

SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO GPS Y TELEMETRÍA PARA MÁQUINAS DE ELEVACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Lilia Margarita Mena Castillo ¹, Margarita Sayuri Sáenz Rodríguez², Santiago Javier Flores Mena³

¹Maestría en Gestión de las Tecnologías de la Información, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Correo electrónico: lmena@itsnecg.edu.mx, Teléfono: 636 694 9500. Avenida Tecnológico #7100 C.P. 31700, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México

²Maestría en Ingeniería en Manufactura, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, Departamento de Ingeniería en Electromecánica y Mecatrónica, Correo electrónico: msaez@itsnecg.edu.mx, Teléfono: 636 694 9500 ext. 143. Avenida Tecnológico #7100 C.P. 31700, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México

³Alumno del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, Teléfono: 636 694 9500. Avenida Tecnológico #7100 C.P. 31700, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México.

Resumen - El presente trabajo aborda la problemática de la falta de trazabilidad, control operativo y gestión documental en la flota de plataformas elevadoras de la empresa COYSE, situación que generaba inoperatividad recurrente, incremento en los costos de mantenimiento y riesgos de seguridad asociados al uso inadecuado y a la omisión en la recarga de baterías. Para resolver esta problemática se diseñó e implementó un sistema integral de monitoreo y gestión telemática basado en tecnologías GPS, Internet de las Cosas (IoT) y arquitectura SCADA, integrando control remoto de funciones críticas y acceso documental digital mediante códigos QR. La solución se materializó en una Unidad de Monitoreo Telemático (UMT) modular preensamblada de rápida instalación. Los resultados experimentales evidencian la correcta operación del sistema, incluyendo el registro del horómetro telemático, detección confiable de ignición, monitoreo del estado de carga mediante aislamiento galvánico, control remoto de bloqueo/desbloqueo y acceso digital seguro a documentación técnica. El impacto del proyecto es estratégico al transformar la gestión de activos, con potencial para reducir fallas operativas asociadas al uso inadecuado, mejorar la trazabilidad de los activos e incrementar la capacidad de supervisión remota de la flota.

Palabras Clave: GPS, IoT, mantenimiento predictivo, plataformas elevadoras, SCADA, telemetría.

Abstract - This research addresses the lack of traceability and operational control in COYSE's aerial work platform fleet, which caused recurring downtime, increased maintenance costs, and safety risks due to misuse and battery mismanagement. A comprehensive telematics monitoring and management system was developed using GPS, IoT technologies, and SCADA architecture, integrating remote control and QR-based

documentation management. The solution was implemented through a modular Telematics Monitoring Unit (UMT) designed for rapid deployment. Experimental results demonstrated reliable operation in telematics hour metering, ignition detection, charger monitoring through galvanic isolation, remote lock/unlock control, and secure access to technical documentation. The project has a strategic impact by transforming asset management, with the potential to reduce operational failures caused by improper use, improve asset traceability, and enhance the fleet's remote monitoring capabilities.

Keywords: aerial platforms, GPS, IoT, predictive maintenance, SCADA, telematics.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital en la industria ha impulsado la adopción de tecnologías de telemetría, sistemas ciberfísicos y plataformas de monitoreo en tiempo real como elementos fundamentales para la gestión inteligente de activos productivos [1].

En este contexto, la convergencia entre el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas SCADA ha permitido evolucionar los modelos tradicionales de mantenimiento hacia esquemas predictivos basados en condición [2].

En el sector de maquinaria pesada, particularmente en las Plataformas Elevadoras de Personas (PEMP), la trazabilidad y supervisión continua constituyen un requisito esencial para garantizar la seguridad industrial y el cumplimiento normativo [3]. Es decir, diversos estándares internacionales indican que la operación de plataformas elevadoras sin monitoreo adecuado

incrementa significativamente el riesgo de accidentes y fallas mecánicas [4].

El uso de un sistema de monitoreo de señales vitales (SMSV) en maquinaria, como la temperatura, presión de fluidos, consumo, localización o hasta detección de fallas, incrementa el uso efectivo y la vida útil del equipo [5]. Algunas marcas de maquinaria móvil ya cuentan con herramientas digitales de gestión de rendimiento, incluso compatibles con otros fabricantes, las cuales permiten la generación de información relevante en tiempo real para mejorar la seguridad, la productividad y la ecoeficiencia de los equipos y procesos [6].

