

*Ciencia e Ingeniería*Revista Interdisciplinaria de Estudios en Ciencias
Básicas e Ingenierías

ISSN 2389-9484

Año 2026, julio-diciembre, Vol. 13, N.º 2, e21066834

Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e
Ingeniería. Universidad de La Guajira

La Guajira, Riohacha, Colombia

<http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>

Este documento fue depositado en Zenodo.

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.21066834>ARK: <https://n2t.net/ark:/60540/21066834>**Emmanuel Ramírez Romero***<https://orcid.org/0009-0001-7436-9113>23030524m@itesa.edu.mx

Tecnológico Nacional de México / Campus

Oriente del Estado de Hidalgo, Apan,

Hidalgo, México

Karina Gutiérrez Fragoso<https://orcid.org/0000-0002-4968-0188>kgutierrez@itesa.edu.mx

Tecnológico Nacional de México / Campus

Oriente del Estado de Hidalgo, Apan,

Hidalgo, México

Germán Cuaya Simbro<https://orcid.org/0000-0001-6303-154X>gcuaya@itesa.edu.mx

Tecnológico Nacional de México / Campus

Oriente del Estado de Hidalgo, Apan,

Hidalgo, México

*Correspondencia.

BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA: PROTOTIPO PARA TRAZABILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Blockchain in Industry: A Prototype for Production-Line Traceability

RESUMEN

Las empresas manufactureras requieren sistemas de trazabilidad que permitan registrar el avance de las piezas, reducir inconsistencias en la captura de datos y fortalecer la supervisión del proceso productivo. Este estudio tuvo como objetivo diseñar y validar, en un ambiente de simulación, un prototipo basado en blockchain privada para el seguimiento de piezas en una línea de producción. La propuesta integra Node-RED, el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) y Raspberry Pi 5 para registrar información de órdenes, operadores, estaciones y estados de los pedidos. La validación funcional se realizó en una red local con volúmenes controlados de datos, mediante pruebas de comunicación entre dispositivos, generación de bloques, consulta de registros y emisión de alertas ante inconsistencias. El prototipo permitió automatizar el registro de eventos, consultar la información desde interfaces diferenciadas y activar notificaciones en tiempo real. Asimismo, el uso de Raspberry Pi 5 mostró un consumo energético aproximado de 2,5 W en reposo y 12 W en carga máxima, inferior al de un servidor típico. Los resultados evidencian el potencial del sistema como alternativa preliminar, escalable y de bajo costo para pequeñas y medianas empresas, aunque se requiere validar su desempeño con métricas cuantitativas en entornos industriales reales.

Palabras clave: blockchain; trazabilidad; manufactura; eficiencia operativa; Internet de las cosas (IoT).

ABSTRACT

Manufacturing companies require traceability systems that record the progress of parts, reduce data-capture inconsistencies, and strengthen production-process monitoring. This study aimed to design and validate, in a simulated environment, a private blockchain-based prototype for tracking parts in a production line. The proposal integrates Node-RED, the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, and Raspberry Pi 5 to record information on orders, operators, stations, and order status. Functional validation was conducted in a local network with controlled data volumes through tests of device communication, block generation, record queries, and alert emission when inconsistencies were detected. The prototype enabled automated event recording, information retrieval from differentiated interfaces, and real-time notifications. In addition, the Raspberry Pi 5 showed an approximate energy consumption of 2.5 W in idle state and 12 W at maximum load, which is lower than that of a typical server. The results highlight the system's potential as a preliminary, scalable, and low-cost alternative for small and medium-sized enterprises, although its performance must be validated with quantitative metrics in real industrial environments.

Keywords: blockchain; traceability; manufacturing; operational efficiency; Internet of Things (IoT).

Recibido: 30-01-2025

Aceptado: 26-04-2026

Publicado: 01-07-2026



INTRODUCCIÓN

La trazabilidad en las líneas de producción constituye un requisito técnico para controlar el avance de las piezas, documentar las operaciones realizadas y responder ante fallas de calidad, retrasos o inconsistencias en la entrega. En sectores asociados a la manufactura, la disponibilidad de registros oportunos favorece la toma de decisiones, la estandarización de procesos y la verificación del cumplimiento de requisitos internos y externos (Quiza Sardiñas et al., 2023; Saberi et al., 2019).

