

Sistema de monitoreo de variables ambientales para el correcto crecimiento de plantas en maceta usando principios del Internet de las Cosas.

Ángel De la cruz Martínez¹, Mariana N. Ibarra Bonilla^{1*}, R. Isabel Ojeda Pérez^{1**}, Frank S. Campos Moran.

¹ División de Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco,

Calle Prolongación Heliotropo No. 1201 Colonia Vista Hermosa. Atlixco, Puebla, México.

¹im130667@itsatlixco.edu.mx, *mariana.ibarra@itsatlixco.edu.mx, **rosalba.ojeda@itsatlixco.edu.mx.

Resumen— Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo de variables físicas y el control de parámetros: riego e iluminación, para el mantenimiento de una planta en una maceta. Con el uso de diversos sensores, el sistema monitorea la temperatura del aire, humedad, nivel de agua e intensidad de una luz artificial y envía los datos a una página web, programada en lenguaje HTML, para su visualización y análisis. Basado en estos datos, el sistema puede controlar de manera autónoma diversos actuadores y así controlar los cuidados para el mantenimiento de la planta. El sistema de control incorpora un microcontrolador ARM de 32 bits embebido en un módulo Wi-Fi ESP8266 el cual se comunica con el servidor de la página web. El sistema usa un circuito puente-H para el control de los actuadores, tales como una bomba para el riego y un arreglo de leds de potencia para la iluminación. El prototipo del sistema fue sometido a pruebas de desempeño y los resultados obtenidos reflejan que el sistema es viable para su implementación en una aplicación real en ambientes inteligentes.

Abstract— This paper presents the development of a monitoring and control system of parameters for maintenance of a plant in a pot. Using different sensors, the system monitors the temperature, humidity, water level and artificial light intensity and sends the data to a web page, programmed in HTML language, for data displaying and analysis. Based on these data, the system can autonomously control various actuators and thus control the care for the maintenance of the plant. The control system incorporates a 32-bit ARM microcontroller embedded in a Wi-Fi module ESP8266 which communicates with the server of the website. The system uses an H-bridge circuit to control the actuators, such as a pump for irrigation and an array of power leds for lighting. The system prototype was subjected to performance tests and the obtained results reflect that the system is viable for its implementation in a real-world application in intelligent environments.

Palabras clave — maceta inteligente, IoT, microcontrolador, ESP8266.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas son seres vivos esenciales en el ambiente, pues dan vida, color y limpian el aire que nos rodea. Sin embargo, su supervivencia depende del entorno, pues debido a la gran diversidad de plantas que existen implica diferentes necesidades y cuidados que deben ser satisfechos. Una alternativa para mejorar la capacidad de supervivencia de las

plantas sería diseñar e implementar un sistema autónomo capaz de reaccionar de forma inmediata a sus requerimientos, tales como riego, humedad, fertilizante, iluminación, entre otros [1]. El desarrollo de las tecnologías actuales permite crear sistemas que satisfagan de manera autónoma tales requerimientos [2], [3]. Por ello, algunas investigaciones se están enfocando a crear sistemas que reduzcan el mantenimiento en plantas y así reducir la mortandad. Algunos de estos trabajos se enfocan al control simple del riego de las plantas y no consideran otros parámetros como temperatura, humedad e iluminación que son importantes para el crecimiento de las plantas [4], [5], [6].

El Internet de las Cosas, conocido como IoT del inglés Internet Of Things, es el término que se le atribuye a la creación de un sistema autónomo presente en el hogar o sus exteriores compuesto por sensores y actuadores que pueden ser controlados automáticamente desde un dispositivo electrónico como un Smartphone, Tablet, PC, etc. [7]. El uso de redes de sensores para monitorear constantemente los parámetros de crecimiento de una planta, junto con el uso del IoT, puede permitir un mejor control de los recursos, mejorar la calidad y rendimiento de la planta y responder rápidamente a las condiciones adversas de crecimiento [8], [9], [10].