Sin embargo, cuando se tienen necesidades de control específicas, se requiere la creación de un sistema o aplicación personalizada.

La empresa COYSE enfrenta una problemática estructural asociada a la ausencia de monitoreo telemático en su flota, lo cual se traduce en inoperatividad recurrente por omisión en la recarga de baterías, uso no autorizado y falta de acceso inmediato a documentación técnica [7].

Estudios en ingeniería de mantenimiento reportan que más del 40 % de las fallas en maquinaria móvil están asociadas a prácticas operativas incorrectas y ausencia de monitoreo continuo [8], de modo que, la telemetría basada en GPS permite la geolocalización precisa de activos y la generación de historiales de uso [9]. Mientras que, la integración de plataformas SCADA con arquitecturas IoT permite centralizar la supervisión en tiempo real y habilitar control remoto y generación de alertas [10].

Ahora bien, la digitalización documental mediante códigos QR permite vincular activos físicos con repositorios digitales [11] además, de que la integración electrónica requiere compatibilidad eléctrica y protección contra sobrecargas [12].

Cabe mencionar que, la confiabilidad de redes GSM/GPRS influye en la latencia de los sistemas telemáticos [13]. Por lo que, la adopción de telemetría industrial genera ventajas competitivas y nuevos modelos de negocio [14].

Por lo que el objetivo que se plantea en este proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo y gestión telemática integral para las plataformas elevadoras JLG 3246ES, SKYJACK 4632 y SKYJACK 3219 de la empresa COYSE, mediante la cotización, comparación y selección de dispositivos

GPS y una plataforma de software de marca blanca idónea.

DESARROLLO

El desarrollo del Sistema integral de monitoreo GPS y telemetría para máquinas de elevación, localización, control operativo y seguridad industrial se llevó a cabo mediante un enfoque experimental-aplicado, estructurado en tres fases metodológicas principales: diseño y simulación electrónica, adquisición de componentes e implementación con validación en campo.

1. Fase de diseño y simulación electrónica

Esta etapa tuvo como propósito validar la viabilidad lógica y eléctrica del sistema antes de su implementación física, con el fin de reducir riesgos sobre la maquinaria. Para ello, en primer lugar, se diseñaron los circuitos auxiliares de control, detección y aislamiento mediante el software Proteus. Posteriormente, se modelaron los sistemas de detección de ignición, detección de cargador AC y el mecanismo de bloqueo y desbloqueo remoto mediante relevadores.

Asimismo, se verificó la estabilidad de las señales y la correcta conmutación de las salidas hacia las entradas digitales del módulo GPS, garantizando la compatibilidad funcional entre los subsistemas. De manera complementaria, el multímetro digital se empleó como instrumento principal de medición para validar los niveles de 24 V DC del sistema, la señal de ignición y la presencia de 110 V AC en el cargador, como se muestra en la Figura 1.

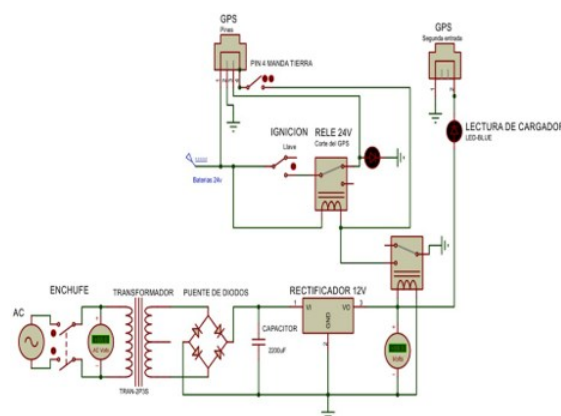


Figura 1. Conexión del funcionamiento eléctrico de los componentes

2. Selección de materiales y componentes

Para la implementación del sistema, se definieron tres categorías principales de recursos:

a) Elementos telemáticos.

- Dispositivos GPS (Concox GT06E, VT100L o VL802)
- Tarjetas SIM
- Plataforma SCADA de marca blanca
- Software de simulación

b) Componentes electrónicos auxiliares.

