



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SISTEMA IIOT POR MEDIO DE UNA PLATAFORMA BASADA EN LA NUBE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL TERMOTANQUE DE LA EMPRESA
ECUAPANEL

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Electrónicos

AUTORES: Daniel Alejandro Lema Aymacaña

Wilson Omar Martínez Erazo

TUTOR: William Paul Oñate Amaguaña

Quito-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Lema Aymacaña Daniel Alejandro con documento de identificación N° 1724294630 y Martínez Erazo Wilson Omar con documento de identificación N° 1721518510; manifestamos que:

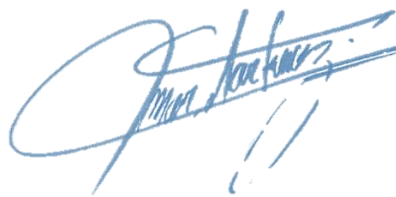
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de marzo del año 2022

Atentamente,



Daniel Alejandro Lema Aymacaña
1724294630



Wilson Omar Martínez Erazo
1721518510

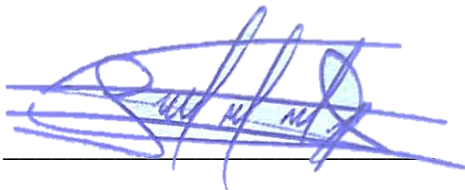
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Lema Aymacaña Daniel Alejandro con documento de identificación N° 1724294630 y Martínez Erazo Wilson Omar con documento de identificación N° 1721518510, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del artículo académico : “Sistema IIoT por medio de una plataforma basada en la nube para la automatización del termotanque de la empresa Ecuapanel”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

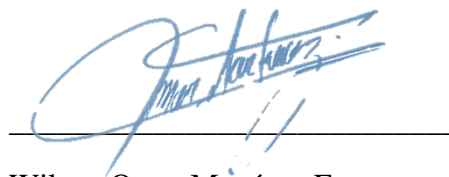
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 11 de marzo del año 2022

Atentamente,



Daniel Alejandro Lema Aymacaña
1724294630



Wilson Omar Martínez Erazo
1721518510

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Oñate Amaguaña William Paul con documento de identificación N° 1715580500, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: SISTEMA IIOT POR MEDIO DE UNA PLATAFORMA BASADA EN LA NUBE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL TERMOTANQUE DE LA EMPRESA ECUAPANEL, realizado por Lema Aymacaña Daniel Alejandro con documento de identificación N° 1724294630 y por Martínez Erazo Wilson Omar con documento de identificación N° 1721518510, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. William Paul Oñate Amaguaña ,Msc
1715580500

DEDICATORIA

A Dios por levantarme en cada momento de debilidad.

A mis padres Wilson Martínez y Anita Erazo, quienes me han brindado su apoyo incondicional toda mi vida, y supieron estar allí guiando mi caminar.

A mis hermanas quienes creyeron en mí y dieron palabras de aliento para conquistar los retos.

A todos mis familiares, docentes y amigos con quienes compartí mi carrera estudiantil, y estuvieron allí cuando los necesité para apoyarme y juntos seguir en este andar que llamamos vivir.

En especial a mis amigos más cercanos con quienes empezamos esta carrera y a lo largo de todos estos años hemos entrelazado lazos de hermandad, Abg. Katherinne Arboleda, Ing. Alex Carvajal, Ing. Héctor Díaz, Ing. Daniel Endara, Ing. Joao Maigua e Ing. Daniel Lema coautor de este y varios proyectos profesionales.

Omar Martínez

A mi madre, Martha quien, con su paciencia, esfuerzo me permitió cumplir esta meta, gracias por siempre confiar en mí, inculcarme esfuerzo y valentía, este logro es de ella y de Dios.

A Lesly, Cristina y Karina quienes siempre estuvieron presentes en cada etapa, ayudándome a seguir adelante para ser una mejor persona.

A mis abuelos quienes con su gran ejemplo y apoyo incondicional supieron encaminarme desde mi niñez.

A mis tíos quienes siempre estuvieron conmigo y me supieron apoyar de todas las maneras posibles, en cualquier momento y sin importar nada.

Finalmente, a mis amigos, tutor de tesis y docentes de la Universidad, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional.

Daniel Lema

Sistema IIoT por medio de una plataforma basada en la nube para la automatización del termotanque de la empresa Ecuapanel.

