Memorias del 2023 Congreso Nacional de Control Automático
25-27 de Octubre, 2023. Acapulco, Guerrero, México.
Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

# Design and Application of a SCADA-IoT Platform for Monitoring a Raw Water Distribution Network

**Rafael Miranda** * **Jesús D. Avilés** *
**J. Francisco Flores-Resendiz** * **Claudia L. Márquez** *
**Rigoberto Martínez** * **Jesús Morales** ** **Guillermo Becerra** ***

* *Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Administrativas y Sociales, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universidad No. 1, San Fernando, C.P. 21460, Tecate B.C., México*
** *Colegio de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Calzada Ermita Iztapalapa No. 4163, Col. Lomas de Zaragoza, C.P. 09620, CDMX, México.*
*** *CONAHCYT - Universidad Autónoma del Estado del Quintana Roo, Blvd. Bahía S/N, Col. del Bosque, C.P. 77019, Chetumal, Quintana Roo, México*

Resumen This paper presents the design and application of a SCADA-IoT (Supervisory Control and Data Acquisition-Internet of Things) platform for monitoring an hydraulic system which simulates the operation of the raw water distribution network in the municipality of Tecate, Baja California (B.C.), Mexico. Based on the design and construction of an academic prototype, which represents the called *Las Auras-Nopalera-Cuchumá* hydraulic system, we analize the behaviour of physical variables and the integration of hardware and software components with Industry 4.0 in order to develop on-field applications using the LOGO! Web Editor software from Siemens, and cloud applications using the open source Node-RED IoT platform. Experimental results illustrate the efectiveness of the proposed prototype which retrieves level, pressure, caudal and pH real-time values as well as some signals from actuators.

*Keywords:* Hydraulic system, IoT (Internet of Things), Node-RED, LOGO! Siemens, SCADA.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) proporcionan esquemas de monitoreo y control, tanto locales como remotos, de los procesos industriales en tiempo real con la finalidad de alcanzar una operación segura y confiable. Estos sistemas ayudan a prevenir fallas o eventos críticos que puedan afectar significativamente la productividad de las compañías (Penin, 2011; McCrady, 2013; Manoj, 2019; Upadhyay and Sampalli, 2020; Bhamare et al., 2020). Tales sistemas son constituidos por componentes industriales de hardware y software, los cuales incluyen principalmente a sensores-actuadores, instalados en campo, que envían-reciben información de Controladores Lógicos Programables (PLCs), Unidades de Terminal Remota (RTUs) y Dispositivos Electrónicos Inteligentes (DEIs) (Penin, 2011; Yadav and Paul, 2021; Huda et al., 2018; Phuyal et al., 2020). Alrededor del mundo, existe una gran diversidad de aplicaciones de los sistemas SCADA en el sector manufacturero, en la industria farmacéutica, en redes de tuberías de agua-gas-aceite, en plantas petroquímicas, en plantas de generación y transmisión de energía eléctrica, entre otras (Yang et al., 2013; Pérez-López, 2015; Pliatsios et al., 2020; Yadav and Paul, 2021).

Por otro lado, el concepto de IoT (Internet of Things), introducido por Kevin Ashton en 1999 (Gokhale et al., 2018), establece que una gran cantidad de dispositivos (sensores, microcontroladores, actuadores, vehículos, teléfonos celulares, etc.) pueden ser conectados a redes de comunicación para intercambiar y almacenar información de interés, teniendo como ventajas principales la reducción de costos en las aplicaciones y la integración de eco-sistemas fiables. (Da Xu et al., 2014; Liao et al., 2018; Serror et al., 2020). En general, las plataformas de IoT son desarrolladas por medio de: (i) redes TCP/IP, tales como Intranet, Internet, WiFi, y/o redes móviles, y (ii) protocolos de comunicación, por ejemplo, MQTT (Message Queuing and Telemetry Transport) y JSON (JavaScript Object Notation) (Jaloudi, 2019). En los últimos años, las plataformas IoT han sido aplicadas a procesos industriales, extendiendo su concepto original al denominado IIoT (Industrial Internet of Things) (Liao et al.,

