

Aplicación del Internet de las Cosas en Ambientes Industriales para el Monitoreo de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Juan Pablo Villazón Richter¹

jvillazonr@univalle.edu

<https://orcid.org/0000-0001-5999-6189>

Ingeniero Electrónico y de Sistemas

M.S.c. Instrumentación

Universidad Del Valle

Santa Cruz, Bolivia

RESUMEN

El presente trabajo tiene como temática aplicar el protocolo de red ligero, de publicación y suscripción de máquina a máquina, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) en plantas industriales, siendo el caso de estudio: plantas de tratamiento de agua residual, la propuesta se centra en uso de una pasarela (Gateway) de uso industrial que realiza la tarea de recolectar los datos mediante entradas discretas, analógicas y también mediante el protocolo industrial Modbus sobre RS-485, posteriormente esos datos son enviados por datos móviles 4G a un VPS especialmente destinado para alojar al bróker, base de datos, servicios y Frontend. La visualización se realiza a través de una plataforma web usando lenguajes JavaScript, HTML, CSS donde se interactúa en instantáneo con los equipos de la planta.

Palabras clave: internet de las cosas (IoT); MQTT; panel de control en tiempo real; plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR); red móvil 4G

¹ Autor principal

Correspondencia: jvillazonr@univalle.edu

Application of the Internet of Things in Industrial Environments for the Monitoring of Wastewater Treatment Plants

ABSTRACT

The theme of this paper is to apply the lightweight network protocol, machine-to-machine publication and subscription, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) in industrial plants, being the case study: wastewater treatment plants, the proposal focuses in use of a gateway for industrial use that performs the task of collecting data through discrete, analog inputs and also through the industrial protocol Modbus over RS-485, later these data are sent by 4G mobile data to a specially designed VPS to host the broker, database, services and frontend. The visualization is done through a web platform using JavaScript, HTML, CSS languages where you can interact instantly with the plant equipment.

Keywords: 4G mobile network; internet of things (IoT); MQTT; real time control panel; wastewater treatment plants (PTAR)

Artículo recibido 18 noviembre 2023
Aceptado para publicación: 29 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

De los recursos naturales uno de los más importantes es el agua, de acuerdo con (Fernandez Jáuregui & Crespo Millet, 2008) , indican que es un recurso único, componente principal de la materia viva. Los productos naturales, artificiales y sintéticos que consumimos tanto los humanos y animales, requieren de agua para sus procesos de fabricación. También menciona que el agua es un bien finito, escaso y vulnerable y su demanda ha sido incrementada considerablemente dado el crecimiento de la población y esto ha agravado la situación de escases del agua y posteriormente nos lleva a una crisis donde la demanda es mayor que la oferta. Por todo lo detallado es que se producen grandes cantidades aguas residuales, las mismas que necesitan un tratamiento a través de plantas de aguas residuales.

Según (Rollano Quintana, 2021), una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) comprende todos los procesos destinados a mejorar la calidad del agua con el objetivo de que sea compatible con las normativas nacionales e internacionales.

Generalmente una planta industrial cuenta con sistemas automáticos, (Ponsa & Granollers, 2009) definen la automatización como: “el conjunto de procedimientos y métodos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas”. Esta automatización puede emplear controladores básicos como la lógica de contactos o complejos como Sistemas de Control Distribuido, conocidos por sus siglas en ingles DCS (Distributed Control Systems). En el caso de las PTAR, se debe considerar que están situadas en muchos casos en lugares remotos dada las características de los procesos, por tanto, no se tiene el adecuado monitoreo de las variables y contar con supervisión en tiempo completo implica un costo elevado.