- Relevadores de 12 V y 24 V DC
- Convertidores AC/DC
- Cableado, fusibles y conectores industriales

c) Herramientas.

- Multímetro digital
- Pinzas ponchadoras
- Herramientas mecánicas de instalación

3. Diseño experimental y validación de hipótesis

Esta fase se orientó a evaluar la funcionalidad del sistema mediante la aplicación de pruebas cuantitativas estructuradas. En primer lugar, se realizaron pruebas de precisión de posicionamiento, en las cuales se comparó la ubicación reportada por el GPS con un punto geográfico de referencia, determinando la diferencia de distancia media para estimar la exactitud del sistema.

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de latencia, donde se midió el intervalo de tiempo entre el envío del comando de bloqueo desde la interfaz SCADA y la activación efectiva del relevador en la máquina. A partir de estos datos se calcularon la media y la desviación estándar, con el fin de evaluar el tiempo de respuesta del sistema.

Finalmente, se efectuó la validación funcional integral mediante la verificación de las hipótesis relacionadas con la detección de ignición, la detección de la conexión del cargador y la seguridad del mecanismo de bloqueo remoto. De esta manera, se confirmó el cumplimiento de los criterios operativos definidos para el sistema telemático.

Desarrollo del sistema y arquitectura del kit UMT

El sistema se integró en una Unidad de Monitoreo Telemático (UMT) modular preensamblada, diseñada como un kit de instalación rápida con conexiones simplificadas (positivo, negativo y control de corte, Figura 2).

Este diseño permitió reducir errores de instalación, disminuir los tiempos de montaje y facilitar la estandarización técnica, mejorando la eficiencia del proceso de implementación.

Investigación y definición de criterios operacionales

Se realizó un análisis técnico de plataformas JLG y SKYJACK, así como de dispositivos GPS, con el fin de establecer los criterios funcionales del sistema, entre los que se incluyen:

- Rastreo GPS y trazabilidad.
- Detección de ignición.
- Detección de cargador AC.
- Bloqueo y desbloqueo remoto.
- Generación de bitácora telemática.
- Acceso documental mediante códigos QR.

Adicionalmente, se incorporó una plataforma SCADA de marca blanca para permitir la gestión centralizada y su posible escalabilidad comercial, como se muestra en la Figura 2.

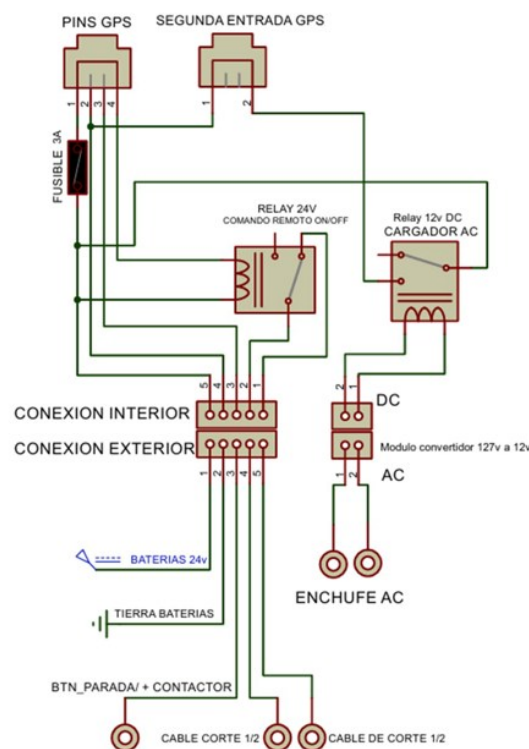


Figura 2. Circuito Simplificado para la conexión del GPS con sus complementos clave

Selección de plataforma de monitoreo

Se evaluaron diversas plataformas de monitoreo (GPSWOX, Xeeva y Fleetcam), seleccionando GPSWOX [15] debido a su capacidad de personalización (marca blanca), compatibilidad con múltiples dispositivos GPS, adecuada relación costo-beneficio y herramientas integradas de monitoreo, control remoto y generación de reportes.

