



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INTERNET DE LAS COSAS

PROYECTO TERMINAL

**Sistema IoT de Geolocalización y Control Logístico
para Empresas de Materiales.**

**Para obtener el grado de
Maestro en Internet de las Cosas**

PRESENTA

L.P. y D.R. Jorge Luis Vega Licona
Director

Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla
Codirector

Dr. Sócrates López Pérez

Comité tutorial

Mtro. Gonzalo Alberto Torres Samperio
Mtra. Krista Amairany Osorio Monroy
Mtro. Melecio Sánchez Ruiz
Mtro. Victor Alberto Pérez Jiménez

Mineral de la Reforma, Hgo., a 12 de mayo de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Computación y Electrónica

Mineral de la Reforma, Hgo., a 12 de mayo de 2026

No. De Control: ICBI-AACyE/390/2026

Asunto: Autorización de impresión

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UA EH

El Comité Tutorial del **PROYECTO TERMINAL** del programa educativo de posgrado titulado **"SISTEMA IOT DE GEOLOCALIZACIÓN Y CONTROL LOGÍSTICO PARA EMPRESAS DE MATERIALES"**, realizado por el sustentante **JORGE LUIS VEGA LICONA** con número de cuenta **260822** perteneciente al programa de **MAESTRÍA EN INTERNET DE LAS COSAS**, una vez que se ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

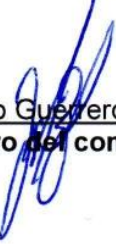
El Comité Tutorial


Mtro. Gonzalo Alberto Torres Sampedro
Miembro del comité


Mtra. Krista Amairany Osorio Monroy
Miembro del comité


Mtro. Melecio Sánchez Ruiz
Miembro del comité


Mtro. Víctor Alberto Pérez Jiménez
Miembro del comité


Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla
Miembro del comité


Dr. Sócrates López Pérez
Miembro del comité

C.c.p. Archivo
MSR

"Amor, Orden y Progreso"



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40052, 40053
aacye_icbi@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

DEDICATORIA

A mi familia, por su respaldo incondicional en cada etapa de mi formación.

A mi pareja, por su apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de este camino.

A mi hijo, por ser la razón que impulsa cada uno de mis esfuerzos y por recordarme diariamente el valor de seguir creciendo.

Este trabajo está dedicado a ustedes.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino, he contado con el apoyo y la guía de personas cuya contribución ha sido invaluable para la realización de este proyecto terminal.

En primer lugar, agradezco profundamente a los maestros y doctores por su orientación, paciencia y conocimientos compartidos durante este proceso. Su experiencia y compromiso han sido un pilar fundamental para superar los retos que surgieron en el desarrollo del proyecto.

A mi familia, quienes han sido mi soporte emocional y fuente de inspiración en cada etapa de este recorrido. Gracias por su paciencia, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por apoyarme sin reservas mientras perseguía este sueño. A mi bebé Elías y mi señora Dani, quienes con su risa y su apoyo llenó mis días de energía y me recordó lo importante que es luchar por construir un mejor futuro. Ustedes son mi motor y mi mayor motivación para seguir adelante.

A mis amigos, quienes estuvieron presentes en cada paso de este viaje, con sus palabras de aliento, su disposición para escuchar y su ayuda desinteresada. Las largas pláticas, los momentos de desahogo fueron esenciales para mantenerme firme en los momentos de incertidumbre. Su compañía no solo hizo más llevadero este proceso, sino que también me refuerza el verdadero valor de la amistad.

Gracias hasta el cielo a las personas que ya no están conmigo, pero me apoyaron durante este largo y arduo camino, siempre llevo conmigo los aprendizajes que me dieron y los grandes consejos que recibí de su parte.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, influyeron en mi formación y en la culminación de este logro. Cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo dejaron una marca profunda en mi vida, y este proyecto no habría sido posible sin la suma de todas estas contribuciones.

¡Gracias infinitas a todos ustedes por ser parte de esta historia!

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE IMÁGENES	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 INTRODUCCIÓN	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.3 ORIGINALIDAD	16
1.4 IMPACTO	16
1.5 OBJETIVO GENERAL	16
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.7 ALCANCE DEL PROYECTO	17
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 PROTOTIPOS DENTRO DEL IoT	19
2.3 INDUSTRIA GPS	20
2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES	21
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	24
3.1 INTRODUCCIÓN	24
3.2 IoT	24
3.2.1 <i>Arquitectura del IoT</i>	25
3.3 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PRINCIPALES EN RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN).	26

3.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.	28
3.5 PRINCIPALES PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN USADOS EN WSN/IOT.	30
3.6 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	30
3.7 IOT EN LOGÍSTICA	31
3.8 RASTREO Y GESTIÓN LOGÍSTICA.....	32
3.9 SÍNTESIS DEL MARCO TEÓRICO	33
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	34
4.1 INTRODUCCIÓN	34
4.2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
4.3 TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES PARA SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y CONTROL LOGÍSTICO PARA EMPRESAS DE MATERIALES.....	35
4.3.1 <i>Desarrollo del prototipo de la aplicación</i>	36
4.3.2 <i>Integración con el sistema IoT</i>	36
4.3.3 <i>Tecnologías utilizadas</i>	36
4.4 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN USADO EN EL PROYECTO INTEGRADOR.....	37
CAPÍTULO V. DESARROLLO DE PROYECTO TERMINAL	41
5.1 INTRODUCCIÓN	41
5.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO	41
5.3 DESARROLLO DEL PROTOTIPO	42
5.3.1. <i>Desarrollo de Hardware</i>	42
5.3.2. <i>Desarrollo de Software</i>	43
5.4 PRUEBAS DEL SISTEMA.....	43
5.4.1 <i>Pruebas del prototipo físico</i>	44
5.4.2 <i>Pruebas de la aplicación móvil</i>	45
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
6.1 INTRODUCCIÓN	47
6.2 PRECISIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA GPS	47
6.3 TRANSMISIÓN Y LATENCIA DE DATOS	47

6.4 FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN MÓVIL	48
6.5 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN CONDICIONES REALES	52
6.5.1 CONFIGURACIÓN DE RUTAS EN EL SISTEMA.....	52
6.5.2 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN CONDICIONES REALES	54
6.6 IMPACTO EN LA EFICIENCIA OPERATIVA	59
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
7.1 INTRODUCCIÓN	64
7.2 CONCLUSIÓN EN FUNCIÓN DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	64
7.3 <i>Aplicabilidad del sistema en entornos reales</i>	65
7.4 <i>Áreas de mejora del sistema</i>	67
7.5 <i>Trabajo futuro y líneas de investigación</i>	68
ANEXOS.....	69
A1. CÓDIGO DEL IDE DE ARDUINO.....	69
A.2 MOCKUP DISEÑO DE APP	73
A.3 MODELO DE NEGOCIO.....	74
A.4 PLAN DE CALIDAD	75
A.4.1 POLÍTICA DE CALIDAD	75
A.4.2 OBJETIVO DE CALIDAD	76
A.4.3 LISTADO DE ESTÁNDARES O NORMAS APLICABLES AL PROYECTO	76
A.4.4 MÉTRICAS DEL PROYECTO	76
A.4.5 PROGRAMA DE CALIDAD	77
A.5 ACCESO AL SISTEMA DESARROLLADO	77
REFERENCIAS	79

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. Arquitectura IoT</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 2. Módulo A9G parte frontal</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 3. Módulo A9G parte posterior</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 4. Diagrama de flujo del envío de datos del dispositivo a la nube</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 5. Diagrama de flujo de la interacción de la aplicación con la base de datos</i>	<i>40</i>
<i>Imagen 6. Prototipo</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 7. Registro de datos de geolocalización en Mongo</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 8. Colecciones creadas en MongoDB</i>	<i>45</i>
<i>Imagen 9. Captura del backend, MongoDB mostrando datos recibidos</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 10. Captura del backend, consola mostrando datos recibidos</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 11. Visualización geográfica de unidades en el dashboard de la aplicación ConstruGPS....</i>	<i>49</i>
<i>Imagen 12. Estado de rutas asignadas por unidad.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 13. Interfaz de generación de reportes en la aplicación ConstruGPS.</i>	<i>51</i>
<i>Imagen 14. Interfaz de generación de rutas en la aplicación ConstruGPS</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 15. Creación ruta muestra en la aplicación ConstruGPS.....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 16. Puntos ruta en dashboard muestra en la aplicación ConstruGPS.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 17. Punto de partida muestra en la aplicación ConstruGPS.....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 18. Comparación espacial entre ruta con recomendación y ruta sin recomendación en escenario de prueba simulado</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 19. Reporte de rutas recorridas por unidad en el sistema ConstruGPS.....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 20. Reporte de datos operativos de unidades en el sistema ConstruGPS.....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 21. Diseño en Figma</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 22. Usuario Ideal</i>	<i>74</i>
<i>Imagen 23. Business Model Canvas (BMC)</i>	<i>75</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparativa de Soluciones de Monitoreo de Flotas</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2. Comparación de propuestas académicas basadas en IoT para rastreo vehicular</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3. Comparación de recorrido simulado</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4. Evaluación del impacto en la eficiencia operativa derivado del uso del sistema ConstruGPS</i>	<i>60</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

- IoT - Internet of Things (Internet de las Cosas)
- WSN - Wireless Sensor Network (Red de Sensores Inalámbricos)
- WiFi - Wireless Fidelity
- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
- TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol
- HTTP - Hypertext Transfer Protocol
- SMTP - Simple Mail Transfer Protocol
- DNS - Domain Name System
- MQTT - Message Queuing Telemetry Transport
- CoAP - Constrained Application Protocol
- GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
- API - Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
- LAN - Local Area Network (Red de Área Local)
- WAN - Wide Area Network (Red de Área Amplia)
- LTE - Long-Term Evolution (Evolución a Largo Plazo)
- GPRS - General Packet Radio Service (Servicio General de Radio por Paquetes)
- LORA - Long Range (Larga Distancia, en referencia a LoraWAN)
- VPN - Virtual Private Network (Red Privada Virtual)
- NFC - Near Field Communication (Comunicación de Campo Cercano)
- RFID - Radio Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia)
- 3G/4G/5G - Third/Fourth/Fifth Generation (Tercera/Cuarta/Quinta Generación, en referencia a las redes móviles)
- XML - eXtensible Markup Language (Lenguaje de Marcado Extensible)
- JSON - JavaScript Object Notation (Notación de Objetos de JavaScript)
- HTTPS - Hypertext Transfer Protocol Secure (Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto)
- GSM - Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema basado en un módulo Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para el seguimiento en tiempo real de unidades de empresas distribuidoras de materiales. A través de la integración del IoT, se busca mejorar la eficiencia logística, optimizar rutas y fortalecer la transparencia en la operación.

El sistema integra una aplicación que permite la gestión de usuarios y unidades, la visualización geográfica de los vehículos, la asignación y seguimiento de rutas, así como la generación de reportes operativos. Mediante el uso de datos de geolocalización en tiempo real, se facilita la supervisión de las unidades y la toma de decisiones, lo que puede traducirse en una mejor utilización de los vehículos, reducción de costos operativos y mayor eficiencia en la distribución.

Palabras clave: IoT, GPS, NoSQL, JavaScript, Node.js, Arduino, MongoDB.

ABSTRACT

The objective of this project is to develop a system based on a Global Positioning System (GPS) module for real-time tracking of vehicles used by material distribution companies. Through the integration of the Internet of Things (IoT), the system seeks to improve logistical efficiency, optimize routes, and enhance operational transparency.

The system integrates an application that enables user and vehicle management, geographic visualization of units, route assignment and tracking, as well as the generation of operational reports. By leveraging real-time geolocation data, the system facilitates vehicle monitoring and supports decision-making processes, which can lead to improved vehicle utilization, reduced operational costs, and increased efficiency in distribution.

Keywords: IoT, GPS, NoSQL, JavaScript, Node.js, Arduino, MongoDB.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el IoT ha revolucionado la forma en que interactuamos con dispositivos en red, dando mayor acceso a la información, permitiendo así un crecimiento acelerado y a su vez un mar de posibilidades hacia donde se podrían ir las siguientes mejoras en los procesos.

Tomando en cuenta lo anterior, actualmente se cuentan con diferentes plataformas que apoyan a las empresas a conocer la ubicación de las unidades, gestionar las unidades, así como marcar las zonas de entregas. Dentro de la diversidad de posibles aplicaciones, destacan aquellas que se basan en la geolocalización de dispositivos GPS conectados de forma inalámbrica mediante arquitecturas en la nube de los servicios web, ya que, marcan la pauta en las tendencias actuales del desarrollo de aplicaciones basadas en tecnologías móviles e IoT, gracias a que permite reducir los costos de infraestructura y aumentar la velocidad y usabilidad de las instrucciones programadas.

Hablando en concreto de la logística en las empresas distribuidoras de materiales, uno de los principales desafíos en la industria es la gestión eficiente de las flotas de transporte y la falta de control en tiempo real sobre las rutas, lo que deriva en que los vehículos tengan retrasos, mayores costos operativos, afectando directamente en la satisfacción del cliente.

Para abordar estos desafíos, este proyecto también incluye el desarrollo de una aplicación móvil que complementa el prototipo IoT. Esta aplicación permite a los usuarios acceder a la información de geolocalización en tiempo real, gestionar las rutas de entrega y monitorear los vehículos desde cualquier lugar. La integración de la aplicación con el sistema IoT mejora significativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta, proporcionando una herramienta adicional para optimizar la logística y reducir los costos operativos.

El uso de sistemas de geolocalización basados en IoT permite a las empresas distribuidoras de materiales de construcción rastrear sus flotas en tiempo real, mejorando la gestión de los vehículos y optimizando las rutas. Este proyecto de tesis se centra en el desarrollo de un sistema de geolocalización utilizando tecnologías IoT para monitorizar y controlar la logística en empresas de distribución de materiales de construcción, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa y reducción de costos.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

En este capítulo se expone de manera clara el problema que dio origen al desarrollo del proyecto: la falta de control y supervisión en tiempo real de las unidades de transporte en empresas distribuidoras de materiales de construcción. Esta carencia impacta directamente en la eficiencia de las entregas, el consumo de recursos y la toma de decisiones operativas.

A lo largo del capítulo se justifica la creación de un sistema de monitoreo basado en tecnologías IoT, describiendo su originalidad, el impacto esperado, los objetivos planteados y el alcance que se busca lograr con el prototipo. Todo ello con el fin de dejar claro por qué es necesario intervenir esta problemática desde una solución práctica y tecnológica.

1.2 Planteamiento del problema

En las empresas distribuidoras de materiales de construcción, la gestión logística de las unidades de transporte representa un elemento crítico para el cumplimiento de entregas, el control operativo y el uso eficiente de los recursos. Sin embargo, en muchos casos, estos procesos se realizan sin el apoyo de sistemas tecnológicos que permitan el monitoreo en tiempo real de las unidades y la estructuración de la información operativa.

Esta situación genera limitaciones en la trazabilidad de las rutas, el seguimiento de las entregas y la evaluación del desempeño logístico, debido a la ausencia de registros sistemáticos que permitan medir variables como tiempos de recorrido, cumplimiento de entregas o uso de las unidades. Como consecuencia, la toma de decisiones se realiza con base en información parcial o no estructurada, lo que puede derivar en ineficiencias operativas.

Asimismo, la falta de integración entre la geolocalización de las unidades, la gestión de rutas y la generación de reportes limita la posibilidad de establecer indicadores clave de desempeño que permitan evaluar y mejorar la operación logística de manera continua.

En este contexto, se identifica la necesidad de desarrollar una solución basada en tecnologías IoT que permita integrar la captura de datos en tiempo real, la gestión de rutas y la generación de información operativa, con el fin de fortalecer el control logístico y mejorar la eficiencia en la distribución de materiales.

1.3 Originalidad

A partir de la necesidad de atender problemáticas operativas asociadas a la falta de seguimiento estructurado de las unidades durante la ejecución de rutas de entrega, lo cual impacta directamente en los tiempos de distribución y la eficiencia general de la operación logística.

En este contexto, el proyecto no se limita a la implementación de un sistema de geolocalización, sino que propone una solución integral basada en tecnologías de IoT, que permite registrar, procesar y analizar información operativa en tiempo real, transformando los datos de ubicación en elementos útiles para la toma de decisiones.

A diferencia de enfoques tradicionales centrados únicamente en el rastreo vehicular, el sistema desarrollado incorpora funcionalidades de gestión de rutas, generación de reportes operativos y estructuración de indicadores clave de desempeño, lo que permite evaluar de manera objetiva aspectos como el cumplimiento de entregas y los patrones de desplazamiento.

Asimismo, el sistema se distingue por su enfoque accesible y modular, al integrar componentes de bajo costo como el módulo A9G, comunicación mediante red celular y una plataforma de gestión en la nube, lo que facilita su implementación en contextos donde se requiere una solución funcional sin depender de infraestructuras complejas.

1.4 Impacto

A partir del uso de información estructurada generada en tiempo real sobre la ubicación y comportamiento de las unidades de transporte se verá reflejada en la mejora de la eficiencia operativa en los procesos de distribución.

De esta manera, el proyecto se posiciona como una solución de ingeniería aplicada que contribuye a la optimización de procesos logísticos mediante el uso de tecnologías IoT y análisis de datos.

1.5 Objetivo general

Desarrollar un prototipo funcional GPS vinculado a un sistema de geolocalización y control logístico basado en IoT que permita a las empresas distribuidoras de materiales de construcción optimizar la gestión de sus flotas y reducir los costos operativos mediante la monitorización en tiempo real de las rutas y vehículos.

1.6 Objetivos específicos

- Diseñar un módulo de seguimiento GPS utilizando tecnologías IoT que permita el rastreo en tiempo real de las flotas de camiones.
- Implementar una plataforma de visualización para monitorear el estado y la ubicación de los vehículos en tiempo real.
- Apoyar la optimización de rutas mediante herramientas de geolocalización y servicios externos de cálculo de rutas.
- Evaluar el impacto del sistema en la reducción de costos operativos y el aumento de la eficiencia en la gestión de flotas.

1.7 Alcance del Proyecto

- A. Diseño y desarrollo de una plataforma de software personalizada que permita la geolocalización en tiempo real de las unidades pertenecientes a empresas de la construcción, así como la recopilación y análisis de datos relevantes.
- B. Integración de sistemas de seguimiento de vehículos y sensores para obtener información precisa sobre la ubicación y el estado de las unidades.
- C. Investigación y análisis de las prácticas actuales de las empresas de construcción en cuanto al uso de unidades de transporte.
- D. Desarrollo de recomendaciones y estrategias para el uso eficiente de las unidades de transporte.

1.8 Aplicabilidad del proyecto

El sistema propuesto tiene aplicaciones directas en empresas dedicadas a la distribución de materiales de construcción, donde la logística y el seguimiento de flotas son factores críticos para la eficiencia operativa. Sin embargo, su diseño modular y su infraestructura tecnológica lo hacen adaptable a otros sectores, como la industria de alimentos, la gestión de flotas de transporte público y el monitoreo de activos móviles en general.

En el ámbito empresarial, este sistema facilita la supervisión y control de unidades en tiempo real, permitiendo a los administradores evaluar el desempeño de los operadores, reducir tiempos de espera y mejorar la planificación de entregas. Asimismo, el análisis de datos históricos proporciona herramientas para predecir patrones de demanda y optimizar recursos.

