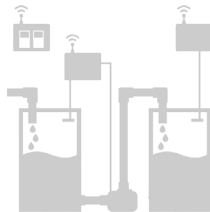


Desarrollo de prototipo SCADA para controlar el nivel de agua en dos contenedores de agua



Colaboración

Hugo Rojas Salgado; Eloy Cadena Mendoza; Juan Miguel Hernández Bravo; José Antonio Montero Valverde, Instituto Tecnológico de Acapulco

RESUMEN: La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), organismo que se encarga de procesar y llevar el agua potable a los habitantes del municipio de Acapulco, estima que del 100% de agua potable que se almacena en los tanques de almacenamiento y distribución, el 70% del agua se pierde por derrame en el contenedor y por fugas, debido a que no cuentan con un sistema de supervisión y control de bombas de agua eficiente, tal motivo nos ha impulsado a desarrollar y proponer un sistema prototipo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) orientado al Internet de las Cosas, con la intención de formalizar y fundamentar la base para que en un futuro CAPAMA pueda apoyarse en él, para aplicarlo en sus tanques de agua reales, por lo que el prototipo simula la adquisición en tiempo real de los niveles de agua en los contenedores, así como también el control de la bomba de agua. Dado que por definición los sistemas SCADA se consideran como un software para el acceso de datos remotos y que por sus características son ampliamente utilizados en la industria de la automatización para la adquisición de datos, por lo que en el presente artículo se aborda el desarrollo de un sistema SCADA utilizando componentes orientados al Internet de las Cosas.

PALABRAS CLAVE: HTML5, Interfaz gráfica, MQTT, SCADA, Sensor ultrasónico, Aplicación de una Sola Página, Tiempo real.

ABSTRACT: The Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), an organism that is responsible for processing and bringing drinking water to the inhabitants of the municipality of Acapulco, estimates that of 100% of potable water that is stored in the storage tanks and distribution, 70% of the water is lost by spill in the container and by leakage, because they do not have a system of supervision and control of efficient water pumps, this motive has driven us to develop and to propose a system prototype of Supervision, Control and Data Acquisition (SCADA) oriented to the Internet of things, with the intention to formalize and base the foundation so that in a future CAPAMA can be supported in it, to apply it in their real water tanks, so the prototype simulates the acquisition in times Of the water levels in the containers as well as the control of the water pump. Since SCADA systems are defined by definition as a software for remote data access and which by their characteristics are widely used in the automation industry for data acquisition, so this article addresses the development of a SCADA system using components oriented to the Internet of things.

KEYWORDS: HTML5, Graphic interface, MQTT, SCADA, Ultrasonic sensor, Single Page Application, Real time.

INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se aborda el desarrollo de un prototipo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), que es un software para acceder a datos remotos a través de componentes electrónicos de automatización, para visualizar información en tiempo real de sensores y actuadores. El proyecto se propone a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA) paraestatal del estado de Guerrero encargada de distribuir y proveer agua potable a los ciudadanos del municipio de Acapulco, con el objetivo de medir, supervisar y controlar los niveles de agua en dos contenedores que simulan ser los tanques de almacenamiento y distribución, debido a que en la actualidad registran pérdidas de agua potable muy significativas, por lo que para el desarrollo se pretende utilizar componentes de bajo costo y orientados al "hardware libre", así como también software de desarrollo de "código libre", para que en

futuro pueda utilizarse en las instalaciones de sus tanques de agua reales y pueda sobre todo evitar pérdidas de agua.

ANTECEDENTES

En el año de 1993 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) designó el 22 de marzo como el día mundial del agua, con la finalidad de difundir cada año un mensaje de concientización para la conservación y el correcto uso del agua en todo el mundo, para el año 2018, adopta un lema que lleva por nombre "Naturaleza para el agua" con el objetivo de promover investigaciones y acciones que exploran las diferentes formas en las que la naturaleza puede ayudar a la población a enfrentar los desafíos en materia del agua en el siglo XXI [1].

Por lo que en el año 2018 en México y con la finalidad de tener un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, se aplica el Plan Nacional Hídrico, en el cual uno de los objetivos dice "Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector" [1].

El último estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), titulado: "Gobernanza del agua en las ciudades" [2], informa que México tiene 8 ciudades de 42 ciudades encuestadas, que representan los más altos índices de desperdicio de agua, entre ellos Acapulco por el elevado porcentaje de pérdida de agua por la contaminación, infraestructura deficiente y obsoleta.

