

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y VENTILACIÓN DE UN INVERNADERO BAJO EL CONCEPTO DE IOT

CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF AN IRRIGATION AND VENTILATION SYSTEM OF A GREENHOUSE UNDER THE CONCEPT OF IOT

José Ignacio Vega Luna

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

Gerardo Salgado Guzmán

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

Francisco Javier Sánchez Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

José Francisco Cosme Aceves

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

Víctor Noé Tapia Vargas

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

Mario Alberto Lagos Acosta

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
vlji@azc.uam.mx

Recepción: 28/octubre/2020

Aceptación: 27/noviembre/2020

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue construir el prototipo de un sistema de riego y ventilación de un invernadero usando Internet de las Cosas (IoT). El sistema registra periódicamente los valores de humedad y temperatura en la plataforma Dashboard wia, los cuales se pueden visualizar desde la Internet por medio de una interfaz de usuario. Se implantó usando una tarjeta Huzzah32-ESP32, con un sensor de humedad del suelo y un sensor de temperatura. Si el valor de la

humedad es el mínimo configurado se activan cuatro aspersores de agua y si el valor de la temperatura alcanza el umbral configurado se activa un ventilador. En ambos casos se envía un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil usando la plataforma de servicios Twilio. Los resultados de las pruebas mostraron que los rangos de temperatura y humedad reportadas son ± 0.4 °C y $\pm 1.0\%$ RH, respectivamente, comparados con dispositivos de calibración de temperatura y humedad del invernadero. El alcance de la comunicación WiFi es de 45 metros.

Palabras Clave: Humedad, Huzzah32-ESP32, IoT, Twilio, WhatsApp.

Abstract

The objective of the present investigation was to build the prototype of a greenhouse irrigation and ventilation system using the Internet of Things (IoT). The system periodically records the humidity and temperature values on the Dashboard via platform, which can be viewed from the Internet through a user interface. It was implanted using a Huzzah32-ESP32 card, with a soil moisture sensor and a temperature sensor. If the humidity value is the configured minimum, four water sprinklers are activated and if the temperature value reaches the configured threshold, a fan is activated. In both cases, a WhatsApp message is sent to a mobile phone using the Twilio service platform. The test results showed that the reported temperature and humidity ranges are ± 0.4 °C and $\pm 1.0\%$ RH, respectively, compared to greenhouse temperature and humidity calibration devices. The range of WiFi communication is 45 meters.

Keywords: Humidity, Huzzah32-ESP32, IoT, Twilio, WhatsApp.

1. Introducción

El crecimiento de la población a nivel mundial requiere soluciones a la urgente demanda de producción de alimentos que dependen de la agricultura. Los mejores resultados en la agricultura se obtienen a partir de buenas condiciones ambientales y del suministro eficiente de los recursos necesarios como el agua. El agua y la humedad del suelo juegan un papel importante en la agricultura [Saad, 2020]. Sin embargo, el exceso de humedad favorece la aparición de plagas [Brunelli, 2019].

Mediante el uso de sistemas de irrigación eficientes se logra un ahorro significativo de agua además de optimizar la humedad del suelo requerida para el crecimiento de las plantas [Jiang, 2020].

En los invernaderos y campos agrícolas, además de la humedad del suelo, existen otros parámetros que influyen en el desarrollo de los cultivos. Uno de ellos es la temperatura del ambiente. La temperatura es un factor que impacta en el desarrollo de las plantas y semillas. Cada una de éstas requiere una temperatura óptima para su crecimiento que le permite desarrollarse normalmente y sobrevivir [Hussain, 2019]. La variación diaria de temperatura es más grande con condiciones de humedad baja, de manera que la humedad alta causa un efecto compensador sobre la temperatura [Chroua, 2019].

Cada cultivo requiere diferentes condiciones de temperatura ambiente, humedad del suelo y por lo tanto sistema de riego. Cuando en el cultivo aumenta la temperatura a más de 30 °C debe activarse automáticamente el sistema de ventilación para que el valor de la temperatura disminuya a 20 °C. Comúnmente las técnicas de riego usadas en la actualidad no cuentan con mecanismos de monitoreo remoto en línea, los datos recopilados no se almacenan para un histórico de los mismos ni generan una alerta cuando alguno de los parámetros monitoreados alcanzó el umbral [Muñoz, 2020]. El sistema presentado en este trabajo se implantó con las características mencionadas anteriormente en los sistemas existentes.