Desde un punto de vista técnico, la combinación de hardware accesible (módulos GPS y GSM) con una plataforma de gestión basada en la nube garantiza un equilibrio entre costo y funcionalidad.

Finalmente, el impacto de este proyecto se extiende más allá de la optimización logística, ya que contribuye a la digitalización de la industria, promoviendo el uso de tecnologías IoT en la gestión empresarial. Con su implementación, se abre la posibilidad de desarrollar nuevas aplicaciones enfocadas en la automatización y análisis inteligente de datos, consolidando la adopción de soluciones basadas en IoT en el sector industrial.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

El presente capítulo revisa algunos trabajos que se han desarrollado sobre el tema, desde los primeros intentos de integrar IoT al rastreo vehicular, hasta las plataformas más comerciales que actualmente dominan el mercado. Se incluyen tanto soluciones tecnológicas enfocadas en el bajo costo como desarrollos más robustos pensados para grandes empresas.

Esta revisión permite ver claramente en dónde está parado el proyecto frente a lo existente, qué soluciones similares se han propuesto, y qué espacios aún quedan por cubrir.

2.2 Prototipos dentro del IoT

El análisis de los documentos revisados muestra una tendencia significativa hacia la implementación de tecnologías de rastreo en tiempo real, enfocadas en la optimización de recursos y la gestión eficiente de activos. Esta tendencia se refleja en diversas aplicaciones, desde sistemas de seguimiento vehicular hasta soluciones de geoperimetraje inteligente y monitoreo de personas, evidenciando la versatilidad del IoT en distintos sectores.

Particularmente en el ámbito logístico, la adopción de sistemas basados en IoT ha permitido mejorar la eficiencia operativa mediante la integración de tecnologías como GPS y módulos de comunicación, facilitando el monitoreo en tiempo real de vehículos y la optimización de rutas (Zhang, 2021). De igual manera, la combinación de estos elementos tecnológicos ha contribuido a una mejor gestión de flotas, reduciendo costos operativos y favoreciendo un uso más eficiente de los recursos (García, 2022).

En este contexto, diversos trabajos han explorado la implementación del módulo A9G como una solución viable para sistemas de seguimiento. El documento *“Build Low Power SMS Based Vehicle Tracking System with A9G GSM+GPS Module and Arduino”* presenta un enfoque orientado al desarrollo de sistemas de bajo consumo energético, utilizando comunicación mediante SMS como medio de transmisión de datos. Este tipo de soluciones destaca por su simplicidad y bajo costo, lo que las hace accesibles para aplicaciones cotidianas, especialmente en escenarios donde no se requiere infraestructura compleja (Yasin, Iqbal & Munir, 2021).

Sin embargo, este tipo de implementaciones presenta limitaciones importantes, particularmente en la capacidad de análisis de datos y la integración con plataformas que

permitan la gestión operativa de la información. Es decir, si bien cumplen con la función de rastreo, no necesariamente aportan herramientas para la toma de decisiones logísticas.

Por otro lado, propuestas como el seguimiento de autobuses escolares, desarrollado por Swathy, Thampi y Varghese (2020), incorporan un enfoque orientado a la seguridad y la comunicación entre usuarios, demostrando la importancia de adaptar estas tecnologías a necesidades específicas. No obstante, estas soluciones suelen centrarse en casos particulares y no en sistemas generalizables de gestión logística.

De manera similar, el sistema “Locus Tracker Using GSM/GPS Module” plantea una solución económica y de fácil implementación para el seguimiento vehicular, enfocada principalmente en la seguridad y prevención de robos (Ghose & Chakraborty, 2019). Aunque este enfoque es relevante, su alcance se limita al monitoreo, sin integrar procesos de optimización o análisis operativo.

Asimismo, el proyecto desarrollado para Aemilianum College demuestra la integración efectiva entre hardware y software, combinando Arduino, sensores y herramientas como Google Maps para el seguimiento en tiempo real. Este tipo de desarrollos resalta la importancia de crear sistemas accesibles y funcionales; sin embargo, al igual que los anteriores, carece de un enfoque integral que combine monitoreo, análisis y gestión logística en una sola plataforma.

En síntesis, los trabajos analizados evidencian un avance significativo en la implementación de tecnologías de rastreo en tiempo real; no obstante, también revelan una tendencia hacia soluciones fragmentadas, donde el monitoreo, la comunicación y el análisis se desarrollan de manera independiente, lo que limita su aplicabilidad en contextos logísticos más complejos.

2.3 Industria GPS

En los últimos años, la integración del IoT en la logística y el transporte ha transformado el sector, permitiendo una mayor visibilidad en tiempo real de las operaciones, desde el rastreo de unidades hasta la optimización de rutas y la gestión de inventarios.

Actualmente, el mercado ofrece una amplia gama de soluciones comerciales especializadas en la gestión de flotas, tales como Geotab, Samsara, Fleet Complete, Teletrac Navman y Gestión Vehicular Telcel. Estas plataformas integran hardware, software y servicios de análisis de datos, proporcionando a las empresas una visión completa de sus operaciones y facilitando la toma de decisiones informadas.

No obstante, a pesar de su robustez, estas soluciones presentan limitaciones relevantes. En primer lugar, implican costos de implementación y operación que pueden resultar elevados, particularmente para pequeñas y medianas empresas. En segundo lugar, muchas de estas plataformas operan bajo esquemas cerrados o de suscripción, lo que genera dependencia tecnológica y limita la personalización del sistema.

Además, aunque estas herramientas ofrecen capacidades avanzadas de monitoreo, su enfoque suele centrarse en la supervisión y análisis de datos, dejando en segundo plano la accesibilidad, la adaptabilidad y la integración de soluciones más ligeras que puedan ser implementadas en contextos con menor infraestructura tecnológica.

En este sentido, si bien estas plataformas representan el estado actual de la industria en términos de gestión de flotas, también evidencian la necesidad de soluciones alternativas que mantengan funcionalidades clave, pero con un enfoque más accesible y adaptable.

2.4 Análisis comparativo de soluciones

A partir de la revisión de prototipos académicos y soluciones comerciales, es posible establecer una comparación que permita identificar sus principales características y limitaciones.

Tabla 1. Comparativa de Soluciones de Monitoreo de Flotas

Variable	Geotab	Samsara	Fleet Complete	Teletrac Navman	Gestión Vehicular Telcel
Costo (por vehículo/mes)	De \$1,260 a \$1,800 MXN	De \$1,800 a \$2,340 MXN	De \$1,080 a \$1,440 MXN	De \$1,260 a \$1,620 MXN	De \$500 a \$600 MXN
Tipo de uso	Grandes flotas, empresas con necesidades complejas	Grandes empresas con soluciones avanzadas	Pymes y medianas empresas	Grandes empresas, corporaciones	Pymes, empresas con necesidades básicas

Cantidad mínima de dispositivos	A partir de 10 unidades	A partir de 20 unidades	Puede iniciar con pocas unidades	A partir de 10 unidades	1 unidad mínima (bajo costo para flotas pequeñas)
Capacidad de expansión	Alta (se puede expandir fácilmente)	Alta (ideal para grandes flotas)	Media (expandible, pero con limitaciones)	Alta (se adapta a grandes volúmenes de datos)	Baja-Media (principalmente pequeñas flotas)
Visualización en tiempo real	Disponible en todos los paquetes premium	Disponible en todos los paquetes premium	Disponible en todos los paquetes	Disponible en paquetes premium	Disponible en todos los paquetes
Funcionalidades avanzadas	Telemetría avanzada, integración ERP/CRM	Cámaras, sensores avanzados, telemetría	Monitoreo básico y rutas	Telemetría avanzada, alertas, optimización de rutas	Monitoreo básico en tiempo real
Plataforma móvil	Sí, pero más orientada a la web	Sí, con buena integración móvil	Sí, con app móvil	Sí, con opción móvil para grandes empresas	Sí, con enfoque móvil básico

Fuente: Elaboración propia

Por un lado, como podemos apreciar en la tabla 1, las soluciones comerciales como Geotab y Samsara ofrecen plataformas robustas, con alta integración de hardware, software y análisis de datos en tiempo real. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones relacionadas con su alto costo, dependencia de infraestructura propietaria y baja flexibilidad para su personalización.

Tabla 2. Comparación de propuestas académicas basadas en IoT para rastreo vehicular

Autor / Sistema	Tecnología	Enfoque	Limitaciones	Aportación	Relación con prototipo desarrollado
Yasin et al. (2021)	A9G + GSM + Arduino	Rastreo por SMS	Sin análisis de datos ni plataforma	Bajo consumo energético	Base hardware similar
Ghose & Chakraborty (2019)	GPS + GSM	Rastreo económico	Solo localización	Sistema básico de tracking	Similar en comunicación
Swathy et al. (2020)	IoT + GPS	Transporte escolar	Enfoque específico, no escalable	Seguridad de usuarios	Aplicación sectorial
Lee & Lee (2015)	IoT general	Procesamiento de datos	No implementa sistema completo	Base teórica IoT	Fundamentación conceptual
Zhang et al. (2020)	IoT + algoritmos	Optimización de rutas	Alta complejidad	Modelos matemáticos	Inspiración para rutas

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, con base en la tabla 2 podemos mencionar que, las propuestas académicas revisadas se enfocan principalmente en la implementación de sistemas de rastreo basados en GPS y módulos de comunicación como GSM, destacando por su accesibilidad y bajo costo. No obstante, en la mayoría de los casos, estas soluciones se limitan a la localización de unidades, sin incorporar herramientas de análisis operativo, gestión de rutas o generación de indicadores de desempeño.

En este contexto, el análisis comparativo permite identificar una brecha clara entre ambos enfoques: mientras las soluciones comerciales ofrecen sistemas altamente integrados pero con limitaciones en términos de accesibilidad y flexibilidad, las propuestas académicas destacan por su bajo costo y simplicidad, pero carecen de integración funcional orientada a la gestión logística.

A partir de esta brecha, el sistema propuesto se plantea como una alternativa intermedia que busca integrar capacidades de monitoreo en tiempo real, gestión de rutas y generación de información operativa, mediante el uso de tecnologías accesibles. Este enfoque permite no solo el seguimiento de las unidades, sino también la estructuración de datos útiles para la toma de decisiones, atendiendo así las limitaciones identificadas en las soluciones analizadas.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.

3.1 Introducción

El capítulo desarrolla los conceptos base que permiten entender de fondo cómo funciona y por qué tiene sentido el sistema propuesto. Se abordan los pilares técnicos del IoT, los protocolos de comunicación que hacen posible la transmisión de datos, y las tecnologías inalámbricas que lo soportan. De igual manera, se hace énfasis en cómo estas tecnologías están siendo utilizadas en el mundo real dentro del ámbito logístico.

3.2 IoT

El IoT se refiere a la interconexión de dispositivos físicos a través de internet, permitiendo la recopilación y el intercambio de datos entre ellos, la evolución de esta tecnología ha permitido su aplicación en diversas industrias, mejorando la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones. En el contexto de la construcción, el IoT puede utilizarse para monitorear el estado y ubicación de equipos, mejorar la seguridad en el sitio, y optimizar los procesos logísticos mediante el uso de sensores y dispositivos conectados (Pereira & Da Silva, 2021).

Desde su aparición, el IoT ha experimentado cambios sustanciales, gracias a los avances en las redes de comunicación, la disponibilidad de sensores económicos y la expansión de la computación en la nube, estas mejoras le han favorecido que sea más accesible, lo que ha posibilitado que sectores como la construcción puedan aprovechar soluciones de seguimiento en tiempo real y gestión eficiente de recursos.

El IoT para su funcionamiento se apoya de dispositivos ya sean sensores o actuadores, mismos que recopilan información de su entorno e interactúan con él. Estos dispositivos operan principalmente de forma autónoma y tienen la tarea de recopilar información de manera inteligente y enviarla para su análisis o, si es necesario, realizar una acción específica de manera autónoma.

En este sentido, el sistema propuesto se enmarca en esta idea, al integrar dispositivos físicos para la captura de datos, una capa de comunicación basada en redes celulares y una plataforma de procesamiento en la nube, permitiendo transformar la información en elementos útiles para la gestión logística.

En entornos IoT, la transmisión continua de información generada por sensores y dispositivos conectados requiere mecanismos de almacenamiento capaces de gestionar grandes volúmenes de datos de manera flexible y eficiente. En este contexto, las bases de datos NoSQL representan una alternativa adecuada para aplicaciones donde la información puede variar constantemente en estructura y frecuencia de actualización.

MongoDB es una base de datos NoSQL orientada a documentos, ampliamente utilizada en sistemas IoT debido a su capacidad de escalabilidad horizontal, compatibilidad con datos semiestructurados y eficiencia en procesos de lectura y escritura en tiempo real. Estas características permiten almacenar información relacionada con coordenadas geográficas, estados operativos y registros históricos generados por dispositivos conectados.

Asimismo, entornos de ejecución como Node.js permiten desarrollar arquitecturas orientadas a eventos y procesamiento asíncrono, facilitando la comunicación entre dispositivos IoT, servicios web y plataformas de almacenamiento en la nube. Este tipo de tecnologías favorece la integración de sistemas que requieren intercambio constante de información y respuesta continua ante eventos generados en tiempo real.

3.2.1 Arquitectura del IoT

Estas capas se describen a continuación con base en un artículo desarrollado por Bipasha Nath (2024):

Capa de Interfaz de Puerta de Enlace: Esta capa se comunica con los Dispositivos/Sensores/Actuadores de una o más redes, así como los gestiona. Permite la operación entre los dispositivos.

1. **Servicios de Agregación Distribuida:** La Capa de Servicios de Agregación Distribuida es responsable de recibir información o eventos de los Dispositivos/Sensores/Actuadores y, en la medida de lo posible, analizarlos y tomar acciones basadas en ella.
2. **Capa de Comunicaciones/Acciones:** Esta capa se encarga de gestionar la comunicación para enviar información a la Capa de Agregación Distribuida. Estas tareas permiten la inclusión de comunicación a través de decisiones directas sobre los datos. En otras palabras, esta capa interpreta los datos y decide cuáles deben ser enviados o solicitados. También tiene la responsabilidad de establecer una conexión con un usuario.
3. **Capa de Aplicaciones:** Esta capa, integrando las tres anteriores, proporciona múltiples aplicaciones que se beneficiarán del IoT a través de nuevos mecanismos para recibir,

enviar y actuar sobre eventos, mediante la virtualización de conexiones y la creación de entornos virtuales independientes para la experimentación y despliegue de nuevos desarrollos.

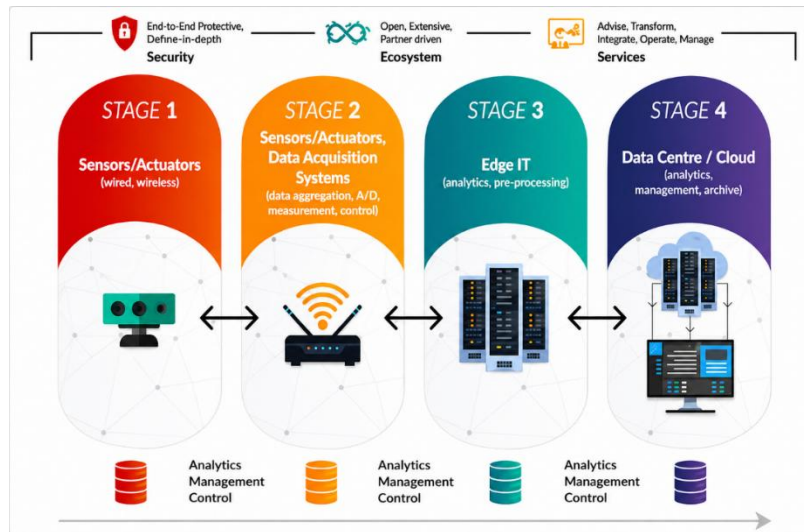


Imagen 1. Arquitectura IoT

Fuente: Nath, B. (2024). Geekflare.

Para el caso del sistema desarrollado, esta arquitectura se implementa mediante el uso del módulo A9G como dispositivo de captura y transmisión, una red celular para la comunicación de datos y una plataforma basada en Node.js y MongoDB para el procesamiento y almacenamiento de la información.

3.3 Tecnologías inalámbricas principales en Red de Sensores Inalámbricos (WSN).

Para llevar a cabo la implementación de un sistema IoT en el sector de la construcción, resulta crucial seleccionar la tecnología de comunicación apropiada. Existen diversas alternativas de redes de comunicación para IoT; a continuación, se detallan algunas de estas tecnologías, así como sus respectivas ventajas y limitaciones en cuanto a cobertura, consumo de energía y costos:

WiFi IEEE 802.11a: Este protocolo opera en la banda de 5 GHz, ofreciendo velocidades de hasta 54 Mbps. Tiene un rango más corto en comparación con otras tecnologías debido a su frecuencia más alta, lo que significa una cobertura efectiva en espacios más pequeños (Kurose & Ross, 2017).

WiFi IEEE 802.11b: Opera en la banda de 2.4 GHz, ofrece velocidades de hasta 11 Mbps y tiene un rango de cobertura moderado, pudiendo penetrar obstáculos con relativa facilidad debido a su frecuencia más baja (Stallings, 2013).

WiFi IEEE 802.11g: Opera también en la banda de 2.4 GHz, ofreciendo velocidades de hasta 54 Mbps, similar a 802.11a, con un rango de cobertura moderado y buena capacidad de penetración de obstáculos (Forouzan, 2013).

WiFi IEEE 802.11ac: Opera en la banda de 5 GHz, ofreciendo velocidades de hasta varios gigabits por segundo dependiendo de la configuración y el número de antenas disponibles (Kurose & Ross, 2017).

WiFi IEEE 802.11ax: Este protocolo opera en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, ofreciendo velocidades de varios gigabits por segundo y está diseñado para mejorar la eficiencia en entornos de alta densidad, con un rango de cobertura similar al de 802.11ac (Gast, 2013).

WiFi IEEE 802.11ah: Opera en la banda de 900 MHz, ofreciendo velocidades moderadas adecuadas para aplicaciones de IoT y tiene un rango de cobertura extendido, ideal para aplicaciones a larga distancia (O'Hara & Petrick, 2020).

Bluetooth (802.15.1): Ofrece una frecuencia que oscila en los 2.4 GHz, con una velocidad de transmisión de hasta 3 Mbps y un rango de cobertura de 10 a 100 metros en exteriores. Bluetooth 5.0 puede alcanzar hasta 240 metros (Muller, 2019).

Zigbee (802.15.4): Opera en las frecuencias de 2.4 GHz y 900 MHz (dependiendo de la región), con una velocidad de transmisión de hasta 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 100 metros en interiores (Kinney, 2003).

Cellular IoT: Utiliza bandas de frecuencia licenciadas de 800 MHz, 900 MHz, 1.4 GHz, 1.8 GHz, entre otras, ofreciendo velocidades de datos de hasta varios megabits por segundo en LTE-M y hasta 100 Kbps en NB-IoT, con un rango de cobertura amplia que depende de la infraestructura celular y la ubicación (Ratasuk, et al., 2014).

Sigfox: Opera en bandas de frecuencia ISM (Industrial, Scientific, and Medical) que varían por región, típicamente en 868 MHz en Europa y 915 MHz en América. Su velocidad de transmisión es baja, alcanzando hasta 100 bps, con un rango de cobertura de hasta 50 km en áreas rurales y 3-10 km en áreas urbanas. Esta tecnología se utiliza principalmente para dispositivos IoT que requieren enviar pequeñas cantidades de datos de forma ocasional, gracias a su eficiencia energética y bajo costo de operación (Margelis et al., 2015).

