

IoT-Based System for Logistics Monitoring and Analysis in Delivery Trucks

Omar Otoniel Flores-Cortez^{*}, Bruno Alberto González Crespín[†]

^{*}Dirección de Investigaciones

Universidad Tecnológica de El Salvador, El Salvador

Email: omar.flores@utec.edu.sv

[†]Departamento de Investigación y Desarrollo

Smartmetrics, El Salvador

Email: bagonzalez.sv@gmail.com

Abstract—This paper presents the design, implementation and testing of an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and analyzing logistics in delivery trucks, with case studies conducted in Santa Ana, El Salvador. The proposed system collects real-time data on geographical position, travel time and vehicle performance, thereby providing a baseline dataset for logistical optimization. The IoT system comprises a multi-layer architectural structure, which includes physical, communication, processing, and presentation layers. The system incorporates several key components, including the ESP32 microcontroller, the SIM7000G module for GSM and GPS connectivity and a solar-powered energy management system. The data collected by the IoT nodes are transmitted via a mobile network to an IoT cloud platform, enabling real-time visualization and historical data analysis through an intuitive web interface. The results demonstrate the system’s reliability and efficiency, achieving precise geolocation with minimal latency and uninterrupted operation due to effective energy management. Analyzing the collected data can identify patterns in delivery routes, travel times, and bottlenecks, facilitating actionable insights to optimize logistics operations.

Index Terms—IoT, Logistics, Geolocation, Esp32, GSM.

Sistema Basado en IoT para el Monitoreo y el Análisis Logístico en Camiones de Reparto

Omar Otoniel Flores-Cortez^{✉*}, Bruno Alberto González Crespín^{✉†}

*Dirección de Investigaciones

Universidad Tecnológica de El Salvador, El Salvador

Email: omar.flores@utec.edu.sv

†Departamento de Investigación y Desarrollo

Smartmetrics, El Salvador

Email: bagonzalez.sv@gmail.com

Abstract—Este artículo presenta el diseño, implementación y prueba de un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para monitorear y analizar la logística en camiones de reparto, con estudios de caso realizados en Santa Ana, El Salvador. El sistema propuesto recopila datos en tiempo real sobre la posición geográfica, el tiempo de viaje y el rendimiento del vehículo, proporcionando así un conjunto de datos de referencia para la optimización logística. El sistema de Internet de las Cosas (IoT) comprende una estructura arquitectónica multicapa, que incluye capas físicas, de comunicación, de procesamiento y de presentación. El sistema incorpora varios componentes clave, como el microcontrolador ESP32, el módulo SIM7000G para conectividad GSM y GPS, y un sistema de gestión de energía alimentado por energía solar. Los datos recogidos por los nodos IoT se transmiten a través de una red móvil a una plataforma IoT en la nube, lo que permite la visualización en tiempo real y el análisis de datos históricos a través de una interfaz web intuitiva. Los resultados demuestran la fiabilidad y eficiencia del sistema, que consigue una geolocalización precisa con una latencia mínima y un funcionamiento ininterrumpido gracias a una gestión eficaz de la energía. El análisis de los datos recopilados permitirá identificar patrones en las rutas de entrega, tiempos de viaje y cuellos de botella, lo que facilita la adopción de medidas para optimizar las operaciones logísticas.

Index Terms—IoT, Logística, Geolocalización, ESP32, GSM.

I. INTRODUCCIÓN

En la última década, la integración de las tecnologías de Internet de las cosas (IoT) ha facilitado cambios transformadores en varias industrias, incluidas la logística y el transporte. El seguimiento eficiente de las rutas y los tiempos de los camiones de reparto es de suma importancia para optimizar las operaciones, reducir los costos y mejorar el servicio al cliente. Sin embargo, una cantidad considerable de soluciones disponibles es costosa y compleja. Este documento presenta un sistema rentable para rastrear las rutas y los tiempos de los camiones de reparto. El objetivo principal es presentar una arquitectura sencilla y de bajo costo que se pueda utilizar para obtener un conjunto de datos fundamentales, facilitando así un análisis integral para la mejora de las operaciones de entrega.

En el contexto del campo competitivo del transporte de mercancías, el seguimiento eficaz de las rutas y la ubicación de los vehículos de reparto se ha convertido en un aspecto crucial de la gestión operativa. La gestión logística abarca

muchos procesos intrincados, incluida la planificación de rutas, la coordinación, la gestión de inventarios y la garantía de la entrega oportuna de las mercancías [1]. La capacidad de determinar la ubicación y la ruta precisas de los vehículos en tiempo real permite a las empresas tomar decisiones bien informadas y responder de manera rápida y eficaz a incidentes imprevistos [2].