En el municipio de Acapulco el organismo encargado de procesar y llevar el agua potable a sus habitantes, además de subsanar el alcantarillado es la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA). [3]

En CAPAMA alrededor del año 2002 se implementó por patrocinio de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Comisión de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero (CAPASEG) un sistema denominado SCADA del inglés Supervisory, Control and Data Acquisition y traducido al español como Supervisión, Control y Adquisición de Datos, en alrededor de 53 sitios de tanques distribuidos en todo el municipio de Acapulco, pero de esa fecha a la actual, el paso del tiempo ha generado el colapso de la vida útil de los sensores; como los sensores de nivel de agua, de temperatura y humedad, además otro factor que ha ocasionado inconvenientes al sistema es el deterioro ocasionado por la naturaleza, como; la salinidad, la corrosión de los materiales y la falta de mantenimiento en la mayoría de los sitios. Cabe hacer mención que también la destrucción de infraestructura material en los sistemas SCADA provocada por el vandalismo, la rapiña o averías técnicas en la comunicación han ocasionado el incorrecto funcionamiento en los tanques de almacenamiento y distribución de CAPAMA, en donde se encuentra el sistema.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los responsables de CAPAMA estiman que del 100% de agua potable que se almacena en un tanque de almacenamiento y distribución de agua potable, el 70% del agua se pierde por derrame en el contenedor y por fugas, debido a que no cuentan con un sistema eficaz y eficiente que supervise los niveles de agua y administre el control de las bombas.

Ha habido intentos por reparar y rehabilitar los sistemas SCADA, en los sitios en donde no funcionan, más sin embargo no se ha podido por que el sistema es desarrollado por una empresa privada; por tal motivo no se tiene acceso a los diagramas electrónicos, ni al código del software para adaptarlo y escalarlo, además el costo de reimplementación por cada sitio es muy alto.

Por otra parte existe el problema que no se puede invertir, en la adquisición de componentes electrónicos para rehabilitar el sistema SCADA, o en su defecto adquirir nuevos sistemas de monitoreo de nueva generación pues representan un costo elevado.

Dado que en la actualidad la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), tiene implementado SCADA en 53 sitios, de los cuales solo 2 sitios están en funcionamiento con dicho sistema, si no se resuelve el control de las bombas, supervisado y la adquisición remota de los niveles de los sensores de nivel de agua, se seguirá desperdiciando mucha agua potable.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Por lo tanto en el presente artículo se propone desarrollar un prototipo SCADA para contralar el nivel de agua en dos contenedores para su uso futuro en la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Municipio de Acapulco, la intención fundamental de este prototipo es formalizar y fundamentar la base en la cual CAPAMA se pueda apoyar para aplicarlo en sus tanques de agua reales.

El prototipo propuesto simula los requerimientos básicos de CAPAMA para la supervisión, control y adquisición de datos de sus tanques de almacenamiento y distribución, por lo tanto los requerimientos son los siguientes:

- El prototipo simula dos contenedores de agua potable, uno simula ser el tanque de almacenamiento y el otro de distribución, cada tanque simula tener un sistema SCADA que enviará la información de los niveles de los tanques, así como los parámetros de humedad, temperatura y amperaje, cuando el tanque de almacenamiento tenga más del 70% de agua y el tanque de distribución tenga menos del 20% y esté activado el control automático la bomba funcionará hasta llenar el tanque de distribución como se puede observar en

la Figura 1, cuando por alguna circunstancia se requiere el control manual se ofrece la opción de apagar o encender la bomba a medida de la decisión que se tome con base a los niveles de los tanques de agua capturado por los sensores.

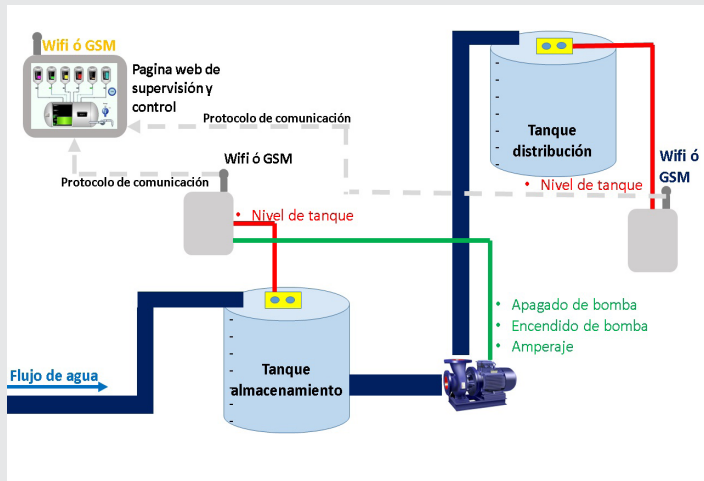


Figura 1. Bosquejo general de funcionamiento de los tanques del prototipo.