Daniel Alejandro Lema Aymacaña ¹, Wilson Omar Martínez Erazo ¹, William Paul Oñate Amaguaña¹

¹ Universidad Politécnica Salesiana; dlemaa1@est.ups.edu.ec, wmartineze@est.ups.edu.ec, wonate@ups.edu.ec

* Correspondencia: wmartineze@est.ups.edu.ec; Tel.: +593979057804

Resumen: Tras la evolución de la industria convencional a la digitalización de la información y la industria 4.0 en el área de la automatización de procesos, trae consigo flexibilidad, optimización e inteligencia en el control y monitoreo de sistemas industriales, en el presente trabajo se muestra una red WNCS(Wireless Network Control Systems) enfocada al IIoT que contiene una interfaz desarrollada en AWS(Amazon Web Service) que permite monitorear el sistema a través de alarmas y realizar acciones de forma remota, el intercambio de datos generados por los diferentes sensores que conforma la automatización del termotanque es por medio del protocolo de comunicación MQTT(Message Queuing Telemetry), con respecto al almacenamiento de datos se toma en cuenta la estructura propia de Cloud Computing que nos brinda seguimiento y monitoreo, además de realizar pruebas de funcionamiento durante un tiempo determinado para obtener métricas y parámetros propios del sistema.

Abstract: After the evolution of the conventional industry to the digitization of information and industry 4.0 in the area of process automation, it brings with it flexibility, optimization and intelligence in the control and monitoring of industrial systems, in the present work shows a WNCS(Wireless Network Control Systems) network focused on the IIoT that contains an interface developed in AWS(Amazon Web Service) that allows the monitoring of the system through alarms and actions remotely, the exchange of data generated by the different sensors that make up the automation of the hot water tank is through the communication protocol MQTT (Message Queuing Telemetry), with respect to data storage, the own structure of Cloud Computing is taken into account, which provides us with follow up and monitoring, in addition to perform performance tests for a certain time to obtain metrics and parameters of the system.

Palabras Claves: AWS, Cloud Computing, IIoT, MQTT.

1. Introducción

La evolución de la industria en el Ecuador permite dar paso a la implementación de nuevas tecnologías en el área de automatización de procesos[1][2], generando así avances con respecto a la optimización de recursos, obteniendo una comunicación más ágil y multiplicidad de conexiones en cada etapa del sistema[3], este tipo de proyectos cuentan con servicios de interfaz en la nube, bases de datos y graficas de serie temporal que pueden ser integrados a la infraestructura de la red, los cuales brindan funciones a los usuarios para mejorar la experiencia de la digitalización industrial tal como el acceso a la información sobre el desempeño en tiempo reducido, que entrega al sistema información

oportuna y precisa acerca del comportamiento de la planta[4], para lo cual se implementan interfaces alojadas en la nube que cuentan con la característica de acceso a múltiples usuarios mediante varios y diferentes tipos de dispositivos inteligentes con conectividad a la red[5][6]. La digitalización de la información para IIoT (Industrial Internet of Things), precisa de una serie de seguridades tanto en nivel de proceso y control como en la nube, dejando de lado la clásica autenticación por contraseña. [7][8] Sin embargo para lograr este cometido es adecuado contar con un background en tecnologías de informática (TI) que conjuguen con tecnologías de operación (TO).

A través del tiempo existe un avance significativo en el internet de las cosas (IoT) lo que provoca que exista un impulso significativo en el número de dispositivos inteligentes que cuentan con acceso a la red y sobre todo enfocadas en el ámbito de la industria (IIoT)[9], como el uso de sensores y actuadores que se integran a la red inalámbricamente sea de forma individual o por medio de un controlador con las características de conectividad a través de un protocolo IEEE802.11/ac [10].

Hasta esta época la investigación en el campo del internet de las cosas se basa en la adquisición y tratamiento de datos, con un punto máximo de almacenamiento de información en la nube [11], estos proyectos en su mayoría son implementados en aplicaciones como: la medicina y la domótica por la flexibilidad que tienen [12]. Pese a esto, en el campo industrial se encuentran problemáticas enlazadas a la seguridad y escalabilidad de sistemas.