Este desafío es particularmente pertinente en el contexto latinoamericano, ya que la región enfrenta obstáculos considerables para mejorar la eficiencia de la logística de entrega, principalmente debido a la escasez de instrumentos tecnológicos contemporáneos y eficaces [3]. La falta de sistemas tecnológicos avanzados que faciliten la recopilación automatizada de datos sobre rutas y la ubicación de los vehículos de entrega representa un obstáculo significativo para mejorar la logística de transporte en América Latina. Esta deficiencia resulta en procesos logísticos ineficientes, dificultades en la gestión de inventarios, retrasos en la entrega de productos y aumento de los costos operativos [4].

Este documento propone una solución novedosa al problema mediante el desarrollo e implementación de un sistema basado en IoT que utiliza tecnologías de bajo costo. El sistema facilita la agregación automatizada y el monitoreo remoto de las ubicaciones de los vehículos de entrega y las rutas diarias. El objetivo es presentar una herramienta tecnológica como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en logística para optimizar los procesos de distribución, reducir los tiempos de entrega y mejorar la calidad de los servicios prestados por las empresas de transporte de productos.

II. ESTADO DE LA TÉCNICA

Trabajos anteriores han estado relacionados con la obtención de la ubicación geográfica de activos, vehículos, mascotas y personas, con el objetivo de mejorar la gestión y el control en diferentes contextos, incluido el transporte de mercancías [1]. Estos trabajos se han beneficiado del uso de diversas tecnologías y herramientas, siendo el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) una de las principales herramientas utilizadas para este fin [5].

En la literatura relacionada se pueden distinguir diversos tipos de GPS que son seleccionados y empleados con base en las necesidades particulares de cada proyecto. Entre estos, destacan el GPS estándar, ampliamente utilizado por su versatilidad y capacidad para determinar la ubicación precisa a través de la recepción de señales de satélites en órbita terrestre [6]. Por otro lado, se encuentran los receptores de GPS de alta precisión o GNSS, esenciales en aplicaciones que requieren una localización precisa a nivel milimétrico [7]. Además, se han implementado sistemas con el A-GPS, que combina la información de los satélites GPS con datos de redes celulares para mejorar tanto la precisión como la rapidez en la adquisición de la señal [8]. Otros trabajos utilizan el GPS integrado en dispositivos móviles para obtener la geolocalización del sistema completo [9].

Algunos de estos estudios se centran en la adquisición de datos en tiempo real, haciendo uso de tecnologías como el GPS y sistemas de comunicación inalámbrica para capturar y transmitir la ubicación al momento [10]. Por otro lado, se han desarrollado también investigaciones que optan por un enfoque fuera de línea en la gestión de la geolocalización. En este caso, los datos de ubicación son registrados localmente durante el curso de la operación. Posteriormente, estos datos son descargados y procesados en un sistema computacional central para su análisis y visualización [11].

En lo que respecta a los métodos de transmisión de la geolocalización de dispositivos, se han empleado una variedad de enlaces, tales como Bluetooth [12], LoRa [13], Wifi [14], con el fin de asegurar una comunicación eficaz entre el dispositivo de seguimiento y la plataforma de monitoreo. La elección del tipo de enlace de comunicación depende de factores como el alcance necesario, el consumo de energía, la velocidad de transmisión y la disponibilidad de cobertura de red, entre otros aspectos clave.

Los sistemas de seguimiento en tiempo real suelen estar basados en dispositivos embebidos con microcontroladores, como el Atmega328 [15] y ESP32 [16], así como en controladores más complejos como Raspberry Pi [17].

En términos de plataforma de despliegue y gestión de la información, se ha observado una tendencia hacia el uso de plataformas web, donde se puede visualizar la localización actual del vehículo y el registro histórico de las rutas seguidas. Entre estas plataformas, los tipos Software as a Service (SaaS) son los más utilizados [18], como Amazon Web Services [19], Google IoT [20], Ubidots [21] y Thingspeak [22].

En cuanto a la alimentación de voltaje de estos sistemas, se ha observado que muchas propuestas utilizan la batería del propio vehículo como fuente de energía [23]. Sin embargo, también existen soluciones que incorporan baterías internas [24], ya sean reemplazables [25] o recargables mediante paneles solares [26].