A partir del análisis de las tecnologías de comunicación descritas, es posible identificar que opciones como NB-IoT ofrecen ventajas importantes en términos de eficiencia energética y cobertura en entornos IoT. No obstante, su implementación se encuentra condicionada por factores como la disponibilidad de infraestructura, compatibilidad tecnológica y características del flujo de datos requerido.

La selección de la tecnología de comunicación en sistemas IoT aplicados a la logística no depende únicamente de parámetros como el consumo energético, sino también de criterios como la eficiencia en la transmisión de datos, la compatibilidad con la arquitectura del sistema y las condiciones de implementación.

3.4 Protocolos de comunicación.

Un protocolo es un conjunto de reglas que permiten la comunicación dentro de una red de manera factible y confiable. Un protocolo de comunicación es el conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre entidades que conforman una red (Tolosa, 2014).

Lo fundamental de la comunicación de datos es resolver el problema de llevar la información de un punto A hacia un punto B sin errores, utilizando redes con la codificación correspondiente para su transmisión, para esto utilizamos canales de comunicación que establecen la unión entre los puntos A y B.

Aquí es donde entra en juego el protocolo, mismo que se define como las reglas para la transmisión de la información entre dos puntos; un protocolo de red de comunicación de datos es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos dentro de la red.

De igual manera resulta crucial seleccionar el protocolo de comunicación apropiada. Los principales protocolos de comunicación que puedo identificar son los siguientes:

Internet Protocol (TCP/IP): Es el conjunto de protocolos más utilizado en Internet y redes de área amplia (WAN). TCP se encarga de la entrega confiable de datos en secuencia, mientras que IP maneja el direccionamiento y enrutamiento de los paquetes de datos en la red (Kurose & Ross, 2017).

Hypertext Transfer Protocol (HTTP): Protocolo utilizado para la transferencia de información en la World Wide Web, definiendo cómo se solicitan y entregan los recursos, como páginas web, a través de la red (Fielding et al., 1999).

File Transfer Protocol (FTP): Protocolo utilizado para la transferencia de archivos entre sistemas, permitiendo subir y descargar archivos a través de una conexión de red (Postel & Reynolds, 1985).

Simple Mail Transfer Protocol (SMTP): Protocolo utilizado para la transferencia de correos electrónicos, definiendo cómo se envían y reciben los mensajes de correo electrónico a través de los servidores de correo (Klensin, 2008).

Post Office Protocol version 3 (POP3): Protocolo utilizado para la recuperación de correos electrónicos desde un servidor, permitiendo a los usuarios descargar sus mensajes de correo electrónico en sus dispositivos locales (Myers & Rose, 1996).

Internet Message Access Protocol (IMAP): Protocolo utilizado para acceder y administrar correos electrónicos almacenados en un servidor remoto, permitiendo a los usuarios realizar operaciones en sus mensajes sin necesidad de descargarlos (Crispin, 2003).

Domain Name System (DNS): Protocolo utilizado para traducir nombres de dominio legibles por humanos en direcciones IP numéricas, permitiendo la resolución de nombres de dominio para acceder a recursos en la red (Mockapetris, 1987).

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP): Protocolo utilizado para asignar automáticamente direcciones IP y configuraciones de red a los dispositivos cuando se conectan a una red (Droms, 1997).

Simple Network Management Protocol (SNMP): Protocolo utilizado para la gestión y supervisión de dispositivos en una red, permitiendo a los administradores monitorear y controlar dispositivos de red, como routers y switches (Case et al., 1990).

Los protocolos de comunicación permiten el intercambio de información entre dispositivos y plataformas dentro de un sistema IoT. Entre los más utilizados se encuentran HTTP, TCP/IP y UDP, los cuales presentan diferencias en términos de confiabilidad, velocidad y consumo de recursos.

En aplicaciones IoT, la selección del protocolo depende de factores como el volumen de datos, la frecuencia de transmisión y las capacidades de los dispositivos. En este sentido, no existe un protocolo único adecuado para todos los escenarios, sino que su elección responde a los requerimientos específicos del sistema.

3.5 Principales protocolos de comunicación usados en WSN/ IoT.

Conectar dispositivos industriales con tecnologías de información y plataformas IoT es un tema considerable, y es de dónde vienen un montón de abreviaturas. Existen varios protocolos para cumplimentar esto: algunos que son privados y otros que son estándares abiertos:

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT): Protocolo de mensajería ligero y de bajo consumo de energía diseñado para redes de sensores y dispositivos IoT. Utiliza un modelo de publicación/suscripción, donde los dispositivos publican datos en un tema específico y otros dispositivos se suscriben a esos temas para recibir los datos (Light, 2017).

Constrained Application Protocol (CoAP): Protocolo de aplicación diseñado para dispositivos y redes con recursos limitados, como sensores y dispositivos IoT. Utiliza un modelo cliente/servidor similar a HTTP pero con menor sobrecarga (Shelby et al., 2014).

Zigbee: Protocolo de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.15.4, diseñado para aplicaciones de baja potencia y velocidad de datos, utilizado en redes de sensores y dispositivos IoT (Kinney, 2003).

Bluetooth Low Energy (BLE): Variante de Bluetooth diseñada para aplicaciones de baja potencia y corto alcance, utilizada en dispositivos IoT y redes de sensores (Muller, 2019).

En este sentido, protocolos como MQTT destacan por su eficiencia en la transmisión de datos, su compatibilidad con arquitecturas basadas en eventos y su facilidad de integración con plataformas en la nube, lo que los posiciona como una alternativa relevante en el desarrollo de sistemas IoT orientados al monitoreo y gestión de información.

En este sentido, MQTT fue considerado como el protocolo principal para el sistema desarrollado, debido a su bajo consumo de recursos, su compatibilidad con arquitecturas orientadas a eventos y su eficiencia en la transmisión de información entre dispositivos IoT y plataformas en la nube.

3.6 Parámetros de desempeño de protocolos de comunicación

Los parámetros de desempeño son características fundamentales que permiten evaluar la eficiencia y efectividad de un protocolo de comunicación, entre ellos encontramos:

Latencia: Tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el origen hasta el destino. La baja latencia es crucial para aplicaciones en tiempo real, como el monitoreo en redes WSN (Stallings, 2013).

Ancho de banda: Cantidad de datos que puede ser transmitida en un periodo de tiempo determinado, generalmente medida en bits por segundo (bps). Un mayor ancho de banda permite una mayor transferencia de datos, pero puede aumentar el consumo de energía en redes WSN (Kurose & Ross, 2017).

Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada por los dispositivos durante la transmisión y recepción de datos. Es un factor crítico en redes de sensores, donde los dispositivos suelen funcionar con baterías (Kinney, 2003).

Alcance: Distancia máxima a la que se pueden comunicar dos dispositivos. En redes WSN, un mayor alcance permite la conexión de dispositivos en áreas más amplias, pero puede aumentar el consumo de energía (Tanenbaum & Wetherall, 2011).

Fiabilidad: Capacidad de un protocolo para entregar datos sin errores y a tiempo. En redes de sensores, una alta fiabilidad es esencial para asegurar la precisión y consistencia de los datos recolectados (Forouzan, 2013).

Estos parámetros resultan fundamentales para evaluar el comportamiento de los sistemas IoT, particularmente en aplicaciones que requieren transmisión continua de información, donde aspectos como la latencia y la fiabilidad influyen directamente en la eficiencia del sistema.

3.7 IoT en logística

El IoT ha revolucionado la gestión de la logística y el transporte al permitir la interconexión de dispositivos y la recopilación de datos en tiempo real. En la industria del transporte de materiales de construcción, la falta de visibilidad y control sobre las unidades genera costos adicionales, retrasos y una menor eficiencia operativa (Atzori, Iera, & Morabito, 2010). La implementación de sensores IoT en vehículos permite capturar información clave como la ubicación, el estado de la carga, el consumo de combustible y el desempeño operativo de la unidad, proporcionando datos precisos para la toma de decisiones (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, & Chlamtac, 2012).

Uno de los beneficios más destacados del IoT en logística es la capacidad de optimizar las rutas en función de condiciones en tiempo real. Tecnologías como el análisis de tráfico, las

condiciones meteorológicas y la disponibilidad de rutas alternativas permiten una planificación dinámica de las entregas, reduciendo tiempos de espera y maximizando la eficiencia de la flota (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista, & Zorzi, 2014). Esto resulta particularmente útil en la distribución de materiales de construcción, donde los retrasos pueden generar sobrecostos y afectar la continuidad de proyectos en obra.

Otro aspecto clave del IoT en logística es la mejora en la trazabilidad de la carga. La combinación de módulos GPS y sensores de estado permite un monitoreo constante de los bienes transportados, asegurando su integridad durante el trayecto. En sectores como el de la construcción, donde ciertos materiales pueden ser sensibles a cambios de temperatura o humedad, el monitoreo en tiempo real ayuda a garantizar condiciones óptimas de transporte (Ben-Daya, Hassini, & Bahroun, 2019).

Además de la optimización operativa, la implementación de IoT en logística contribuye a la sostenibilidad del sector. La reducción de tiempos de inactividad y la planificación eficiente de rutas disminuyen el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos de logística verde y desarrollo sustentable (Bousonville, 2019). El análisis de datos en la nube permite a las empresas identificar patrones de consumo y proponer estrategias para minimizar el impacto ambiental de sus operaciones.

La aplicación del IoT en logística no solo transforma la operatividad de las empresas de transporte, sino que también abre nuevas oportunidades para la digitalización y automatización de procesos. La integración de modelos predictivos basados en inteligencia artificial puede anticipar fallos en las unidades, programar mantenimientos preventivos y mejorar la seguridad vial (Lee & Lee, 2015). Estas capacidades avanzadas posicionan al IoT como una herramienta clave en la modernización del sector logístico y su adaptación a las exigencias del mercado actual.

Estos elementos permiten establecer un marco de referencia para la aplicación de tecnologías IoT en entornos de distribución, donde el monitoreo en tiempo real y el análisis de información operativa se convierten en factores clave para la mejora de los procesos logísticos.

3.8 Rastreo y Gestión Logística

El seguimiento y la gestión logística en la industria de la construcción son vitales para la eficiencia operativa y la reducción de costos. En los proyectos de construcción, la coordinación

de materiales, maquinaria y personal es particularmente compleja debido a la naturaleza dinámica, cambiante y, muchas veces, impredecible del entorno de trabajo.

La implementación de tecnologías basadas en el IoT permite superar algunas de estas limitaciones. El IoT permite precisamente eso: conocer la ubicación exacta de unidades y equipos en el sitio en todo momento. Esto va más allá de simplemente saber dónde están los activos; se trata de una comprensión profunda de cómo se están utilizando.

Imaginemos un camión que por la ruta que se le fue asignada tiene un tiempo que está parado por horas, mientras el cliente necesita urgentemente el material que carga consigo. Sin el IoT, esta ineficiencia podría pasar desapercibida o detectarse demasiado tarde. Con sensores IoT, la gerencia puede identificar el problema al instante, redirigir a la unidad y evitar retrasos costosos. Esta optimización en tiempo real de recursos no solo agiliza el flujo de trabajo, sino que también minimiza el tiempo de inactividad, que es un gran lastre para la productividad, sumado a que mejora los tiempos de entrega para el cliente.

De igual manera, el uso de servicios de geolocalización y visualización cartográfica, como Google Maps API, permite representar información geográfica en tiempo real dentro de plataformas móviles y web. Estas herramientas facilitan la interpretación espacial de rutas, la ubicación de unidades y la supervisión operativa, convirtiéndose en elementos fundamentales dentro de sistemas logísticos basados en IoT.

3.9 Síntesis del marco teórico

El análisis de los conceptos presentados permite establecer una base teórica para el desarrollo de soluciones IoT aplicadas al monitoreo y gestión logística. La integración de tecnologías de comunicación, protocolos eficientes y arquitecturas orientadas a la transmisión de datos en tiempo real constituyen elementos clave para la implementación de estos sistemas.

Asimismo, la aplicación de estos componentes en el ámbito logístico permite no solo la captura de información, sino también su estructuración para el análisis operativo, contribuyendo a la mejora en la planificación y control de las actividades de distribución.

De esta manera, el marco teórico presentado proporciona los fundamentos necesarios para comprender la relación entre dispositivos, comunicación y procesamiento de datos en sistemas IoT, estableciendo una base conceptual para su aplicación en entornos logísticos.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Introducción

Por su parte, en el presente, se describe cómo se construyó todo desde la elección del módulo A9G hasta la forma en que se conectó a la nube. Se explica con detalle la lógica que se siguió para integrar los componentes del sistema, las tecnologías utilizadas, y la arquitectura general que le da vida al prototipo.

La metodología está pensada para ser funcional y eficiente, buscando una solución realista, que se pueda escalar, replicar o adaptar. Este capítulo es la guía que permite ver paso a paso cómo se aterrizó la idea, cuidando que cada decisión técnica tuviera sentido con el objetivo planteado.

4.2 Diseño Metodológico

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada, orientado al diseño de una solución tecnológica para la mejora de procesos logísticos mediante el uso de tecnologías IoT.

Asimismo, el proyecto se enmarca en un modelo de desarrollo basado en prototipado, cuyo propósito es validar la viabilidad técnica de la propuesta en un entorno controlado. Desde el punto de vista metodológico, se considera un estudio de tipo experimental, ya que permite analizar el comportamiento del sistema a partir de la evaluación de variables operativas asociadas a su funcionamiento.

El desarrollo metodológico se estructuró en cuatro fases principales:

Fase 1. Análisis del problema:

Se identificaron las necesidades relacionadas con el monitoreo de unidades y la gestión de rutas, así como las limitaciones presentes en los métodos tradicionales.

Fase 2. Diseño del sistema:

Se establecieron los elementos que conforman la arquitectura del sistema, considerando la integración de dispositivos IoT, mecanismos de comunicación y una plataforma para el procesamiento de la información.

Fase 3. Desarrollo del prototipo:

Se definió la integración de componentes de hardware y software necesarios para la captura, transmisión y visualización de datos.

Fase 4. Evaluación del sistema:

Se planteó la realización de pruebas en condiciones controladas con el objetivo de analizar el comportamiento general del sistema. Se definieron variables de estudio que permiten analizar su impacto en la operación logística.

Variables independientes:

- Uso del sistema IoT
- Configuración de rutas
- Frecuencia de transmisión de datos

Variables dependientes:

- Tiempo de entrega
- Precisión de geolocalización
- Desempeño en la transmisión de datos

Adicionalmente, se definieron indicadores clave orientados a la evaluación de la eficiencia operativa, tales como el análisis de kilómetros recorridos por entrega o el porcentaje de entregas puntuales, estos criterios se establecen como referencia para la evaluación del sistema en escenarios de operación, permitiendo dimensionar su impacto potencial en la mejora de los procesos logísticos.

Dado que el prototipo fue evaluado en un entorno simulado, dichas métricas no fueron aplicadas en condiciones reales, sino que se plantean como base para futuras validaciones del sistema en entornos operativos. Para un mayor detalle, se puede consultar el Anexo A.4.4.

4.3 Tecnología de Comunicaciones para Sistema de Geolocalización y Control Logístico para Empresas de Materiales.

A partir del diseño metodológico definido, se plantea una arquitectura de sistema que permite integrar los distintos componentes tecnológicos necesarios para el funcionamiento del prototipo.

Con el objetivo de atender los desafíos en la gestión logística de empresas distribuidoras de materiales, se considera la incorporación de una aplicación orientada a dispositivos móviles como elemento complementario del sistema IoT. Esta integración permite establecer un esquema de interacción entre los dispositivos de captura de datos y los usuarios del sistema, facilitando el acceso a la información generada en distintos entornos operativos.

4.3.1 Desarrollo del prototipo de la aplicación

El desarrollo del prototipo de la aplicación se centró en crear una interfaz intuitiva y funcional que permitiera a los usuarios interactuar de manera eficiente con el sistema IoT. La aplicación fue diseñada específicamente para ser compatible con dispositivos móviles, lo que garantiza el acceso a las funcionalidades clave del sistema desde cualquier ubicación. A diferencia de muchas soluciones existentes en este nicho, que suelen enfocarse en ofrecer únicamente servicios web, esta aplicación prioriza la experiencia móvil, superando las limitaciones comunes de acceso y compatibilidad que afectan a otras plataformas.

4.3.2 Integración con el sistema IoT

La aplicación se integra con el sistema IoT a través de una arquitectura basada en la nube, que permite la comunicación entre los dispositivos IoT y la aplicación móvil. Esta integración se logra mediante el uso de protocolos de comunicación eficientes, como MQTT, que garantizan la transferencia de datos de manera rápida y segura. La aplicación también utiliza servicios de geolocalización para obtener la ubicación precisa de los vehículos y actualizar la información en tiempo real.

4.3.3 Tecnologías utilizadas

Dentro del diseño del sistema, se consideran distintas tecnologías de comunicación celular, evaluando sus características en términos de cobertura, consumo energético y capacidad de transmisión de datos. Estas tecnologías están orientadas a entornos IoT, donde se requiere una comunicación estable para la transmisión de información.

Las soluciones de tipo Cellular IoT se caracterizan por permitir la conectividad de dispositivos en entornos con requerimientos de bajo consumo energético y cobertura extendida, siendo adecuadas para aplicaciones donde la transmisión de datos no es intensiva pero sí constante (Ratasuk et al., 2014). Entre sus principales ventajas se encuentran la cobertura amplia, la

confiabilidad en la comunicación y la capacidad de operar en entornos con alta densidad de dispositivos.

Por otro lado, tecnologías de comunicación de corto alcance, como Zigbee, ofrecen ventajas en términos de eficiencia energética y operación en redes locales, aunque presentan limitaciones en alcance y dependencia de infraestructura adicional para su integración en sistemas distribuidos (Kinney, 2003).

En este sentido, se contempla la posibilidad de esquemas híbridos que permitan optimizar la comunicación en función de las necesidades del sistema, combinando tecnologías de mayor alcance con soluciones de corto alcance para entornos específicos (Kinney, 2003; Ratasuk et al., 2014).

Para la implementación del sistema, se consideran tecnologías orientadas al desarrollo de aplicaciones y gestión de datos, tales como:

- Lenguajes de programación para el desarrollo del backend
- Bases de datos en la nube para el almacenamiento de información
- Protocolos de comunicación orientados a IoT
- Servicios de geolocalización para la visualización de datos

La selección específica de estas tecnologías se detalla en el capítulo de desarrollo del prototipo.

4.4 Protocolo de comunicación usado en el proyecto integrador.

Para la definición del protocolo de comunicación dentro del sistema, se parte de la selección de los componentes que conforman el dispositivo IoT. Bajo esta idea, se considera el uso del módulo A9G, el cual integra funcionalidades de geolocalización mediante GPS y capacidades de comunicación celular.

El módulo A9G opera mediante comandos AT, que permiten gestionar funciones como la conexión a la red celular, el envío y recepción de datos, así como la obtención de coordenadas geográficas. Su integración con el sistema se plantea mediante una conexión serial con un microcontrolador, el cual se encarga de procesar la información y preparar su transmisión hacia la plataforma en la nube.