Este trabajo busca fomentar en la industria la utilización de AWS el cual estimula la innovación y acelera las estrategias de operación de IIoT ya que están especialmente adecuados para una variedad significativa de datos industriales y dispuesto a ser utilizados para aplicaciones que requieran un tiempo de respuesta no crítico, utilizando los servicios de tecnología en la nube[5]. No obstante, existen investigaciones donde se utiliza el protocolo MQTT para conectividad de los sensores y el administrador de red como Node Red[13]. Debido al enfoque y la rapidez de programación que tiene el software se puede realizar una conexión remota a la red interna, pese a ello se puede destacar desventajas como la inestabilidad y las limitaciones en la escalabilidad que nos ofrece[14]. El servicio de Grafana facilita la visualización de datos transmitidos a través del tiempo, representados en un panorama gráfico, esta herramienta es compatible con Google y Node js, este servicio presenta características industriales, consolidándose como un marco topológico para la visualización de datos en el tiempo [15].

Este artículo está constituido de la siguiente manera, en la primera sección se describe el marco teórico, en la sección dos la metodología, sección tres análisis de resultados y finalmente en la sección cuatro las conclusiones.

2. Metodología

2.1. Termotanque Jobshop

El Jobshop termotanque implementado representa un termotanque de acero inoxidable con capacidad de 30 lts que da la función de modificar la temperatura del fluido a través de combustión indirecta por medio de gas natural, el tanque está constituido por la estructura física, válvula de GLP(Liquefied petroleum gas), válvula de agua, sensor de temperatura, sensor de nivel y quemadores, contando con variables de entrada y salida supervisadas y controladas a través de un HMI(human-machine interface) en Cloud.

El sistema cuenta con un registro o Setpoint para configurar la temperatura del líquido a través del HMI, además, se encuentra los indicadores de nivel y temperatura así como también indicadores de alarmas generadas por posibles fallas que advierte al usuario lo que está pasando, mediante botones virtuales se puede realizar una acción de apagado o encendido del sistema que se transmitirá al PLC(Programmable Logic Controller) y activará los actuadores, para generar una acción a los diferentes objetos presentes en la interfaz y enlazar a AWS, se utilizó la programación por reglas de enrutamiento permitiendo controlar remotamente el sistema.

Tal como se observa en la figura 1.

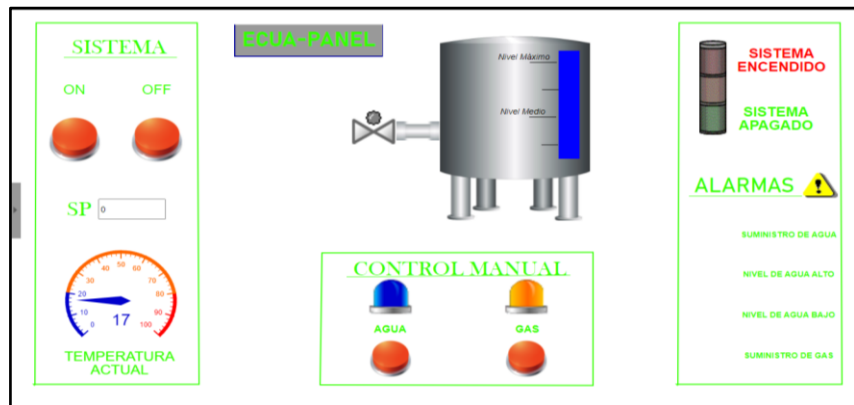


Figura 1. Interfaz HMI alojada en Elastic Bean Stalk de AWS.

2.2 Arquitectura WNCS

La conexión entre el PLC LOGO y los servicios de la nube de AWS se dan a través del puerto 80 y 443, asociando políticas propias de Amazon al objeto registrado como “termotanque” en AWS IOT CORE, el autómatas además de realizar el sistema de control en la planta, funciona como pasarela para la comunicación de las distintas entradas y salidas hacia los servicios web de AWS, este cuenta con puerto Ethernet y un servicio web que puede ser conectado a través de medio físico o WLAN(wireless local area network)[4][17], permitiendo el almacenamiento de variables de proceso en Timestream, para la visualización de estos se utiliza el servicio de Grafana, en caso de generarse una alarma se notifica al cliente por mensajería a través de amazon SNS(Simple Notification Service), ver figura 2.