Luego de consultar la literatura existente, nuestro enfoque se diferencia de los aportes actuales en que proponemos una arquitectura directa y lista para implementar de un sistema de monitoreo de ubicación de vehículos en tiempo real utilizando tecnologías de punta y de bajo costo; además, el sistema

permite la visualización del recorrido histórico realizado por el vehículo, y la estación incluye conexión eléctrica a través del puerto USB presente en el tablero delantero del vehículo. Todo esto está adaptado al contexto de países en desarrollo como El Salvador.

III. SISTEMA DE IoT PARA EL MONITOREO DE UBICACIÓN Y RUTA DE VEHÍCULOS

El sistema IoT propuesto tiene como objetivo servir como una herramienta de apoyo para la monitorización automatizada en tiempo real de la geolocalización de un camión de reparto y de las rutas recorridas por éste. La meta es que la información proporcionada por el sistema propuesto contribuya a una toma de decisiones más efectiva para mejorar el rendimiento logístico en el uso de los vehículos.

La metodología de diseño del sistema IoT propuesto se basó en un patrón de arquitectura de requisitos por capas. A continuación, se detallan las capas del diseño y sus requisitos específicos.

A. Definición del propósito del sistema

El primer paso en el diseño del sistema fue definir claramente el propósito y los requisitos del sistema. El objetivo principal es proporcionar una solución rentable para el seguimiento de rutas y tiempos de camiones de reparto, obteniendo una línea base de datos para el análisis y la mejora logística de las operaciones. Se definieron los requisitos funcionales siguientes: Seguimiento en tiempo real de la ubicación de los camiones, registro de tiempos de viaje y paradas, accesibilidad económica para pequeñas y medianas empresas, plataforma de visualización de datos fácil de usar. El nivel del modelo de despliegue de IoT se define en función del número de nodos de monitorización utilizados, el tipo de base de datos empleada y la complejidad/simplicidad del análisis computacional [27].

El sistema propuesto se clasifica en el nivel 3, ya que consiste en un sistema que incorpora dispositivos individuales (nodos) encargados de la lectura de sensores, el procesamiento y la transmisión de datos. El almacenamiento y análisis de los datos se llevan a cabo en la nube, y los resultados se presentan a través de una aplicación web. Además, el nivel 3 se caracteriza por ser una solución de modelado de bajo coste y baja complejidad, donde los datos involucrados no son de gran volumen, y no se requiere una potencia computacional significativa para ejecutar los procesos.

B. Definiciones de la Capa Física

En esta fase de diseño se determinaron todos los requisitos necesarios para el funcionamiento interno y externo del nodo IoT. La función principal del nodo IoT es la lectura, procesamiento y transmisión en tiempo real de datos de posición geográfica y temporal de la ruta de un camión de reparto. Para cumplir con esta función, el nodo IoT está equipado con sensores capaces de obtener valores precisos de latitud, longitud, altitud y velocidad, proporcionando una geolocalización detallada. Además, se incluye un sensor para

medir el voltaje de la fuente de alimentación del nodo IoT, garantizando un monitoreo constante del estado energético del dispositivo.

Se seleccionó un microcontrolador como unidad central de proceso (CPU) debido a su idoneidad para las necesidades computacionales del nodo IoT y su bajo coste. Este microcontrolador debe proporcionar múltiples opciones de puertos de entrada para comunicarse con los sensores seleccionados, incluyendo GPIO (puertos de entrada y salida), interfaz I2C y puertos en serie UART. El sistema electrónico del nodo sensor requiere una alimentación de 5 Vdc. Dado que la energía disponible en el camión es de 12 Vdc, es necesario utilizar un convertidor adaptador de potencia para adecuar el voltaje a los requisitos del hardware.

Con respecto a la fuente de voltaje, también se incluyen dentro del mismo nodo una batería recargable Li-ion de 3,7 VDC que brinda una movilidad sin necesidad de una conexión alámbrica a la batería del camión, cuando se requiera. En este mismo aspecto se incluye un circuito de recarga de la batería interna basado en panel solar. Además, la carcasa del nodo sensor es ligera y, al mismo tiempo, resistente a los golpes y a las salpicaduras de agua, asegurando así la durabilidad y fiabilidad del dispositivo en condiciones operativas adversas.

C. Definiciones de la Capa de Comunicación

En esta fase se definen los requisitos de conectividad de red necesarios para transmitir los datos recogidos por el nodo IoT a la plataforma remota. El enlace de comunicación de red utilizado por el nodo IoT para acceder a Internet depende tanto de las capacidades técnicas del lugar de despliegue como de la tecnología empleada en la capa de sensores. Para el caso del sistema propuesto en este trabajo, el nodo IoT debe ser capaz de establecer una conexión inalámbrica y comunicarse a través de una red celular de tipo GSM.

