

INTEGRACIÓN DE IIOT Y COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL AVANZADA

INTEGRATION OF IIOT AND CLOUD COMPUTING FOR ADVANCED INDUSTRIAL AUTOMATION

INTEGRAÇÃO DE IIOT E COMPUTAÇÃO EM NUVEM PARA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL AVANÇADA

Resumen

En el sector industrial, la eficiencia en la producción es esencial para mantener la competitividad, reducir costos y satisfacer las demandas del mercado. Este estudio presentó un sistema basado en tecnologías del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y Computación en la Nube para el control y monitoreo remoto de un proceso de corte de perfiles de aluminio. La integración de herramientas como Ubidots, NodeRed, Firebase, Telegram y PLC's permitió optimizar la presión y control en tiempo real del proceso, mejorando la productividad y demostrando la fiabilidad del sistema para la automatización de procesos industriales.

Palabras clave: IOT2050, MQTT, Telegram, Ubidots.

David Ilvis Pilla

dilvis9234@uta.edu.ec

Universidad Técnica de Ambato

Orcid: [0000-0003-0349-2947](https://orcid.org/0000-0003-0349-2947)

Miguel Sánchez Almeida

misanchez@institutos.gob.ec

Instituto Superior Tecnológico

Tungurahua

Orcid: [0000-0003-4858-284X](https://orcid.org/0000-0003-4858-284X)

Juan Escobar Naranjo

jc.escobar@uta.edu.ec

Universidad Técnica de Ambato

Orcid: [0000-0001-9525-5054](https://orcid.org/0000-0001-9525-5054)

REVISTA TSE'DE

Instituto Superior Tecnológico

Tsa'chila

ISSN: 2600-5557



Abstract

In the industrial sector, production efficiency is essential to maintaining competitiveness, reducing costs, and meeting market demands. This study presented a system based on Industrial Internet of Things (IIoT) and Cloud Computing technologies for the remote control and monitoring of an aluminum profile cutting process. The integration of tools such as Ubidots, Node-RED, Firebase, Telegram, and PLC's optimized the precision and real-time control of the process, improving productivity and demonstrating system reliability.

Keywords: IOT2050, MQTT, Telegram, Ubidots.

Periodicidad Semestral

Vol. 8, núm. 1

revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 15-11-2024

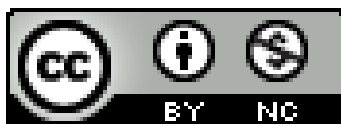
Aprobación: 27-01-2025

Publicación: 25-06-2025

URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archiv>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



Resumo

No setor industrial, a eficiência na produção é essencial para manter a competitividade, reduzir custos e atender às demandas do mercado. Este estudo apresentou um sistema baseado em tecnologias da Internet Industrial das Coisas (IIoT) e Computação em Nuvem para o controle e monitoramento remoto de um processo de corte de perfis de alumínio. A integração de ferramentas como Ubidots, Node-RED, Firebase, Telegram e CLP's otimizou a precisão e o controle em tempo real do processo, melhorando a produtividade e demonstrando a confiabilidade do sistema.

Palavras-chave: IOT2050, MQTT, Telegram, Ubidots.

Introducción

En este estudio, se integra el Internet Industrial de las cosas (IIoT) con tecnologías de computación en la nube (Cloud Computing) para desarrollar un sistema industrial de automatización avanzado. El objetivo principal es gestionar las operaciones de manera eficiente a través del control y monitorización continua de máquinas en conjunto con el análisis de datos en tiempo real, incorporando tecnologías como Firebase, módulos IoT2050, Ubidots y Node-RED. Esta investigación pretende proporcionar a las organizaciones una guía para la adopción de estas tecnologías, optimizando los procesos, a la vez que se mejora los niveles de competitividad en un entorno cada vez más digitalizado.

En los últimos años, la automatización industrial, impulsada por el desarrollo de nuevas tecnologías emergentes, está cambiando radicalmente los procesos de producción y fabricación, permitiendo a las industrias adaptarse a los entornos dinámicos y ser más flexibles en sus operaciones (Maksimova et al., 2023). Entre las tecnologías más sobresalientes en esta revolución transformadora se encuentra el IIoT y el Cloud Computing, que se constituyen como factores clave para la digitalización industrial (Saumya y Khatri, 2024). Estas tecnologías no solo mejoran la capacidad de respuesta de las organizaciones y la eficiencia operativa de los sistemas, sino que también son una puerta de enlace para la implementación de sistemas inteligentes que optimizan la utilización de los recursos y reducen los tiempos de inactividad en los procesos (Chaudhary et al., 2023).

El IIoT conecta dispositivos inteligentes de carácter industrial, como sensores y sistemas de control, que recopilan y analizan datos en tiempo real, lo que perfecciona

la visibilidad operativa y permite la detección temprana de fallos (Schmitt y Borck, 2023). Esta capacidad de monitorización continua también permite que se reduzcan de manera significativa los costos operativos en los procesos (León et al., 2020). Por otro lado, el Cloud Computing brinda una arquitectura segura y muy flexible para el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que facilita el acceso remoto a una diversidad de aplicaciones avanzadas como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, lo que destaca la importancia de innovar los procesos industriales (Astropekakis et al., 2022; Rajkumar et al., 2024).

En consecuencia, la integración de IIoT y la Cloud Computing revolucionan por completo los entornos industriales al facilitar la creación de sistemas inteligentes (Molina et al., 2023). Estos sistemas tienen una importante capacidad para recopilar y analizar operaciones en tiempo real a partir de datos generados por máquinas, sensores o dispositivos ubicados en entornos de producción (Buele et al., 2021). Además, esta interacción tecnológica mejora la eficiencia operativa y permite detectar patrones y señales anómalas y evitar paros innecesarios en la producción (Dudhe et al., 2017). Esta combinación de tecnologías ayuda a reducir el tiempo de inactividad y minimizar los costos de reparación o mantenimiento (Botta et al., 2016). De este modo, el IIoT y la Cloud Computing mejoran significativamente la productividad y la calidad de las operaciones (Sindhwani et al., 2022a; Zhu et al., 2023).