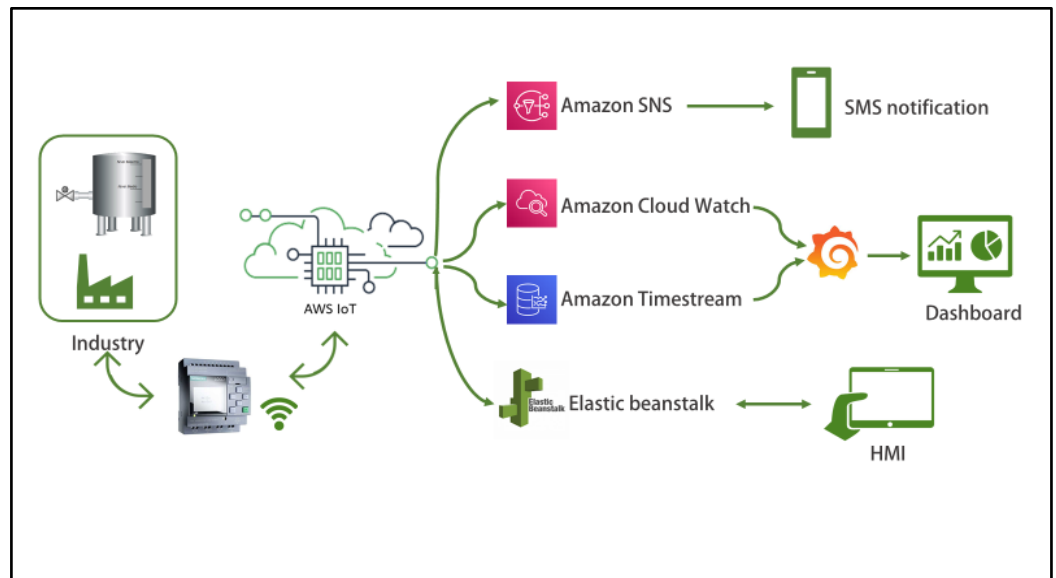


Figura 2. Arquitectura de la red WNCS.

2.3 Grafana

Los datos de temperatura y nivel adquiridos en el termotanque son enviados a la nube previamente procesados por el PLC LOGO, posteriormente son monitoreados y visualizados a través de IoT Core y Grafana respectivamente. Cuando existe fallas en el suministro de agua o gas, se activan las alarmas registrándolas en un histórico, estos datos son almacenados y graficados para obtener una línea de tendencia, presentándola de esta manera al operador, ver figura 3.

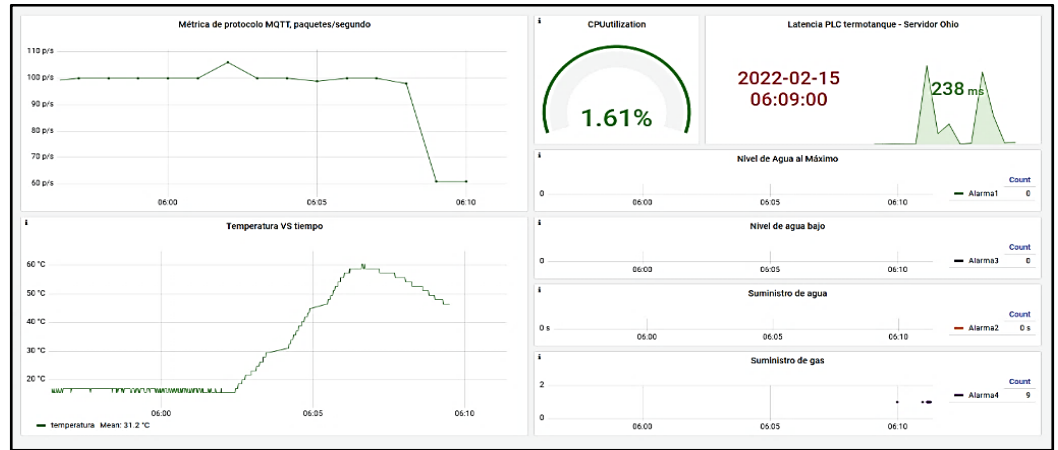


Figura 3. Panel de métricas e histogramas en Grafana.

2.4 IoT Gateway

En la figura 4 se identifica la infraestructura del componente IoT Gateway, el cual permite la comunicación entre el Jobshop y los servicios de nube para la aplicación de internet de las cosas, esto a través del puerto TCP 80 del autómatas. La arquitectura de comunicación entre los dispositivos es publicador/suscriptor con protocolo MQTT, adecuado por su ligereza para comunicación M2M (machine to machine). Dicho protocolo permite interactuar al autómatas con la plataforma AWS enviando mensajes DESIRED / REPORTED.