El objetivo de este artículo es presentar el desarrollo de un sistema implementado en una maceta capaz de monitorear la temperatura, humedad, nivel de agua e intensidad de una luz artificial y enviar los datos a una página web para su visualización y análisis. De acuerdo con estos datos, el sistema puede controlar los actuadores y así controlar los cuidados de crecimiento de la planta. El prototipo desarrollado utiliza sensores comerciales de bajo costo junto con un microcontrolador y módulo Wi-Fi de bajo costo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de la maceta se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones: uso de sensores confiables y de bajo costo para el monitoreo de parámetros ambientales que tienen impacto en el crecimiento y cuidado de la planta, incorporar los principios del IoT usando la transmisión inalámbrica Wi-Fi de los datos a una página web y una ley de control para mantener el ciclo de riego autónomo.

La arquitectura del prototipo está compuesta por 5 unidades, las cuales son: el suministro de energía, los sensores para instrumentación, una etapa de potencia para los actuadores, la unidad de control y el sistema de comunicación inalámbrica por Wi-Fi. Un esquema de la arquitectura se presenta en la Fig. 1.

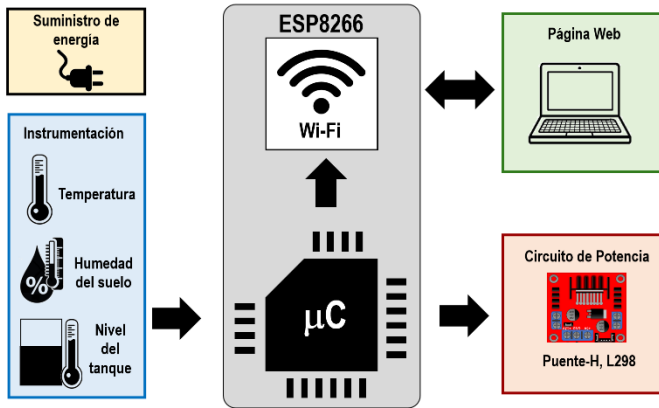


Fig. 1 Arquitectura del sistema.

A. Unidad de suministro de energía.

La unidad de suministro de energía es la encargada de proporcionar la energía requerida para todos los componentes que incorporan el sistema. La mayoría de los sensores usan 5 V de corriente directa para funcionar, por lo que esta unidad incorpora el regulador de voltaje LM7805. Adicionalmente para proporcionar los 3.3 V al módulo ESP8266, en esta etapa se incorpora un regulador de voltaje conmutado AP3211KTR.

B. Unidad de instrumentación.

La unidad de instrumentación consiste en tres diferentes sensores instalados en la maceta para proporcionar información de las condiciones de medio ambiente de la planta. Los sensores son comerciales, de bajo costo y ampliamente conocidos por presentar lecturas confiables. Las variables que miden los sensores son la temperatura del aire, la humedad de la tierra y el nivel de agua de un depósito contenido en la maceta.

Para medir la temperatura del ambiente se utiliza el sensor digital DHT11 de la Fig. 2. Adicionalmente este sensor también mide humedad relativa (RH). El DHT11 incorpora un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y entrega las mediciones mediante una señal digital serial, a través de un pin de datos. Las principales características de este sensor se presentan en la Tabla 1 [11].

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DHT11.

Variable	Rango de medida	Precisión	Resolución
Humedad	20–90% RH	± 5% RH	1% RH
Temperatura	0–50°C	± 2 °C	± 1 °C

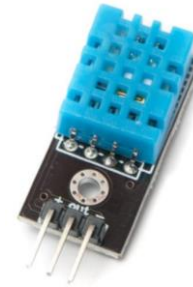


Fig. 2 Sensor DHT11.

La humedad de la tierra contenida en la maceta se mide usando el sensor YL-69 mostrado en la Fig. 3. El funcionamiento de este sensor se basa en pasar una corriente a través del sustrato de tierra. La intensidad de la corriente depende inversamente de la resistencia eléctrica que presenta la tierra; es decir, si el sustrato está húmedo la intensidad de corriente aumenta y si el sustrato está seco, la corriente disminuye. Esto es por la variación de la resistividad del sustrato debido a la presencia de agua, mientras más agua contenga el sustrato menor será su resistividad y viceversa. Por consiguiente, la intensidad de corriente es transformada a una salida analógica de voltaje por un circuito LM393.

