

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,

Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

SOLUCIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS PARA EL MONITOREO EN TIEMPO REAL DE ZONAS DE RIESGO MEDIANTE VEHÍCULO TELEOPERADO Y APLICACIÓN WEB

INTERNET OF THINGS SOLUTION FOR REAL-TIME MONITORING OF
HAZARDOUS AREAS USING A TELEOPERATED VEHICLE AND A WEB
APPLICATION

José de Jesús Jiménez García

Universidad La Salle Pachuca

Wendy Daniel Martínez

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

Alejandro Benítez Morales

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20174

Solución de Internet de las Cosas para el monitoreo en tiempo real de zonas de riesgo mediante vehículo teleoperado y aplicación Web

José de Jesús Jiménez García¹

jose.jimenez@lasallep.mx

<https://orcid.org/0009-0004-7632-8990>

Universidad La Salle Pachuca

San Juan Tilcuaautla Hidalgo, México

Wendy Daniel Martínez

wdaniel@upmh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4455-940X>

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

Tolcayuca Hidalgo, México

Alejandro Benítez Morales

abenitez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9743-0810>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Pachuca de Soto Hidalgo, México

RESUMEN

Esta investigación presenta el desarrollo y la evaluación inicial de una solución de Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real de zonas de riesgo, compuesta por un vehículo teleoperado sensorizado y una aplicación web para visualización y control. El proyecto se enmarca como investigación aplicada y ha sido desarrollado en tres fases: (i) análisis de necesidades, diseño inicial del vehículo y del modelo/arquitectura de datos, (ii) modelado del prototipo físico y elaboración del mockup de la interfaz, y (iii) programación de la base de datos en hosting, desarrollo inicial del backend/frontend e inicio de pruebas de comunicación entre el ESP32 y el servidor. La plataforma integra sensores ambientales (p. ej., distancia, temperatura, gas y humedad), con envío de datos y recepción de comandos por Wi-fi mediante protocolos HTTP/MQTT5.0 mediante un panel web con indicadores, alertas y gráficas en tiempo real. Se documenta, además, el ajuste de materiales y del diseño mecánico-electrónico del carro a raíz de hallazgos experimentales (sobrecalentamiento) y se establecen las bases para la validación funcional en entornos de prueba. La propuesta busca reducir la exposición humana en escenarios peligrosos, aportar un diseño replicable y sentar la base de una arquitectura escalable para futura integración y despliegue.

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT); monitoreo en tiempo real; zonas de riesgo; vehículo teleoperado; aplicación web.

¹ Autor principal

Correspondencia: jose.jimenez@lasallep.mx

Internet of Things Solution for Real-Time Monitoring of Hazardous Areas Using a Teleoperated Vehicle and a Web Application

ABSTRACT

This study presents the development and initial evaluation of an Internet of Things (IoT) solution for real-time monitoring of hazardous areas, composed of a sensor-equipped, teleoperated vehicle and a web application for visualization and control. Framed as applied research, the project was carried out in three phases: (i) needs analysis and the initial design of the vehicle and the data model/architecture; (ii) physical prototyping and the creation of the interface mockup; and (iii) database deployment on a hosting service, initial backend/frontend development, and early communication tests between the ESP32 and the server. The platform integrates environmental sensors (e.g., distance, temperature, gas, and humidity), supports data transmission and command reception over Wi-Fi using HTTP/MQTT 5.0, and provides a web dashboard with indicators, alerts, and real-time charts. The work also documents material selections and electro-mechanical design adjustments to the vehicle prompted by experimental findings (overheating), laying the groundwork for functional validation in test environments. Overall, the proposal aims to reduce human exposure in dangerous scenarios, deliver a replicable design, and establish a scalable architecture for future integration and deployment.

Keywords: Internet of Things (IoT); real-time monitoring; hazardous areas; teleoperated vehicle; web application.

Artículo recibido 02 setiembre 2025

Aceptado para publicación: 29 setiembre 2025



INTRODUCCIÓN

Esta investigación aborda el desarrollo de una solución de Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real de zonas de riesgo, compuesta por un vehículo teleoperado con sensorización ambiental y una aplicación web para visualización, control y alertamiento. El problema de investigación se centra en la exposición humana a entornos peligrosos y en la limitación de esquemas de inspección tradicionales, que suelen ser lentos, puntuales o inseguros. La teleoperación y la robotización han demostrado reducir la presencia directa de personal en escenarios peligrosos y facilitar la recolección sistemática de datos para la toma de decisiones, según la literatura pionera en robótica de desastres. (Murphy, 2014; Gentile et al., 2023; López Pulgarín et al., 2022)

La relevancia de la investigación deriva de la capacidad del IoT para integrar sensores, comunicaciones y análisis con el fin de ofrecer visibilidad inmediata y alertas accionables. Para sustentar el diseño, se adoptaron arquitecturas por capas ampliamente aceptadas —percepción/red, middleware/servicios y aplicación— y un enfoque cloud/edge pragmático (Shi, Cao, Zhang, Li, & Xu, 2016), como se describe en encuestas fundamentales y de referencia en el campo (Atzori et al., 2010; Gubbi et al., 2013; Al-Fuqaha et al., 2015). Estas obras explican la organización modular del IoT y orientan decisiones de escalabilidad, mantenibilidad e interoperabilidad. Véanse figuras 1 a la 3.