No obstante, muchas pequeñas y medianas empresas mantienen esquemas de control basados en registros manuales, hojas de cálculo o sistemas centralizados que pueden presentar limitaciones de accesibilidad, dependencia de proveedores y baja transparencia para auditar cambios en la información. Estas limitaciones incrementan el riesgo de pérdida de datos, duplicidad de registros y retrasos en la identificación de inconsistencias durante el proceso productivo (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

En este escenario, la tecnología blockchain se ha consolidado como una alternativa para registrar transacciones de manera encadenada, verificable y resistente a modificaciones no autorizadas. Su articulación con soluciones del Internet de las cosas (IoT) permite capturar datos desde dispositivos físicos y relacionarlos con eventos de proceso, lo que resulta pertinente para aplicaciones de trazabilidad industrial (Yli-Huumo et al., 2016; Kshetri, 2018). Sin embargo, una parte importante de las implementaciones reportadas se orienta a cadenas de suministro o a sistemas de mayor escala, por lo que persiste la necesidad de prototipos accesibles que puedan ser probados con infraestructura de bajo costo y adaptados a contextos de manufactura local.

El problema que aborda este trabajo se centra en la necesidad de contar con un sistema de trazabilidad de bajo costo, replicable y verificable para registrar el avance de piezas en una línea de producción simulada. La ausencia de este tipo de soluciones puede limitar la visibilidad del proceso, dificultar la identificación de inconsistencias entre estaciones y reducir la capacidad de respuesta ante fallas operativas. En consecuencia, la justificación del estudio se sustenta en su aporte práctico para la supervisión de procesos, su contribución metodológica mediante una arquitectura integrable con dispositivos de bajo costo y su pertinencia tecnológica dentro del marco de la Industria 4.0.

La pregunta que orientó el estudio fue: ¿cómo puede diseñarse un prototipo basado en blockchain privada, Node-RED, MQTT y Raspberry Pi que permita registrar y consultar la trazabilidad de piezas en una línea de producción simulada? En correspondencia con esta pregunta, el objetivo general fue diseñar y validar funcionalmente un prototipo de trazabilidad basado en blockchain privada para el seguimiento de piezas en una línea de producción. Los objetivos específicos fueron: describir la arquitectura tecnológica del prototipo, implementar el registro de eventos mediante dispositivos conectados, verificar la generación y consulta de bloques, y analizar de forma preliminar las ventajas, limitaciones y condiciones necesarias para su implementación en entornos industriales reales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque y diseño del estudio

El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado, orientado al diseño y validación funcional de un prototipo tecnológico. El diseño fue experimental de laboratorio en ambiente simulado, debido a que las pruebas se realizaron en una red local controlada y no en una línea de producción industrial en operación. La unidad funcional de análisis fue el evento de trazabilidad generado por una estación de maquinado, compuesto por datos de orden, operador, cantidad de piezas, fecha, hora, estado del pedido y estación de origen.

Materiales y tecnologías

El prototipo integró dispositivos Raspberry Pi 5, una computadora utilizada como servidor local, interfaces desarrolladas en Node-RED, comunicación mediante el protocolo MQTT y un script en Python para la creación de bloques.

Raspberry Pi 5

La Raspberry Pi 5 es una microcomputadora de placa única que permite conectar periféricos y dispositivos externos mediante puertos de comunicación y entradas/salidas de propósito general. En el prototipo se empleó como estación de maquinado para desplegar la interfaz de usuario de los operadores, registrar las piezas mecanizadas y enviar los datos hacia la blockchain mediante la comunicación MQTT. El modelo utilizado correspondió a Raspberry Pi 5 con 4 GB de memoria RAM (Figura 1).