Diversos estudios han evidenciado el impacto positivo de la combinación de estas tecnologías. Por ejemplo, Gupta et al. (2025), demuestran la capacidad del Cloud Computing para la gestión de datos derivados de sistemas IIoT, mejorando de manera eficiente los procesos de toma de decisiones mediante análisis rigurosos y precisos

de los procesos. Numthong et al. (2024), resalta con el IIoT mejora los procesos industriales al recopilar datos en tiempo real. Además, estudios como el de Chougale et al. (2022), demuestran la eficacia de la integración de herramientas como Firebase para la supervisión remota, mientras que Srilakshmi et al. (2020), exploran la utilización del IIoT y Cloud Computing en sistemas automatizados para mejorar la monitorización inteligente de los entornos físicos.

Por su parte, Mezina y Tikhonov (2024), mencionan que la integración del IIoT y el Cloud Computing en las operaciones mejora la toma de decisiones al proporcionar una visión más profunda y precisa de los procesos. Además, Oprea y Bâra (2023), destacan cómo la unión de estas tecnologías permite una mayor capacidad de respuesta a los cambios en el entorno operativo, contribuyendo a la eficiencia de los procesos.

En conjunto, estos estudios muestran que la implementación de tecnologías IIoT y Cloud Computing en diferentes contextos resalta su importancia para la automatización industrial, principalmente por su capacidad para transformar la gestión de las operaciones mediante una arquitectura digitalizada, conectada y centralizada (Oprea y Bâra, 2023; Sindhwani et al., 2022). Destacando tanto las oportunidades como los desafíos que las organizaciones deben considerar para lograr una integración efectiva y sostenible (Zhu et al., 2023).

Metodología

En esta investigación se aplicó un enfoque exploratorio-descriptivo, debido a la necesidad de comprender los atributos, características, potenciales y desafíos ligados a la aplicación de tecnologías IIoT y Cloud Computing en sistemas o procesos

industriales. Este enfoque permite la identificación y análisis de la interacción entre los dispositivos interconectados y las plataformas en la nube. Además, facilita la descripción exhaustiva de una arquitectura propuesta que integra este tipo de tecnologías, resaltando su impacto en la automatización industrial.

La metodología aplicada combina aspectos teóricos y experimentales. Por su parte, el análisis teórico incluye la revisión minuciosa de la literatura para la identificación de estándares, protocolos de comunicación, así como herramientas tecnológicas de relevancia. En la fase experimental, se realizó el diseño y desarrollo de la arquitectura propuesta en un entorno controlado, utilizando un escenario industrial para evaluar la comunicación en tiempo real, la interconexión de los dispositivos y el procesamiento de datos en la nube. Estas pruebas experimentales permitieron validar la eficiencia y funcionalidad de la arquitectura planteada en un sistema productivo real.

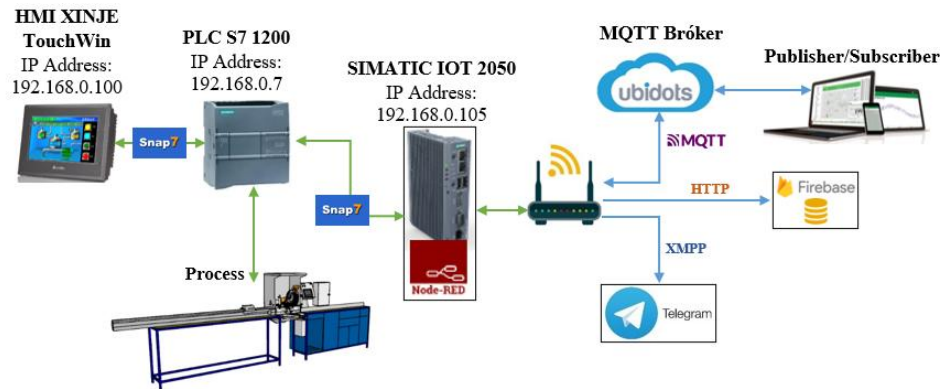
2.1 Caso de estudio

La Figura 1 muestra la arquitectura propuesta para la comunicación y vinculación de los distintos dispositivos físicos y digitales que componen el sistema IIoT, centrada en un proceso de corte de perfiles de aluminio compuesto por sistemas de sujeción, medición, control e iluminación. Esta arquitectura hace hincapié en la integración eficiente de todos los componentes para garantizar la correcta comunicación, control y monitorización del proceso industrial. El sistema se compone de varios elementos clave: un PLC, una pantalla HMI y un módulo IoT 2050, todos ellos interconectados mediante el protocolo SNAP 7 de Siemens para proporcionar una comunicación eficiente al sistema. Además, un router actúa como conmutador y proporciona una

conexión a Internet, lo que permite la interoperabilidad continua entre los componentes del sistema.

Figura 1

Arquitectura propuesta para el sistema automatizado



Nota: La arquitectura propuesta detalla la conexión de los componentes físicos, los protocolos de comunicación y las plataformas Cloud Computing utilizadas.

Para la programación del PLC, se emplea el software TIA Portal V16 (Balla et al., 2023), mientras que la pantalla HMI se configura utilizando TouchWin Edit Tool. La comunicación entre el PLC y el módulo IoT2050 se realiza mediante una tarjeta Micro SD insertada en dicho módulo, la cual contiene la imagen de firmware suministrada por Siemens. Esta tarjeta es crucial para la configuración inicial del módulo IoT2050 y la instalación de Node-RED, y debe permanecer en el dispositivo para asegurar el almacenamiento continuo de las librerías y programas necesarios para el control remoto del proceso.

Por otro lado, la capacidad de gestión remota del proceso se proporciona a través del módulo IoT 2050, que alberga Node-RED como servidor local. Los ajustes en la programación se pueden realizar únicamente cuando el usuario está conectado a la

red local del módulo IoT. Para el control y monitoreo global del proceso, se utiliza el protocolo MQTT para conectar Node-RED con el servidor en la nube Ubidots. Esta configuración permite la supervisión y el control de las variables del proceso desde cualquier ubicación, siempre y cuando el módulo IoT esté conectado a Internet.