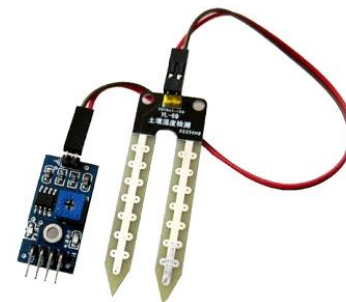


Fig. 3. Sensor YL-69 con circuito comparador LM393.

El nivel de agua del depósito contenido en la maceta se mide usando un sensor ultrasónico HC-SR04. Este es un sensor de capaz de detectar objetos por ultrasonido y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 400 cm con una precisión de ±3mm [12]. El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido (40 kHz) luego de recibir una orden de disparo por el pin TRIG (trigger), las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, el pin ECHO cambia a alto (5V) por el tiempo que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada. La distancia es calculada en proporción a la duración del tiempo: centímetros = tiempo_uS/58 [12]. Un esquema del montaje del sensor sobre la maceta se presenta en la Fig. 4.



Fig. 4. Sensor HC-SR04 montado sobre el prototipo de la maceta.

C. Unidad de potencia.

La etapa de potencia para los actuadores es un circuito puente-H en una placa L298 usado para controlar la bomba de riego y los leds de potencia para la iluminación. La bomba empleada es sumergible que opera a una tensión entre 3-6 V y presenta un rango de elevación entre 40 y 110 cm. Para la iluminación artificial de la planta se utilizó un arreglo 6 leds de alta potencia conectados en serie, de espectro amplio y luz blanca. El rango de operación de los leds está de 3-5 V a 3 W, tienen una vida promedio de 50 000 horas y flujo luminoso de 55 lúmenes.

D. Unidades de control y comunicación inalámbrica Wi-Fi.

Las unidades de control y comunicación inalámbrica están compuesta por el SoC (Sistem on Chip) NodeMCU ESP8266 presentado en la Fig. 5. El ESP8266 incorpora un microcontrolador con procesador Tensilica L106 de 32-bit y un sistema de radio frecuencia en el estándar Wi-Fi, el cual es necesario para la conexión a internet. Las características principales del NodeMCU ESP8266 son las siguientes: microcontrolador de 32-bit de bajo consumo, módulo Wi-Fi de 2.4 GHz, memoria RAM de 50 kBytes, 1 entrada analógica con convertidor analógico-digital de 10-bits, 17 pines de entrada/salida de propósito general, puertos de comunicación (UART, SPI, I2C) y puerto de control para memorias SD.

El microcontrolador representa la unidad de control de las demás unidades, pues es el responsable de medir los datos provenientes de los sensores, enviarlos por el Wi-Fi en la forma correcta a la página web, y ejecutar una acción correctiva en caso de existir una desviación entre las mediciones obtenidas y las requeridas para el cuidado de la planta. La Fig. 6 presenta un esquema general de conexión de los sensores y actuadores al NodeMCU.

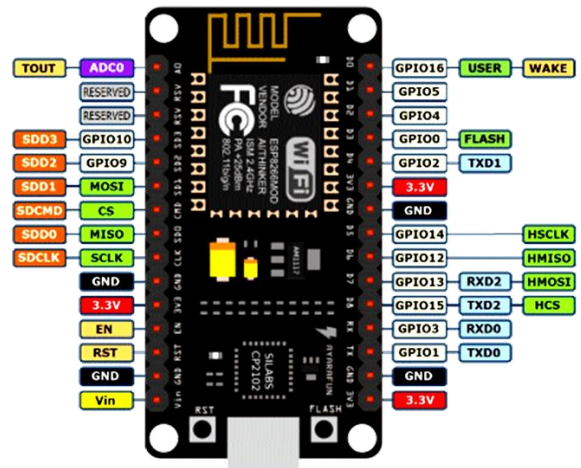


Fig. 5. Distribución de pines del NodeMCU ESP8266 [13].