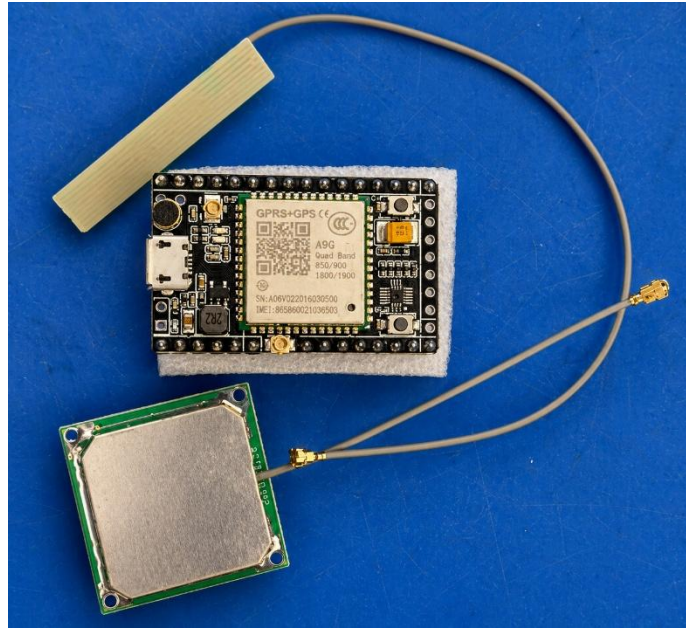


Imagen 2. Módulo A9G parte frontal

Fuente: Foto del autor

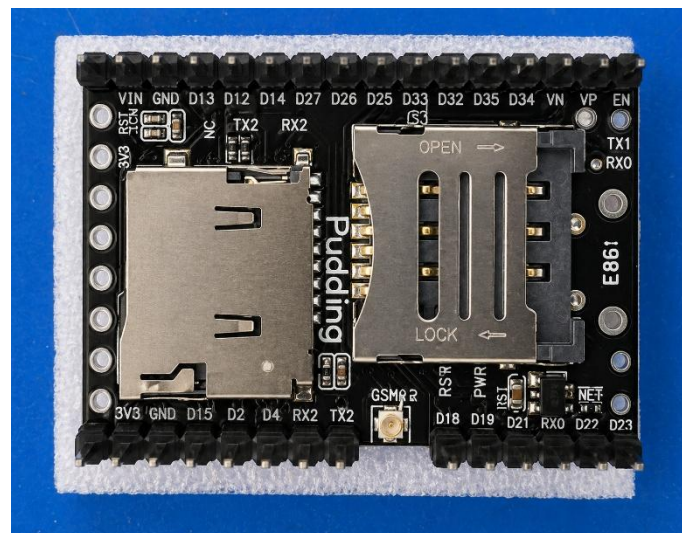


Imagen 3. Módulo A9G parte posterior

Fuente: Foto del autor

Las figuras muestran el módulo A9G utilizado en el prototipo, el cual integra capacidades de geolocalización y comunicación celular, permitiendo la captura y transmisión de datos.

Para la comunicación dentro del sistema IoT, se consideran protocolos ligeros orientados a la transmisión eficiente de datos, destacando el uso de MQTT debido a su modelo de

publicación/suscripción, el cual permite la comunicación entre dispositivos y plataformas en la nube con un bajo consumo de recursos.

Este tipo de protocolos resulta adecuado para entornos donde se requiere la transmisión continua de información, facilitando la interacción entre el dispositivo IoT y el backend del sistema.

El proceso de comunicación sigue la siguiente lógica:

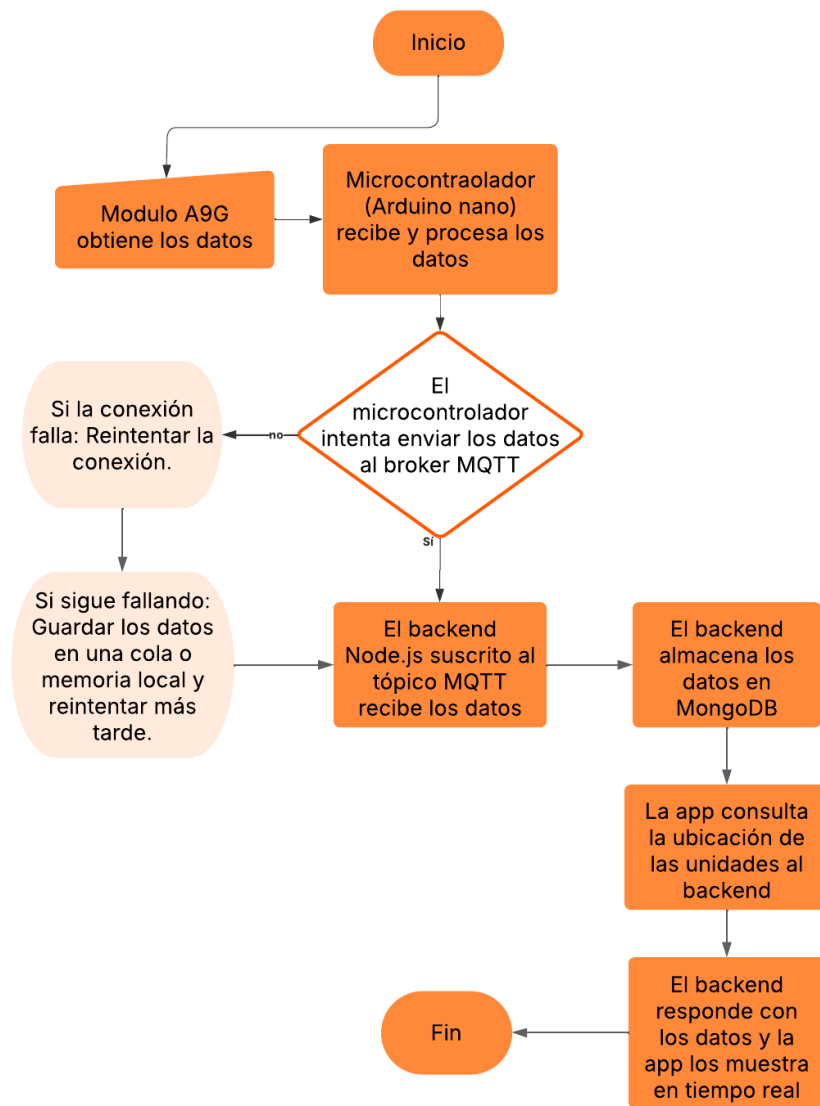


Imagen 4. Diagrama de flujo del envío de datos del dispositivo a la nube

Fuente: Elaboración propia

El diagrama presenta el flujo general de comunicación del sistema, donde el dispositivo obtiene los datos de geolocalización y los transmite hacia el backend mediante un esquema de comunicación basado en protocolo MQTT. En caso de interrupción en la conexión, se contempla la gestión de reintentos y almacenamiento temporal de la información.

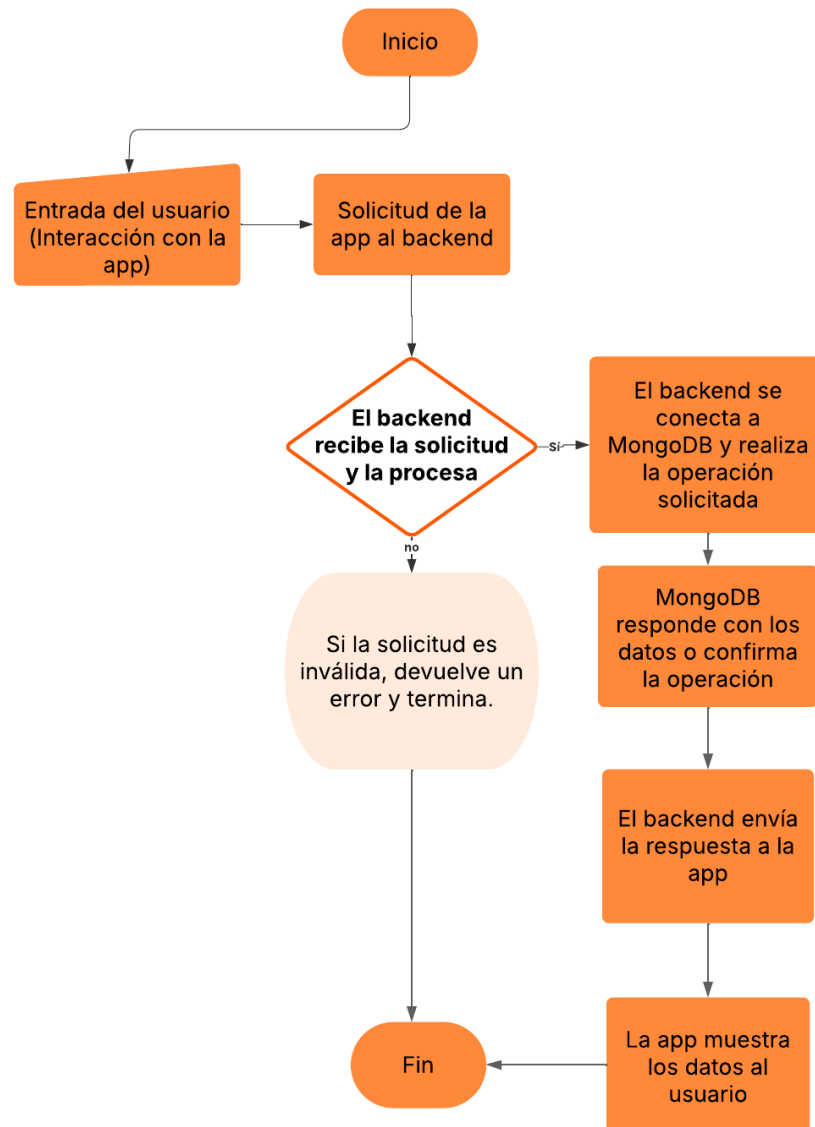


Imagen 5. Diagrama de flujo de la interacción de la aplicación con la base de datos

Fuente: Elaboración propia

Este diagrama representa la interacción entre la aplicación y la base de datos, donde la información es consultada y procesada por el backend para su visualización, permitiendo el acceso a datos de ubicación de manera estructurada.

CAPÍTULO V. DESARROLLO DE PROYECTO TERMINAL

5.1 Introducción

En este capítulo se describe el desarrollo e implementación del prototipo propuesto, detallando la integración de los componentes de hardware y software que conforman el sistema de geolocalización basado en tecnologías IoT.

El desarrollo del prototipo se orientó a la construcción de una solución funcional que integra un dispositivo de captura de datos, un sistema de comunicación basado en redes celulares, una plataforma de procesamiento en la nube y una interfaz de visualización, permitiendo la gestión de información geoespacial en tiempo real..

5.2 Diseño del prototipo

El prototipo fue diseñado como un sistema integrado que combina hardware y software, orientado a ofrecer una solución funcional y accesible para el monitoreo logístico mediante tecnologías IoT. Su arquitectura está compuesta por dispositivos IoT, un backend de procesamiento y una base de datos en la nube, todo interconectado a través de redes móviles.

En el componente de hardware, se seleccionó el módulo A9G, el cual integra funcionalidades de GPS y GSM, permitiendo tanto la localización en tiempo real como la transmisión de datos a través de redes celulares. Este módulo fue conectado a un microcontrolador Arduino Nano, que actúa como intermediario entre los sensores y el sistema de comunicación, facilitando la lectura de datos y su posterior envío al servidor. Esta elección responde a la necesidad de contar con un sistema de bajo costo, fácil implementación y cobertura amplia, especialmente útil en la zona seleccionada para este proyecto, que fue el municipio de Pachuca, donde las redes móviles ofrecen buena disponibilidad.

En cuanto al desarrollo del software, se utilizó JavaScript y Node.js para construir el backend, encargado de recibir, procesar y almacenar los datos provenientes del dispositivo IoT. Para la transmisión de datos se implementó el protocolo MQTT, ampliamente utilizado en entornos IoT por su eficiencia y bajo consumo de ancho de banda. Este protocolo permite una comunicación ligera y confiable entre el dispositivo y el servidor, asegurando que los datos de ubicación lleguen en tiempo real.

Para la visualización de la información, se integró la API de Google Maps, lo que permite representar gráficamente la ubicación de los vehículos en una interfaz accesible desde

dispositivos móviles o computadoras. Esta funcionalidad es clave para la toma de decisiones operativas, ya que permite a los usuarios monitorear el estado de las unidades en tiempo real y gestionar rutas de forma dinámica.

Finalmente, para el almacenamiento de la información se optó por MongoDB, una base de datos NoSQL alojada en la nube. Esta elección se basa en su capacidad para manejar datos semiestructurados, su escalabilidad horizontal y su alto rendimiento en operaciones de lectura y escritura. MongoDB permite registrar información relevante como coordenadas, identificadores de vehículos, rutas y reportes generados, ofreciendo una base sólida para análisis posteriores y generación de reportes.

La arquitectura propuesta, aunque sencilla, es robusta y escalable, permite que el proyecto tenga una implementación gradual y adaptable a distintos escenarios logísticos, y sienta las bases para futuras mejoras como la integración de sensores adicionales (temperatura, humedad, etc.) o la automatización de alertas mediante inteligencia artificial.

Durante la fase de implementación, se retomaron las alternativas tecnológicas planteadas en el capítulo metodológico, particularmente en lo relacionado con las tecnologías de comunicación.

Si bien inicialmente se consideró el uso de NB-IoT debido a sus ventajas en eficiencia energética y cobertura, como se menciona en el análisis del capítulo III, su implementación presentó limitaciones en términos de la gestión eficiente de datos dentro del entorno de desarrollo utilizado.

En este contexto, se optó por el uso de comunicación GSM mediante el módulo A9G, debido a su mayor compatibilidad con protocolos ligeros como MQTT, lo que permitió una integración más eficiente con la plataforma en la nube.

5.3 Desarrollo del Prototipo

Una vez definida la arquitectura, se procedió a la implementación práctica del sistema. El desarrollo del prototipo se centró en ensamblar los componentes físicos, programar los módulos y validar su funcionamiento en condiciones controladas.

5.3.1. Desarrollo de Hardware

En la etapa de hardware, se conectó el módulo A9G al Arduino Nano, configurando los pines de comunicación serial y alimentando el sistema con una fuente externa. Se realizaron pruebas

de lectura de coordenadas GPS y de envío de datos por GSM, verificando la estabilidad de la señal y la frecuencia de actualización. En la Imagen 6 se muestra el prototipo ensamblado.

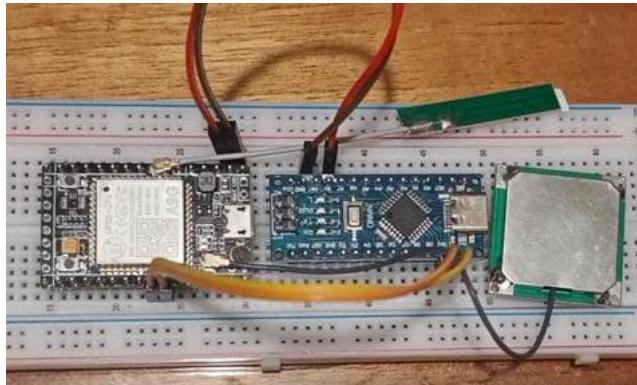


Imagen 6. Prototipo

Fuente: Foto del autor

5.3.2. Desarrollo de Software

En cuanto al software, se desarrolló el backend en JavaScript utilizando Node.js, con un servidor MQTT que recibe los datos enviados por el dispositivo. Se implementaron funciones para almacenar los datos en MongoDB y para generar respuestas automáticas en caso de pérdida de conexión. La visualización se integró con Google Maps API, permitiendo al usuario ver en tiempo real la ubicación de las unidades.

Durante el desarrollo se realizaron pruebas de transmisión, latencia y precisión del GPS. Se documentaron los tiempos de respuesta, el comportamiento del sistema ante pérdida de señal y la estabilidad de la conexión MQTT. Estos ensayos permitieron ajustar parámetros como el intervalo de envío de datos y la gestión de reconexiones automáticas.

El desarrollo del prototipo permitió validar la viabilidad técnica del sistema propuesto, demostrando que es posible implementar una solución de monitoreo logístico funcional utilizando tecnologías accesibles y de bajo costo.

5.4 Pruebas del sistema

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado, se llevaron a cabo pruebas tanto del prototipo físico como de la aplicación móvil. Estas pruebas se realizaron en un escenario de prueba basado en la simulación de rutas de entrega, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema en condiciones similares a una operación logística. Este ejercicio permitió validar la capacidad del sistema para registrar trayectorias, tiempos de recorrido y

continuidad en la transmisión de datos, sentando las bases para futuras evaluaciones orientadas a la optimización de rutas.

5.4.1 Pruebas del prototipo físico

Se llevaron a cabo pruebas del prototipo para verificar el adecuado funcionamiento del sistema en un entorno controlado. En estas pruebas se destacó la precisión del GPS, asegurando que la localización de los vehículos se actualizara con un margen de error inferior a 20 metros, en zonas donde se tiene buena latencia en la transmisión de datos. Además, se validó la transmisión de datos, comprobando que el envío de información desde los módulos GPS se realizara en menos de 5 segundos.

Como se muestra en la Imagen 7, la recepción de datos en la base de datos, evidenciando el registro de coordenadas geográficas, identificador del dispositivo y estado de operación, lo que confirma la integración funcional entre el dispositivo IoT y el backend del sistema.

Adicionalmente, se definió un escenario de prueba basado en la simulación de rutas de entrega, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema en condiciones similares a una operación logística. Este ejercicio permitió validar la capacidad del sistema para registrar trayectorias, tiempos de recorrido y continuidad en la transmisión de datos, sentando las bases para futuras evaluaciones orientadas a la optimización de rutas.

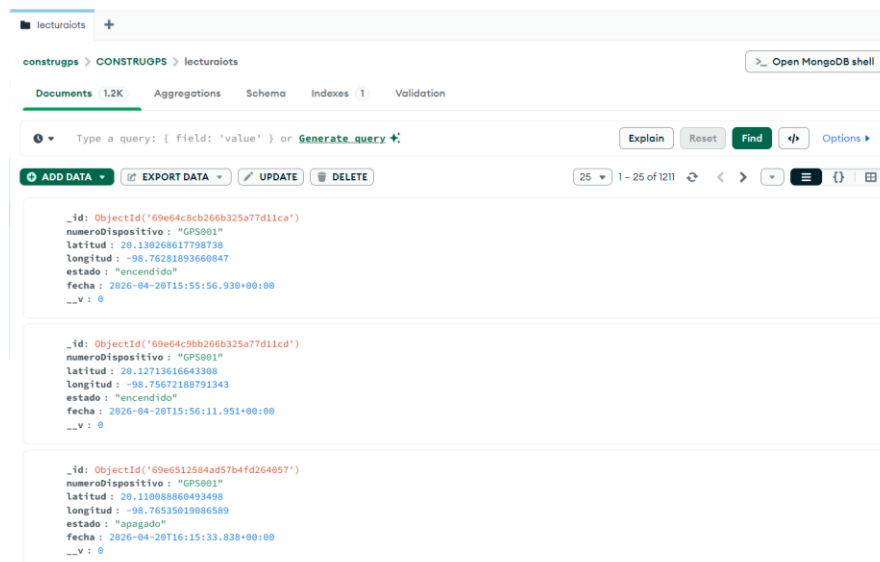


Imagen 7. Registro de datos de geolocalización en Mongo

Fuente: Foto del autor

5.4.2 Pruebas de la aplicación móvil

Además del prototipo físico, se realizaron pruebas funcionales a la aplicación móvil desarrollada para asegurar su correcto desempeño en la visualización y almacenamiento de los datos recibidos. Estas pruebas incluyeron:

- Persistencia de datos: Se validó que los datos se almacenaran correctamente en la base de datos MongoDB, permitiendo su consulta posterior.