La explosión demográfica hace que sea imprescindible usar nuevas técnicas enfocadas a la denominada agricultura inteligente. La sobre explotación de los recursos naturales, la disponibilidad limitada de tierras de cultivo con las condiciones cambiantes de clima y medio ambiente se ha formado una preocupación alimentaria para muchos países [Elijah, 2018]. Derivado de esto, se está usando la Internet de las Cosas (IoT-Internet Of Things) y el análisis de datos para mejorar la eficiencia en la operación y producción en el sector de la agricultura [Elijah, 2018].

Con la IoT es posible obtener soluciones eficientes y confiables para la modernización de un gran número de tareas de la agricultura. Ha permitido desarrollar soluciones para el mantenimiento y monitoreo automatizado de procesos con mínima intervención humana [Farooq, 2019]. Esta década ha sido testigo de los

cambios convencionales a los más avanzados. La IoT ha transformado tanto la calidad como la productividad del sector agrícola. Los investigadores, académicos y muchas naciones del globo han puesto en marcha de proyectos de colaboración para explorar el horizonte de este campo al servicio de la humanidad [Kour, 2020]. La combinación de la IoT, computación en la nube, análisis de almacenamiento digital de información (big data analytics), inteligencia artificial y redes de sensores inalámbricos proporcionan herramientas para pronosticar, procesar y analizar situaciones y mejorar las actividades en tiempo real, dando lugar a la aparición de la agricultura inteligente y de precisión [Chen, 2019].

Con esto, hoy en día un sector de la agricultura se ha centrado en el manejo de datos, la precisión y la inteligencia. El crecimiento rápido de la IoT basado en tecnologías adaptadas a casi cualquier tipo de industria, incluyendo la agricultura inteligente, ha logrado que la industria se mueva de un enfoque estadístico a uno cuantitativo [Ayaz, 2019]. Se han desarrollado diferentes tipos de sensores y actuadores tanto para el monitoreo y control de las condiciones ambientales en invernaderos como para sistemas de irrigación, detección de insectos y plagas y consumo de energía [Subahi, 2020], [Taylor, 2019], entre otros.

Durante los últimos años, se ha llevado a cabo una cantidad importante de investigaciones relacionadas con la IoT en la agricultura (Agri-IoT, Agricultural Internet of Things) [Misra, 202], [Tyagi, 2020] y con la agricultura de precisión. Algunas de ellas se han centrado en el uso de redes comunicación inalámbrica de larga distancia [Ahmed, 2018] e implantación de plataformas basadas en IoT para irrigación inteligente [Togneri, 2019].

El objetivo de este trabajo fue construir el prototipo de un sistema de riego y ventilación para un invernadero usando IoT para monitorizar de manera periódica y remota el valor de la humedad del suelo y temperatura ambiente. El sistema se implantó usando una tarjeta Huzzah32-ESP32, un sensor de humedad del suelo y un sensor de temperatura ambiente. Mediante una interfaz de usuario en una computadora conectada a la Internet se puede visualizar en línea la medida de humedad y temperatura. En caso de que el valor de humedad sea el mínimo configurable el sistema activa los aspersores de agua. Cuando la medida de

temperatura alcance el umbral configurable, el sistema activa el ventilador. En ambos casos se envía un mensaje de alerta de WhatsApp a un teléfono móvil.

El sistema de riego y ventilación con IoT aquí presentado es útil para mejorar la productividad y calidad agrícola. Los beneficios y aportaciones de la aplicación desarrollada son los siguientes: 1) Utiliza comunicación inalámbrica para acceso a la Internet; por lo que su instalación es sencilla y no intrusiva; 2) La programación utiliza bibliotecas de funciones de uso libre y código abierto, lo cual redujo el tiempo y complejidad de la implantación; 3) Usa una plataforma de IoT en la nube de reciente creación que proporcionan servicios eficientes, confiables y siempre disponibles para envío de mensajes de alerta a un teléfono móvil y 4) No es necesaria la presencia del responsable del invernadero, automatizando las tareas de riego y ventilación.

2. Métodos

La metodología utilizada para desarrollo del sistema consistió en dividirla en cuatro módulos: los sensores, el módulo central, la interfaz eléctrica y la interfaz de usuario. Posteriormente, se diseñó e implantó cada módulo seleccionando los elementos adecuados según los requerimientos. En la figura 1 se muestra el diagrama funcional del sistema de riego.