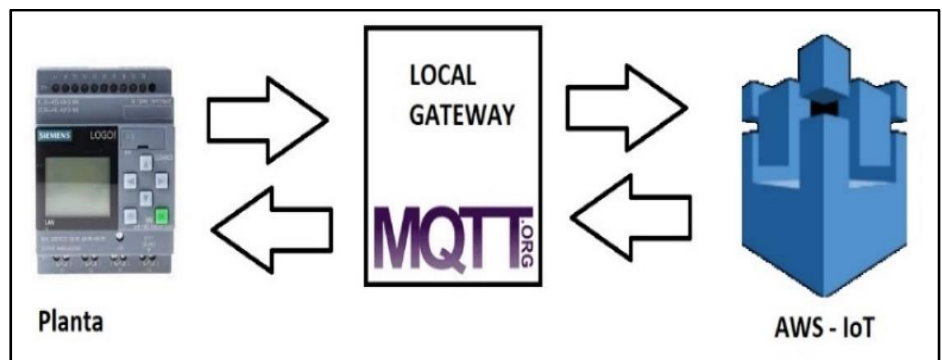


Figura 4. Infraestructura de IoT Gateway.

Se desarrolló un hosting básico en la red, que a través de autenticación permite el acceso al operario para supervisar el comportamiento del sistema y controlar las variables del proceso de forma remota.

3. Resultados

Tras una toma de datos por 96 horas totales y a lo largo de 6 días, se accionó de forma manual fallas intencionales en la válvula de acceso de gas de la planta, de lo cual, según el reporte descargado desde Cloud, especifica que la cantidad de veces que se activó la alarma del suministro de gas fue de 12000 activaciones totales acumuladas tal como se observa en la figura 5.

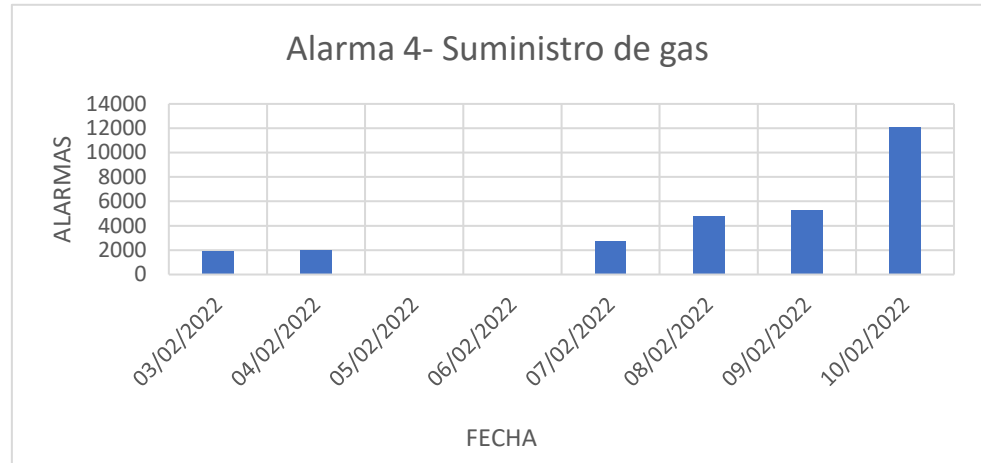


Figura 5. Numero de activaciones diarias de la alarma 4.

En la figura 6 se puede apreciar un reporte diario de la activación de la alarma del suministro de gas, indicando hora y fecha del acontecimiento, los datos fueron tomados del historial en un periodo de 6 días.