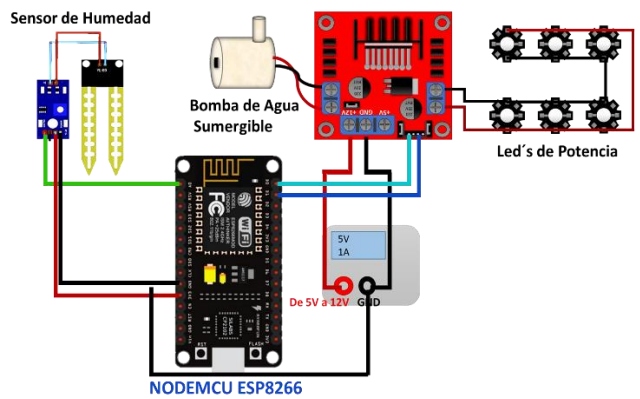


Fig. 6. Esquema conexión de los sensores y actuadores al NodeMCU.

E. Descripción del funcionamiento general del sistema.

El prototipo de la maceta inteligente funciona bajo un esquema centralizado, en donde los sensores y actuadores de la maceta se interconectan al microcontrolador NodeMCU ESP8266. Este último se encarga de monitorear los sensores y de mandar las señales de control hacia los actuadores. El monitoreo de la humedad y temperatura del sensor DHT11 se realiza mediante un protocolo serial de una sola vía o cable, que permite enviar órdenes al sensor y recibir los datos mediante una trama de datos con una longitud de palabra de 8 bits. La señal analógica proveniente del sensor YL-69 es conectada al único canal analógico del NodeMCU ESP8266. El convertidor analógico digital del NodeMCU es de 10 bits, por lo que al colocar el sensor YL-69 en diferentes suelos se caracterizaron los valores de la Tabla 2. La maceta integra un control de riego automático, usando una bomba eléctrica de agua sumergible, que permite generar un caudal de riego cuando el sensor de humedad detecta niveles bajos.

Los datos de humedad, temperatura del aire y nivel de agua se envían por Wi-Fi a una página web en la que el usuario puede

controlar directamente el encendido/apagado de la luz artificial. Un esquema general de los componentes que incorporan el sistema se muestra en la Fig. 7.

La bomba es accionada automáticamente de acuerdo a una señal de control que envía el NodeMCU ESP8266 cuando se detecten los niveles de humedad en tierra seca. Un circuito puente-H L298 es usado para accionar la bomba, la cual es accionada basada en el algoritmo de control cuyo diagrama de flujo se muestra en la Fig. 8. La bomba se detiene hasta alcanzar los niveles de tierra húmeda.

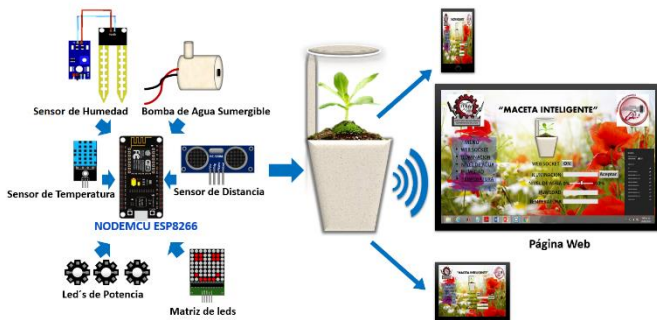


Fig. 7. Esquema general de los componentes del sistema.

TABLA II

VALORES DIGITALES DE SALIDA CARACTERIZADOS DEL SENSOR YL-69.

Condición	Min	Max
Sensor en suelo muy mojado	0	349
Sensor en suelo húmedo	350	599
Sensor en suelo seco	600	1023

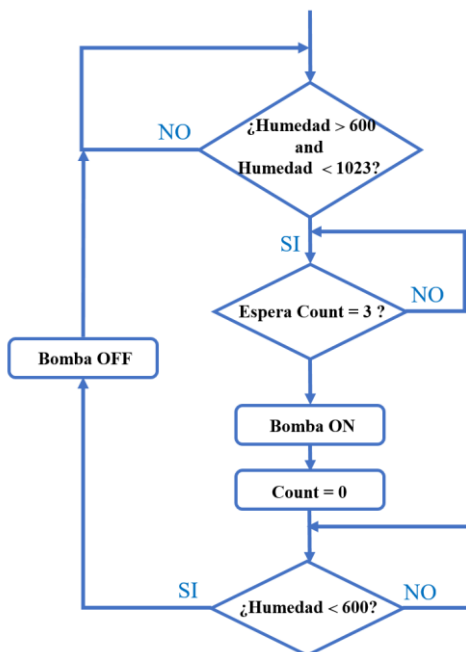


Fig. 8. Diagrama de flujo del sistema automático de riego.