- Se requiere diseñar y desarrollar un sistema para supervisar, controlar y adquirir la información de los niveles de agua en los tanques en tiempo real así como la obtención de otros parámetros como el amperaje consumido por la bomba, la humedad y temperatura del tanque enviados a una página web para consultar la información y tomar decisiones como lo puede observar en la Figura 1. Utilizando para su construcción componentes de bajo costo, orientados al Internet of Things (IoT), traducido al español como Internet de las cosas, dado que existe un antecedente acerca de la diseminación de esta tecnología en México [4] aprovechando la integración de la telemetría con sensores especializados para el control de la calidad de agua en las redes de distribución, utilizando tecnologías como Arduino, Raspberry Pi y cloudino para transferir información a la nube.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para desarrollar el prototipo SCADA, se consideró trabajar en paralelo el desarrollo del sistema embebido prototipo electrónico, junto con el diseño del software interfaz web que muestra la información en tiempo real, como el flujo de la metodología orientada al diseño de sistemas embebidos clásica lo sugiere [5], para una mejor verificación, depuración e integración de ambas partes.

Por lo que por consiguiente las siguientes herramientas fueron utilizadas para su desarrollo:

- Enterprise Architect 12.
- Fritzing 0.9.3.
- Visual Studio Code con el plugin de Arduino.
- Visual Studio 2017.

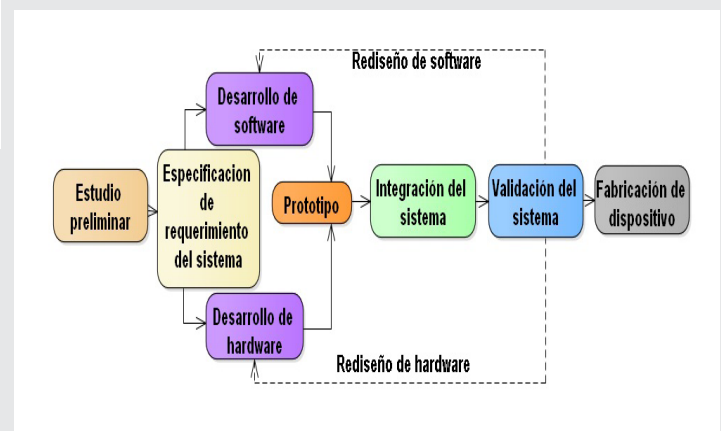


Figura 2. Metodología de diseño de sistemas embebidos clásica

Para empezar el desarrollo se contemplan primeramente los requerimientos de sistema, y estos se anotan en el documento de requerimientos como dice [6], con base en las necesidades de la empresa y haciendo un análisis de la problemática que se requiere resolver; en este caso, para que posteriormente se modelen mediante una herramienta de lenguaje de representación gráfica descriptiva, denominado Unified Modeling Language (UML) traducido al español como Lenguaje Unificado de Modelado con la finalidad de describir gráficamente una serie de comportamientos del sistema que puede interpretar un programador para desarrollar el sistema, éstos modelos son como “los planos arquitectónicos en los que se desarrollará el software” [6], los modelos que se desarrollaron en el presente estudio y que atienden a las necesidades de desarrollo de sistemas embebidos [7] son: modelo de clase de dominio, modelo de caso de uso, modelo de secuencia, modelo de interacción, modelo de máquinas de estado y modelo de negocios desarrollado con la aplicación Enterprise Architect 12, Figura 3, a la par también se desarrolló el diagrama electrónico del sistema; considerando los componentes electrónicos para atender a las necesidades del requerimiento del sistema, y el material consta de lo siguiente:

- 2 Sensores ultrasónicos HC-SR 04.
- 1 Router Linksys.
- 2 Interruptores termomagnéticos.
- 1 Mini contactor de 18A industrial.
- 1 Mini Relevador de 18A industrial.
- 1 Sensor de corriente alterna 30A no invasivo.
- 1 Relevador de 5v.
- 1 Sensor DHT 11.
- 1 Intel Galileo Gen 2.