En la presente investigación una empresa que gestiona PTAR en la ciudad de Montero, departamento de Santa Cruz y en el departamento de Cochabamba en las localidades de Cliza, Tolata, Punata y Capinota, a esta empresa se hará referencia como “los interesados”, hace el requerimiento de una solución que realice monitoreo de variables de proceso, entre ellas: estado y alarmas de bombas, tamices, tornillos, sopladores, desarenadores y sensores de flujo. Estos datos deben ser adquiridos por un sistema de monitoreo en línea desde cualquier dispositivo como ser computadora o equipo móvil en tiempo real. La solución debe brindar un registro de los cambios en las variables, el cual se debe exportar mediante un criterio de filtrado por fechas y un apartado para la gestión de usuario mediante contraseña.

Dado los requerimientos funcionales descritos por los interesados es que la solución propuesta por los investigadores se basa en aplicación del internet de las cosas (IoT), de acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones por sus siglas en inglés ITU (International Telecommunication Union) reconoce el término de IoT como: “una dimensión donde cualquier dispositivo podría estar conectado al internet”, este término se complementa con la “Visión Japonesa del IoT” que implica la interacción de todos los elementos que puedan recolectar información.

METODOLOGÍA

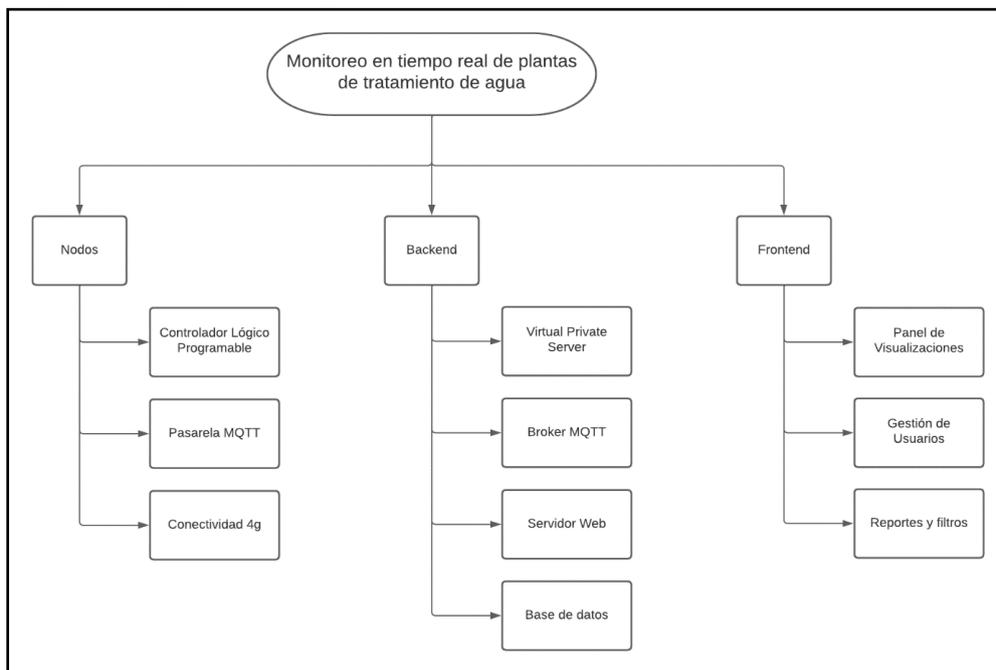
En presente estudio se aborda desde una perspectiva de investigación aplicada, ya que se hace uso de tecnologías y método para desarrollar una solución a un problema específico. De acuerdo al nivel de profundización es una investigación del tipo explicativa, debido a que se evalúa la aplicabilidad de la tecnología IoT para soluciones industriales. Desde la perspectiva de los datos estudiados, se trabajaron con datos del tipo cualitativo, esto debido a que no se busca encontrar datos que reflejen el nivel de la optimización de la solución, sino que pueda indicar si es aplicable o no una solución basada en el cumplimiento de los objetivos o de los requisitos funcionales de los interesados. Según la forma de manipulación de las variables se define que la investigación es de tipo cuasiexperimental, esto se debe a que no existe la posibilidad de manipular todas las variables que intervienen, puesto que la solución planteada se evaluará en condiciones de producción y no en un ambiente controlado de laboratorio, manipulaciones de las variables incluyen intensidad, ausencia-presencia y variación modal. Conforme a tipo de inferencia aplicado en la investigación, este se desarrolla bajo el método hipotético-deductivo, debido a que la hipótesis de trabajo será la aplicabilidad de la tecnología IoT para el monitoreo de plantas de aguas residuales y mediante la deducción se podrá comprobar si la hipótesis es verdadera, falsa o se halla una alternativa. La investigación presenta un seguimiento del tiempo del tipo longitudinal, debido a que obtendrán datos en distintas plantas, en distintos lugares geográficos, al mismo tiempo y todas cuentan con similares características técnicas. El diseño de la investigación es mixto ya que los investigadores ejecutan las tareas tanto en gabinete como en campo al momento validar la hipótesis. Dada la naturaleza cualitativa de la investigación, para la validación de la hipótesis se hará uso de listas de verificación de cumplimiento de los requisitos funcionales de cada entrega, a través de un protocolo de validación de funcionalidades.