Figura 1. Interfaz de acceso principal



Figura 2. Identificación de las zonas de riesgo (señales recibidas por la cámara del carro)

EL FENNEC

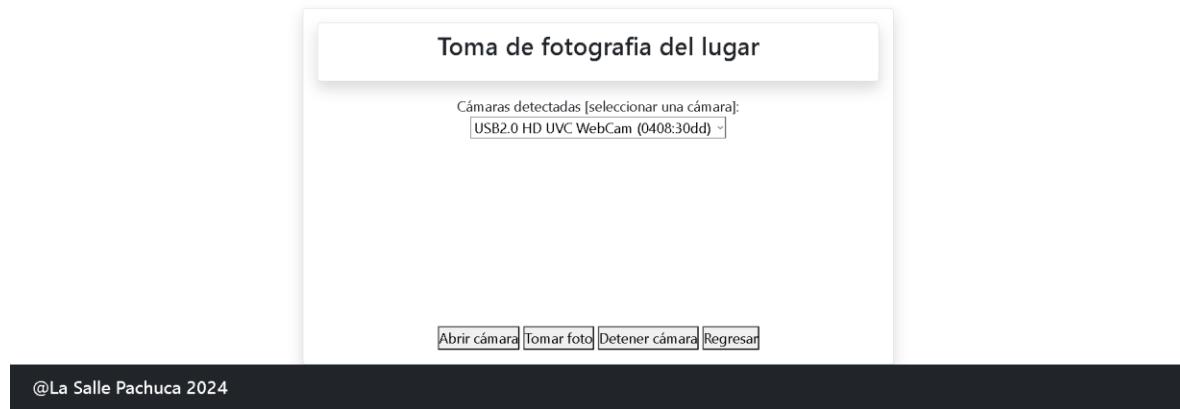


Figura 3. Control del carro desde la aplicación Web para monitoreo controlado

EL FENNEC



En el plano de conectividad, el sistema emplea HTTP y MQTT 5.0 para intercambio de telemetría y comandos. MQTT 5.0 es un protocolo *publish/subscribe* ligero, estandarizado por OASIS, ampliamente recomendado para contextos M2M/IoT con recursos y ancho de banda limitados; su modelo desacoplado favorece la distribución eficiente de eventos y la gestión de alertas (OASIS, 2019; Al-Fuqaha et al., 2015). En el hardware, se selecciona ESP32 por sus capacidades Wi-Fi/Bluetooth integradas, bajo consumo de electricidad y soporte maduro, conforme a la hoja de datos vigente de Espressify y documentación de módulos actuales. (Espressif Systems, 2025a, 2025b; OASIS Open 2019)

El marco teórico-técnico que guía la solución combina: (i) arquitecturas IoT n-capas para desacoplar datos, lógica, presentación y servicios; (ii) modelo de datos relacional para gestionar entidades (usuarios, vehículo, sensores, alertas) y trazabilidad histórica; y (iii) HCI/UX para tableros que



optimizan la conciencia situacional (dashboards con señales preatencionales y jerarquía de alertas), mitigando la fatiga por notificaciones (Nielsen Norman Group, 2017; 2022). La arquitectura n-capas y el modelado de datos se documentan como eje del diseño web, con capas de datos, lógica, presentación y servicios orientadas a escalabilidad y disponibilidad. Véanse figuras 4 y 5.

Figura 4. Arquitectura de n-capas (datos, lógica, presentación y servicios) de la solución IoT.