En este apartado cabe hacer mención que una de las consideraciones más relevante, a la hora de elegir los componentes fue utilizar una microcomputadora de propósito general en vez de un microcontrolador de uso específico, dado que en la actualidad las microcomputadoras ofrecen mayor rendimiento para su costo be-

neficio y están orientadas a procesar múltiples tareas mucho más rápidas y con mayor eficiencia en comparación con un microcontrolador [8], por lo que se eligió la microcomputadora Intel Galileo.

del agua en tiempo real, y la bomba de rebombeo de agua de un contenedor a otro, ver Figura 6, estos dispositivos son conectados al resultado del prototipo de la Figura 4.

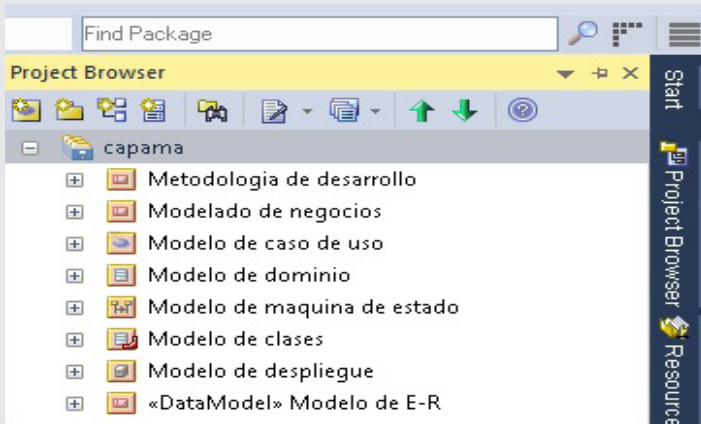


Figura 3. Modelos del sistema SCADA desarrollados en la herramienta de Enterprise Architect 12.

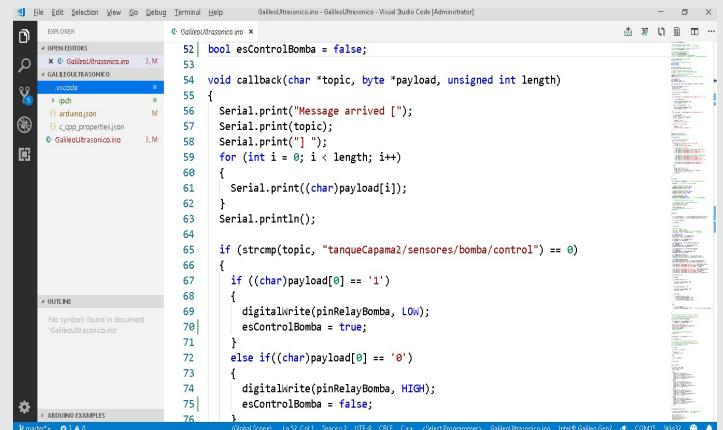


Figura 5. Editor de código Visual Studio Code con el firmware de la Intel Galileo para sistema SCADA

RESULTADOS

Una vez considerada como concluida la etapa de modelado del sistema y de los materiales y herramientas elegidas, se procede a desarrollar el prototipo, uniendo los componentes electrónicos de acuerdo al diagrama electrónico generado en la etapa de modelado del sistema prototipo SCADA, obteniendo como resultado la Figura 4.

Para las operaciones de comunicación e intercambio de información de tiempo real entre el prototipo SCADA electrónico de la Figura 4 y el software aplicación web que muestra la información de tiempo real mediante gráficos de la Figura 10, se utilizó el protocolo MQTT del inglés Message Queuing Telemetry Transport y traducido al español como Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes, es un protocolo de tipo M2M del inglés Machine to Machine, traducido al español como máquina a máquina, que está orientado al Internet de las Cosas, es muy ligero y se maneja sobre la capa de aplicación, está recomendado para la industria en el uso de los sistemas SCADA, además es un protocolo especificado y estandarizado por el consorcio OASIS y el ISO/IEC 20922 en el año 2016. También ofrece varios mecanismos de seguridad y es muy robusto y flexible en áreas en donde las redes de comunicaciones sobre el protocolo TCP/IP manejan altas latencias [9].