2018; Abuhasel and Khan, 2020). Es así que IIoT ahora está relacionado al uso de dispositivos industriales que tienen entornos de redes de comunicación, principalmente inalámbricas, que prometen apoyar en la toma de decisión en los diversos niveles laborales de las compañías. El IIoT representa una tecnología emergente que soporta a la cuarta revolución industrial o a la denominada Industria 4.0 (I4.0). Recientemente, las ventajas principales y los aspectos técnicos, como los protocolos de comunicación, de las plataformas SCADA - IoT han sido combinados para tener información esencial disponible en cualquier momento, tanto en campo, donde están localizados los procesos, como de forma virtual a través del uso de las redes comunicación (Sajid et al., 2016; Jaloudi, 2019; Qays et al., 2022; Omidi et al., 2023).

En este trabajo se propone el diseño y aplicación de una plataforma SCADA-IoT para monitorear un sistema hidráulico que emula la operación de la red hídrica de distribución de agua cruda en el municipio de Tecate, en el Estado de Baja California (B.C), en México. Para lograr esto, se diseña y construye un prototipo académico, que representa el sistema hidráulico denominado *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*. El objetivo es analizar las variables involucradas y el tipo de tecnología en componentes de software y hardware vinculadas con la I4.0, a fin de desarrollar aplicaciones en campo utilizando el software Logo Web Editor de la marca Siemens y en el internet-nube con la plataforma IoT de Node-RED (Sicari et al., 2019). Los resultados experimentales confirman la efectividad de la plataforma desarrollada, mostrando las variables de nivel, presión, caudal y pH, así como algunas señales de actuadores.

La organización de las siguientes secciones está dada como sigue. El planteamiento del problema se presenta en la Sección 2, mientras que el diseño del prototipo se expone en la Sección 3. Los resultados del diseño de una plataforma SCADA-IoT, basada en los controladores y software de la marca Siemens en combinación con el plataforma Node-RED, se muestra en la Sección 4. Finalmente, se proporciona las conclusiones de este trabajo en la Sección 5.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El vital líquido que se consume en el Estado de Baja California, zona Noroeste de México, proviene de los afluentes del Río Colorado, siendo transportado en una tubería de 150 kilómetros del Acueducto del Río Colorado a Tijuana, operado con seis plantas de bombeo de altas capacidades, y distribuido a cinco municipios pertenecientes a esta entidad: Mexicali, Tecate, Tijuana, Rosarito y Ensenada. En el municipio de Tecate, el líquido es primeramente llevado a la presa conocida como *Las Auras*, la cual tiene una capacidad 5,000,000 de metros cúbicos, suficientes para abastecer la demanda promedio de la ciudad de Tecate en un periodo de seis meses secuenciales en caso de no ser abastecida por el acueducto en mención. Posteriormente, el agua cruda (denominada así porque no es potable) es conducida por gravedad a dos potabilizadoras, *Nopalera* y *Cuchumá*, las cuales entregan en promedio 280 y 90 litros de agua potable por segundo, respectivamente, que son almacenados en tanques de regulación de 5,000 y 1,000 metros cúbicos para proceder con el abastecimiento de la población.

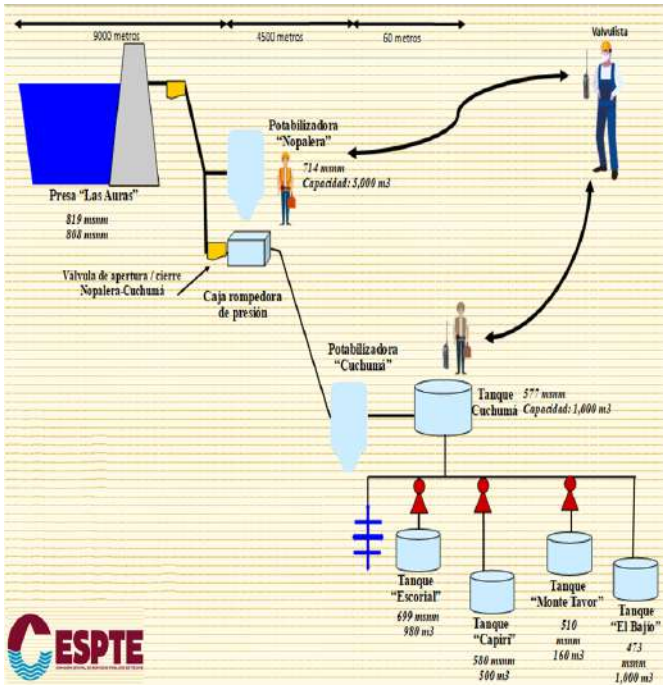


Figura 1. Sistema de red hídrica *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*.