Para monitorear el nivel de agua dentro del depósito se utiliza el sensor ultrasónico HC-SR04. La altura del tanque es de 20 cm, por lo que se caracteriza un rango de medición de distancia entre 3-18 cm, considerado entre un 0-100% de la capacidad del tanque. A mayor distancia leída por el sensor significa menor porcentaje de nivel de agua. El usuario monitorea el valor de la distancia en la página web a través del porcentaje, por lo que entre más cercana sea la medición a los 18 cm significa que la capacidad del tanque está alrededor del 0% y es momento de recargar el tanque de agua. El llenado del depósito de agua es la única acción que depende totalmente del usuario. Adicionalmente, el nivel de agua del depósito puede ser identificado por el usuario sin necesidad de consultar los datos en la página web. Esto último es posible con una matriz de leds que muestra símbolos gestuales en forma de carita feliz o triste. Por ejemplo, si en la matriz se visualiza una carita triste, entonces, es necesario recargar agua en el depósito; por el contrario, si se visualiza una carita feliz no es necesario realizar ninguna acción.

Para el caso de la iluminación, la maceta incorpora una lámpara compuesta por 6 leds de potencia conectados en serie. La página web incorpora un editor en que el usuario introducirá el porcentaje de intensidad de iluminación deseado en la lámpara, donde 0% corresponde a la lámpara apagada y 100% la lámpara encendida al máximo. El microcontrolador es el encargado de generar una señal de control tipo PWM (modulación por ancho de pulso) a una frecuencia de 1 kHz, tal como se presenta en la Fig. 9, donde por ejemplo un 50% corresponde a una señal PWM con el 50% del ciclo de trabajo. La etapa de potencia para encender los leds utiliza el mismo circuito puente-H que usa la bomba.

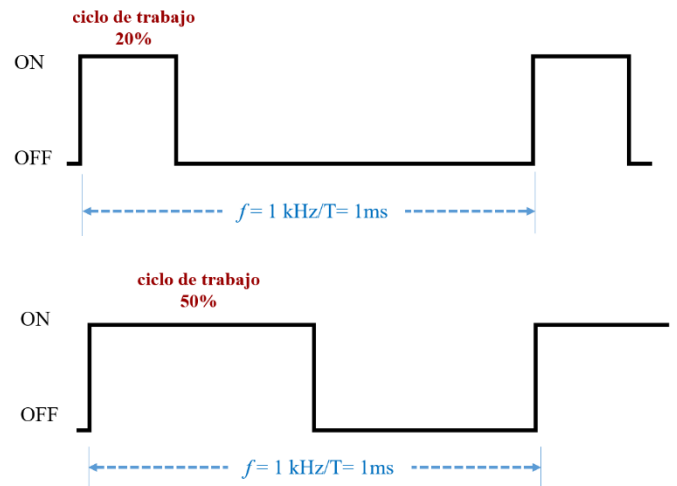


Fig. 9. Esquema de la señal PWM para intensidad de luz.

La página web se programó usando lenguaje HTML, en donde se presenta la interfaz de monitoreo y control de los parámetros de la maceta, tal como se presenta en la Fig. 10. Los datos provenientes de los sensores de temperatura (DHT11), humedad (YL-69) y ultrasónico (HC-SR04) se actualizan en tiempo real. Para lograr la transferencia de los datos se

establece una conexión directa entre la página web y el NodeMCU usando webSocket por Wi-Fi. En la Fig. 10 se observan los cuadros de texto en donde se visualizan los datos de humedad y temperatura. Para el caso de iluminación, el usuario debe introducir un valor numérico entre 0 y 100%, correspondiente al porcentaje de intensidad de luz deseado. Se incorpora una barra tipo slide dentro de la interfaz para observar el porcentaje del nivel de agua del depósito obtenido del sensor ultrasónico.

Tal como se mencionó anteriormente, el microcontrolador es el encargado de controlar todas las funciones y de almacenar en la memoria la página web. El diagrama de flujo de la Fig. 11 presenta el proceso que se programó en el microcontrolador. La programación se realizó usando el IDE de Arduino y sus librerías, pues dado que la tarjeta NodeMCU es de hardware abierto, este puede usarse como una placa Arduino.