La selección de esta red se debe a la necesidad principal de movilidad del nodo IoT y a la amplia cobertura que las redes celulares ofrecen en la mayor parte del territorio salvadoreño. Se recomienda la adquisición de un chip SIM y un plan de acceso a Internet vía GPRS para garantizar la conectividad constante.

Se define una latencia en tiempo real para la transmisión a la plataforma en la nube de IoT, asegurando que los datos sean enviados con rapidez y fiabilidad. Dado el carácter dinámico de las variables a detectar, se establece una frecuencia de muestreo de 30 segundos para la transmisión de datos a la plataforma de almacenamiento. Esta frecuencia puede ser ajustada según sea necesario mediante actualizaciones del firmware del sistema, permitiendo adaptaciones a diferentes condiciones operativas y requerimientos específicos.

D. Definiciones de la capa de procesamiento, almacenamiento y presentación

Esta sección describe las características técnicas y lógicas necesarias para gestionar y presentar la información en el sistema propuesto. El sistema utiliza una plataforma IoT en la nube para el almacenamiento, procesamiento y visualización

de datos web. El procesamiento de los datos comienza desde el momento en que se reciben las cargas útiles procedentes de los nodos IoT.

Para este proyecto, se ha seleccionado una API REST con acceso mediante el protocolo HTTP, debido a su simplicidad y amplia adopción en aplicaciones IoT. La plataforma IoT es capaz de almacenar los siguientes datos numéricos de cada carga útil: Fecha y hora, Latitud, Longitud, Altitud, Velocidad y Tensión de alimentación de la estación. Estos datos se guardan en una base de datos robusta y escalable dentro de la misma plataforma en la nube, asegurando que pueden ser accedidos rápidamente y almacenados de forma segura.

La plataforma IoT diseñada proporciona herramientas efectivas para el acceso remoto, la descarga en formatos estandarizados (CSV) y el análisis de datos. La aplicación web incluye tres funciones principales de visualización: Tabla de valores históricos, posición actual y diagrama u hoja de ruta del camión. El panel de configuración de la plataforma IoT es fácilmente accesible y fácil de usar. Permite a los usuarios ajustar parámetros clave, como la frecuencia de muestreo, las unidades de medida y las alertas por condiciones específicas (por ejemplo, velocidad excesiva o baja tensión de alimentación).

Basándose en las definiciones del sistema de los pasos anteriores, se diseñó un diagrama esquemático, que se presenta en la figura 1, para proporcionar una visualización completa de la arquitectura del sistema, destacando los principales componentes y sus interacciones.

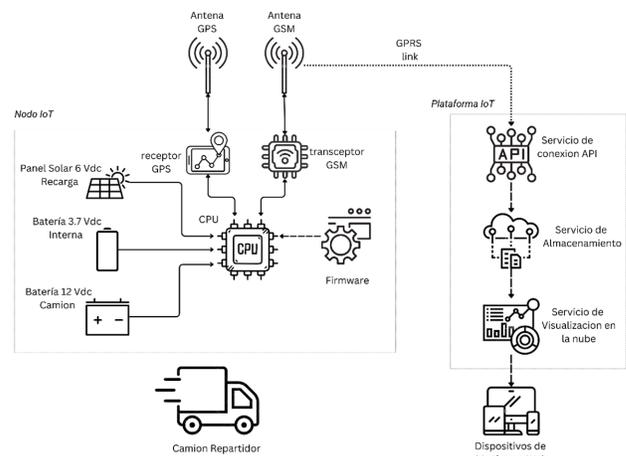


Fig. 1: Arquitectura del sistema propuesto.

E. Selección de Componentes del Nodo IoT y Plataforma IoT

Los componentes del nodo IoT se seleccionaron por su bajo coste, facilidad de integración y funcionalidad demostrada. A continuación, se detallan los componentes elegidos y las razones detrás de su selección. El microcontrolador ESP32 fue seleccionado debido a su alto rendimiento de procesamiento (32 bits a 240 MHz), su amplia capacidad de memoria (520 KB de RAM) y la cantidad suficiente de puertos de

entrada/salida (GPIO, I2C, UART) para satisfacer las necesidades del sistema propuesto. Este microcontrolador ofrece una combinación excelente de potencia, eficiencia energética y flexibilidad.