En la Figura 1, se observa que las plantas potabilizadoras *Nopalera* y *Cuchumá*, con sus respectivos tanques de regulación, se encuentran localizadas a una distancia lineal de 4.5 kilómetros y ambas son alimentadas directamente por tubería, de 12 y 8 pulgadas de diámetro, proveniente de la presa Las Auras. De hecho, esta distancia entre las plantas potabilizadoras se incrementa hasta 6.2 kilómetros porque las tuberías pasan por debajo de las calles, tomando rutas más prolongadas.

Figura 2. Ruta de la tubería de la potabilizadora Nopalera a la de Cuchumá. Azul: tubería de 12 pulgadas. Cyan: tubería de 8 pulgadas.


Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

En la Figura 2, se muestra el trayecto de la tubería de la ramificación que está localizada en el tanque de almacenamiento *Nopalera* al tanque *Cuchumá*.

Debido a que la red hídrica de la Ciudad de Tecate no ha sido modernizada en más de 20 años, su operación es manual, involucrando a personal de cada planta en la apertura y cierre de válvulas y a un operador dedicado de forma exclusiva a la toma de decisión sobre el monitoreo/control del flujo hacia las plantas. Por consecuencia, en este trabajo se presenta una alternativa para monitorear la operación de las plantas potabilizadoras en tiempo real, con el desarrollo de una plataforma SCADA-IoT, analizada e implementada en un prototipo académico.

## 3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección, se presenta el diseño y construcción del prototipo que emula el funcionamiento de la red hídrica de la Ciudad de Tecate B.C., centrado en la operación entre la presa *Las Auras* y los tanques de regulación de las potabilizadoras *Nopalera y Cuchumá*.

### *3.1 Diseño del prototipo*

Motivados por automatizar el sistema hidráulico *Las Auras - Nopalera - Cuchumá* de la red de distribución de agua cruda de la ciudad Tecate B.C, se propone desarrollar un prototipo académico con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables involucradas en tal sistema, la integración de componentes (sensores, actuadores, PLCs) de la Industria 4.0, y la monitorización de mediciones y actuadores mediante la aplicación de las plataformas SCADA - IoT.

La propuesta del prototipo considera la integración de tres contenedores, los cuales están asociados a la presa *Las Auras* y a los dos tanques de almacenamiento de las potabilizadoras *Nopalera y Cuchumá*, respectivamente. Para representar el flujo que pasa por la tubería de la presa a los dos tanques de las potabilizadoras, se considera el uso de una bomba hidráulica con potencia de 1/2 HP y con tubería galvanizada de diámetro 3/4 de pulgada, que conecta el depósito de *Las Auras* con los dos contenedores de las potabilizadoras. En las Figuras 3, se ilustra el diseño mecánico del prototipo académico, el cual fue realizado en el software SolidWorks.

Cabe mencionar que el prototipo puede ser utilizado para otro tipo de estudios, como el análisis matemático de dos tanques en cascada usando la Teoría de control, ya que se consideró la conexión de tubería entre la válvula de salida del contenedor de la Nopalera a la entrada del contenedor Cuchumá.

La Tabla 1 describe los valores de los elementos mecánicos considerados en el prototipo del sistema hidráulico *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*.