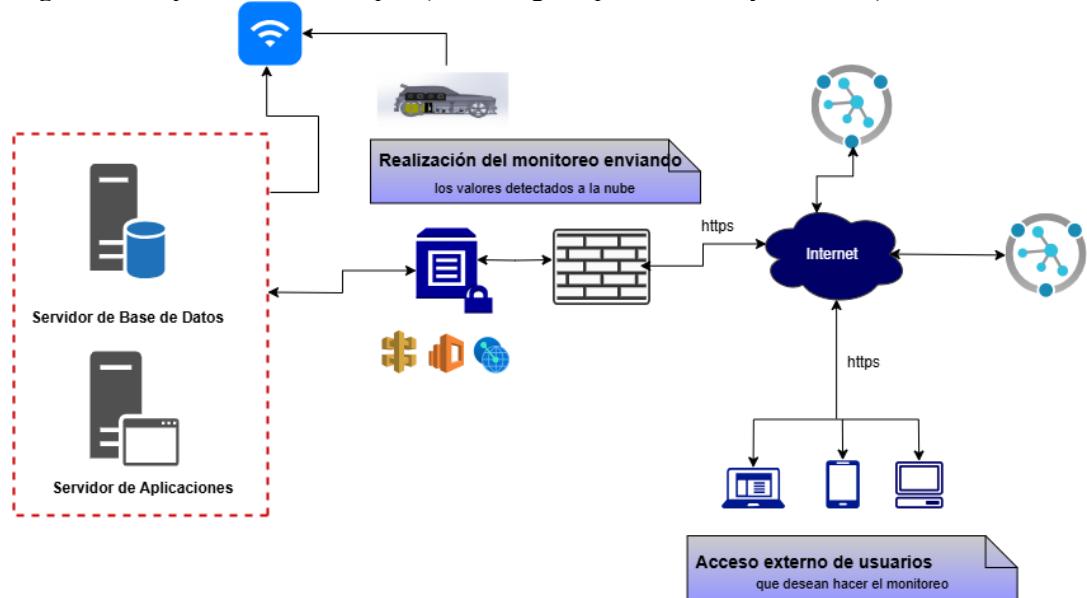
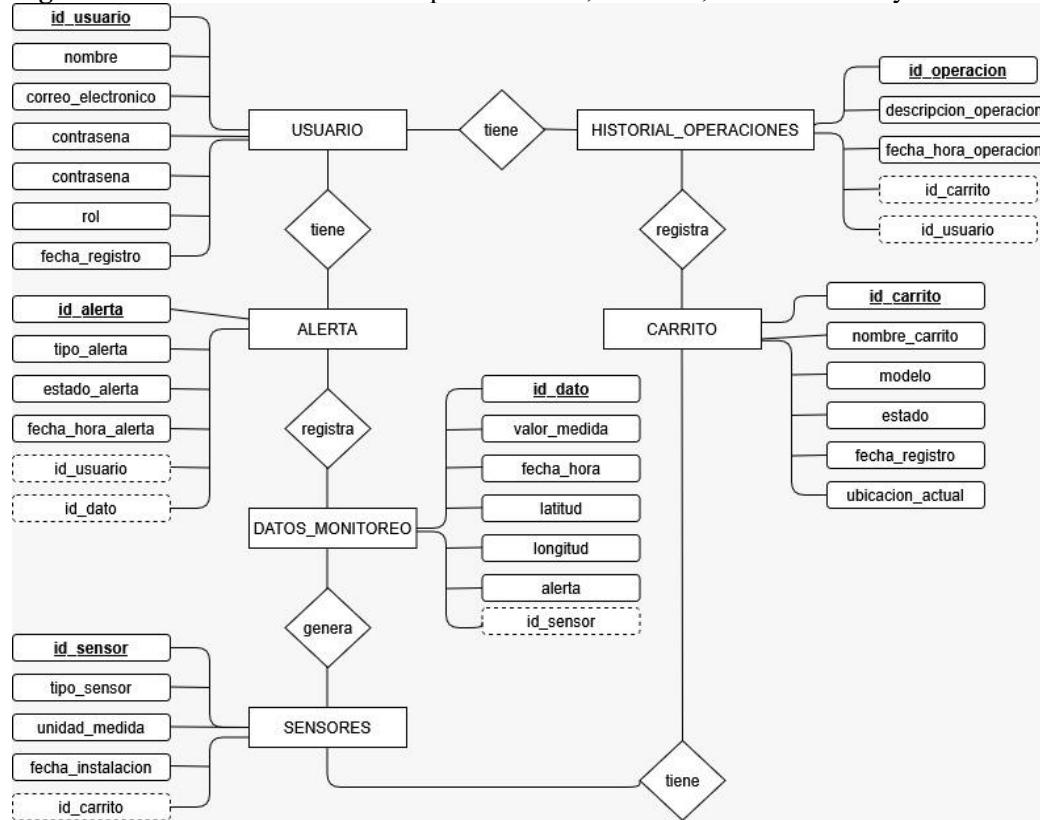


Figura 5. Modelo entidad-relación para usuarios, vehículo, sensores/datos y alertas



