

Monitoreo en tiempo real de conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos

Wurm Guillermo Emilio¹, Urquijo Rubén Ricardo^{1 2}, Marinelli Marcelo Julio^{1 2}

¹ Universidad Nacional de Misiones

² Instituto de Biotecnología de Misiones - Universidad Nacional de Misiones
[f{guillermowurm, rubenurquijo, marcelomarinelli}@fceqyn.unam.edu.ar](mailto:{guillermowurm, rubenurquijo, marcelomarinelli}@fceqyn.unam.edu.ar)

Resumen. Se presenta el desarrollo de un sistema que permite medir y comunicar en tiempo real el valor de la conductividad eléctrica en la solución de nutrientes en sistemas hidropónicos. Para este trabajo se diseñó y construyó un conductímetro que integra un circuito electrónico a una placa Arduino Mega, utilizando como elemento sensor una punta con electrodos de carbono. Los valores de conductividad eléctrica son procesados y por medio de una conexión a una Raspberry Pi conectada a Internet se almacenan en un disco virtual utilizando un software de internet de las cosas, que también envía avisos por mail cuando los valores de conductividad de la solución son anómalos.

Keywords: Conductividad eléctrica, Hidroponia, Sistemas embebidos.

1 Introducción

La conductividad eléctrica (CE) de la solución de sistemas de cultivo hidropónico está en relación con la concentración de sales disueltas y con la cantidad Total de Sólidos Disueltos (TDS), principalmente sales minerales. El control de esta variable permite mantener el adecuado estado de la solución y evitar el riesgo de un exceso de salinidad, lo que provoca una disminución de la producción [4], [5], [7]. La circulación de nutrientes, la vaporización del agua y la absorción por parte de los cultivos modifican los valores de CE que debe mantenerse en un valor próximo a $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ [7].

El diseño de un sistema de adquisición de datos en tiempo real de CE permite tener un registro del estado de la solución que alimenta a las plantas y la activación de alarmas para su corrección en forma manual. En un futuro trabajo se desarrollará un sistema de corrección automático que, en función de la medición del CE, inyecte nutrientes a la solución con el fin de mantener en niveles adecuados los valores para el cultivo hidropónico.

2 Diseño del instrumental.

Para determinar la conductividad en un medio líquido, como la solución hidropónica, se debe hacer circular una pequeña corriente a través de la misma por medio de los electrodos que conforman la celda de medida del instrumento. Estas soluciones al ser sometidas a un campo eléctrico generan iones que se desplazan hacia los electrodos. Si se aplica una diferencia de potencial continua se produce la descomposición de las moléculas en iones positivos y negativos dando como resultado una corriente eléctrica que no respondería a la verdadera concentración de nutrientes que se quiere medir. Asimismo, la capa de la solución próxima a los electrodos tiende a agotarse en las soluciones que se oxidan o reducen, y la superficie de los electrodos se altera por los productos de la electrolisis [1], [6]. Para el desarrollo del conductímetro se tuvo en cuenta que estos efectos adversos se reducen aplicando una corriente alterna a través de los electrodos del instrumento, se recomienda una forma de onda cuadrada con frecuencias entre 100 Hz y 1000 Hz [1].

El instrumental que se describe a continuación está compuesto de un circuito electrónico y una placa Arduino Mega, y presenta un diseño mejorado a versiones anteriores desarrolladas por el equipo de trabajo [3]. Se simplifica el circuito electrónico reemplazando la fuente de alimentación simétrica por una fuente simple de 9 V y se elimina el circuito oscilador ya que la señal alterna es generada directamente en la Placa Arduino. También se reemplazó los electrodos de acero inoxidable por electrodos de carbono.

2.1 Descripción del instrumental

La señal alterna requerida por el conductímetro es generada por software en la placa Arduino mediante la función “tone”. A través de una salida digital la señal de 730 Hz es enviada a un adaptador de impedancia que transfiere esta corriente alterna a los electrodos de carbono. La señal de amplitud proporcional a la conductividad de la solución es amplificada y rectificada, en la última etapa un filtro Pasa bajos transforma la señal pulsante en una señal continua con un pequeño rizado, ver Fig. 1. El valor de la tensión de esta señal continua está estrictamente relacionado con la conductividad del medio donde se introducen los electrodos. Por medio de un puerto analógico de la Placa Arduino se transforman estos valores de tensión en valores digitales que se operan para arrojar valores de conductividad expresados en unidades TDS: partículas por millón ppm.