La metodología de diseño corresponde a “top to down” (Knuth, 1971), la misma que parte desde una consigna de alta abstracción, en este caso la hipótesis de trabajo y la implementación se estructura aplicando metodologías ágiles, específicamente SCRUM (Andrés Navarro Cadavid, 2013).

Arquitectura de la solución

Para la fácil comprensión de la arquitectura de la solución, esta se divide en módulos. La primera correspondiente a los dispositivos físicos, conexiones y protocolos de comunicación de máquina-máquina (M2M) del inglés Machine to Machine (Federico Montori, 2018), que intervienen en el ámbito industrial, la cual se hará referencia como “nodo”. El segundo módulo corresponde a las tecnologías aplicadas en el servidor (BackEnd) que ejecutan los agentes de gestión de los protocolos (Broker), sistemas de gestión de base de datos (SGBD), servicios web y registro de histórico. El tercer y último módulo hace referencia a la interfaz gráfica (Frontend), donde el usuario hará la interacción con la solución (Abdul Rahaman, 2022).

Imagen 1. Diagrama de Arquitectura de la solución



Fuente. Elaboración propia. Software. Lucid Chart

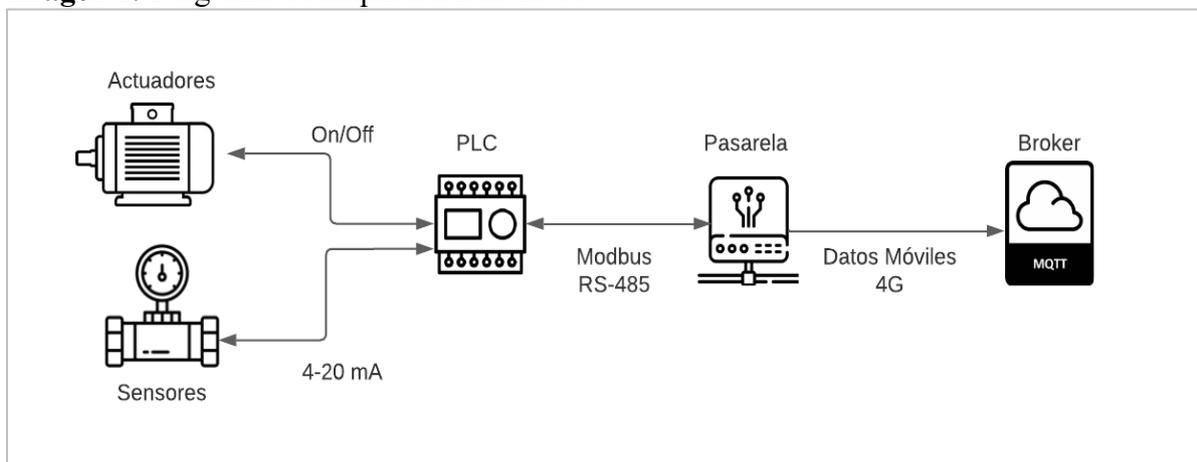
Nodos

Los nodos son los encargados de recoger la información de las variables físicas del proceso a través de sensores, las variables a recoger son: Flujo, estado de las bombas y alerta. El sensor de flujo comunica la información mediante Modbus RTU RS-485, un protocolo de comunicación industrial, donde se