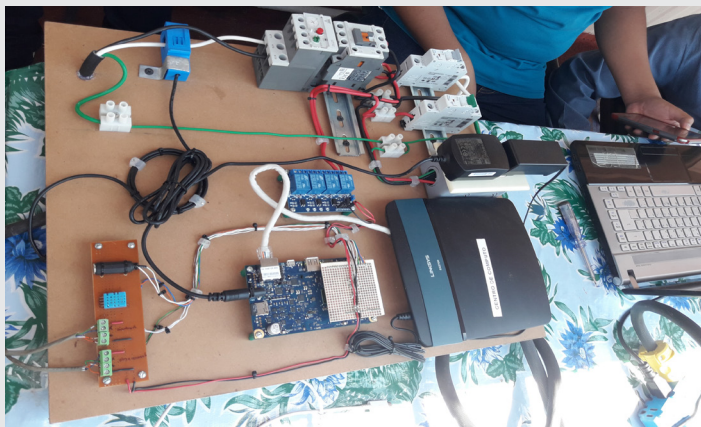


Figura 4. Resultado de la elaboración de prototipo electrónico SCADA

Para la parte de la aplicación web que muestra gráficos con información de los niveles de los contenedores en tiempo real así como de los demás parámetros especificados en el modelado del prototipo SCADA, se desarrolló la aplicación utilizando el .NET Framework con la tecnología de ASP.NET Core, utilizando el concepto de desarrollo de las SPA (Single Page Application) o aplicaciones de una sola página la cual ofrece mayor rendimiento y su carga en el navegador es mucho más rápido, dado que ya no se hacen peticiones directamente al servidor para cargar todo el DOM (Document Object Model) de HTML, es decir que este concepto utiliza llamadas asíncronas mediante AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) o basada en WebSockets para actualizar únicamente las partes necesarias en el DOM de HTML, por lo que, para su uso en aplicaciones de nueva generación que muestran información de tiempo real es recomendado [10].

Para el desarrollo del firmware se utilizó la herramienta de Visual Studio Code con el plugin de Arduino ver Figura 5 para cargarlo en el sistema operativo de la microcomputadora Intel Galileo Gen 2, utilizando para su programación como lenguaje base C, para dotar al prototipo de las operaciones y comportamientos que tiene que realizar con base en los requerimientos del sistema.

También se muestran los contenedores de agua potable, simulando los requerimientos del sistema, con sus respectivos sensores ultrasónicos para medir el nivel



Figura 6. Descripción gráfica de los contenedores de agua y la bomba de rebombeo de agua

En el desarrollo de la aplicación se utiliza las librerías del protocolo MQTT para obtener los datos de los sensores ultrasónicos del nivel de agua y los de los demás sensores especificados en los requerimientos del sistema, también se utiliza WebAPI y SignalR de ASP.NET Core para guardar la información capturada por los sensores y almacenarla en una base de datos no relacional como MongoDB, en la Figura 7 puede observar el conjunto de tecnologías utilizadas en el desarrollo, tanto para la parte del back-end como para el front-end.



Figura 7. Pila de tecnologías utilizadas en el desarrollo de la aplicación web del sistema SCADA

Para la parte de la arquitectura y diseño de la aplicación en la Figura 8 puede observar la segmentación física del proyecto, aplicando el patrón MVVM (Model View View-Model) mediante la librería de Knockout JS y la arquitectura de una aplicación de Single Page Application [10].

Como resultado del desarrollo de la aplicación web se tiene las siguientes interfaces gráficas del sistema SCADA.

- Página de inicio de sesión para ingresar al sistema SCADA, la funcionalidad es introducir las credenciales de un usuario autorizado dado de alta en la base de datos del sistema, para acceder y controlar el sistema SCADA ver Figura 9.

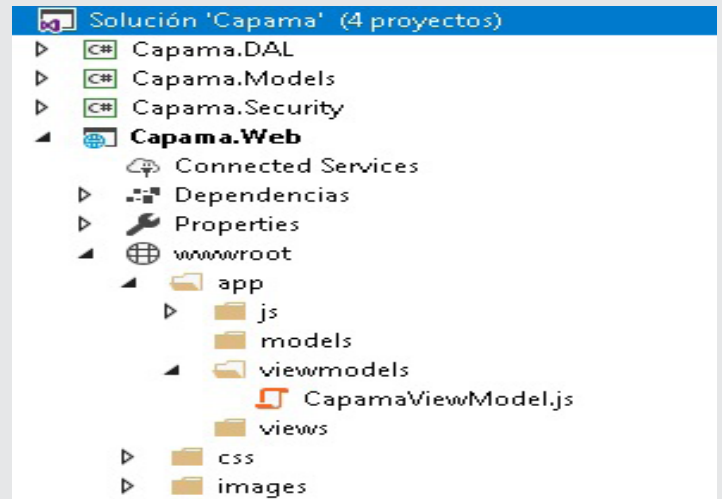


Figura 8. Arquitectura física del proyecto SCADA y uso del patrón MVVM.