La notificación de alarmas se gestiona a través de Telegram, mediante el protocolo XMPP, especializado en mensajería instantánea. Esta integración permite recibir alertas de alarmas en tiempo real en cualquier parte del mundo a través de mensajes por medio de esta red social. Finalmente, para un seguimiento ordenado del proceso, los datos relevantes se almacenan en una base de datos en la nube. Esto se realiza mediante la comunicación entre Node-RED y Firebase utilizando el protocolo HTTP, lo que posibilita la visualización en tiempo real del historial de datos generados por el proceso.

Bloques de programación PLC

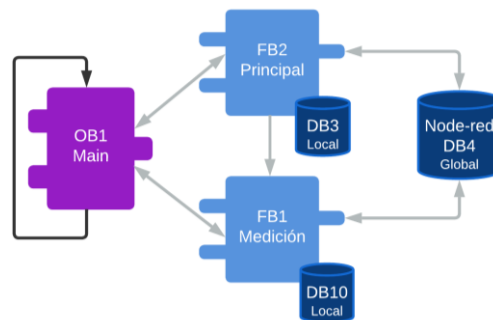
La programación por bloques se realizó con la finalidad de tener una organización adecuada de la misma, y por ende facilitar su visualización a la hora de buscar segmentos de programación que se requieran. Para el desarrollo de sistema, se utiliza un PLC S7-1200 y una Signal Board, ambos programados con el software TIA Portal (Salih et al., 2017). El PLC se programa en lenguaje Ladder, mientras que el control del eje de la máquina del proceso de corte se realiza utilizando la herramienta Control Motion, una función adicional de TIA Portal. La Figura 2 muestra los bloques de programación empleados para el desarrollo del sistema.

La gestión de datos entre las plataformas Node-RED, Ubidots, Firebase y el PLC se diseñó para garantizar una comunicación eficiente bajo una sincronización precisa de

las variables. Se empleó el protocolo MQTT, debido a que permite un intercambio confiable de mensajes entre las plataformas y dispositivos utilizados. En Node-RED, se configuran nodos MQTT con tópicos únicos para cada una de las variables, asegurando una transmisión de datos estructurada y evitando conflictos.

Figura 2

Bloques de programación PLC para el sistema automatizado.



Nota: El bloque OB1 contiene toda la programación del PLC. El bloque FB2 se encarga de la activación del sistema general, la iluminación, los mecanismos de sujeción del proceso de corte de perfilaría. El bloque FB1 integra todas las funciones de Motion Control asociadas al eje de medición del proceso como el control de posición, desplazamiento, sentidos de giro y velocidad.

En cuanto a las plataformas en a nube, Firebase usa su capacidad de escritura en tiempo real para la identificación adecuada de posibles desincronizaciones, mientras que Ubidots utiliza dashboards que visualizan el estado actual de las variables, garantizando un monitoreo continuo. Ambas plataformas integran callbacks que notifican al usuario cualquier discrepancia y aseguran que las actualizaciones reflejen de manera fiel y precisa los cambios en Node-RED. En el caso de interrupciones temporales en la conexión, el servidor MQTT emplea un buffer que almacena los

mensajes pendientes y realiza la sincronización de las variables de manera automática al reestablecer la conectividad. Esto garantiza una gestión robusta y una sincronización confiable de los datos a lo largo de todas las plataformas empeladas.

En la programación se desarrollaron dos bloques de funciones (FB): Principal (FB2) y Medición (FB1) que contienen la programación Ladder para el funcionamiento adecuado del proceso. Estos bloques son llamados desde el bloque de organización OB1, que controla la ejecución cíclica del programa y el almacenamiento persistente de datos en una instancia DB. En este sentido, el bloque FB2 es responsable de la activación del sistema general, la iluminación, los mecanismos de sujeción del proceso de corte de perfilería, así como de las condiciones para la generación de alarmas y el conteo de cortes.

Paralelamente, FB1 integra todas las funciones de Motion Control asociadas al eje de medición del proceso como el control de posición, desplazamiento, sentidos de giro y velocidad. Para proteger la integridad del proceso, se establecieron velocidades máximas, de arranque y parada, además de ajustar la aceleración, desaceleración para garantizar transiciones suaves. Por otro lado, la activación de FB2 es un requisito previo para habilitar el bloque FB1, ya que es a través de FB2 que se inicializa el sistema completo. Este proceso de inicialización activa una señal que habilita la lógica programada en FB1.

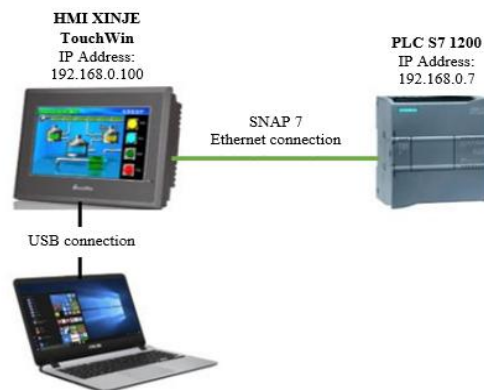
Adicionalmente, se creó un bloque de datos globales que almacena las variables empleadas en Node-RED. Estas variables están disponibles para todos los bloques de programación y son utilizadas de manera conjunta por los bloques de funciones FB.

Configuración de pantallas HMI

Para el control y la monitorización del proceso de corte de perfilaría in situ, se desarrollaron pantallas en una HMI utilizando el software TouchWin Edit Tool. Se empleó una pantalla HMI de 7 pulgadas de la marca XINJE, modelo TG765-ET, que comunica con el PLC S7-1200 a través del protocolo Profinet SNAP7. La carga del programa se realiza mediante un cable USB conectado a la PC. La dirección IP de la HMI se configuró en 192.168.0.100, mientras que la del PLC se estableció en 192.168.0.7, como se muestra en la Figura 3. Además, esta HMI física está enlazada con pantallas en la nube mediante Ubidots para la gestión remota del proceso.

Figura 3

Configuración de la conexión entre PLC y HMI



Nota: Conexión de la pantalla HMI y PLC con sus respectivas direcciones IP.