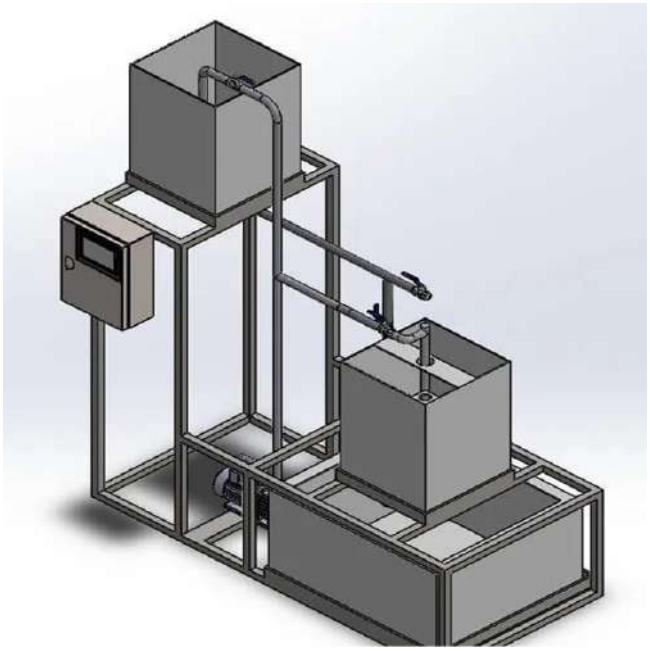

Figura 3. Propuesta del prototipo del sistema hidráulico *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*.

Tabla 1. Elementos del prototipo.

| **Elementos** | **Valores** |
|---|---|
| Contenedores de potabilizadoras ($40cm \times 40cm \times 55cm$) | $0.088\ m^3$ |
| Contenedor presa ($70cm \times 80cm \times 40cm$) | $0.224\ m^3$ |
| Dos válvulas de esfera con palanca | 3/4 ” |
| Tubería galvanizada | 3/4 ” |
| Perfil estructural PTR (calibre 18) | 1 1/2” × 1 1/2 ” |
| Bomba hidráulica con alimentación trifásica | 1/2 HP |

### *3.2 Construcción del prototipo*

La construcción del prototipo del sistema *Las Auras-Nopalera-Cuchumá* fue desarrollado en tres diferentes fases, requiriendo en total un tiempo de cuatro meses.

**Primera fase.** En esta fase, los tres contenedores fueron construidos con placas de acero con un espesor de $1.90\,mm$, y usando soldadura por arco apoyado de electrodos 6011. Además, la estructura del prototipo, que soporta a los contenedores, está hecha de perfiles estructurales PTR de 1 1/2” × 1 1/2 ” de calibre 18. En la figura 4 se observa el prototipo construido en su primera fase.

**Segunda fase.** Se dio paso a mejorar la presentación el prototipo, pintando los contenedores de color blanco en su exterior, y en su interior con pintura especial epóxica para evitar oxidación de las placas metálicas. Asimismo, la estructura fue pintada de color gris (ver Figura 5). Finalmente, se instaló la tubería que conecta a los tres contenedores.


Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

Figura 4. Prototipo culminado en la primera fase.

Figura 5. Prototipo desarrollado en su segunda fase.

**Tercera fase.** Esta consistió en el equipamiento del prototipo. Se instalaron sensores de nivel, presión, caudal y pH para cada tanque, así como PLCs, electroválvulas ON/OFF, una válvula proporcional (analógica), una bomba hidráulica con alimentación trifásica, tres tableros de control, dos cajas de luces indicadoras de nivel (ver Figura 6). La mayor parte de elementos en el prototipo, también pueden ser implementados en campo, en la red hídrica de distribución de agua cruda de Tecate B.C. En las Tablas 2 y 3 se especifican los componentes instalados para cada tanque, con la finalidad de emular la operación automática del sistema hidráulico en mención.

Tabla 2. Equipamiento para el contenedor *Cuchumá*.

| No. | Elementos |
|---|---|
| 2 | PLCs LOGO! marca Siemens V8.3. |
| 1 | módulo de expansión de entradas analógicas marca Siemens mod. AM2. |
| 1 | Electroválvula DN25 de 3/4", con alim. 24 $V$. |
| 1 | Sensor de nivel hidrostático QDY60A con display LCD, de 4-20 $mA$ y 0-5 $m$. |
| 1 | Sensor de nivel sonar Siemens mod. SITRANS LU150 de 4-20 $mA$, y de rango de 0-5 $m$. |
| 1 | Sensor de presión mod. 2088 con display LCD, de 0-100 MPa, 4-20 $mA$. |
| 1 | Sensor de pH modelo 4502C con electrodo E201-BNC. Rango de detección 0-14 (acido/base). |
| 1 | Caudalímetro YF-B1 de 4-20 $mA$, de 1-30 $L/min$. |
| 1 | Caja de 4 luces piloto. |
| 1 | Tablero de control tipo industrial de 25 $cm \times 30$ $cm$. |