recogen la información de flujo actual y flujo total. La información de estado y alertas se recopila mediante los contactos auxiliares de los contactores que energizan a las bombas, tamices, tornillos, etc. El componente que se encarga de la transmisión de datos es una pasarela (Gateway) de marca SENECA, modelo Z-LTE (Seneca, 2023) de industria italiana, cuenta con 4 salidas discretas, 2 entradas discretas, 1 entrada analógica de 4-20mA o 0 a 10 Volts. En las comunicaciones dispone de puerto ethernet y bahía GSM, 2G, 3G y 4G. Mediante el puerto RS-485, el Gateway puede acceder a los registros del procesador del PLC DELTA DVP14SS2 para ampliar sus capacidades. Para el caso de aplicación se usa la comunicación GSM 4G de Entel.

La frecuencia de lectura de variables se realiza en función a requerimiento, de acuerdo a la ficha técnica, la pasarela realiza actualización física de sus entradas a una frecuencia de 30Hz tanto digitales como analógicas y la configuración para la actualización de los clientes Modbus por el puerto RS-485 es de 100ms. Una vez la pasarela adquiere los datos, mediante programación interna, el cliente MQTT realiza la actualización del tópico asociado a cada entrada física únicamente cuando el valor del tópico ha cambiado.

Imagen 2. Diagrama de adquisición de datos.

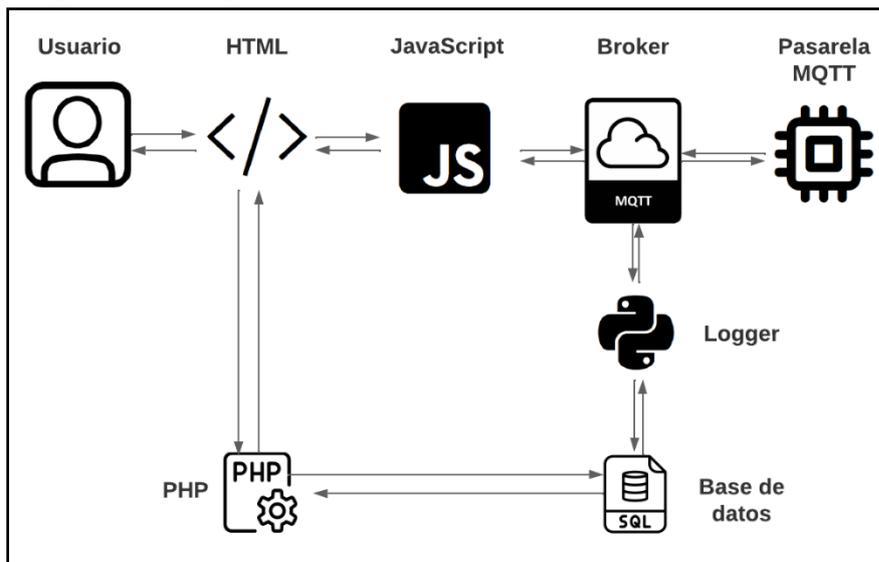


Fuente. Elaboración Propia. Software Lucid Chart

Backend

El hardware es un VPS de 4vCores (Núcleos Virtualizados), 8GB de RAM, 50GB de NVMe, localizado en USA. El sistema operativo es Linux Ubuntu Server 20.04 LTS con Apache, Mariadb, PHP, Mosquitto y Python que cumple la función de almacenar los tópicos en la base de datos.