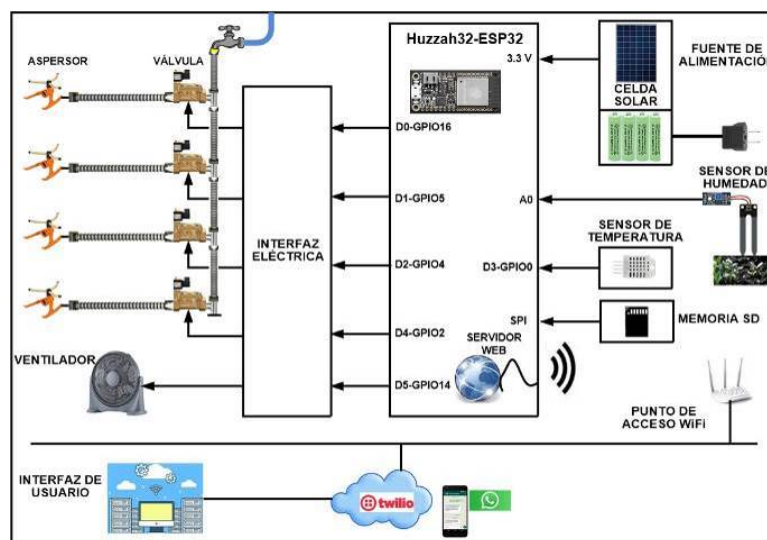


Figura 1 Diagrama funcional del sistema de riego.

Los sensores

Para el sensor de humedad del suelo se utilizó el circuito FC-28 como el mostrado en la figura 2. El funcionamiento de este dispositivo está basado en un divisor de voltaje ajustable mediante un potenciómetro. Proporciona la medida de humedad relativa por medio de una salida analógica, la cual oscila entre 0, que indica la máxima humedad, y 4080, cuando no detecta humedad. Es necesario realizar un ajuste del valor para obtener la humedad relativa como un valor entre 0 y 100, siendo 100 la máxima humedad que es capaz de captar el sensor. Este ajuste se lleva a cabo calculando una recta tal que en el eje X se encuentre la salida en volts del sensor y en el eje Y el valor de humedad relativa en %. Conocidos dos puntos, 0 mV para 100 % HR, y 4080 mV para 0 % HR, se usan las ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Pendiente: } m = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} = \frac{0 - 100}{400 - 0} = -0.0245 \quad (1)$$

$$\text{Recta: } y = y_0 + m(x - x_0) = 100 - 0.0245(x) \quad (2)$$



Figura 2 Sensor de humedad del suelo.

El sensor FC-80 cuenta con cuatro terminales. La primera es la salida analógica, la cual se conectó a la entrada analógica A0 de la tarjeta Huzzah32-ESP32. La segunda es la salida digital, la cual no se usó en este módulo. La tercera es la alimentación eléctrica y la última es la tierra.

Para el sensor de temperatura se usó el dispositivo DHT22 como el mostrado en la figura 3. Este sensor consta de un circuito integrado de alta precisión para medir la temperatura. Entrega la medida por medio de una salida digital de fácil lectura e interpretación la cual se conectó a una terminal GPIO configurada como entrada de

la tarjeta Huzzah32-ESP32. Con esto, se obtienen mediciones rápidas, de gran calidad e inmunes a las perturbaciones externas a un precio reducido. Las características principales del DHT22 son las siguientes: voltaje de alimentación de 3.3 a 5.5 VDC, rango de medida de -40 a 123.8 °C, exactitud de ± 0.5 °C, como máximo en condiciones adversas, tiempo de muestreo de 2 s, tiempo de respuesta para temperatura menor a 10 segundos y bajo consumo de energía, 30 μ W.



Figura 3 Sensor de temperatura.

El módulo central

El módulo central se implantó utilizando la tarjeta Huzzah32-ESP32. Esta tarjeta de desarrollo es de ultra bajo consumo de energía usada para ejecutar programas realizados en MycroPython. Incorpora los recursos requeridos para el control del sistema, reduciendo de esta forma el tamaño y costo del mismo. Los principales recursos de esta tarjeta son los siguientes: microcontrolador Tensilica LX6 de dos núcleos a 240 MHz, memoria flash de 4 MB, memoria RAM de 520 KB, interfaces WiFi 802.11b/g/n, Bluetooth clásico y LE con antena integrada, 3 puertos UART, 3 puertos SPI, 2 puertos I²C, 25 entradas/salidas de propósito general (GPIO-General Purpose Input/Output), soporte para interfaz de memoria SD y un cargador para batería de ion de litio.