Fig. 10. Interfaz de monitoreo y control en la página web.

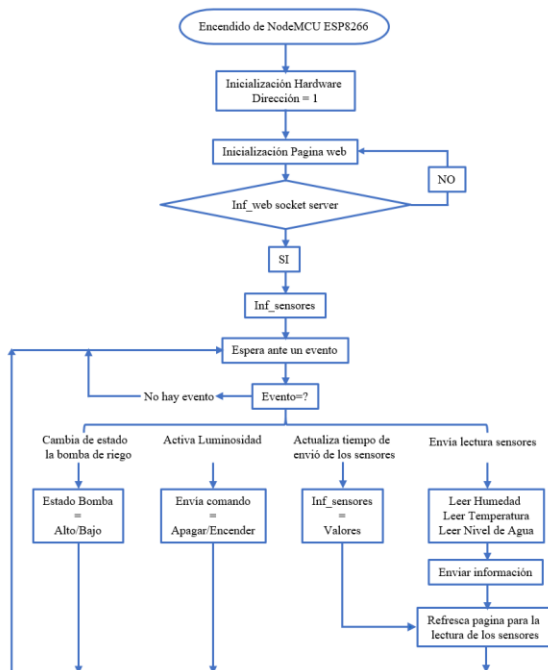


Fig. 11. Interfaz de monitoreo y control en la página web.

III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para validar el desempeño de nuestro sistema se construyó un prototipo para la maceta. Este prototipo se muestra en la Fig. 12. Los distintos usuarios pueden acceder a la interfaz de la página web, por medio de cualquier dispositivo con conexión Wi-Fi: PC, Tablet, o Smartphone, usando la dirección 192.168.5.1. Para validar el sistema de riego automático se realizaron 5 pruebas. En cada prueba se sometió el sensor a los 3 diferentes suelos: seco, húmedo y mojado, completando así 15 mediciones en las 5 pruebas. En los 5 casos, correspondientes al suelo seco, se accionó la bomba y se desactivó cuando se registraron los niveles de suelo húmedo. El control manual de intensidad de iluminación funcionó al 100%, pues la señal PWM se generó con los valores de ciclo de trabajo correcto. Las figuras 13 y 14 presentan las señales obtenidas cuando se insertó el 25% y 50% del ciclo de trabajo desde la página web, se comprueba la frecuencia de 1 kHz. Estas señales se midieron en un osciloscopio Tektronix modelo TBS1102B-EDU.



Fig. 12. Prototipo de la maceta inteligente.

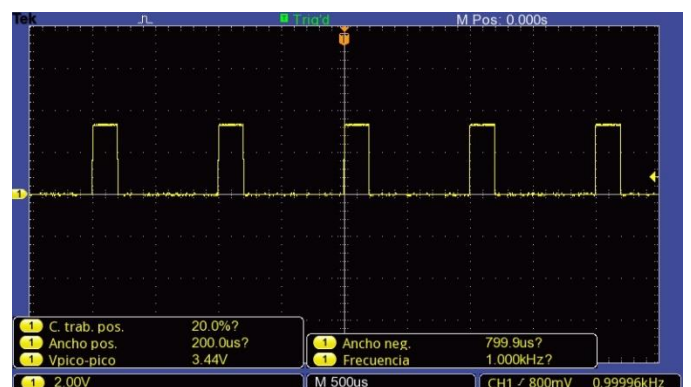


Fig. 13. Señal PWM obtenida para una intensidad de luz del 25%.

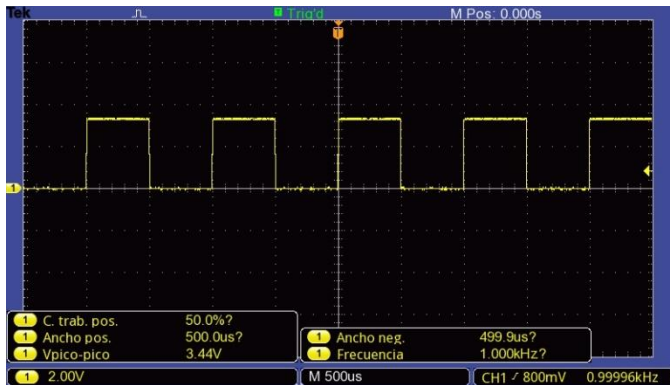


Fig. 14. Señal PWM obtenida para una intensidad de luz del 50%.