Respecto a antecedentes y estado del arte, además de las encuestas de IoT citadas, la literatura en teleoperación destaca los desafíos de latencia, pérdida de paquetes y ancho de banda, e identifica estrategias de mitigación basadas en control, predicción y diseño de interfaz (Farajiparvar et al., 2020). En dominios afines, por ejemplo vehículos conectados, se subraya que la latencia de red condiciona la seguridad y la eficacia operacional, con líneas de investigación activas en compensación y control robusto. Estas consideraciones conceptuales justifican la instrumentación de métricas como: retardo extremo a extremo, tasa de actualización, pérdida de paquetes y tiempo de respuesta a comandos durante la validación del prototipo. (López Pulgarín et al., 2022)

El contexto de la investigación —monitoreo ambiental y de seguridad en zonas de riesgo— demanda instrumentación móvil robusta y visualización en tiempo real. En la Fase 1, el equipo identificó necesidades y definió tanto el modelo/arquitectura de datos como el diseño inicial del vehículo; en la Fase 2, se avanzó en el modelado mecánico y en el mockup de la interfaz (dashboard, sensores, control, historial y alertas); en la Fase 3 se implementan ESP32, base de datos en hosting y pruebas de comunicación con la App Web. Estos hitos confirman una ruta de maduración tecnológica consistente. (Gentile et al., 2023)

En la interfaz propuesta, el mockup organiza la navegación (Dashboard, Sensores, Control, Historial, Alertas), integra tarjetas semaforizadas, gráficas en tiempo real y paneles de control del vehículo con funciones de refresco automático y alertas por umbral; el mockup se usa además como artefacto de validación temprana con usuarios/asesores y para alinear equipos. En la fase de integración se verificó la factibilidad de la arquitectura web con peticiones HTTP desde el ESP32 y se priorizan módulos de dashboard, control y autenticación básica. (OASIS Open, 2019)

La seguridad es un requisito transversal. Aunque el prototipo está en etapa temprana, ya se contemplan prácticas como validación del lado servidor, aplicación de HTTPS, hash de contraseñas y organización modular en línea con el NISTIR 8259A (capacidades para dispositivos IoT) y con las guías OWASP (IoT Top 10) que insisten en endurecer credenciales, proteger datos en tránsito/en reposo y asegurar mecanismos de actualización. (ETSI, 2020; OASIS Open, 2019)



Objetivo general

Desarrollar una solución IoT para el monitoreo en tiempo real de zonas de riesgo, integrando un vehículo teleoperado con sensorización ambiental y una aplicación web que permita visualización, control y generación de alertas operativas.

Hipótesis técnica

Una arquitectura IoT basada en ESP32 + HTTP/MQTT + App Web n-capas permite comunicación bidireccional estable y visualización en tiempo real con alertas por umbral, soportando decisiones oportunas y reduciendo la exposición humana en entornos peligrosos. (Sustento: estandarización MQTT 5.0; arquitectura IoT por capas; evidencia de teleoperación).

METODOLOGÍA

Enfoque y tipo de investigación

El estudio adopta un enfoque mixto: (a) cuantitativo para medir el desempeño técnico del sistema, como: latencia, pérdida de paquetes, tasa de actualización, tiempo de respuesta, autonomía energética, y (b) cualitativo para valorar la experiencia de uso del panel web y del control del vehículo mediante entrevistas semiestructuradas y escalas estandarizadas. El tipo de investigación es aplicativo-descriptivo, con alcances exploratorios propios de una evaluación inicial de prototipo. (López Pulgarín et al., 2022)

Diseño metodológico

Se implementa un diseño cuasi-experimental en entorno controlado de laboratorio con medidas repetidas sobre el mismo sistema, complementado por un estudio transversal de usabilidad con usuarios. Las pruebas técnicas se realizan en tres iteraciones (I1–I3) que siguen la maduración del prototipo (Fase 1–3). En cada iteración se aplican protocolos de prueba definidos y se documentan ajustes al hardware/software.

Contexto y escenarios de prueba

Los ensayos se llevan a cabo en un espacio de pruebas internas para simular condiciones operativas básicas: obstáculos para el vehículo, variaciones de distancia, fuentes de ruido/temperaturas moderadas y un punto de acceso Wi-Fi dedicado. Se consideran dos perfiles de red: Red-A



(laboratorio estable) y Red-B (carga/ruido moderado) para observar la robustez de la comunicación HTTP/MQTT 5.0.

Población, muestra y muestreo

La población objetivo son operadores potenciales de monitoreo (estudiantes avanzados y/o personal técnico). La muestra para la evaluación de usabilidad está compuesta por $n = 12$ participantes (≥ 18 años), seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia y criterios de experiencia básica en herramientas informáticas y navegación web.