Implementación y validación constructiva

- Instalación en campo.** El sistema se instaló en las plataformas JLG 3246ES, SKYJACK 4632 y SKYJACK 3219. Para ello, se realizaron conexiones eléctricas seguras mediante cableado automotriz y técnica de ponchado, validando cada punto mediante mediciones repetidas.
- Configuración del GPS.** El dispositivo Concox [16] GT06E fue configurado mediante comandos SMS para establecer la conexión con el servidor SCADA, habilitar la transmisión de datos, activar alarmas de ignición y energía, y controlar la salida digital destinada al bloqueo remoto.
- Validación funcional del sistema.** Se verificó el correcto funcionamiento de las siguientes funciones: monitoreo de ubicación en tiempo real, detección de ignición, detección de cargador mediante circuito de aislamiento AC/DC, bloqueo y desbloqueo remoto, y medición de voltaje de batería. En la Figura 3, se puede ver algunas de las plataformas de elevación de tijera, que se utilizaron.



Figura 3. Plataformas de elevación tijera

Diseño mecatrónico de la UMT

La Unidad de Monitoreo Telemático fue diseñada en CAD mediante SolidWorks, integrando todos los componentes en un gabinete de plástico ABS, seleccionado por su transparencia a señales GNSS/GSM y su resistencia mecánica.

El diseño permitió la compactación del sistema, protección tipo IP y una instalación simplificada

mediante cinco conexiones principales. En la Figura 4 se puede ver la caja de Ensamblaje de componentes diseñada en SolidWorks.

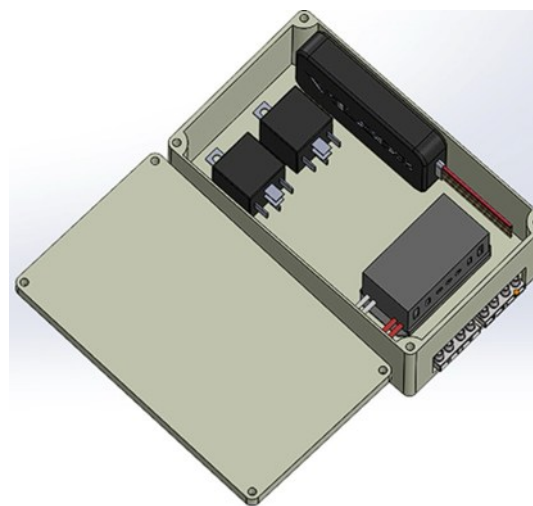


Figura 4. Ensamblaje de componentes en SolidWorks

Integración de sistema documental y códigos QR

Se implementó un sistema digital que vincula cada máquina con sus manuales técnicos, bitácoras, pólizas, estado operativo y acceso a la plataforma SCADA. El acceso a esta información se realiza mediante códigos QR personalizados colocados en cada equipo, facilitando la consulta inmediata en campo.

Después, se implementó un sistema de monitoreo inteligente con alertas en tiempo real y generación de reportes automatizados. Entre los eventos configurados se incluyen: encendido y apagado de la máquina, conexión y desconexión del cargador, corte de energía y reportes diarios de operación.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Sistema Integral de Monitoreo GPS y Telemetría para máquinas de elevación, control operativo y seguridad industria para la empresa Coyse, permitió evaluar de manera multidimensional el desempeño del sistema propuesto, abordando tanto su viabilidad técnica como su impacto operativo, su confiabilidad funcional y su potencial de escalabilidad industrial. Los resultados obtenidos se analizan a continuación en función de cinco ejes fundamentales: viabilidad técnica, desempeño de la instrumentación, eficiencia del control remoto, inteligencia operativa mediante alertas y valor estratégico del sistema.

1. Viabilidad Técnica

Los resultados de la fase de investigación y diseño confirmaron la factibilidad de integrar un sistema telemático en plataformas elevadoras con arquitectura eléctrica de 24 V DC sin comprometer la integridad de los sistemas originales. Este aspecto es relevante, ya que diversos estudios señalan que la incompatibilidad eléctrica es una de las principales barreras para la implementación de sistemas IoT en maquinaria industrial [1].

La selección de relevadores de 24 V DC y el dimensionamiento del sistema de protección mediante fusible de 3 A y cableado automotriz demostraron ser adecuados para garantizar la seguridad eléctrica y la continuidad operativa. Este diseño cumple con principios de ingeniería eléctrica vehicular y coincide con prácticas recomendadas en sistemas embebidos industriales [8].

