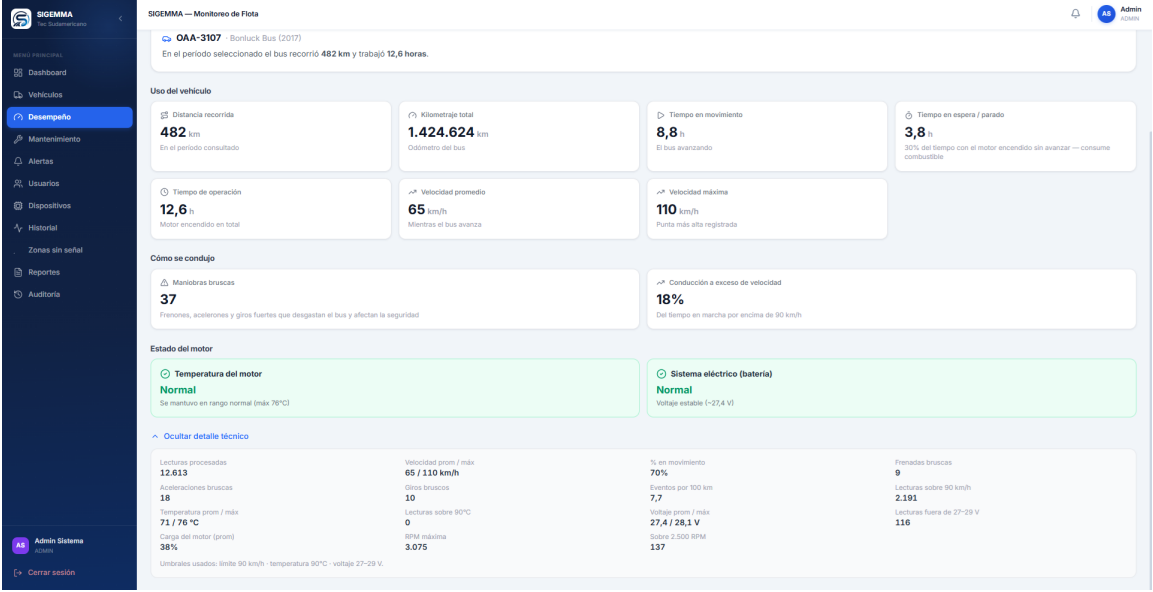
Panel de alertas con las anomalías detectadas por el modelo



Elaboración propia.

Anexo 3

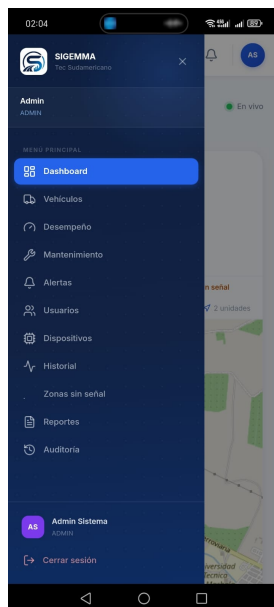
Vista de desempeño de la unidad piloto



Elaboración propia.

Anexo 4

Aplicación móvil del sistema



Elaboración propia.