Para la transmisión de datos a través de la red móvil GSM y la recepción de datos GPS, se seleccionó el chip SIM7000G. Este transceptor fue elegido por su capacidad de integrar tanto la comunicación celular como la recepción GPS en un solo encapsulado, lo que simplifica el diseño del nodo IoT y reduce los costes y el consumo de energía. Como placa principal del nodo IoT, se eligió la placa de desarrollo LilyGO-T-SIM7000G. Esta placa integra una interfaz de pines GPIO sencilla y un circuito integrado de regulación de potencia, lo que facilita la conexión y gestión de los diversos componentes del sistema. Esta placa integra en la misma placa una sencilla interfaz de pines GPIO y un circuito integrado de regulación de potencia, el chip ESP32 y la SIM7000G, además de un zócalo para una tarjeta SIM y un adaptador para una batería recargable, así como un circuito para la alimentación a través del conector USB.

Para el desarrollo de la plataforma IoT, se seleccionaron las herramientas del servicio Thingspeak. Thingspeak fue elegido porque ofrece una versión de uso gratuito que puede ser instalada en un servidor propio, permitiendo flexibilidad y control sobre los datos. Además, proporciona capacidades robustas de procesamiento y visualización de datos, esenciales para el análisis y la toma de decisiones basadas en los datos recolectados por los nodos IoT. Para el almacenamiento en la nube de las herramientas de Thingspeak se utilizó el servicio de AWS (Amazon Web Services). Tomando en cuenta las decisiones de selección anteriores, se diseñó un diagrama pictórico de componentes del sistema propuesto, que se presenta en la figura 2.

F. Requisitos de Implementación

La implementación efectiva del sistema IoT requiere una atención cuidadosa a la colocación física del nodo IoT dentro del camión, así como a la configuración de los componentes y la conectividad. El nodo IoT debe estar ubicado en una posición que maximice la exposición del panel solar a la luz solar durante la mayor parte del día. Esto es crucial para asegurar que el panel solar pueda recargar la batería del nodo IoT eficientemente, proporcionando energía continua. También, el nodo IoT debe estar cerca de una toma de energía disponible en el tablero del camión, como el puerto del encendedor de cigarrillos. Esto facilita la conexión y el suministro de energía adicional cuando sea necesario. Las antenas del nodo IoT deben colocarse de manera que tengan una línea de vista clara hacia el cielo, sin obstrucciones. Esto es esencial para asegurar una señal GPS fuerte y estable, así como una comunicación celular eficiente. La tarjeta SIM utilizada en el nodo IoT debe estar habilitada y contar con saldo suficiente en un plan de acceso a Internet vía datos GPRS. Esto garantiza que el nodo IoT pueda transmitir los datos recogidos a la plataforma IoT en la nube sin interrupciones. El nodo IoT y sus componentes deben estar montados de manera segura dentro del camión,

utilizando soportes adecuados que minimicen el riesgo de daño por vibraciones y movimientos durante la operación del vehículo. El diseño de la instalación debe permitir un acceso fácil al nodo IoT para tareas de mantenimiento, como la sustitución de la tarjeta SIM, la revisión de las conexiones eléctricas y la limpieza del panel solar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Prueba de campo

El sistema IoT propuesto para el seguimiento de rutas y tiempos de camiones de reparto fue implementado y probado en 7 camiones de reparto de medicamentos, desde el almacén regional del Ministerio de Salud a los diferentes centros de salud del estado de Santa Ana, El Salvador. A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el período de prueba, que abarcó 8 semanas.

El nodo de prueba IoT se instaló encima del panel de control y dentro del parabrisas del camión de reparto (véase la figura 3). La fuente de alimentación se suministró de dos formas: mediante un panel solar y a través de una toma USB de 5 VCC disponible en la cabina del camión.

B. Resultados

Se diseñó un sitio web accesible desde internet para el personal de control y logística del Ministerio de Salud. Este sitio web incluye tablas y tableros para ver en tiempo real la posición del camión, así como el historial de rutas, longitud y latitud informado por el nodo IoT instalado dentro del camión de carga, ver Figura 4. Durante el periodo de prueba, se recopilaron datos detallados sobre las rutas, tiempos de viaje, paradas y velocidades de los camiones de reparto. Estos datos proporcionaron una línea base valiosa para el análisis logístico; en las figuras 5, 6 y 7 se puede ver una sección de la plataforma en línea donde se accede a detalles de cada camión.

C. Discusión

El sistema ha demostrado hasta ahora un rendimiento satisfactorio, permitiendo la visualización a distancia de la posición, la velocidad y la ruta recorrida en tiempo real para cada camión objeto de estudio.