Comunicación IIoT y tecnologías Cloud Computing

Para establecer la comunicación IIoT en el sistema automatizado para el control y monitorización remota del proceso de corte de perfilaría, se emplea el módulo IoT20250 de Siemens, configurado mediante la plataforma Node-RED. Este módulo integra dispositivos y sensores del sistema, utilizando el protocolo MQTT (Message

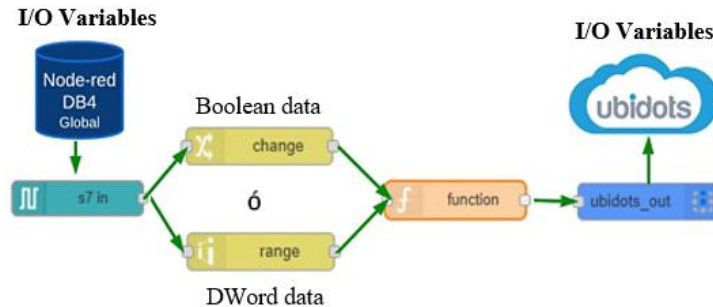
Queuing Telemetry Transport) junto con un servidor en la nube para una comunicación eficiente y en tiempo real. MQTT, un protocolo ligero y eficiente, es ideal para aplicaciones IoT en redes con limitaciones de ancho de banda y alta latencia. La configuración permite controlar y monitorear remotamente las variables del proceso. La arquitectura del sistema, mostrada en la Figura 1 e integrada por el módulo IoT 2050, Node-RED y MQTT, resalta la eficacia en el control y monitoreo del proceso, empleando el protocolo XMPP para el registro de alarmas. En este contexto, los servidores en la nube empleados para el desarrollo del sistema son los siguientes:

- Ubidots: Este servidor se emplea para la visualización, control y monitoreo remoto de las variables del proceso desde cualquier ubicación global.
- Firebase: Se utiliza para la visualización en tiempo real del historial de datos generados por el proceso. Firebase permite almacenar y consultar los datos históricos con alta disponibilidad y eficiencia.
- Telegram: Se implementa para recibir notificaciones instantáneas sobre las alarmas generadas por el proceso en tiempo real. Este canal de comunicación permite la rápida respuesta y gestión de eventos críticos.

La designación de variables para Node-RED se realiza en el bloque de datos globales DB4 creado en TIA PORTAL, mientras que las variables de Ubidots se configuran en la misma plataforma. Estas variables son entradas y salidas virtuales gestionadas en la programación de Node-RED junto con Ubidots. Para transferir datos del PLC al servidor en la nube, se utiliza la estructura mostrada en la Figura 4.

Figura 4

Estructura para la escritura de datos del PLC a Ubidots.



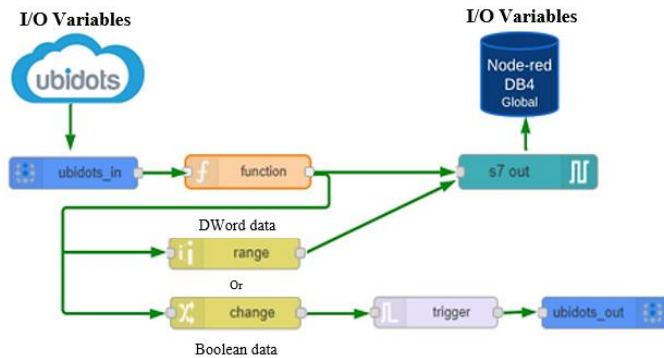
Nota: Estructura de programación en Node-RED para escritura de datos.

Los datos del bloque DB4 del PLC se reciben en Node-RED mediante el nodo S7-in de la librería SNAP7. Luego, pasan por el nodo Change, que convierte los valores true/false en 1/0. A continuación, se transforman en formato JSON mediante un bloque de función, el cual es compatible con Ubidots. Finalmente, los datos convertidos se envían al nodo de salida ubidots_out, que activa una señal en la plataforma o pantalla de Ubidots.

La lectura de datos en el PLC escritos desde Ubidots, se realiza tomando como referencia la estructura de la Figura 5, donde se obtiene las señales de las variables desde Ubidots y se enlazan al nodo de entrada ubidots_in. Los datos de estas variables pasan por el nodo de función que convierte de formato JSON al formato que lee el PLC, finalmente los datos convertidos entran al nodo de salida S7-out que permite activar la variable que se encuentra enlazada con el PLC. La estructura que inicia desde del nodo Change se utilizó para lograr que un switch funcione como un pulsador, debido a que en la versión gratuita de Ubidots que se utilizó solo se encuentran switch, para ello se empleó un nodo trigger para que desactive la misma variable de Ubidots después de cierto tiempo en este caso 500 milisegundos.

Figura 5

Estructura para escritura datos desde Ubidots al PLC

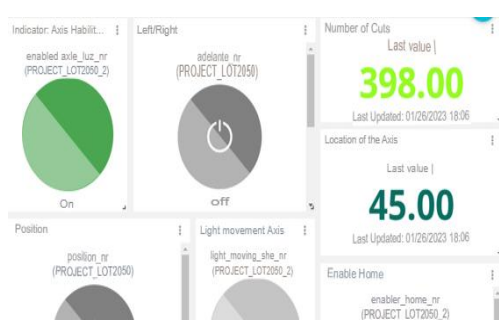


Nota: Estructura de programación en Node-RED para escritura de datos al PLC desde la nube.

Una vez implementada con éxito la lectura y escritura de datos entre el PLC y Ubidots, se puede lograr un control y supervisión remotos completos del proceso. Esta integración facilita la interacción en tiempo real con el sistema, lo que permite a los operarios supervisar y gestionar el proceso desde cualquier lugar con acceso a Internet. En la Figura 6 se muestra una vista completa de la pantalla HMI basada en la nube y el sistema físico real en funcionamiento.

Figura 6

Monitorización de la medida del eje Actual y conteo de número de cortes.