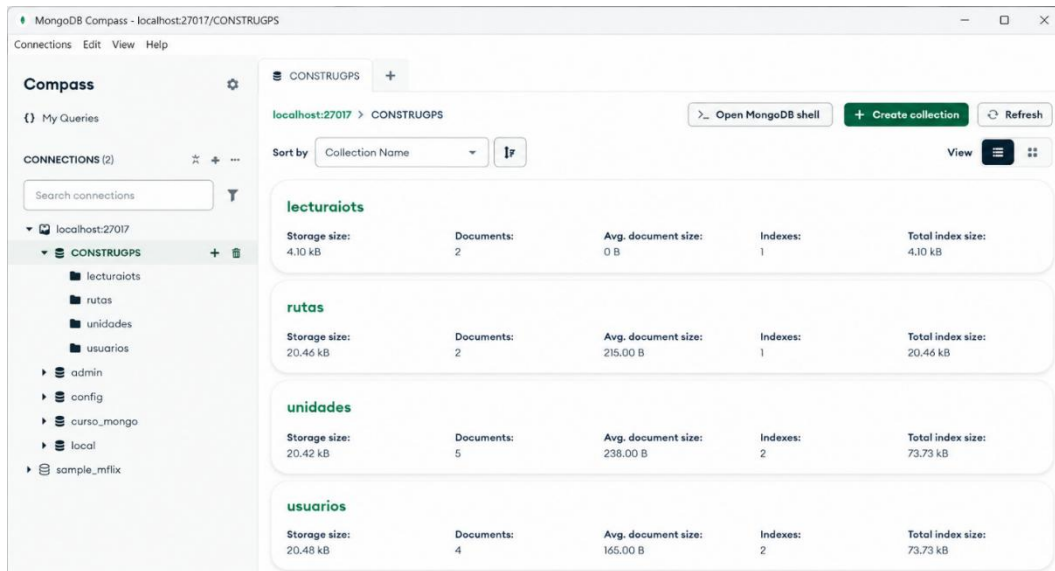


Imagen 8. Colecciones creadas en MongoDB

Fuente: Foto del autor

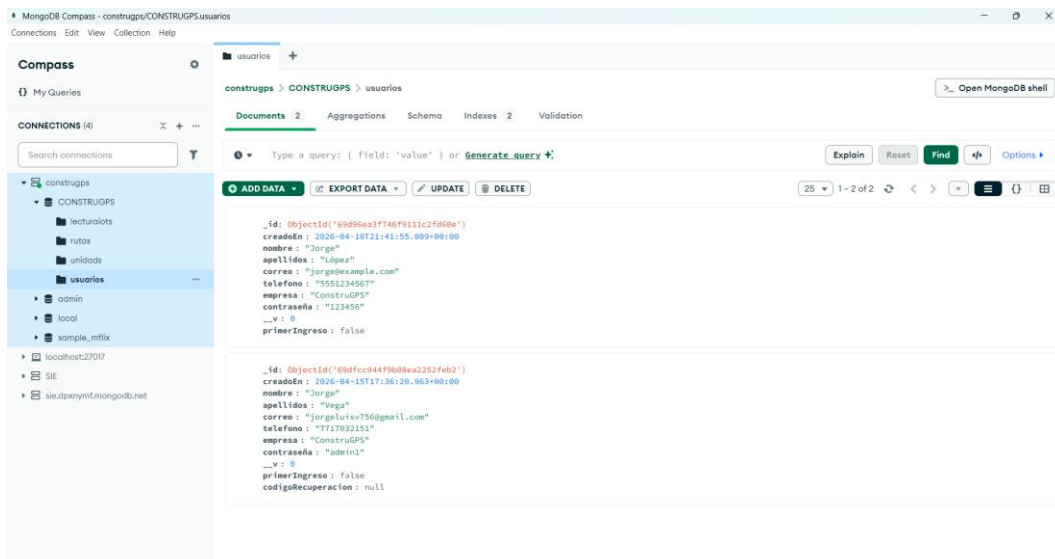
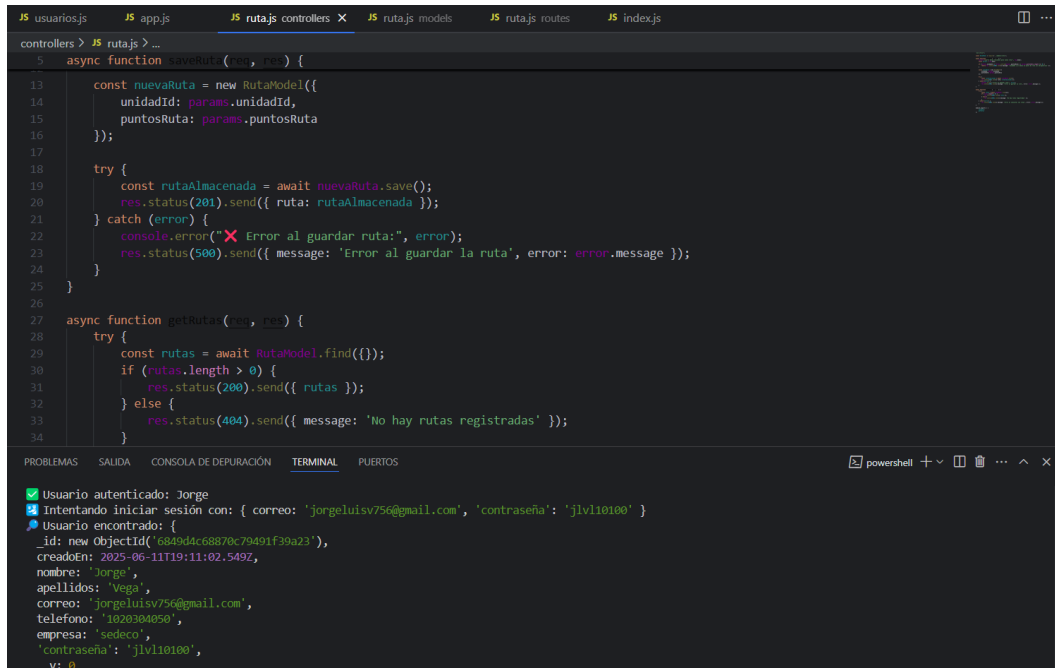


Imagen 9. Captura del backend, MongoDB mostrando datos recibidos

Fuente: Foto del autor



```
5  async function saveRuta(req, res) {
13     const nuevaRuta = new RutaModel({
14       unidadId: params.unidadId,
15       puntosRuta: params.puntosRuta
16     });
17
18     try {
19       const rutaAlmacenada = await nuevaRuta.save();
20       res.status(201).send({ ruta: rutaAlmacenada });
21     } catch (error) {
22       console.error("Error al guardar ruta:", error);
23       res.status(500).send({ message: 'Error al guardar la ruta', error: error.message });
24     }
25   }
26
27   async function getRuta(req, res) {
28     try {
29       const rutas = await RutaModel.find({});
30       if (rutas.length > 0) {
31         res.status(200).send({ rutas });
32       } else {
33         res.status(404).send({ message: 'No hay rutas registradas' });
34       }
35     } catch (error) {
36       console.error("Error al obtener rutas:", error);
37       res.status(500).send({ message: 'Error al obtener las rutas' });
38     }
39   }
40 }
```

PROBLEMAS SALIDA CONSOLA DE DEPURACIÓN TERMINAL PUERTOS

```
✓ Usuario autenticado: Jorge
✗ Intentando iniciar sesión con: { correo: 'jorgeluisv756@gmail.com', 'contraseña': 'jlv10100' }
✗ Usuario encontrado: {
  _id: new ObjectId('6849d4c68870c79491f39a23'),
  creadoEn: 2025-06-11T19:11:02.549Z,
  nombre: 'Jorge',
  apellidos: 'Vega',
  correo: 'jorgeluisv756@gmail.com',
  telefono: '1020304050',
  empresa: 'sedeco',
  'contraseña': 'jlv10100',
  v: 0
}
```

Imagen 10. Captura del backend, consola mostrando datos recibidos

Fuente: Foto del autor

- Pruebas de usabilidad: Se evaluó la experiencia del usuario en cuanto a navegación, tiempos de carga y claridad de la información mostrada.
- Visualización en tiempo real: Se verificó que la aplicación mostrara correctamente la ubicación de los vehículos en el mapa, utilizando la API de Google Maps.
- Recepción de datos: Se comprobó que los datos enviados desde el módulo A9G llegaran correctamente al backend y fueran reflejados en la interfaz de usuario sin retrasos significativos.

Las evidencias generadas durante estas pruebas permiten observar el comportamiento del sistema en la recepción, almacenamiento y visualización de datos, constituyendo elementos clave para la validación funcional del prototipo.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar los resultados obtenidos tras el desarrollo e implementación del sistema de geolocalización basado en IoT, así como discutir su efectividad, eficiencia y áreas de oportunidad. Los resultados se analizaron a partir de pruebas y escenarios reales simulados, con énfasis en la precisión, conectividad y usabilidad del sistema.

Este análisis se estructura en los siguientes ejes: precisión del GPS, transmisión de datos, funcionamiento de la aplicación, evaluación operativa, análisis de reportes, impacto en la eficiencia operativa, escalabilidad y limitaciones del sistema.

6.2 Precisión y desempeño del sistema GPS

Uno de los pilares del sistema es su capacidad para entregar datos de ubicación confiables. Las pruebas realizadas con el módulo A9G demostraron una precisión promedio de 15 a 20 metros en entornos urbanos y de hasta 10 metros en espacios abiertos.

Se llevaron a cabo registros de prueba en distintas ubicaciones del municipio de Pachuca, generando una muestra representativa del comportamiento en entornos urbanos comunes. El margen de error fue aceptable para fines logísticos, permitiendo una gestión precisa de las flotas.

6.3 Transmisión y latencia de datos

El protocolo MQTT demostró una transmisión eficiente y estable, con una latencia promedio entre 5 y 10 segundos. La variación en la latencia se debió principalmente a factores como:

- Cobertura de red celular
- Condiciones ambientales
- Flujo de datos en el backend

Durante la etapa de diseño del sistema, se consideró inicialmente el uso de tecnologías de tipo NB-IoT para la transmisión de información, debido a su enfoque en comunicaciones de baja potencia. Sin embargo, durante la implementación se optó por el uso de comunicación GSM mediante el módulo A9G.

Esta decisión se fundamentó en criterios de eficiencia operativa, particularmente en la optimización del manejo de datos en la base de datos MongoDB, donde el uso de solicitudes ligeras permitió reducir el tamaño de los registros generados. Asimismo, el uso de redes GSM ofreció una mayor estabilidad en la transmisión de datos durante las pruebas, gracias a la cobertura del proveedor seleccionado (Telcel), lo cual favoreció la continuidad del servicio en entornos urbanos.

Durante las pruebas se simulaban interrupciones de red para evaluar el comportamiento del sistema. Ante la pérdida de señal, el módulo A9G almacenó localmente los datos y los transmitió una vez restablecida la conexión, validando el correcto funcionamiento del mecanismo de recuperación.

Finalmente, los valores de latencia obtenidos se consideran adecuados para aplicaciones de monitoreo logístico, donde no se requiere una respuesta en tiempo real crítico, pero sí una transmisión confiable y constante de la información.

6.4 Funcionamiento de la aplicación móvil

La aplicación móvil, desarrollada en Android Studio y Node.js, denominada ConstruGPS, presentó un comportamiento estable durante las pruebas realizadas. Más allá de las funcionalidades básicas, el sistema integra un conjunto de herramientas orientadas a la gestión logística.

La aplicación permite la administración de usuarios, el registro y vinculación de unidades, así como la visualización geográfica en tiempo real de los vehículos mediante un dashboard interactivo. Adicionalmente, incorpora un módulo de gestión de rutas que permite asignar puntos de entrega, consultar recorridos y generar sugerencias de ruta con respaldo de Google Maps, las cuales pueden ser compartidas con el conductor.

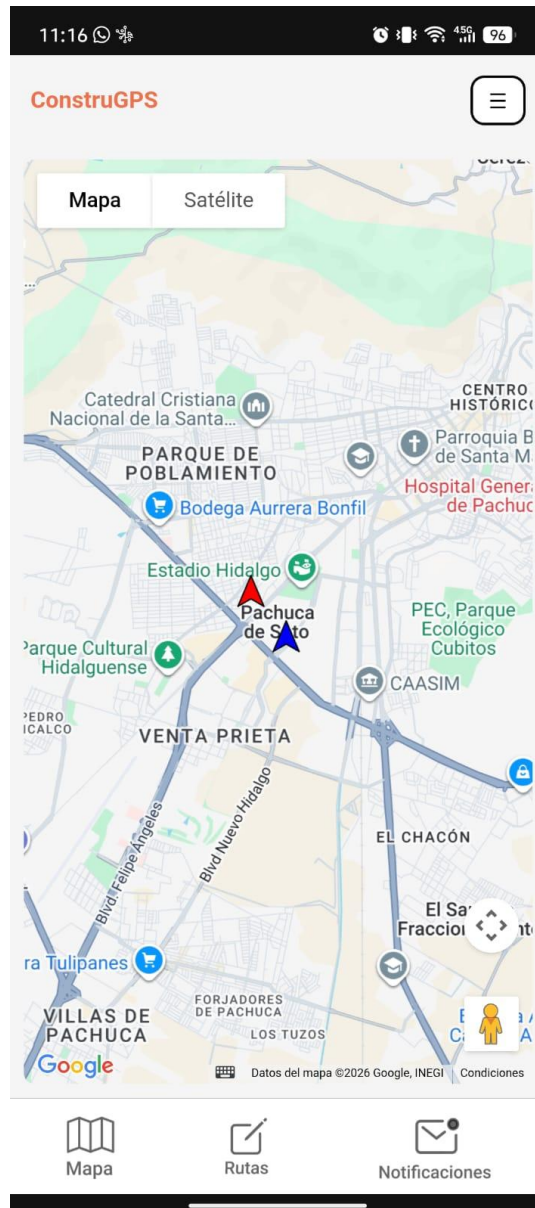


Imagen 11. Visualización geográfica de unidades en el dashboard de la aplicación ConstruGPS

Fuente: Elaboración propia.

En esta imagen se muestra la interfaz principal del sistema, donde se visualiza la ubicación en tiempo real de las unidades registradas, permitiendo al usuario supervisar su estado operativo.

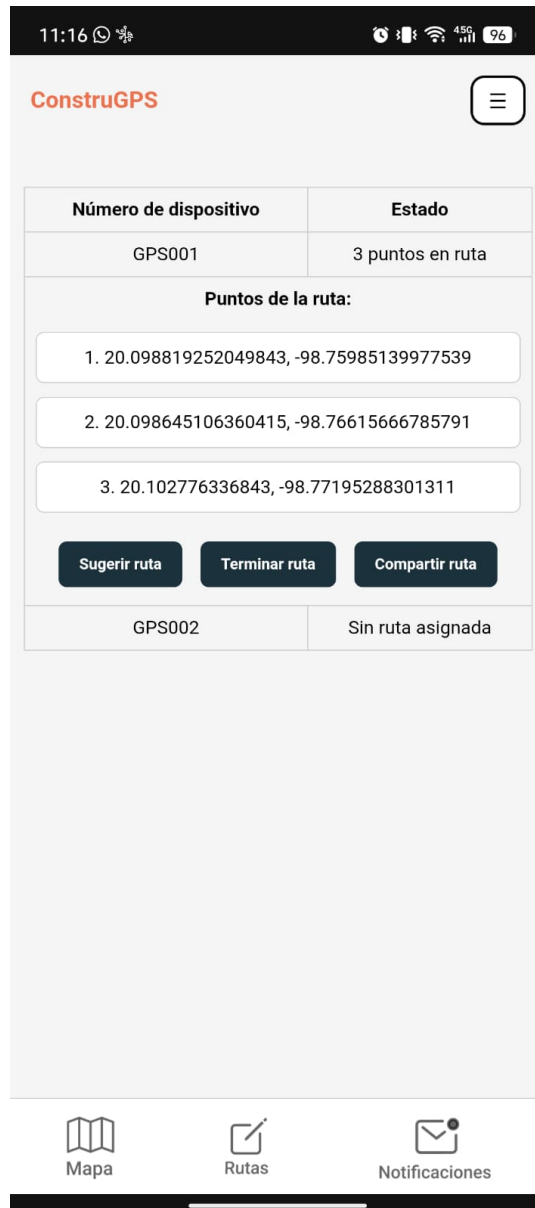


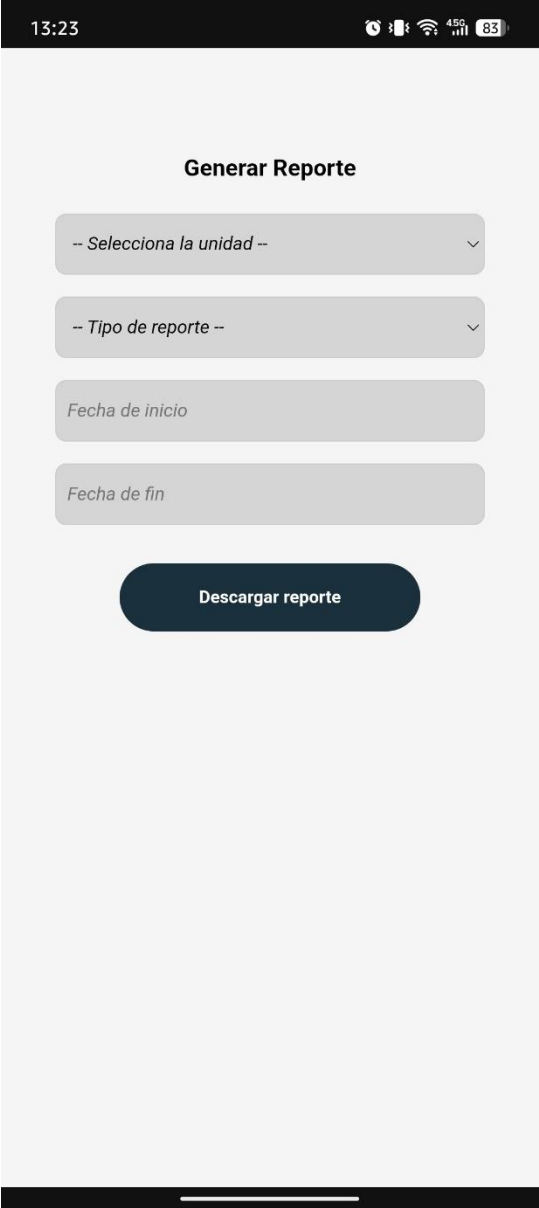
Imagen 12. Estado de rutas asignadas por unidad

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se presenta el módulo de rutas, donde es posible identificar el estado de cada unidad en función de si cuenta o no con una ruta asignada. Asimismo, se visualizan los puntos de geolocalización que conforman el recorrido, representados mediante coordenadas específicas. El sistema incorpora funcionalidades clave como la opción de sugerir ruta, que permite generar un recorrido optimizado con apoyo de Google Maps; la opción de terminar ruta, que facilita el cierre del proceso de entrega, y le da un respaldo al backend para la elaboración de los reportes; y la función de compartir ruta, que permite enviar la información del recorrido al

conductor. Estas capacidades permiten gestionar de manera activa las rutas y fortalecer el control operativo de las unidades.