- Si el usuario está autenticado y autorizado, la página de inicio mostrará la funcionalidad principal del sistema SCADA, esto es, que muestra un mapa con dos gráficos de contenedores que muestran información de tiempo real, en este caso; el nivel del líquido simulado de los contenedores; información enviada por los sensores ultrasónicos, como lo muestra la Figura 10 que inicializan vacíos e inmediatamente empiezan a mostrar la información del nivel del líquido Figura 11, información enviada a través por el protocolo MQTT y capturada por los sensores ultrasónicos [9]. Además el usuario puede seleccionar el icono del tanque, en este caso el tanque # 1 y puede visualizar en una ventana modal los datos de los datos adquiridos por el tanque, como la temperatura, la humedad y el nivel del líquido en tiempo real como puede apreciar en la Figura 12 y además como se aprecia en la Figura 13 también puede manipular el tipo de operación; manual o automática, cuando la operación es manual la bomba de rebombeo de agua se manipula conforme a la decisión del operador, cuando está en modo automático, cuando el tanque de rebombeo de agua tiene más del 70% de contenido de agua y el tanque de distribución tiene menos del 10% o igual el sistema automáticamente toma la decisión de bombear el agua, las opciones antes mencionadas se aprecian en la Figura 13.

- Otra funcionalidad que ofrece el sistema SCADA es contener una página de registro de los usuarios que pueden acceder al sistema ver Figura 14. Cuando un usuario se encuentra registrado puede acceder en la ventana de inicio de sesión del sistema SCADA ver Figura 9.

- La última funcionalidad que ofrece el sistema SCADA es el registro de los tanques (ver Figura 15) que tiene como finalidad llevar un registro de los tanques del sistema, ya que está información es requerida para guardar la información en la base de datos sobre la adquisición de los datos de los sensores relacionados al tanque registrado.



Figura 9. Página de inicio de sesión para ingresar al sistema SCADA.

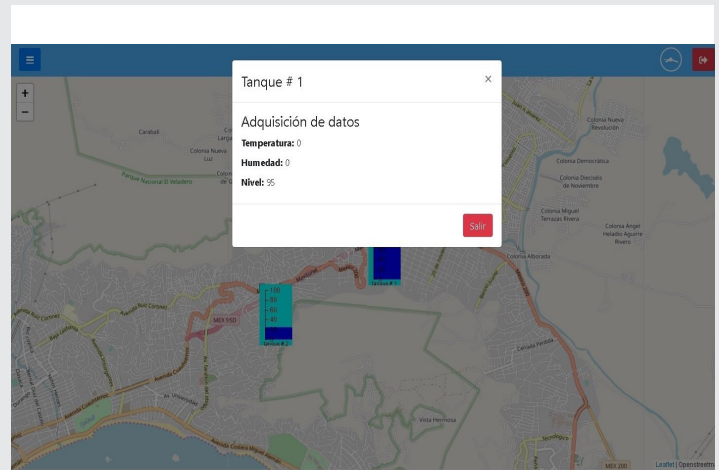


Figura 12. Adquisición de datos del tanque 1 seleccionado, visualiza información de tiempo real como temperatura, humedad y nivel de líquido.

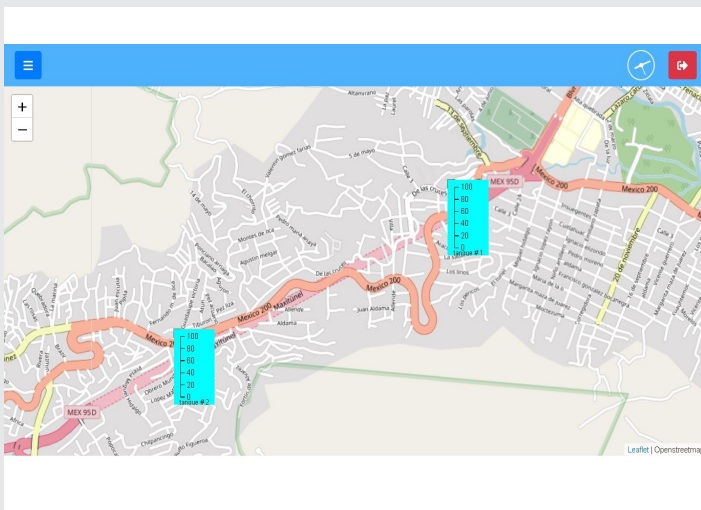


Figura 10. Página principal que muestra dos contenedores del sistema SCADA.