La funcionalidad de localización GPS demostró un margen de error medio de 5 metros. La transmisión de datos en tiempo real a la plataforma en la nube se completó con una latencia media de cinco segundos, cumpliendo así los requisitos establecidos para la monitorización en tiempo real.

El enlace de telemetría ha permanecido operativo en todo momento, sin mostrar pérdidas ni fluctuaciones de estabilidad. Sin embargo, se observaron casos de interrupción del enlace en lugares donde el vehículo atravesaba zonas desprovistas de recepción de señal GPS, como debajo de puentes o dentro de túneles.

La utilización del panel solar y el convertidor de energía integrados permitió el funcionamiento continuo del nodo IoT sin interrupciones. La batería recargable se mantuvo cargada incluso durante largos períodos de uso, lo que demuestra la eficacia del diseño energético.

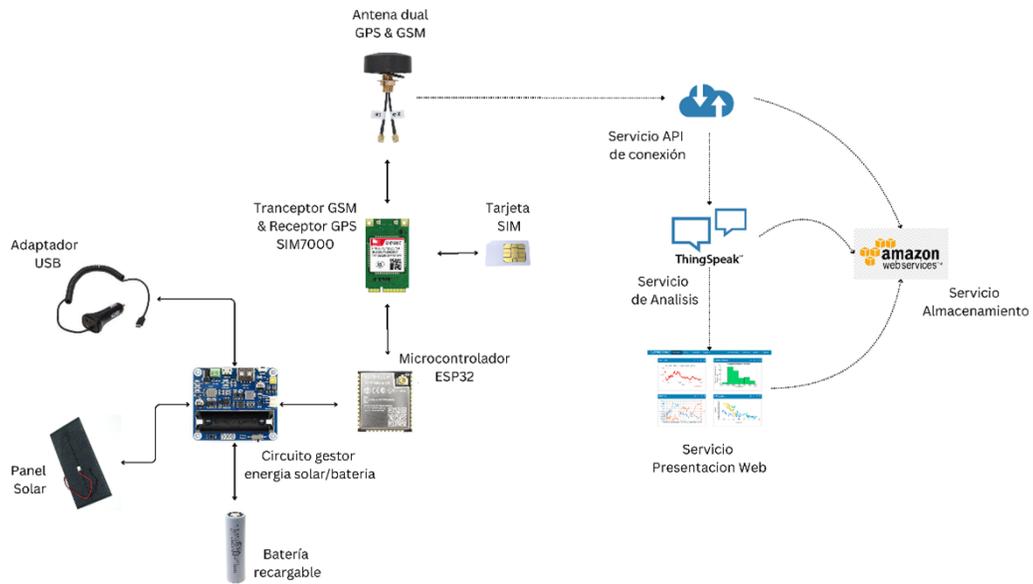


Fig. 2: Componentes del sistema propuesto.



Fig. 3: Prototipo del Nodo IoT del sistema propuesto.

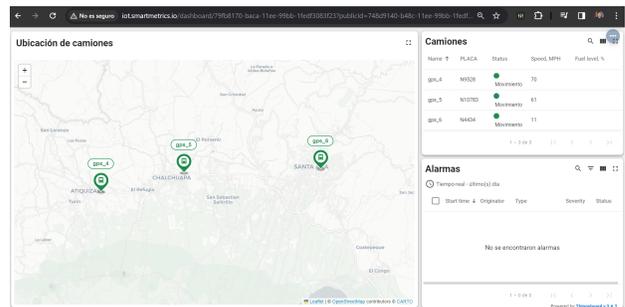


Fig. 5: Panel de visualización de ubicaciones de los camiones.

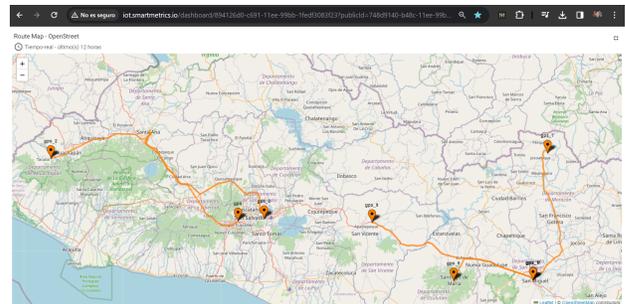


Fig. 6: Panel de visualización de las rutas de los camiones.