Imagen 3. Descripción del Backend

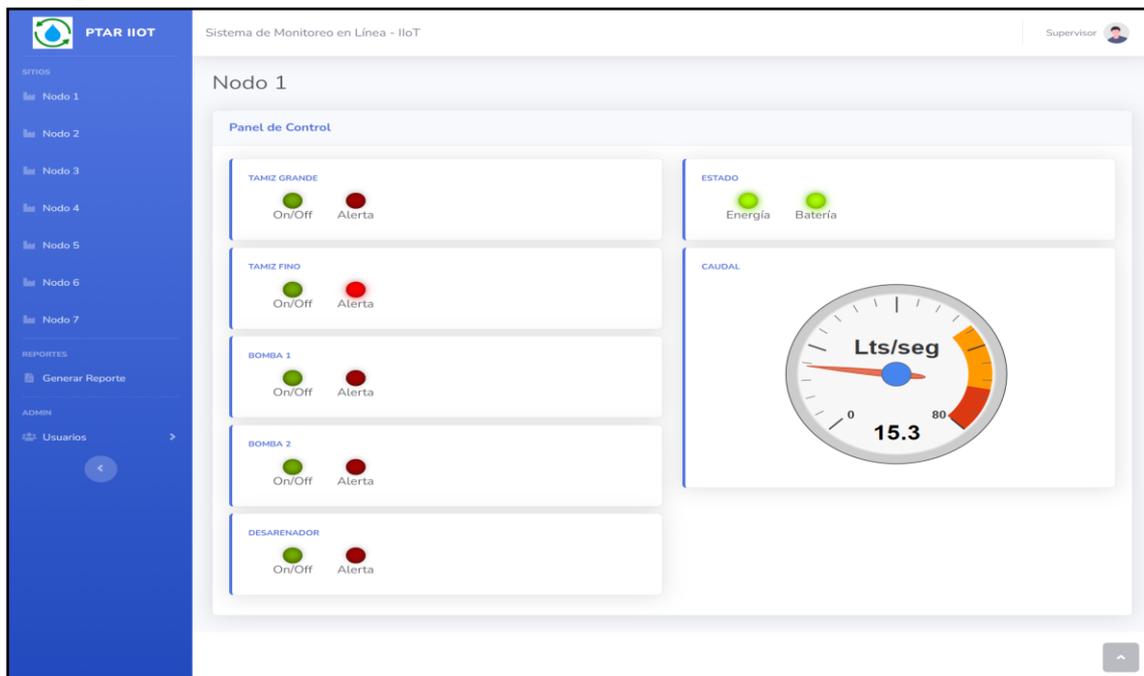


Fuente. Elaboración propia. Software Lucid Chart

Frontend

El Frontend, está compuesto por una plantilla de Bootstrap, que permite desplegar un panel de control equipado de Google Charts para la y controles hechos a medida apoyado en JavaScript. También está equipado otro script que permite el acceso desde el Frontend al bróker e intercambiar información proveniente de los tags.

Imagen 4. Visualización del Frontend



Fuente. Elaboración Propia

RESULTADOS

El proyecto tuvo un tiempo de implementación de tres meses y un tiempo de prueba de cuatro meses. Durante los meses de pruebas se desarrolló un protocolo de test funcional de acuerdo a la siguiente lista de verificación.

Tabla 1. Lista de Verificación de Nodo Remoto

Lista de verificación de Nodo Remoto			
Nodo		Ubicación	
Fecha		Hora	
Responsable		Firma	
Tarea a verificar	Funcional	En falla	Observación
Saldo en chip GSM			
Estado de red GSM 4G			
Conexión RS-485 con PLC			
Envío de topicos			
Recepción de topicos			
Existencia de registro de fallas			
Estado del servicio de registro de tópicos			
Evidencia de registros en base de datos			
Recepción de topicos en frontend			
Visualización de datos en frontend			
Navegación en frontend			
Confirmación de estados visualizados con estados en planta			

Fuente. Elaboración Propia

La tabla 1, se llenó con una frecuencia mensual, en cada uno de los nodos, mediante la confirmación remota de forma telefónica.