Las funciones del módulo central se implantaron programando la tarjeta Huzzah32 en MicroPython para realizar las actividades siguientes: A) Configura como entrada las terminales GPIO usadas para los sensores, configura como salida las terminales GPIO conectadas a la interfaz eléctrica, configura la interfaz SPI, arranca el temporizador que muestrea la temperatura y humedad a 60 segundos, inicializa la

interfaz WiFi y establece el valor mínimo de humedad relativa, el valor máximo de temperatura y el número de teléfono móvil y B) Entra a un ciclo en el que invoca la función que inicia el servidor web, implanta la interfaz de usuario y espera la interrupción al expirar el temporizador.

La rutina de servicio de la interrupción del temporizador se encarga de leer la información entregada por los sensores, almacenarla en la memoria SD y transmitirla a la plataforma de IoT Dashboard via. En caso de que el valor de temperatura alcance el umbral configurado, esta rutina activa el ventilador por medio de la terminal GPIO correspondiente conectada a la interfaz eléctrica. De manera similar, cuando el valor de humedad relativa sea igual o menor al valor configurado, la rutina enciende los aspersores de agua a través de las terminales GPIO conectadas a la interfaz eléctrica. En cualquiera de los escenarios anteriores, la rutina trasmite el mensaje de alerta de WhatsApp al teléfono móvil usando la REST API de la plataforma de servicios Twilio. En la figura 4 se indica el diagrama de flujo de la programación realizada.

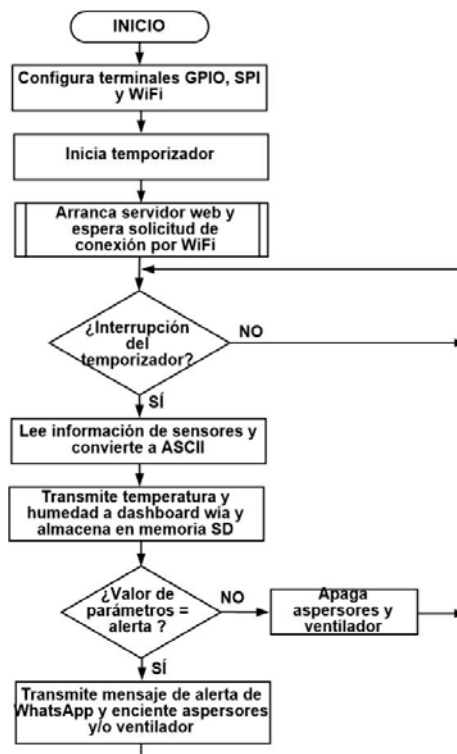


Figura 4 Diagrama de flujo de la programación.

Twilio es un servicio en la nube que proporciona, a través de un paquete, una biblioteca de funciones que pueden invocarse en un programa en MicroPython para interactuar con las REST API proporcionadas por este proveedor para la transmisión de SMS y mensajes de WhatsApp. La plataforma Twilio tiene disponibles REST API para la creación de aplicaciones de IoT. Trabajan como interfaz para el intercambio de datos entre la plataforma y la programación del sistema utilizando el protocolo HTTP. Los datos pueden ser texto plano o estar en formato XML y JSON. Las REST API tienen la ventaja, sobre otros protocolos de IoT, que son independientes del tipo de plataforma y lenguaje de programación donde se invocan. REST es el estándar lógico, eficiente y habitual en la creación y uso de API en los servicios de Internet. Aunque la información leída de los sensores se transmite a la plataforma Dashboard wia, se almacena también en la memoria SD para contar con un mecanismo de respaldo y acceso local a la misma. A la memoria SD de 32 GB se le aplicó formato FAT32 y se conectó a la tarjeta Huzzah32 por medio de las cuatro líneas (MISO, MOSI, CLK y CS) del puerto SPI (Serial Peripheral Interface).