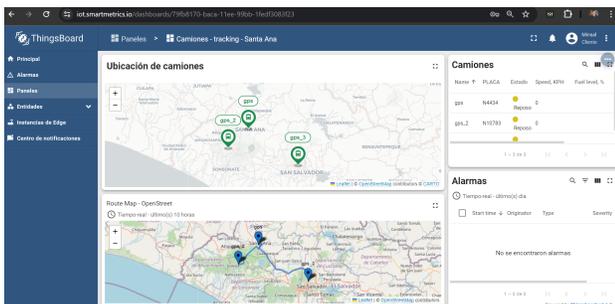


Fig. 4: Sitio web de monitoreo del sistema propuesto.

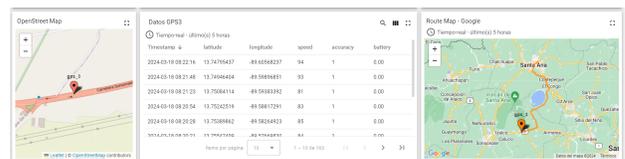


Fig. 7: Panel de detalles por camión dentro del sitio web del sistema propuesto.

Se realizaron varias pruebas con diferentes nodos IoT situados en diversos puntos dentro de la estructura del camión. Entre ellas, destacó el resultado de enlace obtenido con la estación situada detrás de la cabina del camión y con vistas al cielo abierto. Además, el uso de antenas externas colocadas en el techo del camión produjo mejoras perceptibles en el enlace GPS y GSM.

V. CONCLUSIONS

El sistema IoT diseñado, desarrollado y probado en este estudio demostró ser una solución rentable y eficiente para el seguimiento de las rutas y los tiempos de los camiones de reparto en Santa Ana. La alta precisión, fiabilidad y eficiencia energética del sistema, junto con las capacidades de análisis de datos, proporcionaron una valiosa base para mejorar las operaciones de entrega. Los resultados subrayan el potencial de las tecnologías IoT para transformar la logística y optimizar las operaciones de reparto. El sistema resultante de este trabajo se propone como una herramienta tecnológica de apoyo a las tareas de supervisión y control del uso de camiones de reparto. En conjunción con otras medidas logísticas, este sistema puede minimizar las pérdidas de tiempo y dinero. Este trabajo contribuye al campo demostrando técnicas innovadoras para el uso de componentes, hardware y software en la implementación de sistemas IoT. Además, la aplicación se adapta a las necesidades específicas y al contexto del transporte de carga en El Salvador, donde factores como la rentabilidad y la personalización son cruciales para avanzar en propuestas tecnológicas innovadoras. Dichas técnicas pueden ser aplicadas en el desarrollo de nuevos prototipos, permitiendo una creación rápida y eficiente. Como trabajo futuro, este proyecto de investigación pretende desarrollar estaciones adicionales e integrar una gama más amplia de sensores para capturar más variables relacionadas con el rendimiento del camión, facilitando así la realización de nuevas pruebas de campo con fines de validación. También se propone la implementación de una plataforma de monitorización para dispositivos móviles, acompañada de la incorporación de alertas relativas a alteraciones de la ruta establecida.

REFERENCES

- [1] F. Ahmed, M. Phillips, S. Phillips, and K.-Y. Kim, "Comparative study of seamless asset location and tracking technologies," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 1138–1145, 2020, 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021). [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920320175>
- [2] L. A. M. García, *Logística del transporte y distribución de carga*. Ecoe Ediciones, 2023.
- [3] M. C. Loayza Loayza, "Análisis de la competitividad de la logística del transporte marítimo en américa latina en el periodo 2017-2021," B.S. thesis, Universidad del Azuay, 2023.
- [4] L. Valdés Figueroa and G. Pérez, "Transformación digital en la logística de américa latina y el caribe," *Boletín FAL*, 2020.
- [5] S. S. Sivadevuni and S. K. Ravichandran, "Tracking and localization of devices-an iot review," in *2023 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 2023, pp. 1321–1325.
- [6] O. O. Flores-Cortez and B. G. Crespín, "Aplicación de tecnologías iot en el control y seguimiento de transporte de carga terrestre," *Revista Minerva: Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador*, vol. 6, no. 1, pp. 43–56, 2023.