Los resultados fueron obtenidos de forma gradual ya que la implementación no fue simultánea, esto corresponde al costo de implementación y al tiempo de llegada de los componentes. En la tabla 2, hace referencia a “no implementado” quiere decir que la planta aún no contaba con el equipamiento instalado.

Tabla 2. Resumen de Resultados Obtenidos en los 4 meses de prueba.

	Resultado Mes 1	Resultado Mes 2	Resultado Mes 3	Resultado Mes 4
Nodo1	Funcional	Funcional	Funcional	Funcional
Nodo2	No implementado	Funcional	Funcional	Funcional
Nodo3	No implementado	No implementado	Funcional	Funcional
Nodo4	No implementado	Funcional	Funcional	Funcional
Nodo5	No implementado	Funcional	Funcional	Funcional
Nodo6	No implementado	No implementado	No implementado	Funcional
Nodo7	No implementado	No implementado	No implementado	No implementado

Fuente. Elaboración Propia

Se evidencia que los nodos únicamente se encuentran identificados con un número, esto se debe a la necesidad de no revelar las ubicaciones específicas de las plantas del cliente final, ya que pidió mantener su identidad en reserva. También se observa que terminar el registro de datos el nodo7 no fue implementado por temas ajenos a los investigadores, sino que fue retrasado por requerimiento del cliente.

De acuerdo a las pruebas realizadas durante 24 horas de recolección de datos, se tiene un rango de 1000 a 1200 inserciones en la base de datos, esto se evidencia desde la opción de reporte en el Frontend.

Imagen 5. Toma de pantalla de reporte de datos

	A	B	C	D	E	F
	Fecha	Sitio	Detalle Sitio	Tag	Valor	Detalle Tag
1						
2	16/4/2023 17:39:17	Nodo1	Nodo1	EST_BO101	1	Estado Bomba 101
3	16/4/2023 17:39:17	Nodo1	Nodo1	FT101	0.0	Flujometro de 4-20mA
4	16/4/2023 17:39:17	Nodo1	Nodo1	EST_TAM103	1	Estado TAMIZ 103
5	16/4/2023 17:39:18	Nodo1	Nodo1	EST_TOR104	1	Estado TORNILLO 104
6	16/4/2023 17:39:19	Nodo2	Nodo2	EST_BO101	1	Estado Bomba 101
7	16/4/2023 17:39:19	Nodo2	Nodo2	FT101	0.0	Flujometro de 4-20mA
8	16/4/2023 17:42:54	Nodo1	Nodo1	EST_BO101	0	Estado Bomba 101
9	16/4/2023 17:42:54	Nodo1	Nodo1	FT101	12.7	Flujometro de 4-20mA
10	16/4/2023 17:43:38	Nodo1	Nodo1	EST_TAM103	0	Estado TAMIZ 103
11	16/4/2023 17:43:38	Nodo1	Nodo1	EST_TOR104	0	Estado TORNILLO 104
12	16/4/2023 17:44:03	Nodo2	Nodo2	EST_BO101	0	Estado Bomba 101
13	16/4/2023 17:44:03	Nodo2	Nodo2	FT101	10.3	Flujometro de 4-20mA
14	16/4/2023 17:49:32	Nodo1	Nodo1	EST_BO101	1	Estado Bomba 101
15	16/4/2023 17:49:32	Nodo1	Nodo1	FT101	0.0	Flujometro de 4-20mA
16	16/4/2023 17:49:32	Nodo1	Nodo1	EST_TAM103	1	Estado TAMIZ 103
17	16/4/2023 17:49:32	Nodo1	Nodo1	EST_TOR104	1	Estado TORNILLO 104
18	16/4/2023 17:52:17	Nodo2	Nodo2	EST_BO102	1	Estado Bomba 102
19	16/4/2023 17:52:17	Nodo2	Nodo2	FT101	0.0	Flujometro de 4-20mA
20	16/4/2023 17:52:59	Nodo1	Nodo1	EST_BO101	0	Estado Bomba 101
21	16/4/2023 17:52:59	Nodo1	Nodo1	FT101	12.6	Flujometro de 4-20mA
22	16/4/2023 17:53:43	Nodo1	Nodo1	EST_TAM103	0	Estado TAMIZ 103
23	16/4/2023 17:53:43	Nodo1	Nodo1	EST_TOR104	0	Estado TORNILLO 104
24	16/4/2023 17:58:37	Nodo2	Nodo2	EST_BO102	0	Estado Bomba 102
25	16/4/2023 17:58:37	Nodo2	Nodo2	FT101	16.4	Flujometro de 4-20mA
26	16/4/2023 17:58:51	Nodo1	Nodo1	EST_BO101	1	Estado Bomba 101
27	16/4/2023 17:58:51	Nodo1	Nodo1	FT101	0.0	Flujometro de 4-20mA