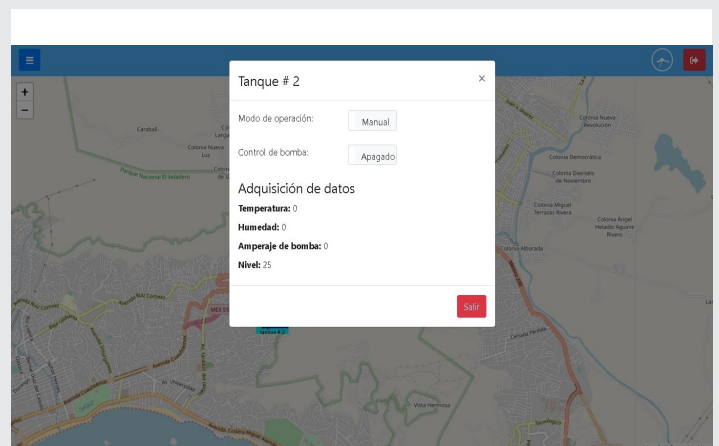


Figura 13. Adquisición de datos del tanque 2 seleccionado, visualiza información de tiempo real como temperatura, humedad y nivel de líquido, además ofrece el control de encendido y apagado de la bomba, así como el modo de operación.

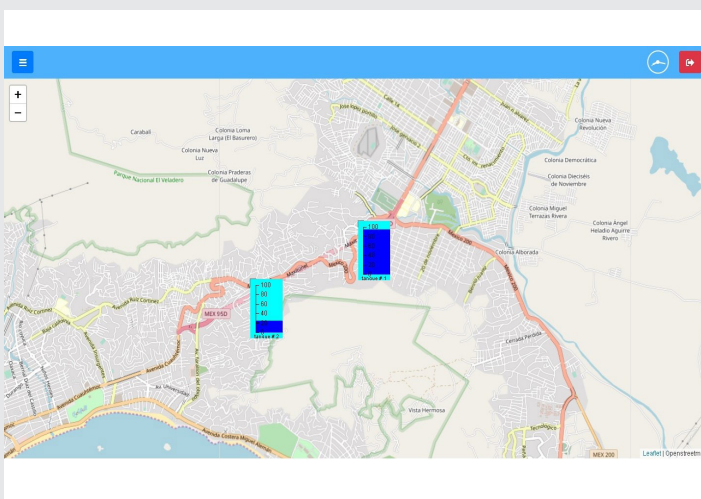


Figura 11. Página principal que muestra información de tiempo real del nivel del líquido de los contenedores.

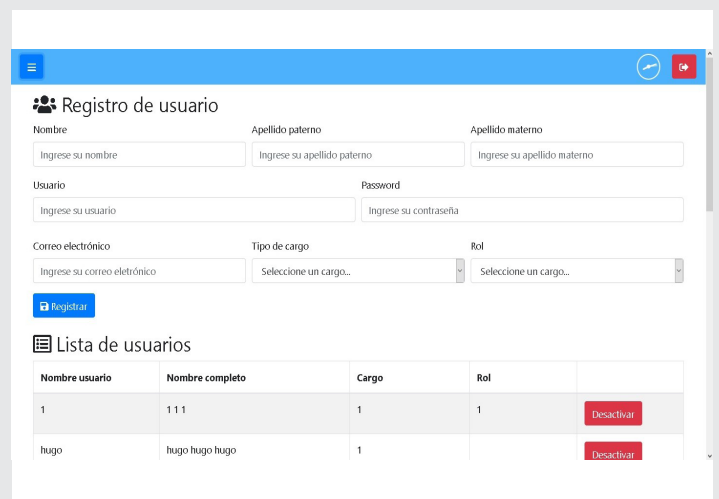


Figura 14. Página de registro de usuario para ingresar al sistema SCADA.