Tanto Twilio como Dashboard wia ofrecen diferentes tipos de licencias de acuerdo a la cantidad de información y SMS a transmitir. Para cantidades pequeñas, como las usadas en este trabajo, el servicio no tiene costo. La programación del módulo central se realizó usando las siguientes bibliotecas de funciones: el módulo *dht* para la configuración y comunicación con el sensor DHT22; el módulo *network* para la configuración y acceso a la interfaz WiFi y el módulo *picoweb* para implantar el servidor web HTTP. MicroPython incorpora las primeras dos bibliotecas. *Picoweb* es una plataforma de código abierto usada para desarrollar aplicaciones web de manera sencilla con microcontroladores sin requerir demasiados recursos de procesamiento. La fuente de alimentación del módulo central proporciona 3.3 V y se conecta a 120 VAC. Esta fuente está respaldada por un grupo de baterías recargables, las cuales se recargan por un panel solar de 7 W Nomad 7.

La interfaz eléctrica

La interfaz eléctrica entre la tarjeta Huzzah32 y las válvulas de los aspersores y el ventilador, se implantó usando un módulo de cuatro canales de 3 V/125 VAC-250

VAC. Este módulo integra cuatro relevadores SRD-03VDC-SL-C de un polo dos tiros y un opto-acoplador en cada relevador para aislar el circuito digital, en este caso la tarjeta Huzzah32, del sector de potencia. Los relevadores del módulo se alimentan con 3 V, la entrada IN de cada uno de ellos se activa desde una terminal GPIO de la tarjeta Huzzah32, configurada como salida, para encender las válvulas o el ventilador. Las válvulas y ventilador están conectados a la salida normalmente abierta (NO) del relevador correspondiente como se indica en figura 5.

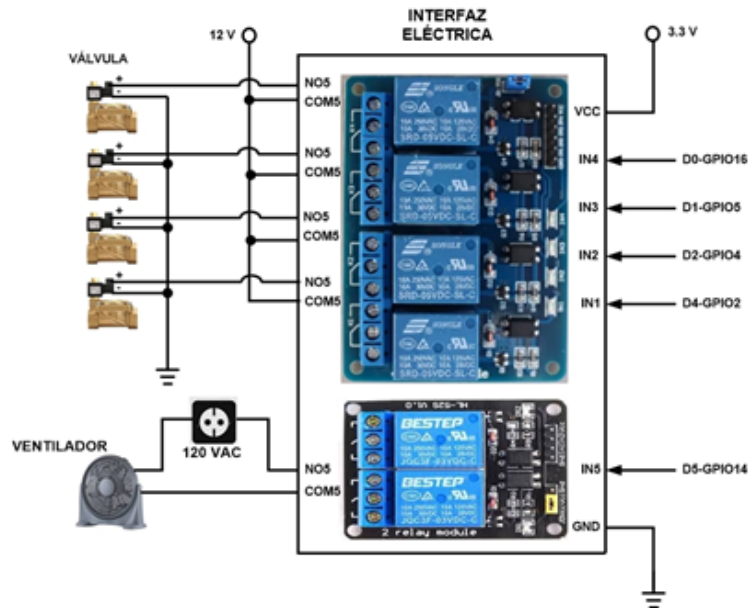


Figura 5 Interfaz eléctrica.

La interfaz de usuario

La interfaz de usuario es una página creada con HTML mostrada cuando se realiza la conexión al servidor web. En la interfaz de usuario se visualiza en línea la medida de humedad relativa del suelo, temperatura ambiente, la fecha y la hora. Cuando el valor de la humedad y/o temperatura es igual al valor de alerta, la programación de la interfaz de usuario muestra el mensaje correspondiente y transmite la alerta de WhatsApp. La interfaz cuenta con dos botones: el de Configuración, el cual permite establecer el número del teléfono móvil y valores de alerta de temperatura y humedad, y el de Histórico, con el cual se puede descargar a un archivo de texto los valores históricos de los parámetros históricamente

registrados en el servidor de Dashboard via durante un periodo de tiempo seleccionado. En la figura 6 se muestra la página principal de la interfaz de usuario.



Figura 6 Interfaz de usuario.