Un hallazgo técnico significativo fue la verificación de la capacidad expandida del módulo GPS Concox GT06E. A pesar de su documentación inicial limitada, el dispositivo demostró contar con múltiples entradas digitales reconfigurables mediante comandos SMS, lo cual permitió cumplir con los criterios funcionales sin necesidad de rediseño de hardware. Este resultado evidencia la importancia de la validación experimental sobre la documentación técnica y representa una optimización de costos de implementación.

2. Desempeño de la Instrumentación

Las pruebas de campo demostraron que la instrumentación implementada presenta alta confiabilidad en la captura de variables críticas del sistema:

2.1 Detección de ignición

La señal ACC presentó transiciones estables entre 0 V y 24 V DC, sin ruido eléctrico significativo ni falsas activaciones. La correcta interpretación de esta señal en la plataforma SCADA confirma la robustez del sistema de monitoreo del estado operativo de la máquina.

Este resultado es consistente con investigaciones que señalan que la detección de ignición es una de las variables más críticas para el control de flotas industriales [9].

2.2 Detección del cargador mediante aislamiento galvánico

El circuito de detección del cargador basado en aislamiento AC/DC presentó un desempeño altamente confiable, siendo inmune a condiciones de paro de emergencia. Este resultado es especialmente relevante, ya que garantiza la independencia funcional de los sistemas de seguridad de la máquina.

Desde el punto de vista de mantenimiento, este hallazgo permite prevenir una de las principales causas de fallas en plataformas eléctricas: la descarga profunda de baterías por omisión de carga [3].

2.3 Medición analógica de voltaje de baterías

La implementación del monitoreo analógico del voltaje permitió generar alertas tempranas de caída de tensión, habilitando estrategias de mantenimiento predictivo. Este resultado se alinea con los principios de mantenimiento basado en condición (CBM), donde la medición continua de variables permite anticipar fallas antes de que ocurran [2].

3. Eficiencia del Sistema de Control Remoto

El sistema de bloqueo remoto fue diseñado bajo el principio de intervención no invasiva sobre los sistemas críticos de seguridad de la plataforma. La activación del bloqueo únicamente interrumpe el circuito de control de ignición mediante la salida digital DO1 del dispositivo GPS y un relevador de 24 VDC, evitando modificaciones sobre los circuitos hidráulicos, sensores de seguridad o sistemas de descenso de emergencia.

Las condiciones para la activación del bloqueo remoto son:

- Recepción de un comando autorizado desde la plataforma SCADA.
- Validación del usuario con credenciales registradas.
- Existencia de comunicación activa entre el servidor y el dispositivo GPS.

Durante el estado de bloqueo:

- Se impide la operación normal del equipo.
- Se mantiene disponible el sistema de descenso auxiliar de emergencia.
- No se altera el funcionamiento de los dispositivos de protección originales del fabricante.

Ante una falla de comunicación GSM/GPRS o pérdida de cobertura celular, el sistema conserva el último estado operativo registrado y permite la recuperación local mediante los procedimientos estándar de la plataforma. Esta estrategia evita la generación de condiciones inseguras derivadas de interrupciones de comunicación externas.

Latencia del sistema

El análisis estadístico de latencia evidenció tiempos de respuesta consistentes dentro de rangos aceptables para sistemas de control telemático industrial (menores a 10 segundos). Este desempeño es coherente con sistemas de monitoreo basados en redes GSM/GPRS, donde la latencia depende de la infraestructura de telecomunicaciones [10]. Este resultado valida la hipótesis de que el sistema puede operar como mecanismo de control remoto en tiempo cuasi-real.

4. Inteligencia Operativa Mediante Alertas

Uno de los aportes más relevantes del sistema es la transformación de datos telemáticos en inteligencia operativa mediante un sistema de alertas automatizadas. Las alertas configuradas (ignición, cargador, corte de energía, caída de voltaje y eventos diarios) demostraron:

- Capacidad de detección inmediata de eventos críticos.
- Envío simultáneo de notificaciones visuales y por correo.
- Generación automática de reportes consolidados.

Este enfoque convierte al sistema en una herramienta de gestión proactiva de activos, lo cual coincide con tendencias actuales de industria 4.0 donde el monitoreo en tiempo real permite reducir fallas y optimizar la operación [6].