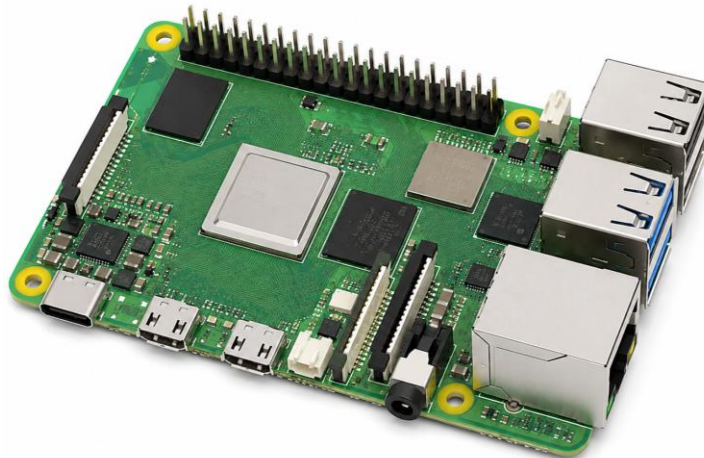


Figura 1. Microcomputadora de placa única empleada como estación de maquinado en el sistema de trazabilidad. Fuente: ilustración digital original generada para el manuscrito.

Computadora o equipo portátil

La computadora o equipo portátil funcionó como servidor local del prototipo. Desde este dispositivo se ejecutó la interfaz de usuario destinada al rol de gerencia, a través de la cual se consultaron los registros de producción enviados por las estaciones de maquinado y almacenados en la blockchain. La comunicación entre el servidor y las estaciones se realizó dentro de la misma red Wi-Fi (Figura 2).

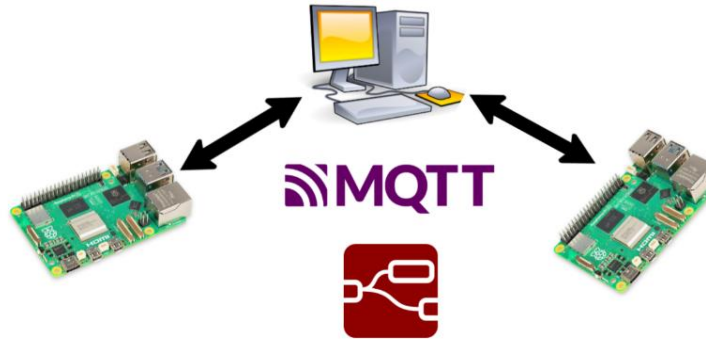


Figura 2. Representación de los dispositivos físicos y comunicación mediante MQTT. MQTT: Message Queuing Telemetry Transport. Fuente: elaboración propia.

Tecnologías usadas para implementar el sistema

MQTT se utilizó como protocolo de comunicación entre el servidor, denominado broker, y los clientes, representados por las Raspberry Pi ubicadas en las estaciones de maquinado. Este protocolo permite el intercambio de mensajes mediante topics definidos para cada tipo de evento, lo que facilita el envío de datos desde las estaciones hacia el script de blockchain y la consulta posterior desde Node-RED. De acuerdo con Chen et al. (2020), MQTT resulta pertinente para aplicaciones IoT que requieren comunicación continua y ligera en comparación con protocolos que no mantienen conexiones persistentes.

Node-RED se empleó como entorno de integración y programación por flujos. La herramienta permitió conectar hardware, servicios, nodos de comunicación y scripts externos. Para el prototipo se utilizaron nodos orientados a ejecutar código Python, construir interfaces de usuario mediante dashboard, manejar formatos de fecha y hora, y enviar notificaciones por Telegram ante inconsistencias detectadas en la cantidad de piezas o en el estado del pedido (Figura 3).