3. Resultados

Se realizaron tres grupos de pruebas. El primer grupo tuvo como objetivo determinar la exactitud de la temperatura medida por el sensor. El método usado para llevar a cabo estas pruebas fue establecer artificialmente, con un calentador, la temperatura en el sensor con 40 valores diferentes. A continuación, se midió la temperatura usando como referencia un termómetro de precisión para mediciones exactas modelo WIKA-CTR2000, el cual trabaja en el rango de -200 a +962 °C, empleado como instrumento patrón para la comprobación, ajuste y calibración de instrumentos de temperatura en unidades de producción y laboratorios. Posteriormente, se compararon los valores medidos con el termómetro con los reportados en la interfaz de usuario. El fabricante del sensor de temperatura DHT22 indica una exactitud nominal de ± 0.5 °C. Los resultados de estas pruebas mostraron que la exactitud real es menor a ± 0.5 °C, la cual se mantuvo hasta los 65 °C. Después de este valor, al aumentar la temperatura, la diferencia entre el valor indicado en el termómetro respecto al reportado en la interfaz aumentó proporcionalmente como se muestra en la gráfica de la figura 7. El objetivo del segundo grupo de pruebas fue determinar la exactitud de la humedad en el suelo, medida por el sensor.

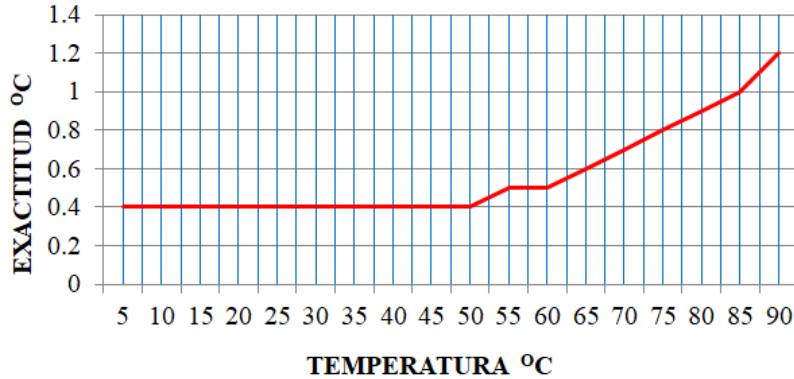


Figura 7 Exactitud de la medida de temperatura.

El método usado en estas pruebas fue irrigar el suelo de 80 espacios del invernadero con cantidades diferentes de agua. Se utilizó como referencia un medidor modelo SR300B y se comparó en cada prueba el valor reportado en la interfaz de usuario con el indicado por el medidor. Los resultados mostraron que la exactitud de la medida del sistema construido fue $\pm 1.0\%$. El tercer grupo de pruebas tuvo como fin verificar el envío de mensajes de alerta de WhatsApp. El sensor de temperatura envió información, alcanzando el umbral configurado, a la interfaz de usuario y el mensaje fue transmitido y recibido correctamente en el teléfono móvil como se muestra en la figura 8.

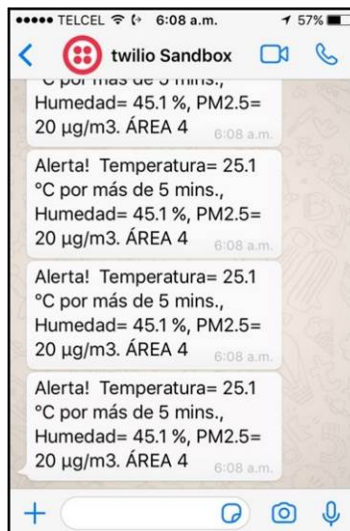


Figura 8 Mensaje de alerta enviado al teléfono móvil.

4. Discusión

En esta aplicación, la cantidad de mensajes enviados a las plataformas Dashboard Wia y Twilio permiten usar los servicios proporcionados en la nube sin costo. Para una aplicación de otro tipo se deberá considerar la cantidad de información transmitida y servicios usados. Es importante considerar que estas plataformas de IoT cuentan con servidores siempre disponibles sin responsabilidad administrativa para el desarrollador de aplicaciones de IoT. Esto es, el costo y tiempo de instalación, configuración y mantenimiento del servidor no adiciona costos a la aplicación. El sistema se construyó para operar donde exista un punto de acceso WiFi a la Internet a no más de 45 metros. El utilizar la tecnología WiFi permitió tener una buena relación costo/beneficio, ya que el alcance logrado fue mayor al requerido en esta aplicación. Si es necesario extender el alcance pueden usarse repetidores WiFi o ubicar el sistema cercano al punto de acceso WiFi e integrar a los sensores un transceptor de tecnología de mayor alcance, como LoRa o ZigBee, para transmitir los valores medidos a la tarjeta Huzzah32-ESP32.