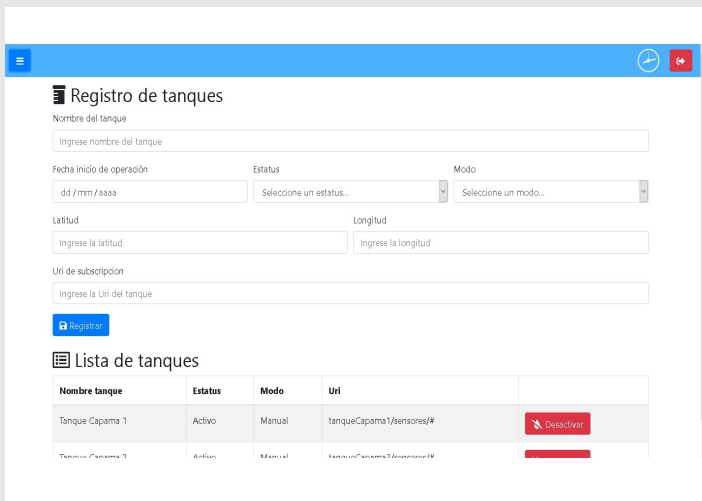


Figura 15. Página de registro de tanques del sistema SCADA.

CONCLUSIONES

En la presentación de la funcionalidad y operación del prototipo SCADA a los directores responsables de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA) se demostró que utilizando componentes electrónicos de bajo costo orientados al Internet de las Cosas y hardware open-source, así como herramientas de nueva generación para desarrollar software y utilización de patrones de diseño de software, también como repositorios repletos de librerías de desarrollo de software que simplifican el tiempo de codificación y la abundante documentación de éstas, se pueden construir sistemas de supervisión, control y adquisición de datos de tal manera que tenga un gasto mínimo significativo en la compra de los componentes electrónicos y en el software ya que no se pagan licencias de uso, en términos generales el prototipo puede llevarse a la implementación de un tanque real utilizando el mismo software y protocolo de comunicación, así como la misma tarjeta de desarrollo Intel Galileo, pero con diferentes sensores de nivel de agua, por lo que se recomienda un tipo de sensor industrial y aditivos mínimos en la interfaz electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Comisión Nacional del Agua. “El día Mundial del Agua”, *gob.mx*, 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/el-dia-mundial-del-agua?idiom=es>. [Accessed: 14 de Abril 2019].

[2] OECD. “Water Governance in Cities”, *OECD Studies on Water*, 2016. [Online]. Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/governance/water-governance-in-cities_9789264251090-en#page39. [Accessed: 14 de Abril 2019].

[3] Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco. “Acerca de CAPAMA

Nuestra historia”, *capama.gob.mx*, 2019. [Online]. Disponible en: <http://www.capama.gob.mx/historia>. [Accessed: 14 de Abril 2019]

[4] V. Tzatchkov y J. Rodríguez Varela, *DISEMINACIÓN DE TECNOLOGÍA EUROPEA DE REDES INTELIGENTES DE AGUA POTABLE EN MÉXICO HC1609.1 Informe final, 1ra edición*. México: IMTA. Coordinación de Hidráulica. Subcoordinación de Hidráulica Urbana, 2016, pp. 3-6.

[5] F. Ghenassia, *Transaction Level Modeling with SystemC TLM Concepts and Applications for Embedded Systems, 1ra edición*. France: Springer, 2005, pp. 1-7.

[6] H. Deitel and P. Deitel, *Cómo programar en C#, 2da edición*. México: Pearson Educación, 2007, pp. 9-15.

[7] O. Haugen, B. Moller-Pedersen and T. Weigert, “Introduction to UML and the Modeling of Embedded Systems”, *Embedded Systems Handbook*. Taylor & Francis Group, United States of America, pp. 1-33, 2006.

[8] M. de Sousa, *Internet of Things with Intel Galileo Employ the Intel Galileo board to design a world of smarter technology for your home, 1ra edición*. Birmingham, UK.: Packt Publishing Ltd., 2015, pp. 1-9.

[9] G. Hillar, *MQTT Essentials - A lightweight IoT Protocol The Preferred IoT publish-subscribe lightweight messaging protocol, 1st ed*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017, pp. 29-80.

[10] E. Scott, *SPA Design and Architecture Understanding single-page web applications, 1st ed*. New York, EU.: Manning Publications Co., 2016, pp. 3-184.