Tabla 3. Equipamiento para el contenedor *Nopalera*.

| No. | Elementos |
|---|---|
| 2 | PLCs LOGO! marca Siemens V8.3. |
| 1 | módulo de expansión de salidas analógicas marca Siemens mod. AM2 AQ. |
| 1 | válvula ON/OFF motorizada DN25 de 3/4", con alimentación de 24 $V$. |
| 1 | válvula de esfera proporcional DN25 de 3/4", con alimentación 24 $V$, de 4-20 $mA$. |
| 1 | Sensor de nivel hidrostático QDY60A de 4-20 $mA$ y 0-5 $m$. |
| 1 | Sensor de presión mod. 2088, de 0-100 MPa, 4-20 $mA$. |
| 1 | Sensor de pH modelo 4502C con electrodo E201-BNC. Rango de detección 0-14 (acido/base). |
| 1 | Caudalímetro YF-B1 de 4-20 $mA$, de 1-30 $L/min$. |
| 1 | Caja de 4 luces piloto. |
| 1 | Bomba hidráulica WEG de 1/2 HP con alim. trifásica. |
| 1 | Guardamotor ABB para motor trifásico mod. MS116. |
| 1 | Contactor trifásico Allen Bradley K09 de 1/2 HP, con alim. 120 VAC. |
| 1 | Relevador de sobrecarga 1/2 HP. |
| 1 | Tablero de control tipo industrial de 25 $cm \times 30$ $cm$. |
| 1 | Tablero de control Siemens de 25 $cm \times 30$ $cm$. |
| 2 | Botones de arranque y paro de emergencia. |
| 2 | Luces piloto de 120 VAC para activ. de motor. |

## 4. APLICACIÓN DE SCADA-IOT EN PROTOTIPO

Para monitorear el comportamiento de las variables del prototipo, se diseñó y aplicó una plataforma SCADA-IoT soportada por el software LOGO! Web Editor (LWE) V1.1.0 de Siemens y Node-RED de IBM, el cual utiliza


Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

Figura 6. Prototipo finalizado en su tercera fase.

el protocolo de comunicación MQTT (Chanthakit and Rattanapoka, 2018). En particular, el software LWE proporciona un SCADA para visualizar la información de interés de forma local, y Node-RED es una plataforma IoT de código abierto basada en programación de nodos, la cual puede ser puesta en alguna nube de cómputo y controlar datos por red.

Primeramente, se realizó la adquisición y control de datos usando los PLCs LOGO!, a partir de la información proporcionada por los diferentes sensores, válvulas, luces piloto, módulos de entradas y salidas analógicas, y botones de arranque y paro. Para cada tanque de las potabilizadoras, dos PLCs LOGO! son conectados en red interna, y programados en el software LOGO!Soft Comfort a través de entornos de diagramas de funciones. Posteriormente, se diseñaron las plantillas SCADA de cada tanque en el software LWE, mostrando el comportamiento de las variables de presión, caudal, acidez, de las luces piloto que indican el porcentaje de llenado de los tanques de las potabilizadoras, y finalmente la activación y descripción de las válvulas.

En la Figura 7, se muestra la plantilla SCADA del tanque *Nopalera* del prototipo; del lado izquierdo se observa la bomba hidráulica que emula el comportamiento de flujo de la presa *Las Auras* a la potabilizadora *Nopalera*, del lado derecho el nivel del tanque de regulación, y en la parte inferior los valores de los sensores.