Los cambios en los valores del nivel del agua y temperatura del aire se visualizaron en la interfaz de la página web, lo que comprueba la correcta transmisión y visualización de los datos. El monitoreo de los parámetros a través de una página web nos permite incorporar el sistema de la maceta en un servidor de internet, y así obtener una aplicación IoT. Esta aplicación se ha pensado principalmente para plantas en interiores, en las que el usuario no tenga que preocuparse de sus cuidados, y sin importar la distancia a la que se encuentre, pueda monitorear los parámetros de su planta. Los resultados obtenidos nos reflejan que el sistema es viable para su implementación real e incluso llegar a su comercialización.

IV. CONCLUSIONES

Se presentó un sistema de medición de variables ambientales para el crecimiento de plantas en una maceta. El prototipo de la maceta cuenta con conexión WiFi a una página web. El sistema permite el monitoreo automático de diferentes parámetros importantes en una planta, como temperatura del aire y humedad. Se controla la intensidad de la iluminación y el sistema de riego es automático. Todas las mediciones fueron confiables y actualizadas en la página web cuando se llevaron a cabo las diferentes pruebas. El uso de la página web y conexión Wi-Fi permite que desde cualquier dispositivo móvil, PC, Tablet o Smartphone, sean visualizados los parámetros de la planta. El

trabajo en proceso consiste en automatizar el control de la intensidad de luz y de monitorear la temperatura de la planta, pues hasta ahora solo mide la temperatura del ambiente exterior.

Consideramos que el proyecto tiene gran potencial para su implementación y comercialización, por ello, esta propuesta corresponde a la primera etapa del proyecto de Maceta Inteligente. Como trabajo futuro se propone verificar la funcionalidad real del prototipo, pues el riego automático depende también del tipo de planta, por ello se plantea trabajar en una base de datos en la que se almacenen parámetros de plantas de cuidados especiales, por ejemplo orquídeas.

REFERENCIAS

- [1] T. Morimoto, K. Hatou, Y. Hashimoto, "Intelligent control for a plant production system", *Control Engineering Practice*, vol. 4, no 6, p. 773-784, 1996.
- [2] R. Li, H. Liu, X. Wang, Y. Bian and K. Li, "Design of intelligent control system for plant growth," 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Chongqing, pp. 5966-5970, 2017.
- [3] Zhang, Xihai, et al. "A novel and smart automatic light-seeking flowerpot for monitoring flower growth environment". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 11, no 2, p. 184-189, 2018.
- [4] N. Agrawal, S. Singhal, "Smart drip irrigation system using raspberry pi and Arduino", in *Computing, Communication & Automation (ICCCA)*, 2015 International Conference on. IEEE, p. 928-932, 2015.
- [5] S. N. Ishak, et al. "Smart home garden irrigation system using Raspberry Pi", in *Communications (MICC), 2017 IEEE 13th Malaysia International Conference on*, p. 101-106, 2017.
- [6] N. Pavón, et al. "Sistema de riego de plantas de interior basado en Redes Inalámbricas de Sensores y dispositivos móviles inteligentes", in *Jornadas de Computación Empotrada y Reconfigurable*, 2012.
- [7] A. Zanella, "Internet of things for smart cities". *IEEE Internet of Things journal*, vol. 1, no 1, p. 22-32, 2014.
- [8] B. Min, S.J. Park. "A Smart Indoor Gardening System Using IoT Technology", in *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*. Springer, Singapore, p. 683-687, 2017.
- [9] M. Subashini, et al., "Internet of Things based Wireless Plant Sensor for Smart Farming", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 10, no 2, p. 456-468, 2018.
- [10] G.T. García, et al. "Wireless Sensor Network for Monitoring Physical Variables Applied to Green Technology (IoT Green Technology)". *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 2, no 2, 2018.
- [11] "DHT11 data sheet", Mouser Electronics, Mansfield, Texas USA.
- [12] "Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 data sheet", Elecfreaks, China.
- [13] "ESP8266 data sheet", Espressif Systems, Shanghai.