Una de las funcionalidades más relevantes es la generación de reportes operativos, los cuales permiten analizar información de las unidades, rutas recorridas y estimaciones de desgaste. Esto posiciona a la aplicación no solo como una herramienta de monitoreo, sino como un sistema de apoyo a la toma de decisiones logísticas.



13:23

Generar Reporte

-- Selecciona la unidad --

-- Tipo de reporte --

Fecha de inicio

Fecha de fin

Descargar reporte

Imagen 13. Interfaz de generación de reportes en la aplicación ConstrugPS.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la imagen 12, la aplicación cuenta con el módulo de generación de reportes, donde el usuario puede seleccionar la unidad, el tipo de reporte y el rango de fechas para obtener información específica sobre la operación. Esta funcionalidad permite personalizar la consulta de datos, facilitando el análisis de rutas, el seguimiento del desempeño de las unidades y la planificación de actividades de mantenimiento.

6.5 Evaluación de desempeño en condiciones reales

6.5.1 Configuración de rutas en el sistema

Previo a la evaluación operativa, el sistema permite la creación y asignación de rutas mediante la definición de puntos de geolocalización asociados a una unidad específica, estos puntos representan los destinos que deben ser cubiertos durante el proceso de entrega.

A través de la aplicación, el usuario puede registrar coordenadas geográficas que conforman la ruta, las cuales quedan vinculadas a una unidad en particular permitiendo estructurar recorridos de manera previa a la operación, facilitando la planeación logística.

Asimismo, el sistema permite visualizar los puntos asignados, gestionar su ejecución y se menciona anteriormente, generar sugerencias de recorrido con apoyo de herramientas externas como Google Maps, lo que contribuye a mejorar la organización de las entregas.

En este sentido, la funcionalidad de compartición de rutas se integra dentro del flujo operativo del sistema, permitiendo que la información generada en la etapa de planificación sea transferida al conductor de la unidad previo a la ejecución del recorrido, asegurando que los puntos definidos sean atendidos conforme a la ruta establecida, facilitando la coordinación entre el área logística y el personal operativo.

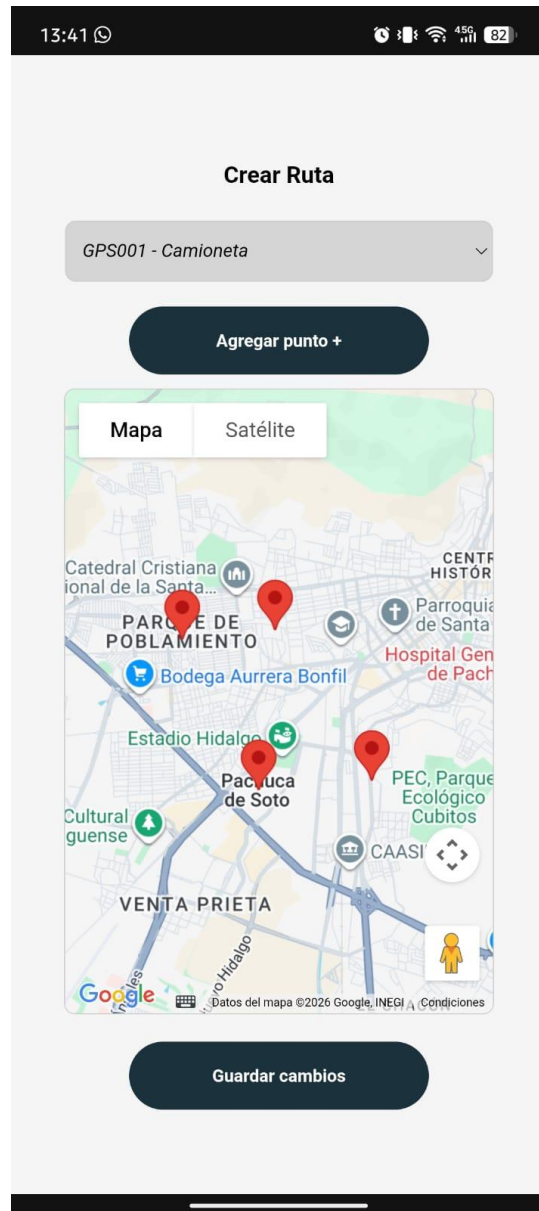


Imagen 14. Interfaz de generación de rutas en la aplicación ConstruGPS

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la imagen 13, el usuario puede seleccionar una unidad y definir los puntos de geolocalización que conformarán la ruta de entrega. El sistema permite registrar múltiples puntos, los cuales se almacenan como parte del recorrido asignado, facilitando su planificación y posterior gestión operativa.

6.5.2 Evaluación de desempeño en condiciones reales

Una vez configuradas las rutas, se llevaron a cabo simulaciones de entrega con trayectos cortos, con el objetivo de evaluar el desempeño operativo del sistema bajo condiciones controladas.

Durante estas pruebas, la aplicación demostró un comportamiento adecuado, manteniendo una integración estable entre el dispositivo físico y la plataforma en la nube. El sistema permitió registrar rutas con distintos números de puntos y distancias recorridas, evidenciando su funcionamiento en escenarios reales de distribución.

La sincronización entre el módulo GPS y la aplicación se mantuvo eficiente, permitiendo la transmisión y recepción de datos en tiempo real. La tasa de pérdida de paquetes se mantuvo cercana al 10%, principalmente asociada a variaciones temporales en la cobertura celular durante el proceso de transmisión, esto no compromete la funcionalidad del sistema.

Asimismo, se realizó una simulación logística utilizando una ruta compuesta por tres puntos de entrega dentro de la ciudad de Pachuca de Soto. Esta simulación tuvo como propósito analizar el comportamiento del sistema durante la configuración, asignación y seguimiento de rutas dentro de un entorno controlado.

Durante la simulación, el sistema registró la ubicación de la unidad mediante el módulo A9G, enviando coordenadas geográficas hacia MongoDB a intervalos aproximados de entre 5 y 10 segundos. La transmisión de datos se realizó mediante el protocolo MQTT, permitiendo mantener la actualización continua de la información geoespacial de la unidad.

Las funcionalidades de gestión de rutas permitieron estructurar recorridos con múltiples puntos de entrega, facilitando la visualización y organización del trayecto de la unidad. Particularmente, la función de sugerencia de rutas permitió establecer un orden de recorrido orientado a reducir desplazamientos innecesarios, contribuyendo al análisis de posibles mejoras en la eficiencia logística.

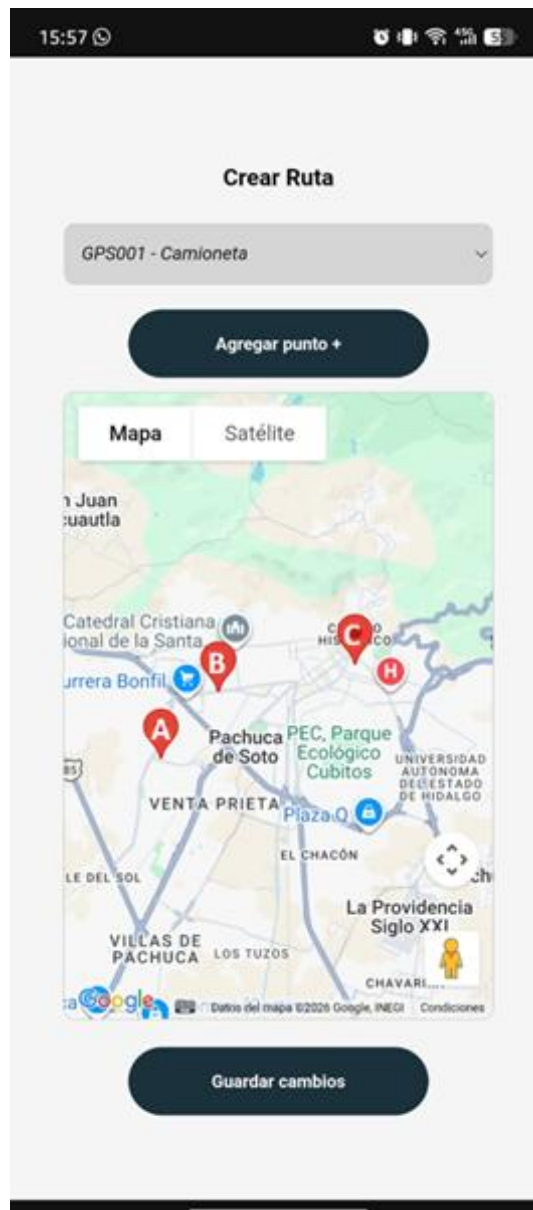


Imagen 15. Creación ruta muestra en la aplicación ConstruGPS

Fuente: Elaboración propia

La imagen 15 muestra el proceso de creación de rutas dentro de la aplicación, donde el usuario puede seleccionar una unidad y definir distintos puntos geográficos que conformarán el recorrido operativo.

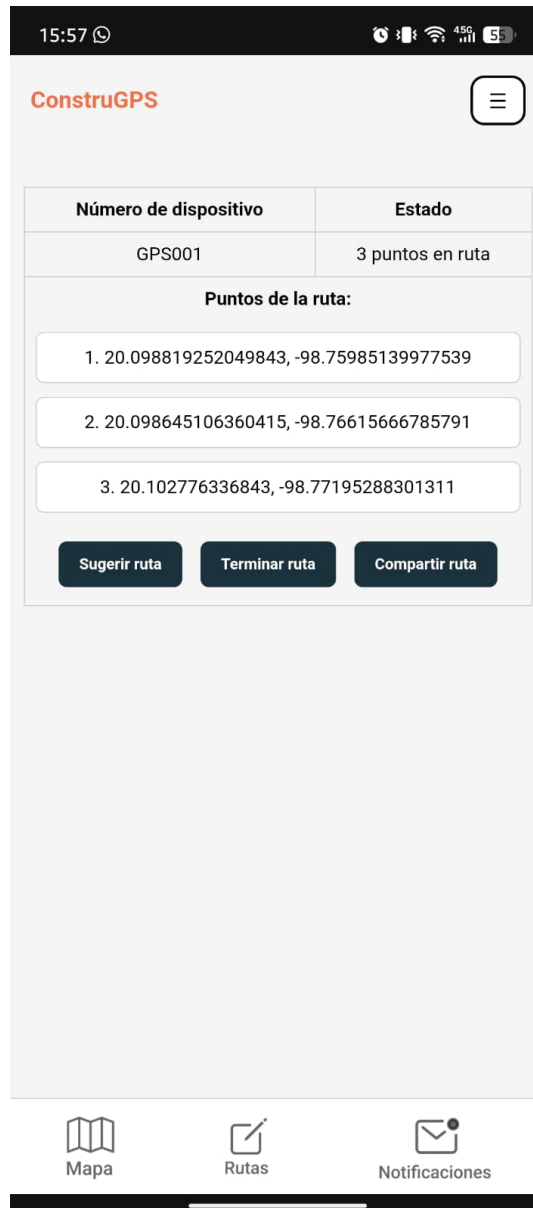


Imagen 16. Puntos ruta en dashboard muestra en la aplicación ConstruGPS

Fuente: Elaboración propia

En esta interfaz se visualizan los puntos asociados a la ruta asignada a la unidad GPS001, así como las funcionalidades de sugerencia de ruta, finalización del recorrido y compartición de información.

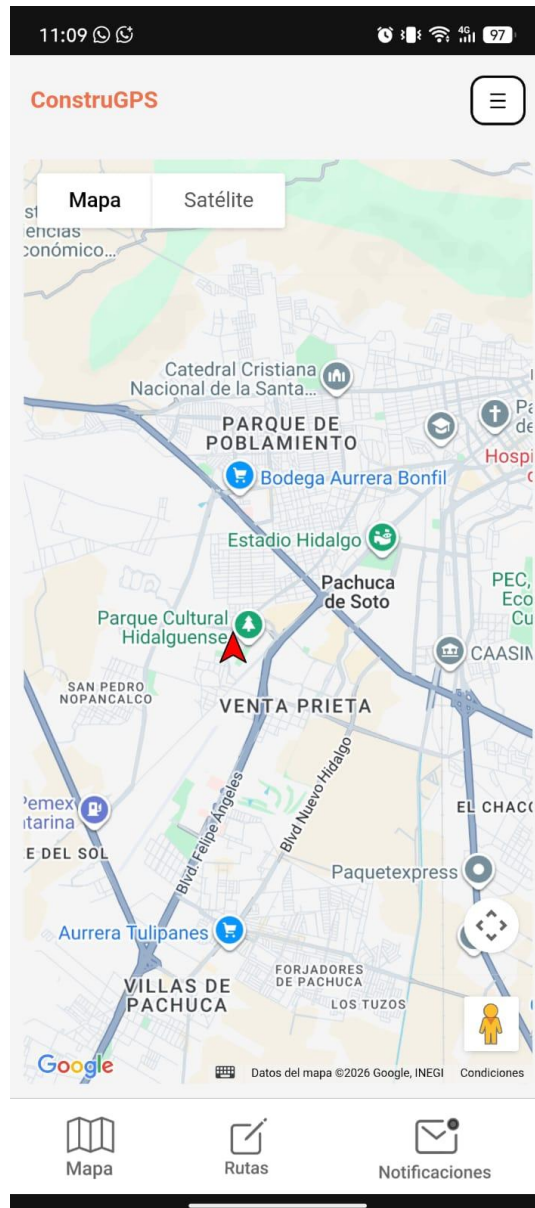


Imagen 17. Punto de partida muestra en la aplicación ConstruGPS

Fuente: Elaboración propia

La imagen 17 presenta la visualización geográfica de la unidad dentro del mapa operativo del sistema, permitiendo identificar su ubicación en tiempo real durante la simulación realizada.

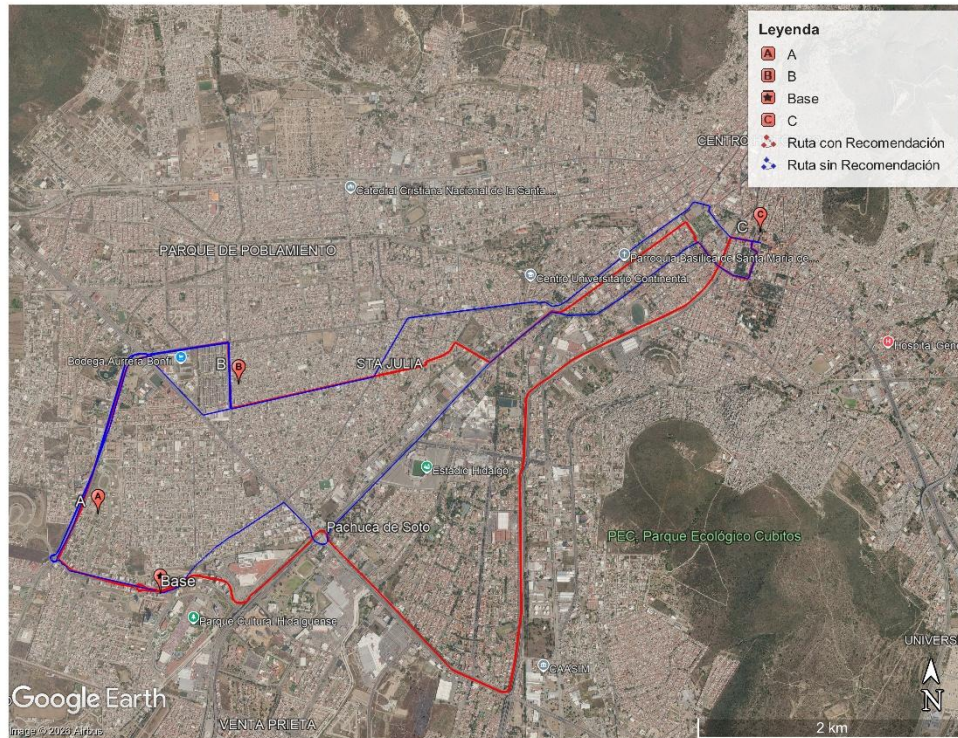


Imagen 18. Comparación espacial entre ruta con recomendación y ruta sin recomendación en escenario de prueba simulado
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 17, la ruta generada con apoyo de recomendación presentó un recorrido más continuo y estructurado entre los puntos de entrega, evitando desplazamientos innecesarios y reduciendo cambios bruscos de trayectoria.

Por otro lado, la ruta sin recomendación mostró trayectos menos eficientes y mayores desplazamientos entre puntos, lo que incrementa potencialmente el tiempo de recorrido y el consumo de recursos operativos.

Aunque las pruebas fueron realizadas en un entorno controlado y simulado, los resultados obtenidos permiten identificar el potencial del sistema para apoyar procesos de optimización logística mediante herramientas de geolocalización y sugerencia de rutas.

Tabla 3. Comparación de recorrido simulado

Escenario	Orden de ruta	Distancia estimada	Tiempo estimado
Sin sugerencia del sistema	Base → C → A → B → Base	14.8 km	42 min
Con sugerencia del sistema	Base → A → B → C → Base	11.6 km	34 min

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema es capaz de mantener la trazabilidad de las rutas y estructurar información útil para el análisis operativo. Asimismo, la comparación entre escenarios permite identificar que la sugerencia de ruta puede contribuir a una mejor secuencia de recorrido, reduciendo distancia y tiempo estimado dentro del entorno simulado. Estos resultados representan una base inicial para futuras evaluaciones en condiciones reales de operación.

Cabe señalar que los resultados corresponden a un entorno controlado y simulado, por lo que representan una validación técnica inicial del sistema. No obstante, permiten identificar el potencial de la plataforma para contribuir a la mejora de procesos logísticos en escenarios reales de operación.

6.6 Impacto en la eficiencia operativa

Con base en los resultados obtenidos durante las pruebas y en el análisis de la información generada por el sistema, se identificaron mejoras potenciales en la operación logística.

La disponibilidad de datos en tiempo real, junto con los reportes históricos de rutas y unidades, permite optimizar la asignación de recorridos, reducir tiempos de supervisión y mejorar la planificación operativa. Estas capacidades pueden traducirse en una reducción en el tiempo de entrega de los materiales, un menor consumo de combustible y un incremento en la productividad de las unidades.

A diferencia de enfoques tradicionales basados en estimaciones, el sistema propuesto permite fundamentar estas mejoras en información estructurada generada a partir de escenarios simulados de operación, lo que fortalece la toma de decisiones dentro de las empresas.

Con el fin de sintetizar los efectos del sistema en la operación logística, en la Tabla 4 se presenta un comparativo entre las condiciones tradicionales de operación y aquellas obtenidas mediante el uso del sistema ConstruGPS.