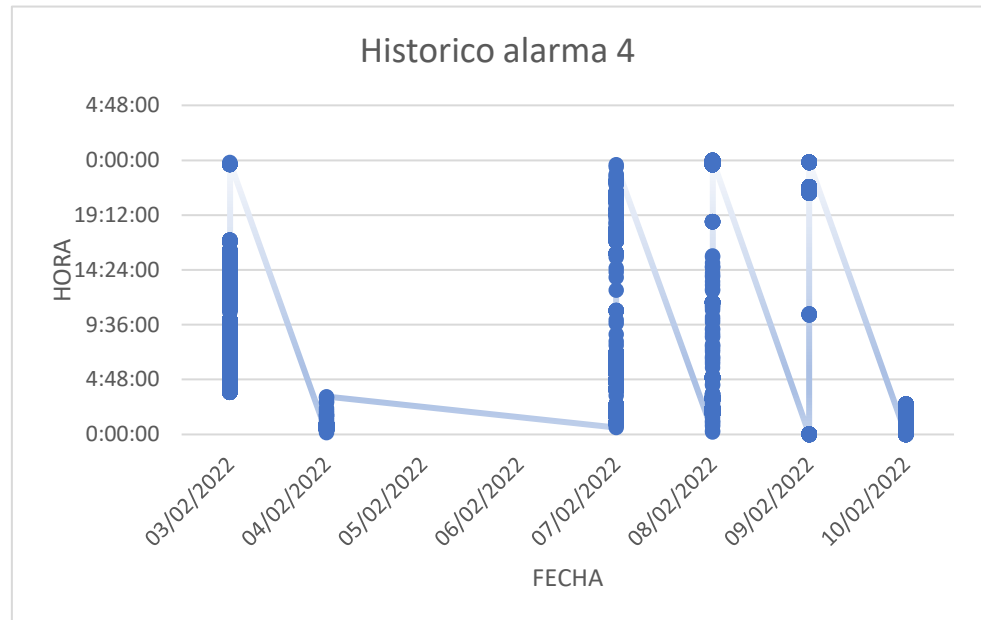


Figura 6. Hora de activación de la alarma 4.

En la figura 7, se pretende representar el costo de los servicios que otorga AWS al tratarse de un Jobshop de laboratorio, esta métrica fue medida durante 10 días de funcionamiento del termotanque, considerando la cantidad de elementos que componen el mismo

detallado en el punto 2.1. El valor total por cancelar es de 7,34 US\$, sin embargo, existe una variabilidad en el accionar del proceso propio de pruebas experimentales, pese a esto, los días 5 y 6 de febrero la planta estuvo desactivada y a pesar de esto se generó un rubro por servicio SLA (Service Level Agreement) de AWS de 0,09 US\$.

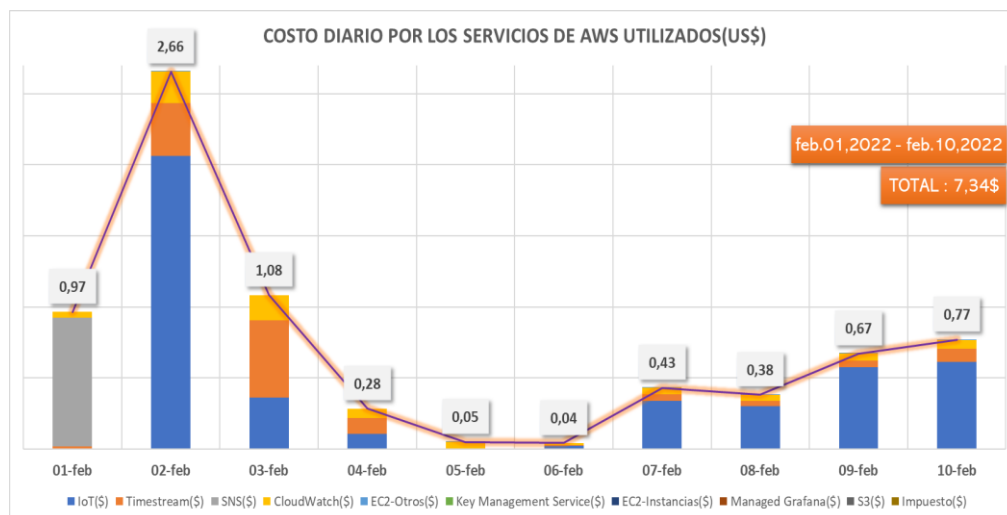


Figura 7. Costo (US\$) diario en función de los recursos utilizados durante el tiempo de muestreo.

El sistema estuvo Operativo durante 3 meses consiguiendo una facturación promedio mensual de 35 US\$.

La figura 8 presenta el valor obtenido de latencia durante 10 días de funcionamiento del termotanque, en esta gráfica se puede apreciar claramente que la latencia oscila entre valores aproximadamente de 120ms a 240ms en el transcurso de las 24 horas del día, estos valores fueron tomados con una conexión promedio de internet de 70mbps proveída por Netlife.