Además, la configuración del evento de nivel de combustible bajo proyecta la escalabilidad del sistema hacia plataformas de combustión interna, ampliando su aplicabilidad industrial.

5. Valor Estratégico del Sistema

La implementación del sistema de códigos QR representa un aporte innovador en la gestión documental de maquinaria industrial. La integración entre el activo físico y su repositorio digital permite:

- Acceso inmediato a manuales y bitácoras.

- Verificación de mantenimiento.
- Consulta de pólizas y garantías.
- Acceso al sistema SCADA.

Este enfoque fortalece la trazabilidad, la transparencia operativa y la gobernanza de la información técnica, elementos clave en la administración moderna de activos industriales [10].

Impacto operativo y validación en entorno real

En la implementación de plataformas reales se observaron indicios de mejora operativa relacionados con una mayor capacidad de supervisión, control de uso y detección temprana de eventos asociados a la operación de las plataformas.

Diversos estudios reportan reducciones en costos de mantenimiento tras la implementación de soluciones telemáticas. Sin embargo, debido al tiempo limitado de evaluación de este estudio, no fue posible cuantificar dicho impacto económico en la flota analizada [4].

Validación comercial y potencial de escalabilidad

Un resultado de alto valor estratégico fue la validación del sistema en un entorno comercial real. La presentación del sistema a empresas externas generó interés preliminar respecto a la adopción de la solución. Aunque este resultado no constituye una validación comercial concluyente, sí sugiere la existencia de oportunidades futuras para la transferencia tecnológica y la escalabilidad del sistema.

Este resultado posiciona a COYSE no solo como usuario de la tecnología, sino como proveedor potencial de soluciones telemáticas industriales, alineándose con modelos de negocio basados en servicios digitales y monitoreo remoto.

Resultados cuantitativos de validación experimental

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema telemático implementado, se realizaron pruebas funcionales sobre los principales módulos de monitoreo y control. Debido al carácter piloto de la implementación, la evaluación se centró en la verificación del cumplimiento de los criterios operativos establecidos para cada función. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Validación de funciones de monitoreo.

Fuente: Elaboración Propia

Función	Ensayos	Resultado
Detección de ignición	3	Correcta
Detección de cargador	3	Correcta
Reporte GPS	Campo	Correcto

Tabla 2. Validación de funciones de control remoto.

Fuente: Elaboración Propia

Función	Ensayos	Resultado
Bloqueo remoto	10	Exitoso
Desbloqueo remoto	10	Exitoso
Descenso de emergencia	10	Conservado

Los resultados evidencian que las funciones críticas del sistema operaron de manera satisfactoria durante las pruebas realizadas. Particularmente, las pruebas de bloqueo y desbloqueo remoto mostraron un comportamiento consistente en los diez ensayos efectuados, mientras que las funciones de detección de ignición y conexión de cargador registraron una identificación correcta de los eventos evaluados. Asimismo, se verificó que el mecanismo de descenso de emergencia permaneció operativo durante la activación del bloqueo remoto, preservando las condiciones de seguridad requeridas para la operación del equipo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman el cumplimiento del objetivo general, el cual consiste en el desarrollo e implementación de un sistema integral de monitoreo y gestión telemática para plataformas elevadoras de la empresa COYSE, validado en condiciones reales de operación. La solución propuesta demostró viabilidad técnica, funcional y operativa, sustentada en la integración efectiva de herramientas de diseño mecatrónico, instrumentación electrónica y sistemas de información SCADA/IoT.

Desde la perspectiva de la ingeniería aplicada, la Unidad de Monitoreo Telemático (UMT) representó un avance significativo al simplificar el proceso de instalación mediante un diseño modular de cinco conexiones, reduciendo tiempos de montaje y riesgos de error humano. A nivel funcional, el sistema logró una mejora sustancial en la trazabilidad de activos, al permitir el monitoreo en tiempo real de la ubicación, el estado de encendido y el registro del horómetro telemático.

Los resultados experimentales validaron las hipótesis planteadas: el sistema de bloqueo remoto demostró ser seguro y no invasivo para los mecanismos de seguridad esenciales; el circuito de detección del cargador evidenció capacidad efectiva para prevenir fallas operativas por falta de recarga; el protocolo de acceso mediante códigos QR garantizó seguridad, trazabilidad y disponibilidad de la información; y el sistema de control remoto presentó tiempos de respuesta adecuados para aplicaciones industriales.