Criterios de inclusión y exclusión

Para la inclusión: (i) mayores de 18 años; (ii) alfabetización digital básica; (iii) visión normal o corregida; (iv) consentimiento informado. Exclusión: (i) no aceptar el consentimiento; (ii) limitaciones motoras o visuales que impidan operar el equipo en condiciones seguras; (iii) participación simultánea en proyectos que generen conflicto de interés, véase la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión

Tipo	Criterio	Descripción operativa	Evidencia	/	Justificación
			Verificación		metodológica
Obligatorio	Edad ≥ 18 años	Participante adulto con capacidad legal para consentir.	Declaración del participante en el consentimiento informado.	Garantiza la validez ética y legal del consentimiento.	
Obligatorio	Alfabetización digital básica	Puede usar navegador web e interactuar con la App Web (clics, navegación (30–60 segs).	Pregunta filtro y breve prueba de habilidades (clics, navegación (30–60 segs).	Evita sesgos por falta de habilidades mínimas para ejecutar las tareas.	
Obligatorio	Visión normal o corregida	Lee textos, íconos y códigos de color (semaforización) en pantalla.	Autorreporte y uso de lentes si aplica.	Asegura percepción adecuada de indicadores y alertas.	
Obligatorio	Consentimiento	Acepta objetivos, formato		Cumplimiento ético	



	informado firmado	procedimientos y uso anónimo de datos.	consentimiento firmado (digital o físico).	y respeto a derechos del participante.
Deseable	Familiaridad básica dashboards web	Ha interactuado ocasionalmente con paneles/gráficas en línea.	Pregunta (sí/no).	filtro Reduce curva de aprendizaje y variabilidad en tiempos de tarea.
Deseable	Disponibilidad de 45–60 min continuos	Tiempo para briefing, tareas T1–T4 y agenda. cuestionarios	Confirmación de y agenda. SUS/NASA-TLX.	Asegura completar el protocolo sin interrupciones

Variables e indicadores

Las variables e indicadores considerados en esta investigación son los siguientes (véase tabla 2):

- Desempeño de comunicación: latencia extrema-a-extremo (ms), tiempo de respuesta a comandos (ms), tasa de actualización (mensajes/s), pérdida de paquetes (%), disponibilidad del servicio (% uptime).
- Energía y térmicas: autonomía del sistema (min), temperatura del motor/controlador (°C).
- Calidad de censado: estabilidad de lectura (desviación estándar), porcentaje de lecturas válidas (%).
- Usabilidad y carga de trabajo: SUS (System Usability Scale, 0–100) y NASA-TLX (workload, 0–100), más satisfacción global (Likert 1–5).



Tabla 2. Variables e indicadores operacionales, unidades e instrumentos de medición

Variable	Indicador operacional	Unida d	Instrumento	/	Frecuenci a	Meta /
			Fuente de datos			Umbral sugerido
			Timestamps			< 200 ms
	Latencia		sincronizados	Por		(Red-A);
	extremo-a-extremo	ms	(servidor– cliente), logs	paquete y comando	<	500 ms(Red-B)
				ESP32 y backend)	
						< 300 ms
	Tiempo de respuesta a comandos	ms	Marcado de eventos en orden (orden→ack/efecto)	Por orden dashboard y logs		(Red-A); < 700 ms
Desempeño						(Red-B)
			Contador de paquetes MQTT			≥ 5 msg/seg
comunicació n	Tasa de actualización	msg/se g	Continuo			por sensor
			5.0/HTTP (servidor)			crítico*
						< 1%
	Pérdida de paquetes =		Contador secuencial de id			(Red-A); < 5%
	(enviados – recibidos) %		Por sesión de mensaje y logs			
						(Red-B)
	Disponibilidad del servicio (uptime)	%	Monitor de disponibilidad del servidor			≥ 99%
Energía y térmicas	Autonomía de operación continua	min	Cronometraje + registro de estado de batería	Por sesión		(prototipo)
	Temperatura	°C	Sonda/termistor o	Cada 1 s	Pico	< 70



motor/controlador (promedio y pico)	sensor integrado; logs ESP32	$^{\circ}\text{C}^{**}$
Estabilidad de lectura (desviación estándar en el ventana móvil)	Cálculo en dashboard/servidor sensor (ventana 60 s)	σ dentro Cada minuto de tolerancia de hoja de datos
Lecturas válidas (no nulas y en rango)	Validación en servidor (reglas por sensor)	Por sesión $\geq 95\%$
SUS (System Usability Scale)	0–100 Cuestionario SUS post-tarea	Por participant ≥ 70
NASA-TLX (workload global)	0–100 Cuestionario NASA-TLX post-tarea	Por participant ≤ 50
Usabilidad y carga de trabajo	Éxito de tarea (T1–T4 sin asistencia) %	Observación estructurada (lista de cotejo) Cronometraje Según
	Tiempo por tarea s	Por tarea benchmark interno
Satisfacción global	Likert 1–5 Encuesta post-sesión	Por participant ≥ 4