(a)



(b)

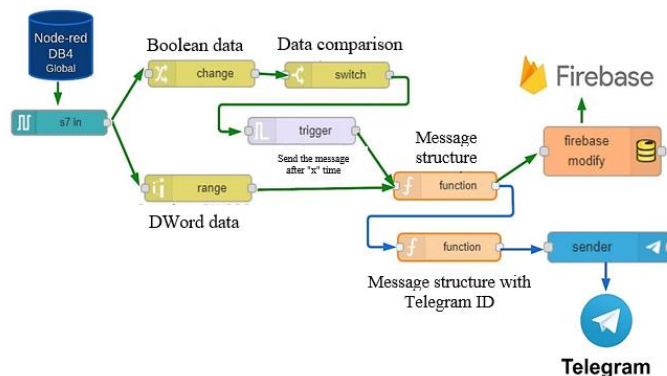
Nota: a) Activación del Proceso desde la Nube. b) Proceso Físico en Funcionamiento.

La pantalla HMI muestra los datos en tiempo real y las interfaces de control alojadas en la nube, mientras que la imagen del sistema físico ilustra la configuración del hardware. Esta doble representación pone de relieve la perfecta conectividad y el flujo de datos entre la plataforma en la nube y el equipo in situ, lo que subraya la eficacia de la integración a la hora de proporcionar una mayor visibilidad y control operativo del proceso.

La estructura para escribir datos desde el PLC a Firebase es muy similar a las descritas, con una modificación relativa al nodo de salida, véase la Figura 7. Para almacenar los datos del proceso, se utiliza el nodo «firebase modify», que envía la información con la estructura encontrada en el nodo de función a la plataforma Firebase.

Figura 7

Estructura para la escritura de datos desde PLC a Firebase y Telegram.



Nota: Estructura de la programación en Node-Red para el envío de datos a Firebase y Telegram

Para este proyecto, la base de datos muestra variables como el número de cortes, medidas ingresadas y alarmas, con el propósito de generar un historial remoto de los

eventos ocurridos en el proceso. La estructura de programación de los mensajes de Telegram se describe detalladamente en el Listado 1.1, que proporciona la implementación de código necesaria y los ajustes de configuración requeridos para un formateo y transmisión de mensajes eficaces.

Listado 1.1

Programación de la estructura de mensajes para Telegram.

```
1  Var fecha = new Date ();
2  Var anio = fecha.getFullYear()+"/"+(fecha.getMonth()+1) +"/"+
  +"/"+(fecha.getDate())+" "+(fecha.getHours()-5)
  +":"+fecha.getMinutes()+":"+fecha.getSeconds();
3  Var derecha = msg.payload;
4  msg.payload = "Fecha:" +anio+ "|" +derecha;
5  Return msg;
```

Mientras que, la estructura de programación de los mensajes a Firebase se detalla en el Listado 1.2, que describe el código necesario y los ajustes de configuración requeridos para el correcto formateo y transmisión de mensajes a la plataforma Firebase.

Listado 1.2

Estructura de programación para mensajes a Firebase.

```
1  Var fecha = new Date ();
2  Var anio = fecha.getFullYear()+"/"+(fecha.getMonth()+1) +"/"+
  +"/"+(fecha.getDate())+" "+(fecha.getHours()-5)
  +":"+fecha.getMinutes()+":"+fecha.getSeconds();
3  Var distancia = msg.payload;
4  msg.payload="Fecha:" +anio+ "|Distancia_Cortes" +distancia;
5  Return msg;
```

Una vez realizada la comunicación, los datos relativos al número de cortes ejecutados durante el proceso, así como cualquier alarma detectada, se almacenan sistemáticamente en la nube utilizando la plataforma Firebase, tal y como se

representa en la Figura 8. Firebase proporciona una infraestructura escalable y fiable para el almacenamiento y procesamiento de datos en tiempo real, que garantiza que todos los datos operativos se almacenan de forma segura y son fácilmente accesibles. Paralelamente, esta información crítica también se registra en la interfaz hombre-máquina (HMI) in situ del proceso real. La HMI proporciona visibilidad y control en tiempo real sobre el proceso, lo que permite a los operarios supervisar el rendimiento del sistema y responder rápidamente a cualquier problema. Este doble enfoque de almacenamiento y visualización de datos garantiza que toda la información relevante se capture y esté disponible para su análisis tanto a distancia como in situ, lo que mejora la gestión global del proceso y la toma de decisiones.

Figura 8

Almacenamiento de la alarma de colisión en Firebase



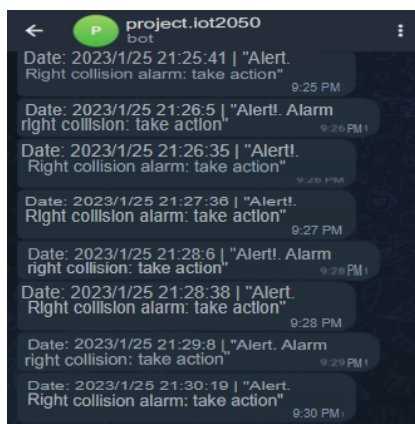
Nota: Almacenamiento de los datos del sistema en la nube – alarmas del proceso.

Por otro lado, para la transmisión de datos del PLC a Telegram se utilizó el nodo sender, que permite enviar mensajes al destinatario designado. En este caso de estudio, los mensajes de alerta están programados para ser enviados cada 30 segundos hasta su resolución. Finalmente, cuando el sistema detecta alarmas de fallo

o error, éstas se muestran en el HMI del sitio y se notifican al usuario a través de Telegram, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Reporte de mensaje de alarma hacia Telegram



Nota: Las alarmas que se detecten en el sistema físico se envían al usuario de Telegram registrado.