Por lo que, la solución desarrollada demostró ser técnicamente viable para la supervisión remota de plataformas elevadoras y proporcionó herramientas que pueden contribuir a mejorar la gestión operativa, la trazabilidad de activos y el control de eventos críticos. No obstante, la cuantificación de impactos sobre indicadores como reducción de riesgos, disminución de tiempos muertos o ahorro económico requiere estudios longitudinales adicionales.

Desde una perspectiva estratégica, el proyecto demuestra un alto potencial de escalabilidad y replicabilidad, permitiendo su implementación en la totalidad de la flota de COYSE e incluso su extensión a otros tipos de maquinaria, incluyendo equipos de combustión interna. Adicionalmente, el interés generado por terceros valida su viabilidad como producto comercial, posicionando la UMT como una solución tecnológica con potencial de transferencia al sector industrial.

Por ende, este trabajo evidencia que la integración de la ingeniería mecatrónica con tecnologías de telemetría y gestión digital constituye una estrategia efectiva para la modernización del sector de maquinaria pesada, generando beneficios tangibles en eficiencia operativa, seguridad y valor económico.

Trabajo futuro

Como líneas futuras de investigación se propone:

- Extender la implementación de la Unidad de Monitoreo Telemático al resto de la flota de COYSE.
- Integrar plataformas de combustión interna mediante monitoreo de combustible y parámetros de motor.
- Incorporar algoritmos de mantenimiento predictivo basados en aprendizaje automático y análisis histórico de eventos.
- Realizar estudios longitudinales que permitan cuantificar el impacto económico del sistema en indicadores como disponibilidad, reducción

de tiempos muertos y costos de mantenimiento.

- Implementar protocolos avanzados de ciberseguridad para la autenticación y gestión de comandos remotos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes por el apoyo institucional para el desarrollo de la presente investigación, así como a la empresa COYSE por facilitar el acceso a la infraestructura para la validación experimental.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Lee J, Bagheri B, Kao HA. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manuf Lett*. 2015; 3:18-23.

[2] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements and future directions. *Future Gener Comput Syst*. 2013;29(7):1645-1660.

[3] Occupational Safety and Health Administration. Aerial Lift Safety Guidelines. Washington (DC): OSHA; 2020.

[4] International Organization for Standardization. ISO 23814: Mobile elevating work platforms—Safety principles, inspection, maintenance and operation. Geneva: ISO; 2019.

[5] Felsh W, Arroyo C, Sousa V, Vieira P. Beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras. *Interfaces*. 2018;87-102.

[6] De Beruck J. MyKalmar Insight [Internet]. Kalmar; 2026 [cited 2026 Jun 12]. Available from: <https://www.kalmarlatam.com/>

[7] Mobley RK. An introduction to predictive maintenance. 2nd ed. Burlington (MA): Elsevier; 2002.

[8] Jardine AKS, Tsang AHC. Maintenance, replacement and reliability: theory and applications. Boca Raton (FL): CRC Press; 2006.

[9] Tanenbaum AS, Wetherall DJ. Computer networks. 5th ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall; 2011.

[10] Boyer SA. SCADA: supervisory control and data acquisition. 4th ed. Research Triangle Park (NC): ISA; 2010.

[11] International Organization for Standardization. ISO/IEC 18004: Information technology—Automatic

identification and data capture techniques—QR Code bar code symbology specification. Geneva: ISO; 2015.

[12] Floyd TL. Electronic devices: conventional current version. 9th ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson; 2013.

[13] Alcaraz C, Zeadally S. Critical infrastructure protection: requirements and challenges for SCADA systems. *Int J Crit Infrastruct Prot*. 2013; 8:17-27.

[14] Porter ME. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York (NY): Free Press; 2014.

[15] GPSWOX. Fleet Management System Documentation [Internet]. GPSWOX; 2024 [cited 2026 Jun 12]. Available from: <https://www.gpswox.com/>

[16] Concox Information Technology Co., Ltd. GT06E User Manual [Internet]. Shenzhen: Concox; 2023 [cited 2026 Jun 12]. Available from: <https://www.iconcox.com/product/>