Instrumentos y materiales

Hardware empleado: vehículo teleoperado con ESP32, sensores ambientales (p. ej., temperatura, humedad, gas, distancia), controladores de motor, módulo de potencia y batería. Red: punto de acceso



Wi-Fi dedicado. Software aplicado: aplicación web (frontend: HTML/CSS/JS/Bootstrap; backend: PHP y base de datos en hosting), broker MQTT 5.0 (si aplica), scripts de registro de eventos (logs), y herramientas de medición (cronómetros de alta resolución en el dashboard, registros de servidor y utilitarios de red). Instrumentos de evaluación: cuestionarios SUS y NASA-TLX, guía de entrevista breve (5–7 preguntas) sobre claridad del dashboard, alertas y control del vehículo. Véase Figura 4. (OASIS Open, 2019; Brooke, 2013; Hart, 2006; Gentile et al., 2023)

Figura 4. Prototipo físico del vehículo y distribución de sensores/controladores (modelos del carrito de pruebas).



Procedimiento

1. Preparación del sistema. Verificación eléctrica/mecánica del vehículo; carga de firmware en ESP32; despliegue de la base de datos y servicios web; configuración de tópicos MQTT 5.0/URLs HTTP. (OASIS Open, 2019)
2. Calibración inicial. Comprobación de sensores (lecturas en reposo/estímulo), prueba de comandos básicos (avanzar/detener/giro) y verificación de sincronización reloj servidor-cliente para mediciones de tiempo.
3. Pruebas técnicas (I1–I3). Tres rondas de ensayos con 10–15 minutos cada una bajo Red-A y Red-B. Se ejecutan secuencias predeterminadas de comandos y rutas; el sistema registra latencia, tasa de actualización, pérdida de paquetes y tiempos de respuesta; se mide autonomía en sesiones extendidas. (López Pulgarín et al., 2022)
4. Pruebas de usabilidad. Cada participante realiza tareas representativas (T1–T4): localizar valores anómalos, reconocer/atender una alerta, emitir una orden de movimiento y registrar un evento. Se mide tiempo de tarea, errores y éxito. Al finalizar, aplica SUS, NASA-TLX y una entrevista breve.
5. Documentación de ajustes. Se registran incidentes y cambios de configuración (hardware/software) para la trazabilidad del prototipo entre iteraciones.

Plan de análisis de datos

El análisis de datos consistió en aspectos cuantitativos y cualitativos, como se describen a continuación.

- Cuantitativo: estadística descriptiva (media, mediana, desviación estándar, IQR, IC95%). Comparación entre condiciones de red (Red-A vs. Red-B) y entre iteraciones (I1–I3) mediante pruebas apropiadas al tamaño muestral y supuestos (p. ej., pruebas no paramétricas cuando aplique).
- Cualitativo: análisis temático de entrevistas (codificación abierta/axial) para identificar patrones en claridad de la interfaz, comprensión de alertas y control del vehículo.

Consideraciones éticas

Se aplica consentimiento informado a los participantes del estudio de usabilidad, con derecho a retiro sin consecuencias. Los datos se tratan de forma anonimizada, sin capturar información personal sensible. El estudio no implica riesgos superiores a los de la vida cotidiana y cumple con la normativa



institucional y la legislación aplicable de protección de datos. Cualquier prueba con personas se realiza fuera de zonas peligrosas y en entorno controlado.

Limitaciones

Se reconoce el tamaño muestral reducido en la evaluación de usabilidad y el alcance de laboratorio de las pruebas técnicas; no se reproducen aún todas las condiciones de una zona de riesgo real (interferencias severas, distancias extendidas, condiciones ambientales extremas). Los resultados deben interpretarse como evidencia preliminar de factibilidad y servirán para planificar validaciones en campo.

RESULTADOS

Integración funcional del sistema

Durante las iteraciones I1–I3 se valida la telemetría en tiempo real y el control discreto del vehículo desde la aplicación web. La ESP32 transmite lecturas de sensores y recibe órdenes (avanzar/detener/giro) de manera estable; el dashboard refleja cambios en tiempo real y registra eventos en la base de datos. Se documentan ajustes incrementales de firmware, ruteo de cables y fijación de componentes para mejorar estabilidad.

Desempeño de comunicación (HTTP/MQTT 5.0)

Bajo Red-A (laboratorio estable) se observan latencias subsegundo consistentes y pérdidas de paquetes bajas, compatibles con telemetría continua y control discreto. En Red-B (carga/ruido moderado) la variabilidad aumenta, con picos esporádicos que no comprometen la integridad de la sesión; se recomiendan buffers y retries para eventos críticos. El tiempo de respuesta a comandos mantiene fluidez operativa y se correlaciona con la proximidad del acceso Wi-Fi y la carga concurrente del servidor.