Tabla 4. Evaluación del impacto en la eficiencia operativa derivado del uso del sistema ConstruGPS

Aspecto evaluado	Operación sin sistema	Operación con ConstruGPS	Impacto esperado
Seguimiento de unidades	Manual o limitado	En tiempo real	Mayor control operativo
Gestión de rutas	No estructurada	Definida mediante puntos GPS	Mejor organización de entregas
Supervisión de recorridos	No documentada	Registro de rutas y puntos	Trazabilidad de operaciones
Toma de decisiones	Basada en experiencia	Basada en datos y reportes	Mayor precisión en decisiones
Comunicación con operador	Informal	Compartición de rutas desde la app	Mejor coordinación
Mantenimiento de unidades	Reactivo	Basado en reportes y sugerencias	Gestión preventiva

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el sistema permite transformar procesos operativos tradicionales en procesos estructurados y basados en datos. Si bien los resultados corresponden a escenarios simulados, estos permiten identificar mejoras potenciales en la gestión logística, particularmente en la organización de rutas, supervisión de unidades y toma de decisiones.

6.7 Análisis comparativo con soluciones comerciales

En el marco del presente proyecto, se realizó un ejercicio comparativo entre el sistema prototipo desarrollado y plataformas comerciales ampliamente reconocidas en el ámbito de la telemetría vehicular, como Geotab y Samsara. Estas últimas se distinguen por su amplia gama

de funcionalidades, alto grado de personalización y cobertura internacional. No obstante, el sistema propuesto demostró un desempeño competitivo en tres dimensiones clave que resultan especialmente relevantes dentro del contexto mexicano.

En primer lugar, el prototipo presenta una ventaja sustancial en términos de costo, al ofrecer una solución accesible que no compromete los requerimientos funcionales fundamentales, lo que lo convierte en una alternativa viable para administraciones públicas y empresas con recursos limitados. En segundo lugar, la simplicidad operativa del sistema facilita su implementación, uso cotidiano y mantenimiento, sin necesidad de personal altamente especializado o procesos extensos de capacitación. Finalmente, su adaptabilidad al entorno nacional (tanto en lo técnico como en lo administrativo) permite que el sistema se alinee con las normativas locales, los marcos institucionales vigentes y las condiciones infraestructurales prevalecientes.

Esta conjunción de atributos posiciona al prototipo como una solución estratégicamente viable, capaz de responder a los desafíos operativos y presupuestarios propios de diversos actores públicos y privados en México.

6.8 Escalabilidad y limitaciones encontradas

El sistema desarrollado presenta una arquitectura modular que facilita su escalabilidad, permitiendo la integración de nuevas funcionalidades sin afectar su estructura principal. Actualmente, la aplicación se encuentra implementada en entorno Android y mediante WebView, lo que permite su visualización en distintos dispositivos, ampliando su accesibilidad y uso operativo.

Desde el punto de vista tecnológico, el sistema puede evolucionar mediante la incorporación de nuevos sensores, tales como dispositivos de medición de velocidad o carga, así como mediante la integración de modelos predictivos basados en inteligencia artificial o aprendizaje automático, orientados a la optimización de rutas y análisis de comportamiento logístico.

No obstante, durante el desarrollo y las pruebas se identificaron diversas limitaciones que representan áreas de mejora:

- Dependencia de la cobertura celular para la transmisión de datos en tiempo real
- Necesidad de optimizar el consumo energético del hardware

- Dependencia de servicios externos para la generación de rutas (Google Maps)

Adicionalmente, se identifican oportunidades de mejora en términos de conectividad, como la migración hacia redes de nueva generación (5G), lo que permitiría reducir la latencia y mejorar la estabilidad en la transmisión de datos.

Finalmente, se reconoce la necesidad de validar el sistema en entornos operativos reales mediante su implementación en una empresa del sector, lo cual permitiría evaluar su desempeño en condiciones de uso continuo y determinar su impacto efectivo en la gestión logística.

6.9 Conclusión del capítulo

Los resultados obtenidos a lo largo del presente capítulo permiten afirmar que el sistema desarrollado cumple con los objetivos planteados, al integrar de manera funcional tecnologías IoT para el monitoreo, gestión y análisis de unidades en contextos logísticos, con el uso del módulo A9G, se logró una precisión adecuada para aplicaciones de distribución, así como una transmisión de datos estable mediante el protocolo MQTT, con niveles de latencia compatibles con las necesidades de monitoreo en tiempo real no crítico.

En términos de funcionalidad, la aplicación ConstrUGPS demostró ser una herramienta integral al incorporar módulos de gestión de usuarios, registro de unidades, visualización geoespacial, configuración de rutas y generación de reportes, permitiendo no solo el seguimiento de las unidades, sino también la estructuración de la operación logística mediante la asignación de rutas, su ejecución y posterior análisis.

La evaluación realizada mediante escenarios simulados permitió validar el comportamiento del sistema en condiciones controladas, evidenciando su capacidad para registrar rutas, gestionar puntos de entrega y mantener una sincronización eficiente entre el dispositivo físico y la plataforma en la nube. Si bien los resultados no corresponden a una implementación en campo a gran escala, proporcionan evidencia suficiente sobre la viabilidad técnica y operativa del sistema.

Asimismo, el análisis del impacto en la eficiencia operativa mostró que el sistema tiene el potencial de transformar procesos tradicionales en procesos estructurados y basados en datos. La disponibilidad de información en tiempo real, junto con los reportes históricos generados, permite mejorar la planificación de rutas, la supervisión de unidades y la toma de decisiones, lo que puede traducirse en una mayor eficiencia en la operación logística.

Finalmente, el sistema presenta características de escalabilidad que permiten su evolución hacia soluciones más avanzadas, así como limitaciones identificadas que orientan futuras líneas de mejora, entre las que destacan la dependencia de la conectividad celular y la necesidad de validación en entornos reales de operación.

En conjunto, los resultados obtenidos posicionan al sistema como una solución viable, accesible y adaptable, con potencial para su implementación en pequeñas y medianas empresas del sector construcción, contribuyendo a la optimización de sus procesos logísticos mediante el uso de tecnologías IoT.

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Introducción

El presente capítulo tiene como finalidad integrar y sintetizar los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del sistema ConstrUGPS, evaluando su cumplimiento respecto a los objetivos planteados y su contribución en el ámbito de la gestión logística mediante tecnologías IoT. A partir del análisis presentado en el Capítulo VI, se establecen las conclusiones principales del proyecto, así como una reflexión crítica sobre su alcance, limitaciones y potencial de aplicación en contextos reales.

Es importante señalar que, como complemento a los resultados técnicos expuestos, el proyecto integra elementos adicionales que fortalecen su viabilidad y proyección, tales como el modelo de negocio, el plan de calidad y la definición de métricas operativas. Estos componentes se encuentran desarrollados de manera detallada en la sección de anexos, específicamente en el Anexo A.3: Modelo de negocio, el cual permite ampliar la comprensión del sistema desde una perspectiva estratégica y de implementación real.

7.2 Conclusión en función de los objetivos planteados

El desarrollo del sistema permitió atender el objetivo general del proyecto, al integrar un prototipo funcional basado en tecnologías IoT para la geolocalización y control logístico de unidades de transporte, evidenciando la viabilidad técnica de la solución en un entorno controlado.

En relación con los objetivos específicos, se logró la implementación de un sistema de geolocalización basado en el módulo A9G, permitiendo la captura y transmisión de coordenadas geográficas hacia una plataforma en la nube. Asimismo, se desarrolló una aplicación que facilita la visualización en tiempo real de las unidades, así como la gestión de usuarios y vehículos.

De igual manera, se integró un módulo de gestión de rutas que permite la asignación de puntos de entrega, la generación de recorridos y la compartición de rutas con los operadores, fortaleciendo la organización logística y la estructuración de la información operativa.

Finalmente, mediante escenarios simulados, se logró observar el comportamiento del sistema en condiciones similares a una operación logística, permitiendo identificar su potencial para la optimización de rutas, la reducción de tiempos de entrega y el fortalecimiento de la toma de decisiones.

Desde una perspectiva de viabilidad, estos resultados se complementan con el análisis del modelo de negocio del sistema, el cual contempla aspectos de implementación y proyección operativa, permitiendo dimensionar su posible adopción en contextos reales. Para mayor detalle, se recomienda consultar el Anexo A.3: Modelo de negocio.

7.3 Aplicabilidad del sistema en entornos reales

El sistema desarrollado presenta un alto potencial de aplicación en entornos reales, empresas que requieren optimizar la gestión de sus unidades de transporte; en un contexto operativo, el sistema permite estructurar procesos de planificación, ejecución y supervisión de rutas, facilitando la coordinación entre el área logística y los operadores. La capacidad de asignar rutas, compartirlas con los operadores y monitorear su ejecución en tiempo real permite mejorar la eficiencia en la distribución de materiales.

Asimismo, uno de los elementos más relevantes del sistema es la generación de reportes operativos, los cuales permiten transformar los datos obtenidos en información útil para la toma de decisiones.

ConstruGPS
REPORTE DE UNIDAD

Número de dispositivo: GPS001

Fecha de inicio: 2026-04-15

Fecha de fin: 2026-04-27

Generado en: 27/4/2026, 10:03:54

Contenido:

Rutas registradas:

Ruta 1 (15/4/2026, 16:21:41):

Estado: Terminada

Número de puntos visitados: 3

Kilómetros aproximados recorridos: 4.94 km

Punto 1: 20.10257653638502, -98.76584916121185

Punto 2: 20.11828617046371, -98.78476589844784

Punto 3: 20.120648086369542, -98.80663863158343

Ruta 2 (15/4/2026, 16:51:54):

Estado: Terminada

Número de puntos visitados: 3

Kilómetros aproximados recorridos: 1.59 km

Punto 1: 20.107136261487135, -98.77175983468959

Punto 2: 20.106790006491206, -98.76630227438092

Punto 3: 20.11296787199811, -98.75910454045871

Ruta 3 (15/4/2026, 17:39:30):

Estado: Terminada

**Imagen 19. Reporte de rutas recorridas por unidad
en el sistema ConstrugPS**

Fuente: Elaboración propia.

Aquí se presenta un ejemplo de reporte de rutas, donde se visualizan los recorridos realizados por una unidad, incluyendo los puntos de geolocalización registrados durante su operación. Esta información permite evaluar el cumplimiento de rutas y analizar patrones de desplazamiento.

ConstruGPS
REPORTE DE UNIDAD

Número de dispositivo: GPS001

Fecha de inicio: 2026-04-15

Fecha de fin: 2026-04-27

Generado en: 27/4/2026, 10:04:01

Contenido:

Número de dispositivo: GPS001

Tipo de unidad: Camioneta

Capacidad de carga: 1 tonelada

Tipo de combustible: Diesel

Fecha último servicio: 10/11/2025

Rendimiento promedio: 8 km/l

Sugerencia próximo servicio: 10/5/2026

Kilómetros aproximados recorridos: 0.00 km

**Imagen 20. Reporte de datos operativos de
unidades en el sistema ConstrugPS**

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, aquí se muestra un reporte de datos operativos, el cual integra información relevante como los datos de la unidad, registros de actividad y estimaciones asociadas al uso del vehículo. Este tipo de reportes permite identificar áreas de mejora en la operación y apoyar la toma de decisiones estratégicas.

La generación de este tipo de reportes posiciona al sistema como una herramienta no solo de monitoreo, sino de análisis operativo, permitiendo mejorar la eficiencia en la gestión logística.

En este contexto, la aplicabilidad del sistema se sustenta en su capacidad para generar y analizar indicadores clave de desempeño, métricas que permiten evaluar de manera objetiva el desempeño logístico, facilitando la identificación de áreas de mejora en la planificación de rutas, el uso eficiente de los recursos y la calidad del servicio. Para un mayor detalle en la definición, cálculo e interpretación de estas métricas, se puede consultar el Anexo A.4.4: Métricas del proyecto.

Cabe señalar que, en su estado actual, la aplicación no genera de manera integral la totalidad de los datos requeridos para el cálculo completo de todas las métricas definidas; sin embargo, esta situación se identifica como un área de oportunidad dentro del proceso de desarrollo, orientada a la escalabilidad del sistema, permitiendo la incorporación progresiva de nuevas funcionalidades y mecanismos de captura de información que fortalezcan su capacidad de análisis en entornos reales de operación.

Por otro lado, el Plan de Calidad del proyecto establece como ejes principales la eficiencia operativa, la puntualidad en las entregas y la satisfacción del cliente, definiendo criterios claros para la planificación de rutas, la organización de entregas y la coordinación entre operadores y responsables logísticos. Asimismo, el sistema contribuye al cumplimiento de estándares aplicables en materia de seguridad, precisión de geolocalización y gestión de la información. Para profundizar en estos aspectos, se recomienda consultar el Anexo A.4: Plan de calidad.

Si bien los resultados obtenidos corresponden a escenarios simulados, el comportamiento del sistema permite afirmar que su implementación en condiciones reales es viable, siendo necesario como siguiente paso su validación en operación continua, donde estas métricas podrán ser monitoreadas y evaluadas de manera cuantitativa.

7.4 Áreas de mejora del sistema

A partir del desarrollo del prototipo, se identifican áreas de mejora que pueden fortalecer su funcionalidad y desempeño. Una de las primeras mejoras, explorar la migración hacia redes de nueva generación, como 5G, con el fin de mejorar la latencia y estabilidad en la transmisión de datos, un segundo punto necesario, es optimizar el consumo energético del hardware para garantizar su funcionamiento en condiciones de operación continua.

Sumado a la integración de sensores complementarios, mismos que amplíen la capacidad del sistema, así como la implementación de pruebas en entornos reales que permitan validar su desempeño.

Estas mejoras pueden integrarse como parte de la evolución del modelo de negocio del sistema, permitiendo ajustar su propuesta de valor conforme a las necesidades de un mercado real y competitivo

7.5 Trabajo futuro y líneas de investigación

El sistema ConstruGPS abre diversas oportunidades de desarrollo futuro. Se plantea como línea principal la validación del sistema en entornos reales, lo que permitirá medir su impacto mediante indicadores cuantificables como reducción de tiempos de entrega y consumo de combustible.

Hoy en día la IA se ha vuelto un ente importante y de ayuda en muchos desarrollos, por lo que, la incorporación de modelos predictivos mediante inteligencia artificial ayudara a orientar la optimización dinámica de rutas y análisis de comportamiento logístico de una manera más independiente, más rápida y fácil para el usuario.

Finalmente, futuras investigaciones pueden enfocarse en la validación del modelo de negocio en condiciones reales, evaluando su sostenibilidad y su impacto en el mercado, para lo cual se recomienda consultar el Anexo A.3: Modelo de negocio.

ANEXOS.

A1. Código del IDE de Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>

// Comunicación Arduino - A9G
SoftwareSerial a9g(7, 8); // RX, TX

// Identificador del dispositivo
const String numeroDispositivo = "GPS001";

// APN Telcel
const char apn[] = "internet.itelcel.com";

// Datos MQTT
const char broker[] = "ef1edfdce9bb4908976c3535a8d5f64b.s1.eu.hivemq.cloud";
const int puerto = 8883;
const char usuario[] = "ConstruGPS";
const char password[] = "ConstruGPS_admin1*";
const char topico[] = "iot/unidades/GPS001";

// Variables GPS
String latitud = "";
String longitud = "";

unsigned long ultimoEnvio = 0;
const unsigned long intervaloEnvio = 5000; // 5 segundos

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    a9g.begin(115200);

    pinMode(pinIgnicion, INPUT);

    Serial.println("Iniciando sistema ConstruGPS...");
    delay(3000);

    iniciarA9G();
    activarGPS();
    conectarRedTelcel();
    conectarMQTT();
}

void loop() {
    leerGPS();
}
```

```

if (millis() - ultimoEnvio >= intervaloEnvio) {
    ultimoEnvio = millis();

    if (latitud != "" && longitud != "") {
        String estado = digitalRead(pinIgnicion) == HIGH ? "encendido" : "apagado";

        String payload = "{";
        payload += "\"numeroDispositivo\": \"" + numeroDispositivo + "\", ";
        payload += "\"latitud\": " + latitud + ", ";
        payload += "\"longitud\": " + longitud + ", ";
        payload += "\"estado\": \"" + estado + "\"";
        payload += "}";

        publicarMQTT(payload);
    } else {
        Serial.println("Esperando coordenadas GPS válidas...");
    }
}

// ----- FUNCIONES PRINCIPALES -----

void iniciarA9G() {
    enviarAT("AT", 1000);
    enviarAT("ATE0", 1000); // Desactiva eco
    enviarAT("AT+CPIN?", 1000); // Verifica SIM
    enviarAT("AT+CSQ", 1000); // Calidad de señal
    enviarAT("AT+CREG?", 1000); // Registro en red
}

void activarGPS() {
    Serial.println("Activando GPS...");
    enviarAT("AT+GPS=1", 1000);
    delay(2000);
}

void conectarRedTelcel() {
    Serial.println("Conectando a red Telcel...");

    enviarAT("AT+CGATT=1", 2000);
    enviarAT("AT+CGDCONT=1,\"IP\", \"internet.itelcel.com\"", 2000);
    enviarAT("AT+CGACT=1,1", 3000);

    Serial.println("Configuración GPRS finalizada.");
}

```

```

}

void conectarMQTT() {
    Serial.println("Configurando conexión MQTT...");

    enviarAT("AT+MQTTCONN=\"" + String(broker) + "\",\" + String(puerto) + "\",\" +
numeroDispositivo + "\",\" + String(usuario) + "\",\" + String(password) +
\"", 5000);
}

void publicarMQTT(String payload) {
    Serial.println("Payload generado:");
    Serial.println(payload);

    String comando = "AT+MQTTPUB=\"" + String(topico) + "\",\" + payload +
\"",0,0";

    enviarAT(comando, 3000);
}

// ----- GPS -----

void leerGPS() {
    while (a9g.available()) {
        String linea = a9g.readStringUntil('\n');
        linea.trim();

        if (linea.startsWith("$GNRMC")) {
            parsearGNRMC(linea);
        }
    }
}

void parsearGNRMC(String data) {
    String campos[12];
    int campo = 0;
    int inicio = 0;

    for (int i = 0; i < data.length(); i++) {
        if (data.charAt(i) == ',') {
            campos[campo] = data.substring(inicio, i);
            inicio = i + 1;
            campo++;
            if (campo >= 12) break;
        }
    }
}

```

```

}

if (campos[2] == "A") {
    latitud = convertirCoordenada(campos[3], campos[4]);
    longitud = convertirCoordenada(campos[5], campos[6]);

    Serial.print("Latitud: ");
    Serial.println(latitud);