5. Conclusiones

El resultado de este trabajo fue un sistema de riego y ventilación para un invernadero a través de una plataforma IoT el cual es más robusto que los disponibles comercialmente, ya que no usan IoT. El sistema reporta a un servidor en la nube el cambio de estado de dos sensores, uno de humedad de suelo y otro de temperatura ambiente, que se encuentran en un invernadero. Cuenta con una interfaz de usuario que muestra en línea el estado de la humedad de suelo y la temperatura ambiente. La comunicación es a través de WiFi, la cual no impacta en alguna instalación cercana con el cableado existente. Fue programado usando MicroPython y bibliotecas de funciones de libre uso y código abierto, lo cual redujo el tiempo y complejidad de la implantación. Usa plataformas de IoT en la nube de reciente creación que proporcionan un servicio eficiente y confiable para almacenar información y transmitir los mensajes de alerta a un teléfono móvil, llevando a cabo una aplicación que cumple con los requisitos establecidos. El alcance logrado en la transmisión WiFi fue 45 metros con línea de vista.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ahmed, N., De, D. & Hussain, I. Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4890-4899, 2018.
- [2] Ayaz, M., Ammad-Uddin, M. & Sharif, Z. Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk. *IEEE Access*, Vol. 7, 129551-129583, 2019.
- [3] Brunelli, D, Albanese, A. & d'Acunto, D. Energy Neutral Machine Learning Based IoT Device for Pest Detection in Precision Agriculture. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(4), 10-13, 2019.
- [4] Chen, W. L., Lin, Y. B. & Lin, Y. W. AgriTalk: IoT for Precision Soil Farming of Turmeric Cultivation. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 5209-5223, 2019.
- [5] Chroua, J., Chakchouk, W. & Zaafour, A. Modeling and Control of an Irrigation Station Process Using Heterogeneous Cuckoo Search Algorithm and Fuzzy Logic Controller. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(1), 976-990, 2019.
- [6] Elijah, O., Rahman, T. A. & Orikumhi, I. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758-3773, 2018.
- [7] Farooq, M. S., Riaz, S. & Abid, A. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access*, Vol. 7, 156237-156271, 2019.
- [8] Hussain, A., Choi, I. L. & Im, Y. H. Optimal Operation of Greenhouses in Microgrids Perspective. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 3474-3485, 2019.
- [9] Jiang, X., Zhang, H. & Barsallo, E. Hybrid Low-Power Wide-Area Mesh Network for IoT Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, (Early Access), 2020.
- [10] Kour, V. P. & Arora, S. Recent Developments of the Internet of Things in Agriculture: A Survey. *IEEE Access*, Vol. 8, 129924-129957, 2020.

- [11] Misra, N. N., Dixit, Y. & Al-Mallahi, A. IoT, big data and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal* (Early Access), 2020.
- [12] Muñoz, M., Guzmán, J. L. & Sánchez, J. A. A New IoT-based Platform for Greenhouse Crop Production. *Internet of Things Journal*, (Early Access), 2020.
- [13] Saad, A., El-Hassan-Benyamina, A. & Gamatié, A. Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions. *IEEE Access*, Vol. 8, 38082-38097, 2020.
- [14] Subahi, A. F. & Bouazza, K. E. An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature. *IEEE Access*, Vol. 8, 125488-125500, 2020.
- [15] Sun, Z., Chen, J. & Han, Y. An Optimized Water Distribution Model of Irrigation District Based on the Genetic Backtracking Search Algorithm. *IEEE Access*, Vol. 7, 145692-145704, 2019.
- [16] Taylor, G. A., Beltrán, H. & Ruiz, F. pH Measurement IoT System for Precision Agriculture Applications. *IEEE Latin America Transactions*, 17(5), 823-832, 2019.
- [17] Togneri, R., Kamienski, C. & Dantas, R. Advancing IoT-Based Smart Irrigation. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(4), pp. 20-25, 2019.
- [18] Tyagi, S. K. S., Mukherjee, A. & Pokhrel, S. R. An Intelligent and Optimal Resource Allocation Approach in Sensor Networks for Smart Agri-IoT. *IEEE Sensors Journal* (Early Access), 2020.