Resultados y Discusión

En esta sección, se presenta el análisis detallado y discusión de los resultados obtenidos del sistema automatizado propuesto del proceso de corte de perfilera analizado, con un enfoque particular en los tiempos de lectura y escritura de datos entre el PLC S7-1200 y las plataformas de Ubidots, Telegram y Firebase. El análisis contempla tres aspectos fundamentales: la comunicación entre el PLC S7-1200 y Ubidots, la escritura de datos desde el PLC hacia Telegram, y la escritura de datos desde el PLC hacia Firebase. Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizó la plataforma de análisis de tráfico de red PRTG, que proporciona una gama de herramientas avanzadas para medir y analizar los tiempos de lectura y escritura de datos. El objetivo principal de este análisis es determinar el tiempo promedio que el

módulo IoT 2050 requiere para adquirir y transmitir datos. Esto incluye la transferencia de datos desde Ubidots al PLC y viceversa, así como la comunicación entre el PLC y las plataformas de Telegram y Firebase. La utilización del software PRTG permitió obtener una muestra representativa de 1120 valores, lo que ofrece una visión clara y precisa del desempeño del sistema en términos de tiempos de respuesta y eficiencia.

3.1 Tiempo de lectura y escritura de datos del PLC a Ubidots

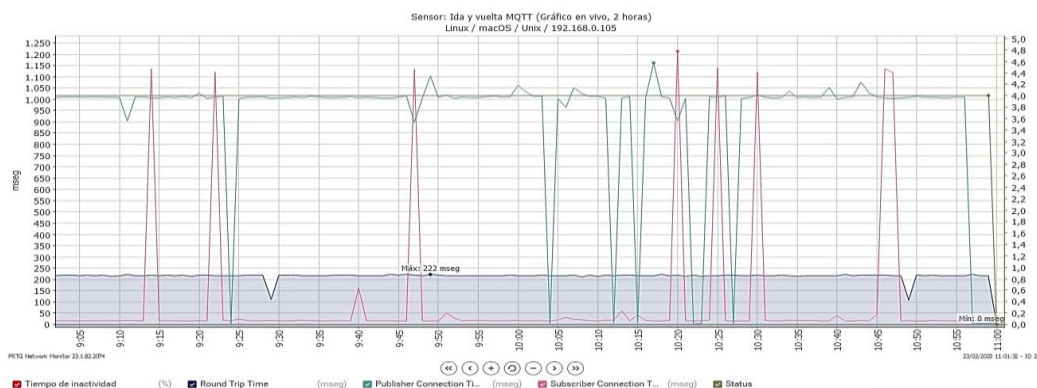
La Figura 10 ilustra el tiempo que tarda el PLC en realizar las operaciones de lectura y escritura de datos hacia y desde el servidor en la nube, medido en milisegundos. Además, muestra la latencia implicada en el proceso de transferencia de datos entre el PLC y el servidor en la nube, proporcionando una visión clara del rendimiento del sistema en términos de eficiencia y velocidad de comunicación de datos. La medición en milisegundos permite evaluar con precisión el tiempo necesario para la transmisión y el procesamiento de datos, lo que resulta crucial para garantizar un funcionamiento fluido y eficaz del sistema automatizado. En este sentido, se puede observar que el tiempo promedio para escribir datos desde el PLC a Ubidots es de 0,77 segundos, mientras que el tiempo promedio necesario para que el PLC lea datos de Ubidots es de 0,94 segundos.

Estos tiempos calculados se consideran bastante aceptables, ya que se está utilizando el protocolo de comunicación MQTT, que facilita una transmisión de datos más rápida. El objetivo de emplear MQTT es conseguir reducir el tiempo de respuesta entre los dispositivos virtuales y físicos, mejorando así la interacción entre el servidor web y el proceso en tiempo real. Esta eficiencia en la comunicación es crucial para mantener

un funcionamiento fluido y eficaz del sistema automatizado, garantizando una respuesta rápida y precisa a los datos transmitidos.

Figura 10

Tendencia del tiempo de escritura y lectura de datos del PLC en Ubidots.



Nota: Resultado de tiempo de escritura y lectura de datos mediante la plataforma de análisis de tráfico de red PRTG.

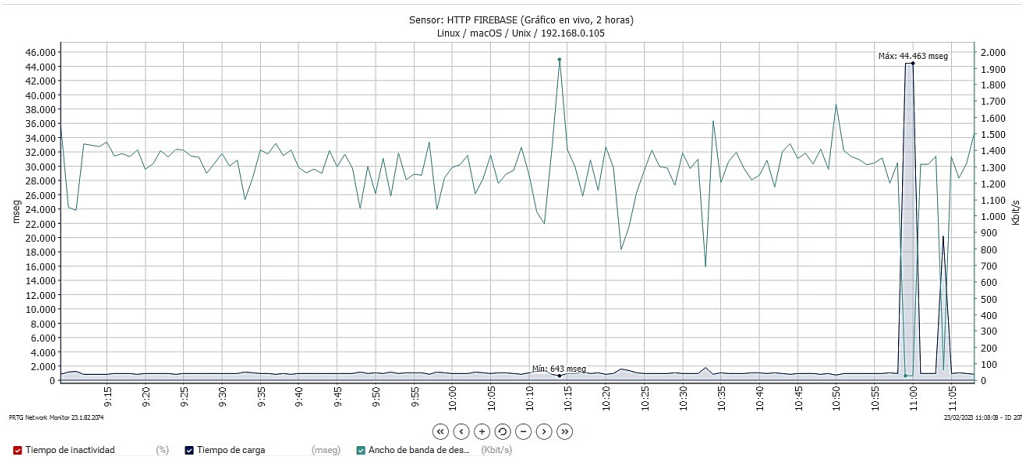
3.2 Tiempo de escritura del PLC a Firebase

En la Figura 11 se muestra el tiempo de escritura asociado con la transferencia de datos desde el PLC a la plataforma Firebase. Al analizar estos tiempos, se puede evaluar la eficiencia del proceso de escritura y cómo afecta la comunicación entre el PLC y Firebase.

El tiempo promedio de escritura de datos desde el PLC a Firebase es de 1,17 segundos. Esto se considera rápido dado que los datos se envían a una base de datos basada en la nube. Este tiempo es aceptable porque Firebase, al ser una plataforma de base de datos en tiempo real, no requiere un análisis inmediato de los datos al recibirlos. En su lugar, mantiene un registro histórico que se revisa más tarde. En consecuencia, el tiempo de escritura no afecta significativamente al rendimiento del sistema, lo que garantiza que los datos se almacenen con prontitud y eficacia sin afectar a los análisis y consultas posteriores.