Energía y condiciones térmicas

El prototipo cumple la meta mínima de autonomía definida para la etapa (≥ 30 min por sesión de prueba). Se detectan incrementos térmicos en el conjunto motor-controlador bajo cargas prolongadas; el rediseño mecánico y la ventilación pasiva reducen picos y estabilizan la operación.



Calidad de censado

Las lecturas de temperatura, humedad y distancia muestran estabilidad en ventanas móviles y proporción alta de lecturas válidas. El sensor de gas requiere calentamiento y calibración inicial; tras el acondicionamiento, las señales se estabilizan y responden a estímulos controlados.

Usabilidad y carga de trabajo

Los participantes completan las tareas T1–T4 con altas tasas de éxito y tiempos acordes al guion operativo. La SUS indica aceptabilidad de la interfaz (Brooke, 2013), y NASA-TLX sugiere carga moderada con oportunidades de simplificación en el módulo de alertas y en la confirmación de comandos (Hart, 2006), véase la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de usabilidad y carga de trabajo

Métrica	Media	DE /	Min –	Interpretación		Observación
				IQR	Max	
SUS (0–100)	78	DE = 8	62 – 92	Aceptable – Buena		Mejorar acceso rápido al módulo de Alertas
NASA-TLX (0–100)	41	DE = 12	22 – 66	Carga moderada		Mayor demanda mental durante maniobras precisas
Éxito de tarea T1–T4 (%)	89	DE = 9	75 – 100	≥ objetivo		T3 (orden de movimiento) requiere confirmación
Tiempo por tarea (seg)	23	DE = 7	12 – 38	Dentro de meta		T1/T2 más rápidas que T3/T4
Satisfacción (Likert 1–5)	4.3	DE = 0.5	3.3 – 5.0	Alta		Comentarios positivos sobre claridad del dashboard

DISCUSIÓN

Coherencia de hallazgos con la metodología

Los resultados son consistentes con el diseño cuasi-experimental y el entorno controlado: la latencia subsegundo y la baja pérdida de paquetes en Red-A eran esperables por la proximidad y el aislamiento de interferencias; la mayor variabilidad en Red-B confirma la sensibilidad del sistema a congestión y



ruido, alineada con la literatura de MQTT 5.0/HTTP en IoT. La autonomía ≥ 30 min valida la meta de prototipo y orienta mejoras de gestión energética.

Comparación con el estado del arte

El comportamiento observado concuerda con encuestas de IoT por capas y protocolos livianos que recomiendan publish/subscribe para telemetría eficiente (Atzori et al., 2010; Gubbi et al., 2013; Al-Fuqaha et al., 2015) y con estudios de teleoperación que señalan la latencia como factor crítico de desempeño (Farajiparvar et al., 2020). En UX, los patrones de SUS aceptable y carga moderada se relacionan con buenas prácticas de dashboard y gestión de fatiga por alertas (Nielsen Norman Group, 2017; 2022; Brooke, 2013).

Interpretaciones y aportes

La arquitectura n-capas y el uso de ESP32 + HTTP/MQTT 5.0 demuestran ser una combinación viable y replicable para monitoreo en tiempo real con control teleoperado. El mockup centrado en conciencia situacional facilita la curva de aprendizaje y respalda decisiones operativas con indicadores claros. El rediseño mecánico tras detectar sobrecalentamiento evidencia un ciclo de mejora iterativa propio de TRLs tempranos.

Novedad, aplicaciones y pertinencia

El aporte reside en integrar, con bajo costo y modularidad, un vehículo teleoperado y una App Web para zonas de riesgo, con una ruta metodológica reproducible. Las aplicaciones incluyen minería, inspección industrial y respuesta ante desastres en entornos donde la reducción de exposición humana es prioritaria. La pertinencia se alinea con líneas de investigación en IoT aplicado, HCI para monitoreo y robótica en entornos peligrosos.

Límites y trabajo futuro

El alcance de laboratorio, la muestra reducida y la ausencia de pruebas en condiciones extremas limitan la generalización. Como trabajo futuro se propone: (i) validar en pilotajes de campo, (ii) endurecer seguridad (HTTPS, autenticación robusta, registro de auditoría), (iii) optimizar consumo energético y gestión térmica, y (iv) explorar estrategias de tolerancia a fallos y control predictivo para mitigar latencia y *jitter*.



CONCLUSIONES

La solución propuesta —vehículo teleoperado con sensorización ambiental y aplicación web— demuestra viabilidad técnica para el monitoreo en tiempo real en entornos controlados. La arquitectura n-capas y el uso de ESP32 + HTTP/MQTT permiten comunicación bidireccional estable y reflejo inmediato de eventos en el panel, cumpliendo los objetivos operativos de prototipo (telemetría continua y control discreto) sin comprometer la integridad de los datos.