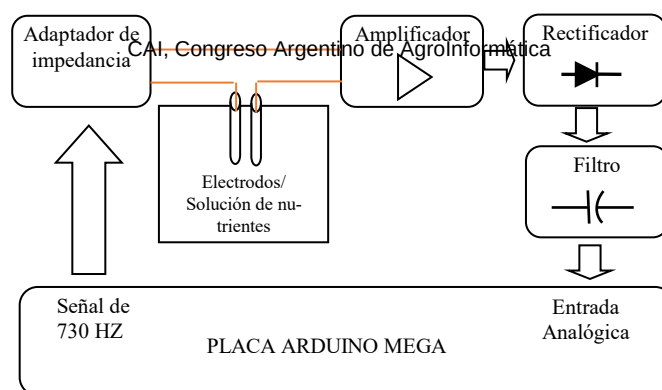


Fig. 1. Diagrama en bloques del conductímetro.

El circuito se alimenta con una fuente de tensión simple de 9V, como las etapas de adaptación de impedancia, amplificación y rectificación están basadas en circuitos con amplificadores operacionales, se requiere una tensión de referencia como punto medio. Por ello, se incluye un circuito con un regulador LM317 que establece una tensión de referencia de 4,5V y este conforma el punto de masa del circuito, ver Fig. 2.

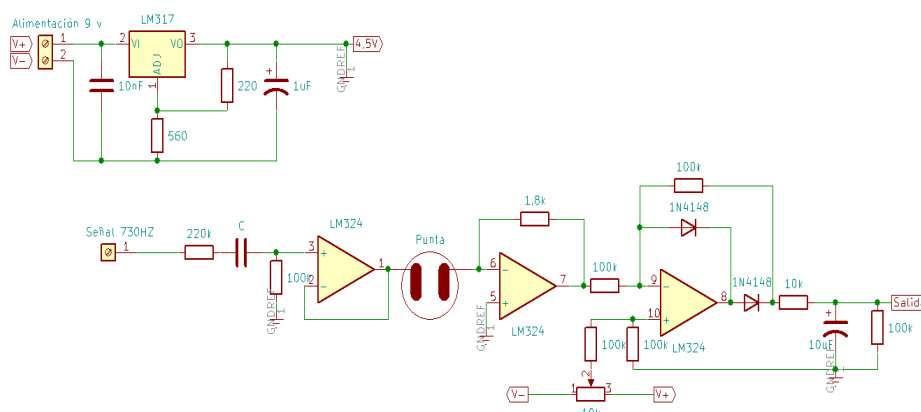


Fig. 2. Circuito electrónico del conductímetro.

2.2 Construcción de celda del sensor y calibración del instrumento

Las celdas del sensor están construidas con electrodos de carbono para los cuales se utilizó escobillas de motores monofásicos. Estos electrodos presentan una respuesta aceptable en mediciones de conductividad y una mayor estabilidad química que los electrodos de acero inoxidable [2] a la vez que son una opción económica respecto a los electrodos comerciales de platino.

Las celdas de carbono presentan la capacidad de absorber agua [2]; como el monitoreo se realiza de forma continua con el electrodo sumergido en la solución, antes de realizar la calibración del instrumento se debe deponer la punta inmersa en agua desmineralizada por 24hs. De esta manera, se saturan las celdas y se evita el desajuste por absorción de agua.

Para realizar la calibración del instrumento se prepararon cuatro soluciones con distintas concentraciones de nutrientes medidas con un conductímetro digital TDS. El conductímetro comercial implementado presenta un factor de conversión de 500 ppm/ (dS*m⁻¹) en un rango de medición de 0 a 9990 ppm. La resolución es de 1 ppm, en la escala de 0 a 999, y 10 ppm en la de 1000 a 9990. La precisión de este dispositivo, según el fabricante, es +/- 2%. En la Fig. 3 se exponen los resultados de las mediciones para la calibración.

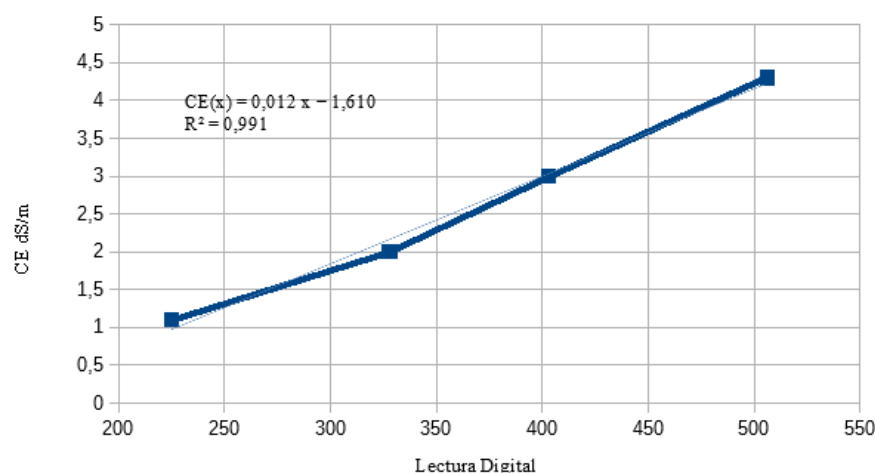


Fig. 3. Calibración del instrumento.