Figura 11

Tendencia del tiempo de escritura del PLC a Firebase



Nota: Resultado de tiempo de escritura de datos del PLC a Firebase mediante la plataforma de análisis de tráfico de red PRTG.

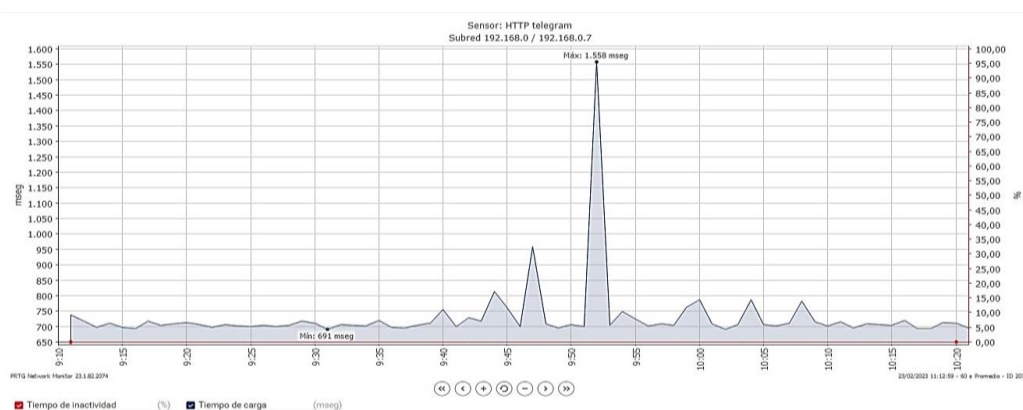
3.3 Tiempo de escritura del PLC al Telegram

El tiempo que tarda el PLC en escribir datos en Telegram, medido en milisegundos, se muestra en la Figura 12. El tiempo promedio necesario para escribir datos en Telegram desde el PLC es de 0,79 segundos, que es notablemente superior en comparación con el tiempo necesario para escribir datos en Ubidots. Este aumento del tiempo puede atribuirse al hecho de que el mensaje pasa por dos filtros de función dentro de la programación Node-RED antes de llegar a Telegram. A pesar de ello, la latencia se considera bastante aceptable en el contexto de la automatización industrial, debido a que los retrasos en la comunicación no comprometen la sincronización del sistema propuesto y no afecta a su rendimiento general. El papel de Telegram en este sistema es proporcionar notificaciones inmediatas de las alarmas generadas por el proceso. Garantizar que estas alertas se envíen con prontitud es crucial para permitir una respuesta rápida a los problemas y minimizar las posibles interrupciones de la

producción. El ligero retraso introducido por los pasos de procesamiento adicionales no compromete la eficacia del sistema a la hora de proporcionar alertas a tiempo, lo cual es esencial para mantener la eficacia operativa y abordar los problemas en cuanto surgen.

Figura 12

Tendencia del tiempo de escritura del PLC a Telegram



Nota: Resultado de tiempo de escritura de datos del PLC a Telegram mediante la plataforma de análisis de tráfico de red PRTG.

Por lo tanto, los tiempos obtenidos de este análisis nos permiten concluir que el sistema implementado es eficiente. Esta eficiencia se atribuye en gran medida a la capacidad de procesamiento del módulo IoT 2050, que, gracias a sus puertos Ethernet, puede transmitir datos a una velocidad de 0,1 Mbit/segundo. Además, al tratarse de un dispositivo de grado industrial, el IoT 2050 tiene una resistencia significativa a diversas perturbaciones, lo que contribuye a una mayor eficacia en la transmisión de datos. Además, para evaluar la eficacia de la comunicación del sistema, se utilizó la herramienta WireShark para escanear el tráfico de red en el IoT 2050. Esta herramienta permitió medir el número de paquetes correctamente deliverizados y el

número de paquetes de datos malformados. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos estadísticos proporcionados por WireShark

Paquetes	Cantidad
Capturados (IoT 2050)	5219
Malformados	68
Correctos	5151

Los datos proporcionados por WireShark revelan que se capturaron un total de 5219 paquetes en la red IIoT (módulo IoT 2050) durante dos horas de pruebas operativas. WireShark fue fundamental para capturar y analizar el tráfico de red, lo que permitió identificar tanto los paquetes transmitidos correctamente como los mal formados. Entre los paquetes analizados, un mínimo de 68 paquetes se identificó como malformados. En consecuencia, WireShark evalúa la eficacia de la comunicación del sistema en un 98,70%. Este alto índice de eficacia del sistema en cuanto a la entrega de paquetes alcanzado en esta investigación evidencia un rendimiento notable dentro del contexto de a la automatización industrial basado en el IIoT y el Cloud Computing. Este porcentaje de eficacia se significativo en comparación con estudios similares donde se emplea el protocolo MQTT se ha logrado alcanzar un rendimiento del 90%, mientras que sistemas que emplean otro protocolo de comunicación, como el AMQP reportan eficiencias en la entrega de paquetes del 80% (Uy & Nam, 2019). La diferencia representativa se atribuye a la implementación de la arquitectura propuesta, que optimiza la sincronización de los datos mediante plataformas en la nube como Node-RED, Firebase y Ubidots, lo que garantiza una comunicación eficiente y una mayor capacidad de respuesta en tiempo real.

Conclusiones

La integración del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y las tecnologías de computación en la nube ha demostrado ser esencial para la evolución de la automatización industrial. La implementación de estas tecnologías proporciona una solución eficaz para supervisar y controlar los procesos industriales, ofreciendo visibilidad en tiempo real y mejorando la eficiencia operativa. Los resultados ponen de relieve la capacidad de los sistemas basados en IIoT y las plataformas en la nube para optimizar la recopilación y el análisis de datos. La combinación de módulos IoT 2050 con plataformas en la nube como Ubidots y Firebase ha logrado un alto nivel de rendimiento y fiabilidad en la transmisión de datos. El análisis del tráfico de red mediante WireShark ha demostrado una alta eficacia de la comunicación, con un 98,70% de paquetes entregados correctamente. Esto demuestra la fiabilidad del sistema en términos de transmisión de datos, confirmando su capacidad para manejar grandes volúmenes de información y garantizar un funcionamiento eficaz.