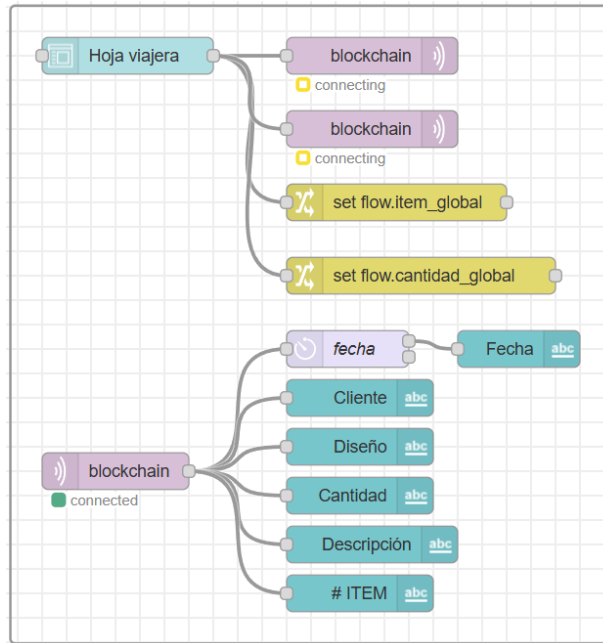


Figura 3. Implementación del protocolo MQTT en Node-RED. MQTT: Message Queuing Telemetry Transport. Fuente: elaboración propia.

Node-RED también se encargó de iniciar el script en Python que genera la blockchain y de alimentarlo con la información proveniente de las estaciones de maquinado. La Figura 4 presenta una salida de depuración en la que se evidencia el registro del bloque génesis y el hash asociado al último bloque disponible.

```
msg.payload : string[74]
▶ "Last hash in the blockchain:
0000Data in the last block: Genesis
Block"
```

Figura 4. Visualización de la blockchain en la ventana de depuración de Node-RED. Fuente: elaboración propia.

Arquitectura de blockchain

Para estructurar el prototipo se revisaron arquitecturas de blockchain considerando seguridad, escalabilidad y facilidad de integración con la infraestructura disponible. A partir de la propuesta de Raja Santhi y Muthuswamy (2022), se adoptó una arquitectura por capas conformada por aplicación y presentación, consenso, red, datos y hardware/infraestructura (Figura 5).

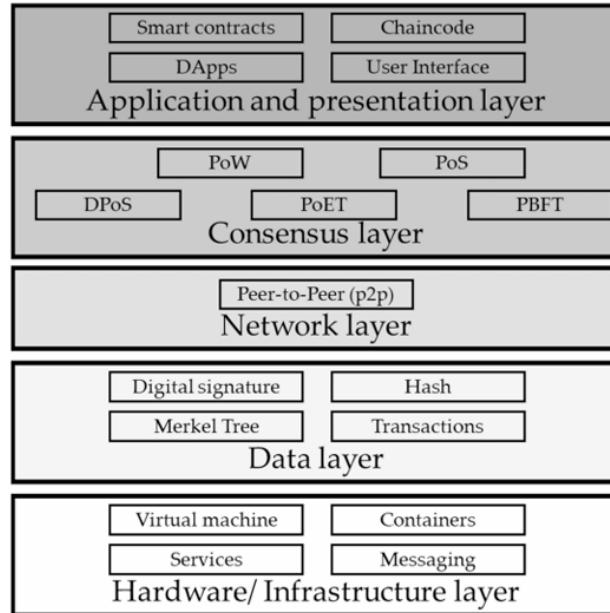


Figura 5. Arquitectura empleada para el diseño del sistema de seguimiento de piezas. PoW: prueba de trabajo; PoS: prueba de participación. Fuente: adaptado de Raja Santhi y Muthuswamy (2022) bajo licencia CC BY 4.0.

La capa de aplicación y presentación se desarrolló en Node-RED, que actuó como puente entre las interfaces de usuario, los dispositivos físicos y el script de blockchain. La capa de consenso se adaptó mediante una lógica de validación inspirada en la prueba de trabajo (PoW), orientada a verificar la coherencia entre la cantidad de piezas reportadas por estaciones consecutivas y el estado del pedido. Cuando el pedido se encontraba concluido y la cantidad reportada no coincidía con la solicitada por el cliente o con la registrada por la estación anterior, el sistema emitía una alerta por Telegram y evitaba la creación de un nuevo bloque. La capa de red se implementó mediante MQTT, la capa de datos mediante el script en Python y la capa de hardware mediante Raspberry Pi 5. La tabla 1 muestra las fases metodológicas seguidas desde la arquitectura funcional hasta el ejercicio de validación.

Tabla 1. Fases metodológicas para el diseño, implementación y validación funcional del prototipo blockchain.