Para establecer una plataforma IoT basada en el entorno de Node-RED, se agregaron un switch industrial y un equipo de cómputo por cada tanque de las potabilizadoras. Asimismo, se instaló Node-RED en las computadoras

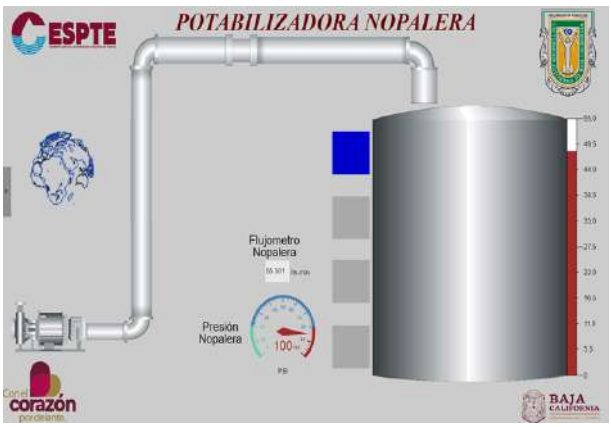


Figura 7. SCADA de planta Nopalera en LWE.

y en una cuenta de Google Cloud, y se direccionaron las variables de programación de LOGO!Soft Comfort a tal entorno para tener acceso local y remoto a lecturas de los sensores, válvulas y luces piloto. Finalmente, se adquirió un dominio DNS de Google para visualizar la información de los tableros o Dashboard de las plantas potabilizadoras.

En la Figura 8, se ilustra la monitorización de las variables de los sensores de la planta Cuchumá, así como de las luces piloto del nivel del contenedor desde cualquier punto remoto. También, en este mismo portal se tiene acceso a la información de la planta *Nopalera*.

## 5. CONCLUSIONES

En este artículo se desarrolló la aplicación de una plataforma SCADA-IoT para proporcionar una solución de monitorización a la red hídrica de distribución de agua cruda en el municipio de Tecate, del Estado de Baja California (B.C), en México, a partir del diseño y construcción de un prototipo académico de un sistema hidráulico denominado *Las Auras-Nopalera-Cuchumá*. Basado en el software de LOGO! Web Editor y la herramienta de programación Node-RED, se pueden visualizar las variables de nivel, presión, caudal y acidez, así como algunas señales de actuadores de forma local y remota.

Como trabajo futuro, se espera automatizar el proceso hídrico mediante la implementación de un controlador Proporcional Integral en la plataforma del IoT, ya que la válvula de apertura/cierre del tanque *Cuchumá* está localizada en las cercanías de la Planta *Nopalera*. Además, se estudiarán diferentes técnicas de control en el prototipo desarrollado.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento especial a la FCIAS-UABC por el apoyo recibido para realizar el proyecto de SICASPI 501/3427. Agradecemos a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate (CESPTE) por compartirnos información para el desarrollo del proyecto. Asimismo,


Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

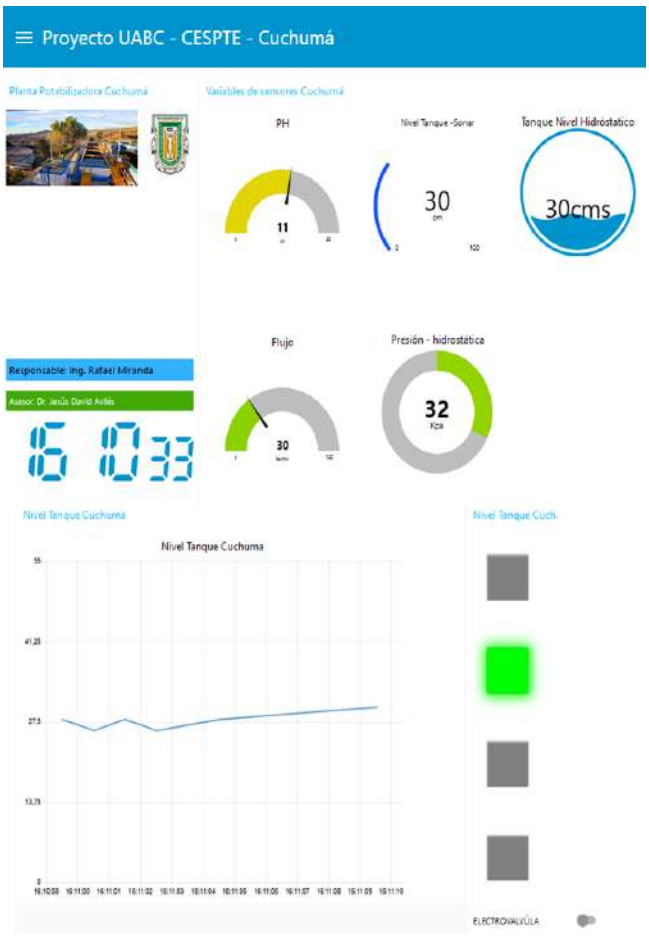


Figura 8. Pantalla del Dashboard de planta Cuchumá en Node-RED.