Fuente. Elaboración Propia. Software. Microsoft Excel

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

De acuerdo a los datos obtenidos nos refleja el funcionamiento de todos los elementos evaluados en la lista de verificación, los mismos que son netamente cualitativos, lo cual nos da muy poca información respecto al nivel de optimización de la solución implementada, la imposibilidad de hacer comparaciones con otras tecnologías o el consumo de datos móviles 4G. Esto abre espacio para futuras investigaciones relacionadas con la efectividad y eficiencia de la estructura planteada.

Al realizar una comparación con otras plataformas disponibles en el mercado (M. Sruthi, 2016) y compararlas con la solución propuesta se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 3. Comparación entre plataformas disponibles y la solución propuesta

Plataforma	Integración con la Nube	Protocolo Soportado	Seguridad	Tipo Analítica	de Área aplicación	de
Solución Propuesta	Rest API	MQTT/HTTP	Ninguna	Ninguna	Industrial	
Xively	Rest API	HTTP/HTTPS MQTT	SSL/TSL	Análisis de datos, Análisis de Negocios	Salud	
Axeda	Rest API	MQTT, SOAP, REST, AMMP	SSL/TSL AES 128, RSA 2048	Análisis de datos	Domótica	
Thingworx	Rest API	MQTT, COAP, DDS, XMPP,	TLS/AES 128	Análisis de datos	Domótica, Gestión del Tráfico, Administración	
Thing Square	Thing square mist	IPV6, RPL, 6lowPAN	AES protocol SSL	Análisis de datos	Domótica, Transporte	
Bugswarm	Rest API, JSON	HTTP	RC4 based encryption protocol	Análisis de datos	Gestión del Riego	
Sensor cloud	Rest API	HTTP	TLS	Análisis de datos	Domótica	
Thing speak	Rest API	HTTP	SSL	Análisis de datos	Cuidado de la Salud, IoT Social, Domótica	
Everything	Rest API	MQTT, COAP, web sockets	SSL	Análisis de datos	Salud	
Everyware Device Cloud	Rest API	MQTT v 3.1	SSL	Análisis de datos	Salud	
Idigi Device Cloud	Rest API	MQTT	SSL	Análisis de datos	Salud	

Fuente. M. Sruthi, B.R. Kavitha

Al comprar la solución propuesta en el presente trabajo, se evidencia que es la única solución orientada al área industrial, si bien no cuenta con seguridad ni analítica por decisión del cliente, esto abre una puerta a posibles futuras investigaciones para implementar mejoras en la solución propuesta.

CONCLUSIONES

La investigación concluye que la aplicación del internet de las cosas (IoT) es viable para soluciones industriales, específicamente para el caso del monitoreo de plantas de tratamiento de aguas residuales, la presente propuesta cumple con todos los requisitos funcionales que establecieron los interesados. Esta mejora permite que los operadores puedan tomar decisiones rápidas, oportunas y adecuadas para el beneficio de la producción y prevención de posibles inconvenientes que se puedan presentar, de esta forma el agua residual recibirá un continuo tratamiento reduciendo la intermitencia en el servicio de la planta y por ende evitando la contaminación ambiental.