Desde la perspectiva socio-técnica, el tablero prioriza la conciencia situacional y ofrece una experiencia de uso aceptable para operadores no expertos, como sugieren los resultados de usabilidad (SUS en rango aceptable-bueno y carga NASA-TLX moderada). La combinación de tarjetas semaforizadas, alertas jerarquizadas y gráficas en tiempo real facilita la interpretación de estados y la ejecución de acciones oportunas.

En términos ingenieriles, el sistema mantiene latencias subsegundo y baja pérdida de paquetes en condiciones de red estable; bajo carga/ruido moderado se observa variabilidad que no impide la operación, pero que aconseja buffers, reintentos y políticas de QoS. La gestión energética y el control térmico emergen como condicionantes del desempeño sostenido; el rediseño mecánico y la ventilación pasiva muestran efectividad para mitigar sobrecalentamiento.

La investigación aporta: (i) una ruta de integración replicable y de bajo costo para sistemas IoT teleoperados aplicados a zonas de riesgo; (ii) un conjunto de indicadores operacionales y procedimientos de medición que favorecen la comparabilidad entre iteraciones y configuraciones; y (iii) un diseño de interfaz orientado a reducir la carga cognitiva sin sacrificar información crítica.

Las limitaciones del estudio —alcance de laboratorio, tamaño muestral reducido y ausencia de condiciones extremas— restringen la generalización. En consecuencia, se recomienda: (a) realizar pilotos de campo con perfiles de red heterogéneos; (b) endurecer la seguridad (TLS extremo a extremo, autenticación robusta, registro de auditoría y pruebas de penetración básicas); (c) optimizar consumo y térmicas (gestión de potencia, selección de motores y perfiles de conducción); y (d) explorar tolerancia a fallos (QoS MQTT, fallback HTTP, enlaces redundantes Wi-Fi/LTE/mesh) y control predictivo para compensar latencia y jitter.



Investigaciones futuras recomendadas: (a) umbrales de variables ambientales correlacionados mejor con el riesgo operativo según el dominio (minería, industria química, protección civil); (b) el sobrecoste de latencia introducido por el cifrado extremo a extremo y cómo afecta la teleoperación; (c) análisis en el borde (detección de anomalías/IA ligera) que aporte ganancias tangibles en tiempos de respuesta; (d) escalamiento a flotas de vehículos coordinados manteniendo estabilidad, seguridad y gobernanza de datos y (e) estrategias de entrenamiento para la reducción de la demanda mental en maniobras finas y en gestión de alertas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Brooke, J. (2013). **SUS: A retrospective.** *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40. <https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/>
- Espressif Systems. (2025a). *ESP32 Series: Datasheet* (v5.0). https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Espressif Systems. (2025b). *ESP32 Technical Reference Manual* (v5.4). https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- Farajiparvar, P., Das, P., & Ferre, M. (2020). A brief survey of telerobotic time delay mitigation. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 578805. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.578805>
- Gentile, C., Lunghi, G., Buonocore, L. R., Cordella, F., Di Castro, M., Masi, A., & Zollo, L. (2023). Manipulation tasks in hazardous environments using a teleoperated robot: A case study at CERN. *Sensors*, 23(4), 1979. <https://doi.org/10.3390/s23041979>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>



Hart, S. G. (2006). NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904–908.

<https://doi.org/10.1177/154193120605000909>

Murphy, R. R. (2014). *Disaster robotics*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9407.001.0001>

National Institute of Standards and Technology. (2020). *NISTIR 8259A: IoT device cybersecurity capability core baseline*. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8259A>

Nielsen Norman Group. (2017, June 18). *Dashboards: Making charts and graphs easier to understand*. <https://www.nngroup.com/articles/dashboards-preattentive/>

Nielsen Norman Group. (2022, December 16). *Alert fatigue in user interfaces* [Video]. <https://www.nngroup.com/videos/alert-fatigue-user-interfaces/>

NIST. (2020). *NISTIR 8259A: IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8259A>

OASIS Open. (2019, March 7). *MQTT Version 5.0* (OASIS Standard). <https://www.oasis-open.org/standard/mqtt-v5-0-os/>

OWASP. (2018). IoT Top 10 2018. <https://owasp.org/www-project-internet-of-things/>

López Pulgarín, E. J., Tokatli, O., Burroughes, G., & Herrmann, G. (2022). Assessing tele-manipulation systems using task performance and subjective metrics.

<https://doi.org/10.3389/frobt.2022.932538>

Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). **Edge computing: Vision and challenges**. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>