Fase	Procedimiento	Producto esperado
1. Diseño de arquitectura	Definición de capas, roles de usuario, estaciones, broker MQTT y estructura de datos del bloque.	Arquitectura funcional del prototipo.
2. Desarrollo de interfaces	Construcción de formularios para registro de órdenes y paneles para operadores y gerencia en Node-RED.	Interfaces de captura y consulta.

3. Integración de comunicación	Configuración de topics MQTT para transmitir eventos desde las estaciones hacia el servidor local.	Comunicación entre clientes y broker.
4. Implementación de blockchain	Creación del bloque génesis, cálculo de hash SHA-256, adición de bloques y validación de consistencia.	Cadena privada funcional.
5. Validación funcional	Pruebas de registro, consulta de datos, generación de alertas y comparación de consumo energético aproximado.	Evidencia preliminar de funcionamiento y limitaciones.

Variables e indicadores de análisis

Las variables técnicas consideradas fueron: registro de eventos de producción, generación de bloques, consulta de registros, emisión de alertas, accesibilidad de la interfaz por perfil de usuario y consumo energético aproximado del hardware. Como indicadores preliminares, se consideraron la creación exitosa de bloques, la recepción de mensajes MQTT, la activación de alertas ante inconsistencias y el consumo en W de los dispositivos comparados. No se reportaron mediciones instrumentales de latencia, tasa de error o costo total de propiedad; por tanto, estas dimensiones se presentan como observaciones preliminares y como criterios para futuras validaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Funcionamiento general del prototipo

El prototipo permitió implementar un sistema de trazabilidad en una línea de producción simulada mediante la integración de Raspberry Pi 5, Node-RED, MQTT y una blockchain privada. Las pruebas funcionales evidenciaron la posibilidad de registrar órdenes, asociar eventos a operadores y estaciones, generar bloques, consultar registros desde la interfaz de gerencia y emitir alertas cuando se detectaron inconsistencias en el flujo de piezas. La Tabla 2 presenta el pseudocódigo general del sistema.

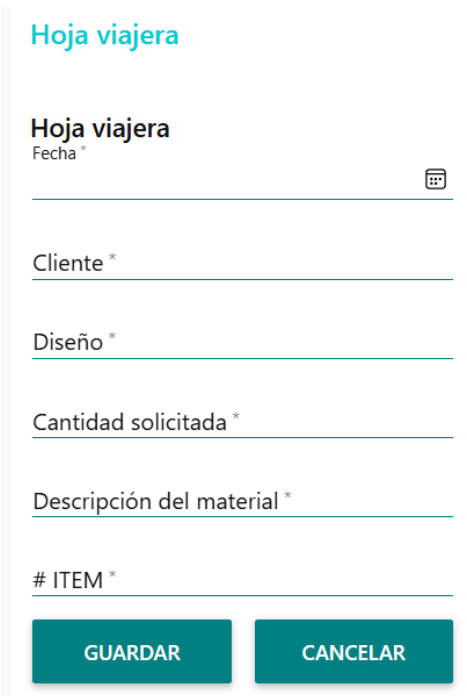
Tabla 2. Pseudocódigo del sistema blockchain con MQTT. Fuente: elaboración propia.

Paso	Instrucción
1	Inicializar blockchain
2	Añadir bloque génesis
3	Configurar cliente MQTT y conectar
4	Suscribirse al topic "blockchain"
5	Calcular hash del bloque mediante SHA-256
6	Crear nuevo bloque con datos recibidos

7	Añadir bloque a la blockchain si la validación es correcta
8	Iniciar ciclo MQTT
9	Esperar mensaje, procesarlo y actualizar la cadena

Interfaz de registro y consulta

La interfaz de usuario desarrollada en Node-RED permitió registrar órdenes nuevas con información de fecha, cliente, diseño, cantidad solicitada, descripción del material y número de ítem (Figura 6). Estos datos se enviaron a los dispositivos vinculados al proceso de maquinado específico y quedaron disponibles para su registro en la blockchain.