Jesús Morales agradece al proyecto UACM CCYT-2023-INI-02.

## REFERENCIAS

Abuhasel, K.A. and Khan, M.A. (2020). A secure industrial internet of things (iiot) framework for resource management in smart manufacturing. *IEEE Access*, 8, 117354–117364.

Bhamare, D., Zolanvari, M., Erbad, A., Jain, R., Khan, K., and Meskin, N. (2020). Cybersecurity for industrial control systems: A survey. *computers & security*, 89, 101677.

Chanthakit, S. and Rattanapoka, C. (2018). Mqtt based air quality monitoring system using node mcu and node-red. In *2018 Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, 1–5. IEEE.

Da Xu, L., He, W., and Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4), 2233–2243.

Gokhale, P., Bhat, O., and Bhat, S. (2018). Introduction to iot. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(1), 41–44.

Huda, S., Yearwood, J., Hassan, M.M., and Almogren, A. (2018). Securing the operations in scada-iot platform based industrial control system using ensemble of deep belief networks. *Applied soft computing*, 71, 66–77.

Jaloudi, S. (2019). Communication protocols of an industrial internet of things environment: A comparative study. *Future Internet*, 11(3), 66.

Liao, Y., Loures, E.d.F.R., and Deschamps, F. (2018). Industrial internet of things: A systematic literature review and insights. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4515–4525.

Manoj, K. (2019). *Industrial automation with SCADA: concepts, communications and security*. Notion Press.

McCrady, S.G. (2013). *Designing SCADA application software: a practical approach*. Elsevier.

Omidi, S.A., Baig, M.J.A., and Iqbal, M.T. (2023). Design and implementation of node-red based open-source scada architecture for a hybrid power system. *Energies*, 16(5), 2092.

Penin, A.R. (2011). *Sistemas Scada*. Marcombo.

Pérez-López, E. (2015). Los sistemas scada en la automatización industrial. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), ág–3.

Phuyal, S., Bista, D., Izykowski, J., and Bista, R. (2020). Design and implementation of cost efficient scada system for industrial automation. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 10(2), 15.

Pliatsios, D., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., and Sarigiannidis, A.G. (2020). A survey on scada systems: secure protocols, incidents, threats and tactics. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3), 1942–1976.

Qays, M.O., Ahmed, M.M., Parvez Mahmud, M., Abu-Siada, A., Muyeen, S., Hossain, M.L., Yasmin, F., and Rahman, M.M. (2022). Monitoring of renewable energy systems by iot-aided scada system. *Energy Science & Engineering*, 10(6), 1874–1885.

Sajid, A., Abbas, H., and Saleem, K. (2016). Cloud-assisted iot-based scada systems security: A review of the state of the art and future challenges. *IEEE Access*, 4, 1375–1384.

Serror, M., Hack, S., Henze, M., Schuba, M., and Wehrle, K. (2020). Challenges and opportunities in securing the industrial internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(5), 2985–2996.

Sicari, S., Rizzardi, A., and Coen-Porisini, A. (2019). Smart transport and logistics: A node-red implementation. *Internet Technology Letters*, 2(2), e88.

Upadhyay, D. and Sampalli, S. (2020). Scada (supervisory control and data acquisition) systems: Vulnerability assessment and security recommendations. *Computers & Security*, 89, 101666.

Yadav, G. and Paul, K. (2021). Architecture and security of scada systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 34, 100433.

Yang, W., Court, R., and Jiang, J. (2013). Wind turbine condition monitoring by the approach of scada data analysis. *Renewable energy*, 53, 365–376.


Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492