Entre las ventajas que presenta la solución se puede mencionar, la disponibilidad del monitorio en línea de las variables en tiempo real, acceso remoto a las variables del proceso, la escalabilidad de la solución y el uso de la nube para el almacenamiento de los datos, dando una altísima disponibilidad, robustez y mantenibilidad a la propuesta. Es importante destacar que la solución propuesta es escalable debido a que puede recibir nuevos nodos con gran facilidad, únicamente que se debe instalar físicamente los dispositivos, incluir el nuevo nodo en la plataforma y estará recibiendo información de forma inmediata, esto demuestra la adaptabilidad a múltiples escenarios que puedan presentarse a futuro dentro de la PTAR.

Las áreas que son materia para futuras investigaciones corresponden al análisis de los datos enviados por 4G, la implementación de un sistema de alarmas en caso que se presenten comportamientos anómalos ya sea por valores fuera de los esperados, como también mal funcionamiento de los equipos, viabilidad en la implementación de sistemas de seguridad como ser uso de certificados para las comunicaciones y su impacto en la transmisión de los datos, la implementación de la analítica de los datos recolectados para brindar un modelo del comportamiento de la PTAR.

Es importante mencionar que los dispositivos físicos encargados de la adquisición de los datos están preparados para enfrentar los efectos agresivos en la red eléctrica industrial (**Horsley, 2005**), no es viable utilizar soluciones que no fueron diseñadas para este fin.

Se concluye que la presente investigación aporta con evidencia de que el IoT es una tecnología confiable y viables para ser utilizada en la mejora de la eficiencia, rendimiento y disponibilidad en tiempo real de las variables de procesos de plantas industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional. (2017). IEC 63088:2017 - Industrial automation systems - Reference architecture model (RAMI 4.0). Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission (IEC).
- Abdul Rahaman, e. a. (2022). Development of Web Applications by Integrating Frontend and Backend Tools. Juni Khyat .
- Andrés Navarro Cadavid, J. D. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. REDALYC.
- Federico Montori, L. B. (2018). Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues. *Pervasive and Mobile Computing*, 56-81.
- Fernandez Jáuregui, C., & Crespo Millet, A. (2008). El agua, recurso único. El derecho humano al agua: situación actual y retos de futuro, 19-38.
- García, F. R. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *UIS INGENIERAS*, 177-191.
- Himanshu, N. S. (2023). Evolution of IoT to IIoT: Applications & Challenges. *International Journal of Engineering & Technology*, 3619-3626.
- Horsley, J. S. (2005). Los siete problemas en el suministro eléctrico. *APC*.
- Knuth, D. (1971). Top-Down Syntax Analysis. *Acta Informatica*, 79-110.
- M. Sruthi, B. R. (2016). A SURVEY ON IOT PLATFORM. *International Journal of Scientific Research and Modern Education*.
- Martínez, P. N. (2021). Estudio comparativo de plataformas cloud que ofrecen servicios. Bogotá: Universidad Santo Tomas.
- Nagorny, K. S. (2020). A DIN Spec 91345 RAMI 4.0 Compliant Data Pipelining Model: An Approach to Support Data Understanding and Data Acquisition in Smart Manufacturing Environments. *IEEE*

Access, 3045111.

Ponsa, P., & Granollers, A. (2009). Diseño y automatización industrial. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.

Rahaman, A. G. (2023). Development of Web Applications by Integrating Frontend and Backend Tools. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 5002-5007.

Rollano Quintana, M. (2021). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN BOLIVIA. REDIELUZ, 122-131.

Seneca. (15 de 4 de 2023). Seneca . Obtenido de Seneca : <https://www.seneca.it/es/linee-di-prodotto/comunicazione-industriale-e-telecontrollo/apparati-gsmgprs-teleallarmedatalogger/z-lte/>

Tamboli, A. (2022). Build Your Own IoT Platform: Develop a Flexible and Scalable Internet of Things. Sydney, NSW, Australia: apress.