Hoja viajera

Hoja viajera
Fecha *

Cliente *

Diseño *

Cantidad solicitada *

Descripción del material *

ITEM *

GUARDAR **CANCELAR**

Figura 6. Interfaz de usuario para registrar órdenes nuevas. QR: código de respuesta rápida. Fuente: elaboración propia.

El acceso a las interfaces se realizó desde dispositivos conectados a la misma red Wi-Fi que las estaciones Raspberry Pi. El sistema contempló perfiles diferenciados para operadores y gerentes, lo que favorece la separación de funciones entre captura de datos y supervisión del proceso.

Estaciones de maquinado

Cada estación de maquinado contó con una interfaz para el operador. Al activar el registro, el operario podía escanear un código QR que contenía la información personal necesaria para asociar el evento a un usuario. En cada registro se almacenaron fecha, hora, piezas

mecanizadas y estado del pedido. Cuando todas las operaciones del proceso se reportaban como concluidas, el sistema validaba la cantidad de piezas a entregar al cliente (Figura 7).

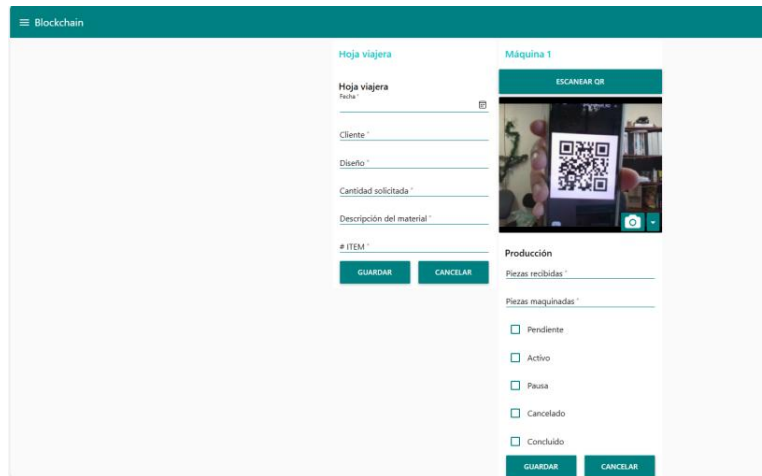


Figura 7. Interfaz de usuario para el registro de maquinados por parte de los operadores. QR: código de respuesta rápida. Fuente: elaboración propia.

Validación funcional y observaciones técnicas

Los resultados deben interpretarse como una validación funcional preliminar, debido a que las pruebas se realizaron en red doméstica, con volúmenes de datos controlados y simulación de una línea de producción. En este contexto, se comprobó la comunicación entre dispositivos, la generación de bloques y la emisión de alertas; sin embargo, no se realizaron mediciones instrumentales suficientes para afirmar reducciones cuantitativas de errores, desperdicios o costos operativos (tabla 3).

Tabla 3. Observaciones preliminares de funcionamiento del prototipo. Fuente: elaboración propia.

Aspecto evaluado	Evidencia observada	Alcance de la interpretación
Comunicación entre dispositivos	Recepción de mensajes mediante topics MQTT en la red local.	Permite validar conectividad básica; requiere pruebas de latencia y carga.
Registro de trazabilidad	Creación de bloques con información de órdenes, operadores y estaciones.	Evidencia funcional; requiere auditoría de integridad en entornos reales.
Alertas de inconsistencias	Envío de notificaciones por Telegram cuando se detectan diferencias en las cantidades o en el estado del pedido.	Aporta control operativo preliminar; requiere validar sensibilidad y falsos positivos.
Acceso por perfiles	Interfaces diferenciadas para operador y gerente.	Favorece el control de roles; requiere robustecer la autenticación y la seguridad.

Consumo energético	Uso de Raspberry Pi 5 como nodo de bajo consumo.	La comparación energética es aproximada y depende de periféricos y carga de trabajo.
--------------------	--	--

Consumo energético aproximado

Respecto al consumo energético, la Raspberry Pi 5 presentó valores aproximados de 2,5 W en reposo y 12 W en consumo máximo. Estos valores resultan menores que los reportados para un servidor típico, aunque deben interpretarse con cautela porque pueden variar según periféricos, carga de trabajo y configuración específica. En este prototipo se consideró como dispositivo externo principal la cámara web para escaneo de códigos QR.