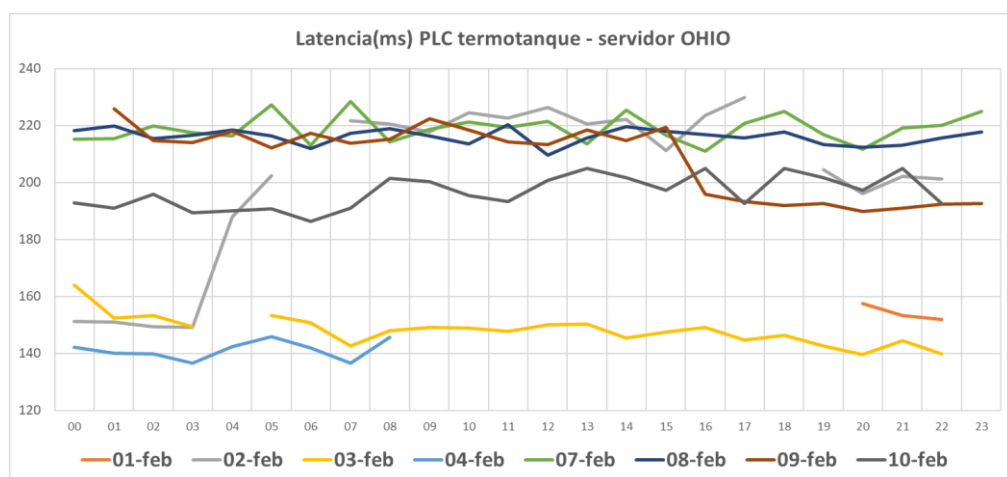


Figura 8. Latencia(ms) tomada desde métricas AWS Cloud Watch

Se debe considerar que estas métricas de latencia sobresalen para sistemas de planificación y control de procesos debido que se supera los 100ms, esto radica, a la distancia entre la planta hasta el servidor en Ohio la cual es de 2794 millas aproximadamente, medidos a

través de arco de círculo máximo. Estos valores de latencia podrían reducirse si la planta estuviera operando de forma regional al servidor AWS de Ohio.

5. Conclusiones

- Se logro desarrollar un sistema IIoT que permite controlar, monitorear y notificar al usuario el estado actual del termotanque, a través de servicios web AWS de Amazon, conectando a la planta ubicada en Quito - Ecuador con el servidor dispuesto en Ohio – USA.
- El costo promedio que Ecuapanel tendrá que cancelar por implementar este sistema IIoT en los diferentes productos que elabora es de 35 US\$ mensuales por cada planta, valores que permiten la ejecución y correcto funcionamiento del sistema.
- Se pudo evidenciar el costo que genera el sistema cuando la planta termotanque este desactivada, siendo este en promedio de 0,05 US\$, valor que se debe considerar en función de las horas tentativas de uso diario de cada estación.
- El sistema al estar conectado al servidor de Ohio, el cual presenta menor latencia entre los servidores dispuestos por Amazon AWS, presenta un promedio de latencia de 200ms con lo que se considera al sistema ideal para planificación y control de procesos.[18]