Como trabajo futuro, pretendemos integrar tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AM), en los sistemas IIoT para mejorar las capacidades predictivas y la toma de decisiones en un proceso de paletizado empleado un robot manipulador Kuka youBot. Estas técnicas avanzadas podrán utilizarse para anticipar posibles fallos antes de que se produzcan y optimizar la eficiencia de los procesos industriales. La aplicación de la IA y el ML podría mejorar la resistencia y la seguridad de la automatización industrial al permitir respuestas más rápidas y precisas a posibles problemas en entornos industriales.

Referencias Bibliográficas

- Balla, M., Haffner, O., Kučera, E. and Cigánek, J. (2023). Educational Case Studies: Creating a Digital Twin of the Production Line in TIA Portal, Unity, and Game4Automation Framework. *Sensors*, 23(10). <https://doi.org/10.3390/s23104977>
- Botta, A., de Donato, W., Persico, V. and Pescapé, A. (2016). Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684–700. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021](https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021)
- Buele, J., Quilumba, D., Ilvis, D., Saá, F. and Salazar, F. (2021). Carwash Station Prototype with Automatic Payment Using Intelligent Control Systems. In M. Botto-Tobar, S. Montes León, O. Camacho, D. Chávez, P. Torres-Carrión, & M. Zambrano Vizúete (Eds.), *Applied Technologies* (pp. 236–249). Springer International Publishing.
- Chaudhary, A., Peddoju, S. and Chouhan, V. (2023). Secure Authentication and Reliable Cloud Storage Scheme for IoT-Edge-Cloud Integration. *Journal of Grid Computing*, 21(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s10723-023-09672-z>
- Chougale, P., Yadav, V., Gaikwad, A., Student, B. and Vidyapeeth. (2022). Firebase - Overview and Usage. *Journal of Engineering and Technology Management*, August, 2582–5208.
- Dudhe, P., Kadam, N., Hushangabade, R. and Deshmukh, M. (2017). Internet of Things (IOT): An overview and its applications. *2017 International Conference on*

Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), 2650–2653. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389935>

Gupta, P., Sehgal, N. and Acken, J. (2025). Cloud Computing Concepts. In *Introduction to Machine Learning with Security: Theory and Practice Using Python in the Cloud* (pp. 201–214). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59170-9_4

Leon, C., Ilvis, D., Remache, E., Villalba, W., García, C. and García, M. (2020). Evaluation of Internet of Things Protocols for Shopfloor Communication Integration. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1078, 199–213. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33614-1_14

Maksimova, M., Efimova, N., Kucheva, N. and Surkova, E. V. (2023). Automation of Production Processes: Problems and Solutions. *Russian Engineering Research*, 43(12), 1602–1605. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23120225>

Mezina, N. and Tikhonov, G. (2024). Automation of Decision-Making Processes: Opportunities and Risks. *Russian Engineering Research*, 44(3), 400–404. <https://doi.org/10.3103/S1068798X24700059>

Molina, J., Yugcha, M. and Montalvo, W. (2023). Hybrid IIoT & Arduino IoT Cloud Platform for Continuous Industrial Process Analysis. In V. Robles-Bykbaev, J. Mula, & G. Reynoso-Meza (Eds.), *Intelligent Technologies: Design and Applications for Society* (pp. 173–181). Springer Nature Switzerland.

Numthong, C., Phattanaphibul, T. and Chantawila, P. (2024). Design and Implementation of IIoT for Controlling and Monitoring in Food Packing Production

Line. In P. Janmanee, S. Chujarjeen, S. Butdee, P. Srikhumsuk, A. D. L. Batako, A. Burduk, & M. A. Xavier (Eds.), *Advanced in Creative Technology- added Value Innovations in Engineering, Materials and Manufacturing* (pp. 357–368). Springer Nature Switzerland.

Oprea, S. and Bâra, A. (2023). An Edge-Fog-Cloud computing architecture for IoT and smart metering data. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 16(2), 818–845. <https://doi.org/10.1007/s12083-022-01436-y>

Salih, H., Abdelwahab, H. and Abdallah, A. (2017). Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCCEE.2017.7866702>

Saumya, L. and Khatri, S. (2024). Benefits and Challenges of Integrating IIoT in Smart Energy Systems. In N. R. Roy, S. Tanwar, & U. Batra (Eds.), *Cyber Security and Digital Forensics* (pp. 279–287). Springer Nature Singapore.

Schmitt, R. and Borck, C. (2023). Industrial Internet of Things (IIoT). In O. Madsen, U. Berger, C. Møller, A. Heidemann Lassen, B. Vejrum Waehrens, & C. Schou (Eds.), *The Future of Smart Production for SMEs: A Methodological and Practical Approach Towards Digitalization in SMEs* (pp. 309–314). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15428-7_25

Sindhwani, N., Maurya, V., Patel, A., Yadav, R., Krishna, S. and Anand, R. (2022a). Implementation of Intelligent Plantation System Using Virtual IoT. In S. Nandan Mohanty, J. M. Chatterjee, & S. Satpathy (Eds.), *Internet of Things and Its*

Applications (pp. 305–322). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-77528-5_16

Srilakshmi, A., Geetha, K. and Harini, D. (2020). MAIC: A Proficient Agricultural Monitoring and Alerting System Using IoT in Cloud Platform. In G. Ranganathan, J. Chen, & Á. Rocha (Eds.), *Inventive Communication and Computational Technologies* (pp. 805–818). Springer Singapore.

Uy, N. and Nam, V. (2019). A comparison of AMQP and MQTT protocols for Internet of Things. *2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, 292–297. <https://doi.org/10.1109/NICS48868.2019.9023812>

Zhu, M., Liang, M., Li, H., Lu, Y. and Pang, M. (2023a). Intelligent acceptance systems for distribution automation terminals: an overview of edge computing technologies and applications. *Journal of Cloud Computing*, 12(1), 149.
<https://doi.org/10.1186/s13677-023-00529-0>