Tabla 4. Consumo energético aproximado de dispositivos comparados. Fuente: elaboración propia con base en los valores reportados por los autores.

Dispositivo	Consumo en reposo (W)	Consumo máximo (W)
Raspberry Pi 1	2,14	3,5
Raspberry Pi 2	1,1	2,3
Raspberry Pi 3	1,2	6
Raspberry Pi 4	2,7	7,6
Raspberry Pi 5	2,5	12
Servidor típico	365	500
PLC Siemens	5,74	N/A

Los valores de la Tabla 4 son aproximados y pueden cambiar según la configuración específica, los módulos conectados y la carga de trabajo. En el caso de controladores lógicos programables (PLC), el consumo depende del número de módulos, entradas y salidas conectados.

Discusión crítica

La integración de IoT y blockchain observada en el prototipo coincide con la literatura que reconoce el potencial de estas tecnologías para fortalecer transparencia, trazabilidad y seguridad de datos en cadenas productivas (Kshetri, 2018; Shahbazi & Byun, 2021). A diferencia de soluciones empresariales comerciales, el sistema propuesto se orienta a una implementación de bajo costo y modular, lo que puede ser pertinente para pequeñas y medianas empresas que requieren digitalizar procesos de manera progresiva.

El uso de una blockchain privada reduce los requerimientos energéticos y computacionales asociados a blockchains públicas de gran escala, lo que resulta coherente con la necesidad de soluciones más eficientes para aplicaciones industriales e IoT (Habibullah & Lu, 2024). No

obstante, esta ventaja debe ponderarse frente a retos como autenticación robusta, protección frente a ciberataques, respaldo de información, disponibilidad de red, interoperabilidad con sistemas ERP o PLC y validación bajo tráfico de datos real.

Las principales limitaciones del estudio son: uso de una red doméstica, ausencia de pruebas en una línea industrial real, falta de métricas cuantitativas de latencia y tasa de error, ausencia de análisis económico completo y necesidad de fortalecer los mecanismos de seguridad. Por ello, los resultados no deben presentarse como evidencia concluyente de reducción de costos, errores o desperdicios, sino como una validación funcional inicial del diseño propuesto.

Como línea futura, la implementación en ambientes industriales reales debería incorporar indicadores de desempeño como latencia promedio, pérdida de paquetes, tasa de registros rechazados, tiempo de consulta, costo por nodo, disponibilidad del sistema y consumo energético bajo diferentes cargas. También sería pertinente integrar análisis de datos e inteligencia artificial para identificar patrones de fallas, optimizar recursos y apoyar decisiones en tiempo real, en consonancia con las tendencias de digitalización de la manufactura y el metaverso industrial (Mourtzis et al., 2023).

CONCLUSIONES

El prototipo basado en blockchain privada permitió validar funcionalmente un sistema de trazabilidad para el seguimiento de piezas en una línea de producción simulada. La integración de Node-RED, MQTT y Raspberry Pi 5 facilitó la captura de eventos, la generación de bloques, la consulta de registros y la emisión de alertas ante inconsistencias, en correspondencia con el objetivo general del estudio.

La propuesta mostró potencial como alternativa preliminar de bajo costo para pequeñas y medianas empresas, especialmente por su arquitectura modular y por el consumo energético aproximado de la Raspberry Pi 5 frente a equipos de mayor demanda. Sin embargo, la evidencia disponible corresponde a un ambiente controlado, por lo que no permite afirmar de manera concluyente reducciones de costos, errores o desperdicios en entornos industriales reales.

Para avanzar hacia una implementación aplicada, se requiere validar el prototipo en condiciones industriales, incorporar métricas cuantitativas de desempeño, fortalecer la seguridad del sistema y evaluar su interoperabilidad con sistemas de planificación de recursos empresariales, controladores industriales y plataformas de análisis de datos. Estas acciones permitirán determinar con mayor precisión la escalabilidad, confiabilidad y pertinencia operativa del sistema.