Referencias

- [1] P. Zhang, Y. Wu, and H. Zhu, "Open ecosystem for future industrial internet of things (IIoT): Architecture and application," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.17775/CSEEJPES.2019.01810.
- [2] E. Elmroth, P. Leitner, S. Schulte, and S. Venugopal, "Connecting Fog and Cloud Computing," *IEEE Cloud Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 22–25, 2017, doi: 10.1109/MCC.2017.29.
- [3] P. Nguyen-Hoang and P. Vo-Tan, "Development an Open-Source Industrial IoT Gateway," *Proc. - 2019 19th Int. Symp. Commun. Inf. Technol. Isc. 2019*, pp. 201–204, 2019, doi: 10.1109/ISCIT.2019.8905157.
- [4] W. Kim and M. Sung, "Poster abstract: OPC-UA communication framework for PLC-based industrial IoT applications," *Proc. - 2017 IEEE/ACM 2nd Int. Conf. Internet-of-Things Des. Implementation, IoTDI 2017 (part CPS Week)*, pp. 327–328, 2017, doi: 10.1145/3054977.3057305.
- [5] J. Waterman, H. Yang, and F. Muheidat, "AWS IoT and the Interconnected World - Aging in Place," *Proc. - 2020 Int. Conf. Comput. Sci. Comput. Intell. CSCI 2020*, pp. 1126–1129, 2020, doi: 10.1109/CSCI51800.2020.00209.
- [6] N. Imtiaz Jaya and M. F. Hossain, "A Prototype Air Flow Control System for Home Automation Using MQTT over Websocket in AWS IoT Core," *Proc. - 2018 Int. Conf. Cyber-Enabled Distrib. Comput. Knowl. Discov. CyberC 2018*, pp. 111–117, 2019, doi: 10.1109/CyberC.2018.00032.
- [7] L. Moroney, "The Definitive Guide to Firebase: Build Android Apps on Google's Mobile Platform," *Defin. Guid. to db4o*, pp. 1–25, 2017.
- [8] A. S. Muhammed and D. Ucuz, "Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives," *8th Int. Symp. Digit. Forensics Secur. ISDFS 2020*, 2020, doi: 10.1109/ISDFS49300.2020.9116254.
- [9] D. Q. G. Shulphqw *et al.*, "Qgxvwuldo ,Qwhuqhw Ri 7Klqv 0Xowl 3Urwrfro &Rqyhujhqfh *Dwhzd \ 5Hvhdufk Dqg ([Shulphqw," pp. 5155–5160, 2020.
- [10] H. Kathiriya, A. Pandya, V. Dubay, and A. Bavarva, "State of Art: Energy Efficient Protocols for Self-Powered Wireless Sensor Network in IIoT to Support Industry 4.0," *ICRITO 2020 - IEEE 8th Int. Conf. Reliab. Infocom*

Technol. Optim. (Trends Futur. Dir., pp. 1311–1314, 2020, doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9198036.

- [11] Y. Wu, H. N. Dai, and H. Wang, “Convergence of Blockchain and Edge Computing for Secure and Scalable IIoT Critical Infrastructures in Industry 4.0,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 4, pp. 2300–2317, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3025916.
- [12] C. Sun, K. Guo, Z. Xu, J. Ma, and D. Hu, “Design and Development of Modbus/MQTT Gateway for Industrial IoT Cloud Applications Using Raspberry Pi,” *Proc. - 2019 Chinese Autom. Congr. CAC 2019*, pp. 2267–2271, 2019, doi: 10.1109/CAC48633.2019.8997492.
- [13] M. Mahbub, M. A. Rouf, and M. M. Saym, “Industrial Plant Environment Surveillance and Safety Assurance System Based on IoT,” *2020 2nd Int. Conf. Sustain. Technol. Ind. 4.0, STI 2020*, vol. 0, pp. 19–20, 2020, doi: 10.1109/STI50764.2020.9350465.
- [14] I. Sánchez Salazar, K. Sánchez Quinche, E. Flores Moran, J. Barzola-Monteses, and C. Guzmán Real, *Sistema domótico empleando RASPBERRY PI y ARDUINO para el monitoreo automatizado de parqueaderos*. 2018.
- [15] H. T. Wu *et al.*, “The implementation of wireless industrial internet of things (IIoT) based upon IEEE 802.15.4-2015 TSCH access mode,” *Proc. - IEEE 17th Int. Conf. Dependable, Auton. Secur. Comput. IEEE 17th Int. Conf. Pervasive Intell. Comput. IEEE 5th Int. Conf. Cloud Big Data Comput. 4th Cyber Sci. Technol. Congr. DASC-PiCom-CBD-Com-CyberSciTech 2019*, pp. 367–369, 2019, doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00075.
- [16] M. Ortiz, “Desarrollo de una red de sensores inalámbricos Utilizando tecnología lora para el monitoreo de un sistema,” *Tesis*, p. 30, 2020, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [17] D. H. Kang *et al.*, “Room Temperature Control and Fire Alarm/Suppression IoT Service Using MQTT on AWS,” *2017 Int. Conf. Platf. Technol. Serv. PlatCon 2017 - Proc.*, 2017, doi: 10.1109/PlatCon.2017.7883724.
- [18] (J. Mustafa, K. Sandström, N. Ericsson, and L. Rizvanovic, “Analyzing availability and QoS of service-oriented cloud for industrial IoT applications,” *IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA*, vol. 2019-Septe, pp. 1403–1406, 2019, doi: 10.1109/ETFA.2019.8869274.)