- [7] J. A. Ador, "Development of a low-cost positioning system using gnss signal processing and lpwan nodes," Ph.D. dissertation, Makerere University, 2022.
- [8] A. A. Abdirahman, A. O. Hashi, U. M. Dahir, and M. A. Elmi, "Enhanced vehicle tracking: A gps-gsm-iot approach," *International Journal of Computing and Digital Systems*, 2024.
- [9] M. Mears, P. Brindley, P. Barrows, M. Richardson, and R. Maheswaran, "Mapping urban greenspace use from mobile phone gps data," *Plos one*, vol. 16, p. e0248622, 2021.
- [10] C. O. Pocasangre, O. O. Flores-Cortez, F. Arévalo, C. Arriaza, O. Aguilar, and B. H. Miranda, "An iot mobile system for co 2 monitoring in volcanic soil using the li-830 sensor and an android app," in *2023 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, vol. 1, 2023, pp. 1–6.
- [11] C. J. Foley and C. Sillero-Zubiri, "Open-source, low-cost modular gps collars for monitoring and tracking wildlife," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 11, pp. 553–558, 2020.
- [12] T. Jin, X. Si, J. Liu, and P. Ding, "An integrated animal tracking technology combining a gps tracking system with a uav," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 14, pp. 505–511, 2023.
- [13] Y. Li, J. Barthelemy, S. Sun, P. Perez, and B. Moran, "Urban vehicle localization in public lorawan network," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, pp. 10283–10294, 2021.
- [14] J. A. Cundapi-Toledo, J. A. Villalobos-Estrada, B. M. Camacho-Trujillo, R. D. Hernández-González, R. C. Hernández-Camacho, and A. G. Hernández-Mendoza, "Sistema inteligente de detección de fallas en paneles solares usando una plataforma basada en iot," *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, vol. 3, no. 1, p. 121–124, nov. 2024. [Online]. Available: <https://aldeser.org/journals/index.php/TERYS/article/view/227>
- [15] L. Catari Aguirre *et al.*, "Diseño de sistema antirrobo inteligente basado en el rastreo gps y bloqueo de vehículo," Ph.D. dissertation, Universidad Mayor de San Andrés, 2021.
- [16] J. P. Morales-Alvarez, E. Cruz-Sánchez, D. A. Hiraes-Valles, V. I. Rodríguez-Abdalá, J. N. García-Verdugo, G. E. Vázquez-Morales *et al.*, "Sistema de monitoreo lorawan de consumo de agua," *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 11, no. Especial2, pp. 183–189, 2023.
- [17] C. Jiménez-Carvajal, J. Molina-Martínez, J. Vera, and M. Jiménez-Buendía, "Iots en la gestión inteligente del agua de riego con lisímetros," *II Simposio Ibérico de Engenharia Hortícola 2020*, p. 174, 2020.
- [18] D. S. R. Supe, E. de las Mercedes Zurita Meza, and F. J. G. Silva, "Analizando internet de las cosas y la nube informática," *Revista Odigos*, vol. 3, pp. 89–103, 2022.
- [19] S. R. Jayasimha and J. Usha, *Development of a Location Tracker App for a Patient Tracking System*. Apple Academic Press, 2023, pp. 129–141.
- [20] P. V. Crisgar, P. R. Wijaya, M. D. F. Pakpahan, E. Y. Syamsuddin, and M. O. Hasanuddin, "Gps-based vehicle tracking and theft detection systems using google cloud iot core & firebase," in *2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 2021, pp. 1–6.
- [21] P. Kanakaraja, S. K. Kotamraju, S. Nagulmeera, Y. D. Reddy, and A. Divya, "Lora based indoor localization using lpwan gateway and ble beacons," in *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, 2022, pp. 683–687.
- [22] S. V. Satyanarayana, M. Manasa, B. Vishwanth, V. Akanksha, and D. A. Sai, "Iot-based college bus tracking and monitoring system," in *2023 3rd International conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)*, 2023, pp. 1–4.
- [23] M. H. Abid, A. Islam, A. D. Biswas, and I. A. Talin, "Iot-based vehicle tracking system for khulna university," *Khulna University Studies*, pp. 925–935, 2022.
- [24] F. Backrie, P. Murdiyati, and V. Aullia, "Iot based credit payment management (mcp) monitoring system for the caterpillar 305.5 e2 excavator," in *International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science 2023 (iCAST-ES 2023)*, 2024, pp. 435–448.
- [25] T. K. Bala, O. E. Ojuka, K. Q. Blue-Jack, and P. E. Owhebo, "Low-cost car battery security alert system," *COVENANT JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY*, 2024.
- [26] S. A. A. Yusry and A. M. Yusop, "Solar energy harvester for pet gps tracker," *INOTEK 2021*, vol. 1, pp. 75–76, 2021.
- [27] A. Bahga and V. Madiseti, *Internet of Things: A hands-on approach*. Vpt, 2014.