LITERATURA CITADA

- Chen, F., Huo, Y., Zhu, J., & Fan, D. (2020). A review on the study on MQTT security challenge. En 2020 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud) (pp. 128–133). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SmartCloud49737.2020.00031>
- Habibullah, M., & Lu, D.-C. (2024). Blockchain-based energy consumption approaches in IoT. *Applied Sciences*, 14(3), 1156. <https://doi.org/10.3390/app14031156>
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains. *Sustainability*, 10(10), 3652. <https://doi.org/10.3390/su10103652>
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2023). Blockchain integration in the era of industrial metaverse. *Applied Sciences*, 13(3), 1353. <https://doi.org/10.3390/app13031353>
- Quiza Sardiñas, R., Hernández Ramírez, O., & Cuba Arana, Y. (2023). Propuesta de una arquitectura de monitoreo industrial orientada a Industria 4.0. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 4(3), 222:1–12. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/222>
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of blockchain technology in manufacturing supply chain and logistics. *Logistics*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.3390/logistics6010015>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Shahbazi, Z., & Byun, Y.-C. (2021). A procedure for tracing supply chains for perishable food based on blockchain, machine learning and fuzzy logic. *Computers in Industry*, 123, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103314>
- Yli-Huomo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? A systematic review. *PLOS ONE*, 11(10), e0163477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>

BIODATA

Emmanuel Ramírez Romero

Es Ingeniero en Mecatrónica, adscrito al Tecnológico Nacional de México / Campus Oriente del Estado de Hidalgo, ubicado en Apan, Hidalgo, México. Su trabajo académico se orienta al desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas a la manufactura inteligente, la trazabilidad de procesos productivos y la integración de herramientas de bajo costo para entornos industriales. En el presente manuscrito participa en el diseño y desarrollo de un prototipo basado en blockchain, Node-RED, MQTT y Raspberry Pi para el seguimiento de piezas en línea de producción.

Publicaciones relevantes de los últimos cinco años:

- Cuaya-Simbro, G., Ramírez Romero, E., & Ortega García, I. (2025), “Semi-automated systematic review: main applications and trends of foundation models”; las dos publicaciones restantes deben ser confirmadas por el autor antes de la remisión final.

Karina Gutiérrez Fragoso

Es Doctora en Ciencias Biológicas, docente e investigadora adscrita al Tecnológico Nacional de México / Campus Oriente del Estado de Hidalgo, ubicado en Apan, Hidalgo, México. Su experiencia académica se relaciona con el acompañamiento de procesos de investigación, el análisis de datos y el desarrollo de proyectos interdisciplinarios vinculados con tecnología, educación, salud y aplicaciones computacionales. En el manuscrito participa como coautora en la revisión metodológica y en la articulación académica del prototipo de trazabilidad industrial.

Publicaciones relevantes de los últimos cinco años:

- Sampieri et al. (2022), “Influence of skin-to-skin contact on breastfeeding”;
- Rangel-Junquera et al. (2023), “ECoLa MF: cuestionario de conocimientos en lactancia materna”; la tercera publicación debe ser confirmada por la autora antes de la remisión final.

German Cuaya Simbro

Es Doctor en Ciencias Computacionales, docente investigador adscrito al Tecnológico Nacional de México / Campus Oriente del Estado de Hidalgo, ubicado en Apan, Hidalgo, México. Su trayectoria académica se enfoca en ciencias computacionales, inteligencia artificial, transformación digital, análisis de datos y diseño de soluciones tecnológicas aplicadas a procesos educativos e industriales. En este manuscrito contribuye desde la fundamentación tecnológica, el diseño del sistema y la discusión del uso de blockchain e Internet de las cosas para trazabilidad en manufactura.

Publicaciones relevantes de los últimos cinco años:

- Cuaya-Simbro y Domínguez Ruiz (2025), “Scientific article review platform using generative artificial intelligence to streamline the peer review process”;
- Cuaya-Simbro, Ramírez Romero y Ortega García (2025), “Semi-automated systematic review: main applications and trends of foundation models”;
- Torres-Herrera, Cuaya-Simbro y Canales-Castillo (2024), “Sistemas recomendadores como herramienta en la labor docente: una revisión sistemática”.