    Serial.print("Longitud: ");
    Serial.println(longitud);
}
}

String convertirCoordenada(String valor, String hemisferio) {
    if (valor.length() < 6) return "";

    float grados;
    float minutos;

    if (hemisferio == "N" || hemisferio == "S") {
        grados = valor.substring(0, 2).toFloat();
        minutos = valor.substring(2).toFloat();
    } else {
        grados = valor.substring(0, 3).toFloat();
        minutos = valor.substring(3).toFloat();
    }

    float decimal = grados + (minutos / 60.0);

    if (hemisferio == "S" || hemisferio == "W") {
        decimal *= -1;
    }

    return String(decimal, 8);
}

// ----- UTILIDAD AT -----

void enviarAT(String comando, int espera) {
    Serial.print(">> ");
    Serial.println(comando);

    a9g.println(comando);
    delay(espera);
}

```

```

while (a9g.available()) {
    Serial.write(a9g.read());
}

Serial.println();
}

```

A.2 Mockup Diseño de APP

El mockup de la aplicación móvil se realizó utilizando la plataforma Figma, una herramienta de diseño colaborativo que permite crear interfaces de usuario de alta fidelidad. A continuación, se presentan las imágenes del mockup, que ilustran la estructura y el diseño de la aplicación.

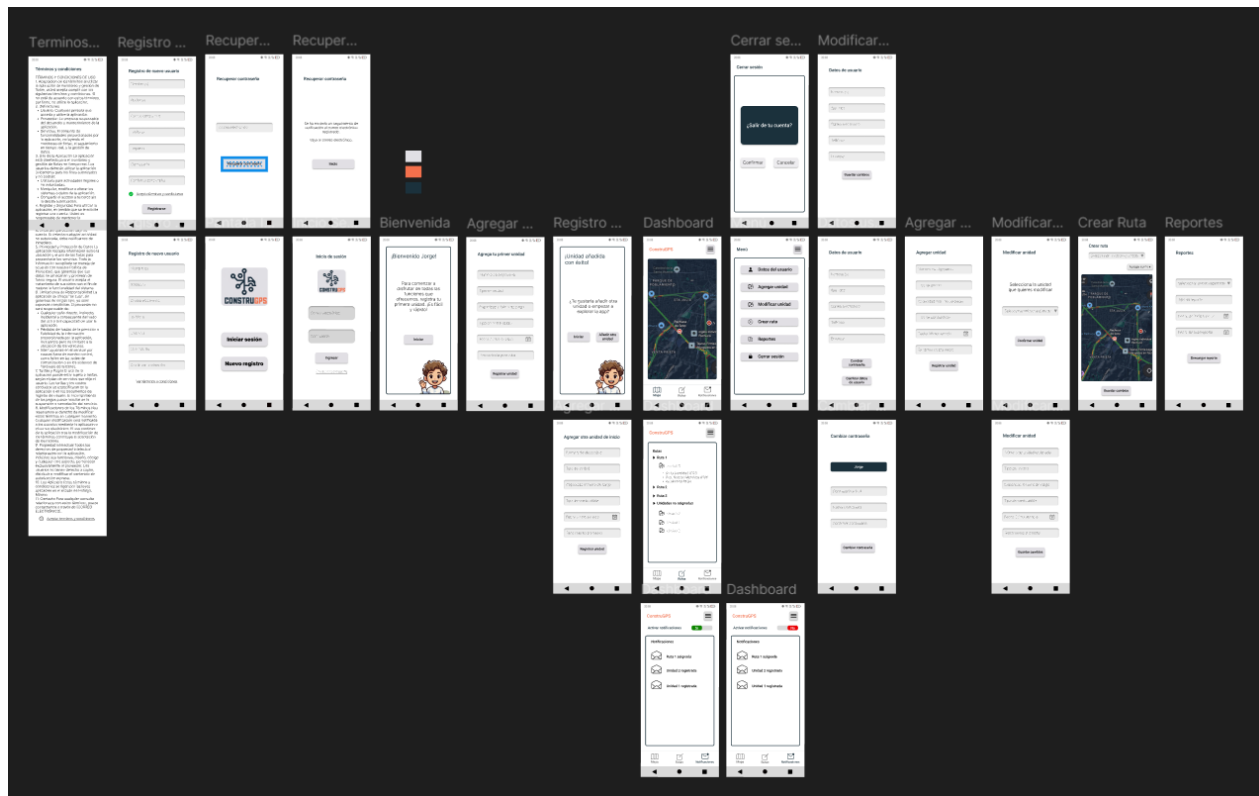


Imagen 21. Diseño en Figma

Fuente: Elaboración propia.

A.3 Modelo de Negocio

Como se ha abordado durante el texto, la industria de distribución de materiales de construcción juega un papel fundamental en la cadena de suministro del sector de la construcción, facilitando la entrega oportuna y eficiente de materiales esenciales a los sitios de construcción, sin embargo, con el aumento de las demandas de los clientes, la competencia en el mercado y la tecnología en evolución, los distribuidores enfrentan importantes desafíos para optimizar sus operaciones y lograr un crecimiento sostenible.

Por lo cual es indispensable conocer y establecer de manera adecuada a las personas para las cuales está dirigido este sistema, de igual manera, ver algunos aspectos indispensables para el modelo con el que se basará, y así establecer de manera objetiva como se enfocará en el mercado.

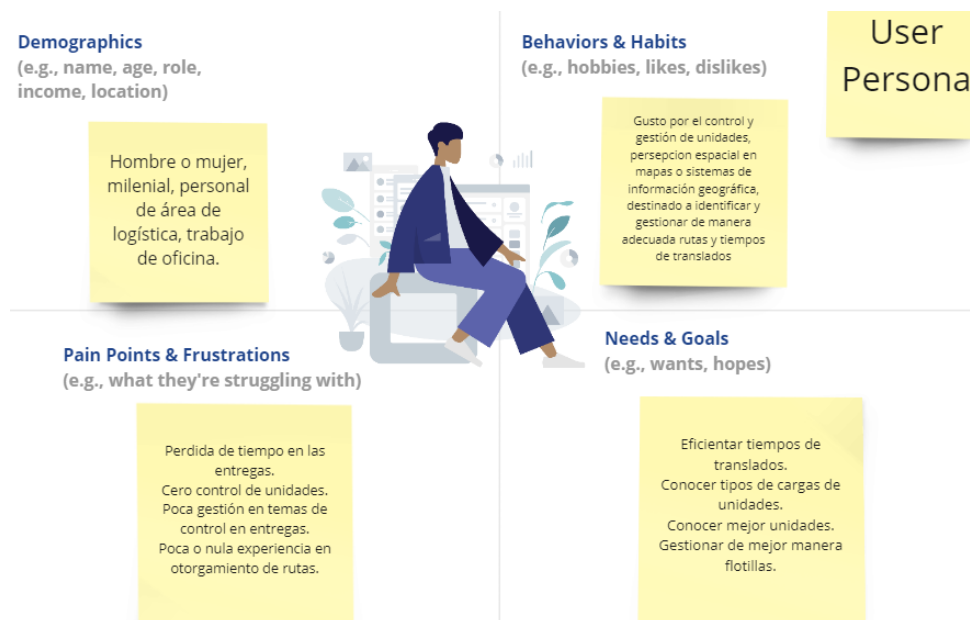


Imagen 22. Usuario Ideal

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, es indispensable conocer al usuario ideal para el sistema, mismo que está enfocado en una persona encargada de administrar flotillas o unidades que se encargan de realizar las entregas de los materiales, que tenga el conocimiento de estas, el conocimiento espacial de la zona de influencia, donde una problemática que enfrenta este usuario es el poco o nulo control sobre los choferes de las mismas.

Para abordar estas complejidades y mejorar la toma de decisiones para que este proyecto pueda funcionar de modo empresarial, una herramienta estratégica llamada Business Model Canvas (BMC) ha ganado un puesto como marco efectivo para analizar y optimizar el modelo.

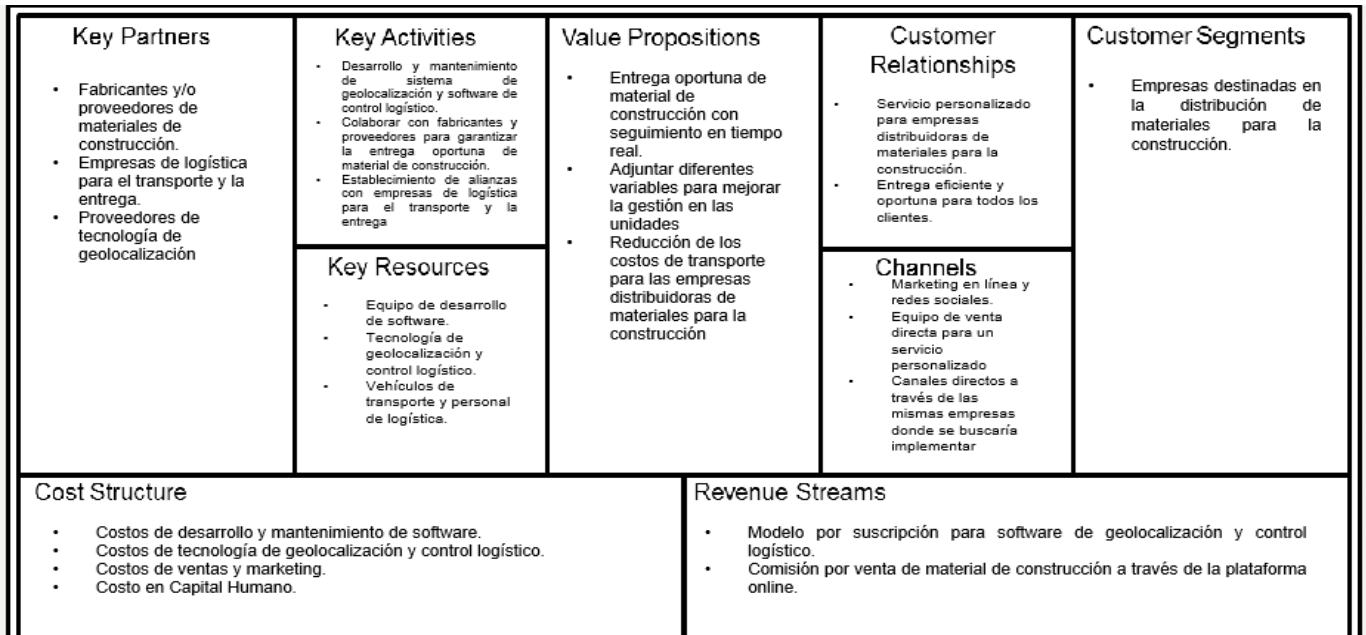


Imagen 23. Business Model Canvas (BMC)

Fuente: Elaboración propia.

A.4 Plan de Calidad

A.4.1 Política de Calidad

Se busca establecer una política de calidad con enfoque en la eficiencia, la puntualidad y la satisfacción del cliente, con algunos puntos como lo son:

- Atención al cliente: Conociendo las necesidades de los clientes en cuanto a tiempo de entregas, calidad del producto, y que la entrega coincida con la nota a entregar, se buscará satisfacerlos.
- Selección de notas a entregar: Preparar las rutas para entregas con respecto a las zonas donde estas se van a entregar, que queden cercanas entre ellas para poder así minimizar tiempos de entrega.
- Selección de rutas de trabajo en equipo: Preparar la ruta que va a cumplir la unidad de acuerdo con las condiciones de tráfico que conozcan algunos otros choferes y puedan compartirlo con los gerentes o encargados del área para que se escoja oportunamente la ruta adecuada.

A.4.2 Objetivo de Calidad

Asegurar que el sistema de geolocalización y control logístico permita a las empresas de construcción reducir los costos operativos, al mismo tiempo que optimiza el aprovechamiento de sus unidades de transporte.

A.4.3 Listado de estándares o normas aplicables al proyecto

- NOM-012-SCT-2-2017: Esta norma establece los requisitos de seguridad para vehículos de autotransporte, incluyendo inspecciones técnicas, equipos de seguridad y regulaciones para minimizar riesgos de accidentes en carretera.
- NMX-R-025-SCFI-2013: Esta norma establece los requisitos y las especificaciones para la calibración y la verificación metrológica de dispositivos GPS y GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite), es crucial para garantizar la precisión de los sistemas de geolocalización.
- NMX-I-059-NYCE-2012: Esta norma establece los requisitos para la seguridad de la información y los sistemas de gestión de seguridad de la información, dado que el proyecto involucra el manejo de datos, la ciberseguridad es esencial.

A.4.4 Métricas del proyecto

1. Eficiencia en el Transporte:

Medición de kilómetros promedio recorridos por entrega. Teniendo como objetivo la reducción promedio de kilómetros recorridos por entrega en comparación con el mes anterior. Esto medirá la eficiencia en la planificación de rutas y la reducción de costos de combustible.

2. Entregas Puntuales:

Medición del porcentaje de entregas realizadas puntualmente. Pretende alcanzar un 95% o más de entregas puntualmente. Donde se pueda evaluar la eficiencia en la programación y la capacidad de cumplir con los plazos de entrega.

3. Uso de Vehículos:

Medición del porcentaje de capacidad de carga utilizada. Donde se busque aumentar el uso promedio de la capacidad de carga al 90% y menos del 100%. Dando un uso óptimo de la capacidad de los vehículos y la reducción de viajes parciales o sobre cargas de las unidades.

4. Satisfacción del Cliente:

Evaluación de satisfacción del cliente (escala de 1-5, por ejemplo). Su objetivo buscaría mantener un promedio de satisfacción del cliente de 4 o superior. Evaluar la calidad del servicio y la experiencia del cliente.

5. Rendimiento del Sistema de Geolocalización:

Medición de porcentaje de precisión de geolocalización. Se busca alcanzar un 98% de precisión en la geolocalización y así evaluar la calidad de la tecnología utilizada en el sistema de geolocalización.

A.4.5 Programa de calidad

- Auditorías Internas: Realizar auditorías regulares para verificar que los procesos y actividades se ajusten a los estándares definidos. Identificar desviaciones y tomar medidas correctivas.
- Capacitación del Personal: Proporcionar capacitación y formación continua al personal del proyecto para asegurar que estén al tanto de los estándares y normas y puedan aplicarlos de manera efectiva.
- Gestión de Riesgos de Calidad: Identificar y gestionar los riesgos de calidad potenciales que podrían afectar la entrega del proyecto según los estándares establecidos.
- Documentación y Comunicación: Asegurarse de que toda la documentación relacionada con la calidad esté completa y disponible, comunicar los hallazgos de las auditorías internas y los riesgos al equipo de proyecto.
- Mejora Continua: Identificar oportunidades de mejora y promover la implementación de acciones correctivas y preventivas para optimizar el proceso y el cumplimiento de estándares.

A.5 Acceso al sistema desarrollado

El sistema desarrollado como parte del presente proyecto se encuentra disponible para su consulta y evaluación a través de una aplicación web y una aplicación móvil en formato APK.

A continuación, se presentan los accesos correspondientes:

Aplicación web (visualización del sistema):

<https://construgpswebapp.onrender.com/>

Aplicación móvil (archivo APK para instalación):

<https://drive.google.com/drive/folders/1IzAsY0WM-hmvmskPRSrUbtoSWCdkyt1v?usp=sharing>

Ambas opciones de acceso corresponden al mismo sistema, el cual ha sido diseñado para adaptarse al dispositivo desde el cual se utiliza, permitiendo su visualización y operación tanto en equipos de escritorio como en dispositivos móviles con sistema operativo Android.

Este enfoque responde a lo que buscan los sistemas IoT, garantizar accesibilidad al sistema desde distintos entornos, facilitando su uso por parte de usuarios con diferentes condiciones tecnológicas, sin limitar su funcionamiento a una única plataforma.

Para el uso de la aplicación móvil, es necesario descargar el archivo APK desde el enlace proporcionado e instalarlo en un dispositivo con sistema operativo Android, habilitando previamente la instalación desde fuentes externas.

Estos accesos permiten validar el funcionamiento del sistema en un entorno real, complementando la evidencia presentada en los capítulos de desarrollo y resultados.

REFERENCIAS

- Nath, Bipasha. (2024). IoT architecture explained: Components and layers. Recuperado de <https://geekflare.com/es/iot-architecture/>
- Crispin, M. (2003). Internet Message Access Protocol - Versión 4rev1. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc3501>.
- Droms, R. (1997). Protocolo de configuración dinámica de host. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc2131>.
- Fielding, R. T., Gettys, J., Mogul, J., Frystyk, H., Masinter, L., Leach, P., & Berners-Lee, T. (1999). Protocolo de transferencia de hipertexto -- HTTP/1.1. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc2616>.
- Forouzan, B. A. (2013). Comunicaciones de datos y redes (5a ed.). McGraw-Hill Education.
- Gast, M. S. (2013). 802.11ac: Una guía de supervivencia. O'Reilly Media.
- Kinney, P. (2003). Tecnología ZigBee: Control inalámbrico que simplemente funciona. Recuperado de <https://www.zigbee.org>.
- Klensin, J. (2008). Protocolo de transferencia de correo simple. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc5321>.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2017). Redes de computadoras: Un enfoque descendente (7a ed.). Pearson.
- Light, A. (2017). Esenciales de MQTT - Un protocolo ligero de IoT. HiveMQ. Recuperado de <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>.
- Mockapetris, P. (1987). Nombres de dominio - Implementación y especificación. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc1035>.
- Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., & Culler, D. (2007). Transmisión de paquetes IPv6 sobre redes IEEE 802.15.4. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>.
- Muller, N. (2019). Bluetooth de baja energía: El manual del desarrollador. Prentice Hall.
- Myers, J., & Rose, M. (1996). Protocolo de oficina postal - Versión 3. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc1939>.
- O'Hara, B., & Petrick, D. (2020). IEEE 802.11ah: Wi-Fi HaLow y la próxima generación de IoT. IEEE.
- Postel, J., & Reynolds, J. (1985). Protocolo de transferencia de archivos. Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc959>.
- Ratasuk, R., Mangalvedhe, N., & Ghosh, A. (2014). Evolución de LTE-M hacia 5G MTC masivo. IEEE.

- Shelby, Z., Hartke, K., & Bormann, C. (2014). El protocolo de aplicación limitada (CoAP). Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>.
- Stallings, W. (2013). Comunicaciones de datos y redes de computadores (10a ed.). Pearson.
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). Redes de computadoras (5a ed.). Pearson.
- Tolosa, P. (2014). Conceptos y técnicas de protocolos de comunicación. Addison-Wesley.
- Yasin, Iqbal, & Munir (2021) - "Exploring IoT-based GPS Tracking Systems Using A9G GSM/GPS Module." International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Este artículo discute la implementación del módulo A9G en proyectos de geolocalización IoT, destacando sus beneficios de bajo costo y flexibilidad.
- Swathy, Thampi, & Varghese (2020) - "Design and Implementation of Real-time GPS-based Tracking Systems Using Arduino and A9G Module." Journal of IoT Systems and Applications. Este trabajo profundiza en la integración de microcontroladores como Arduino con el A9G para rastreo en tiempo real.
- Ghose, Chakraborty (2019) - "Application of GSM-GPS Modules in Developing Real-time Vehicle Tracking Systems." International Journal of Telecommunication Studies. El artículo analiza el uso del A9G en sistemas de rastreo vehicular y su aplicación en plataformas como Google Maps
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787-2805.
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: A literature review. International Journal of Production Research, 57(15-16), 4719-4742.
- Bousonville, T. (2019). Green logistics: Reducing environmental impact while improving efficiency. Springer International Publishing.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons, 58(4), 431-440.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks, 10(7), 1497-1516.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. IEEE Internet of Things Journal, 1(1), 22-32.
- Geotab - Plataforma Comercial de Monitoreo de Flotas (consultado en geotab.com).
- Samsara - Plataforma de Gestión de Flotas (consultado en samsara.com).

- Fleet Complete - Soluciones para Pymes y Medianas Empresas (consultado en fleetcomplete.com).
- Teletrac Navman - Soluciones Corporativas de Gestión de Flotas (consultado en teletracnavman.com).
- Gestión Vehicular Telcel - Monitoreo Vehicular en Tiempo Real (consultado en telcel.com).
- Banker, K. (2011). *MongoDB in Action*. Manning Publications.
- Tilkov, S., & Vinoski, S. (2010). Node.js: Using JavaScript to build high-performance network programs. *IEEE Internet Computing*, 14(6), 80–83.
- Google Developers. (2024). *Google Maps Platform Documentation*. Recuperado de: <https://developers.google.com/maps>