A partir de estos valores se puede ajustar la relación entre lectura digital y CE mediante la siguiente ecuación:

$$CE = 0,012 x - 1,610 \quad (1)$$

El circuito de amplificación del instrumento presenta una respuesta lineal en un rango de $\pm 3V$, se adaptaron los valores de señal para que estén por debajo 2,5V de valor pico. Por esta razón se decidió utilizar una tensión de referencia para la conversión analogía digital de 2,56V, mediante la instrucción “analogReference (INTERNAL2V56), que por defecto es de 5V en las placas Arduino Mega. Así se tiene una resolución de 2,5 mV/bit en la conversión, con lo que se consiguió la relación de 0,012 (dS*m⁻¹)/bit para valores de conductividad entre 1,1 dS*m⁻¹ a 4,4 dS*m⁻¹.

3 Software de procesamiento de alarmas

La placa Arduino, a través de su conexión USB se conecta a un puerto USB de la placa Raspberry Pi. De esta forma los datos provenientes de la medición de CE son

enviados en forma serial a intervalos de tiempo por una variable t del programa residente en la placa Arduino mediante el comando *delay(t)* en la subrutina *loop()*.

Para procesar los datos se utiliza Node-Red [8], un programa orientado a Internet de las cosas (IoT).

3.1 NODE-RED

Es un editor web para la generación de aplicaciones IoT. Es de código abierto, creado por el equipo de *IBM Emerging Technology*. Con una interfaz amigable que, mediante la función de arrastrar y soltar, permite situar en el área de trabajo, nodos que representan APIs de web, servicios en línea o dispositivos de hardware.

Cada nodo puede ser uno de los siguientes tipos: nodo de inyección o nodo de función. Los nodos de inyección son los que producen un mensaje sin tener la necesidad de una entrada y envían el mensaje al siguiente nodo conectado a éste. Los nodos de función poseen una entrada y se realiza algún trabajo en él. Con una gran cantidad de nodos disponibles para elegir a la hora de diseñar aplicaciones IoT, NODE-RED hace que conectar dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea entre sí sea muy sencillo.

La comunicación de los nodos, representado mediante una línea continua, indica el flujo de datos que se transfieren entre nodos [9]; también es posible programar funciones en *JavaScript*, así se pueden incorporar nodos que tengan dentro funcionalidades específicas definidas y programadas con el lenguaje antes mencionado.

El motor en tiempo real se basa en Node.js, un entorno para ejecutar *JavaScript*, realizado con el motor V8 de Chrome. Dado que Node.js trabaja con arquitecturas basadas en eventos no bloqueantes que se ejecutan del lado del servidor, se consumen pocos recursos de hardware y esto lo vuelve ideal para poder correr en placas Arduino (www.arduino.cc) o Raspberry Pi [10].

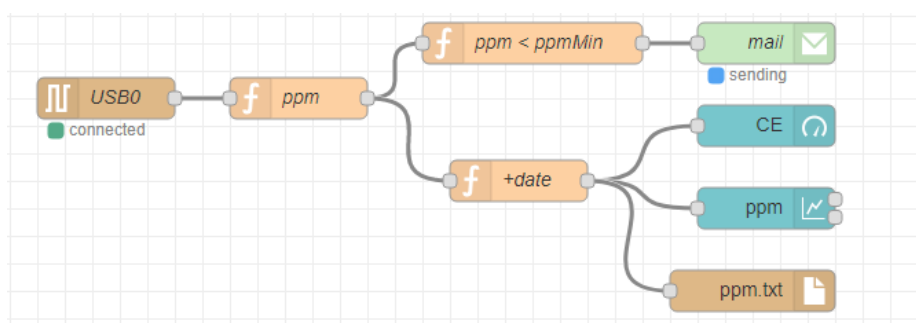


Fig. 4 Diagrama de nodos del programa en Node-Red

Como se puede apreciar en la Fig. 4, se utiliza un nodo serial para tomar los datos desde el puerto USB, los datos se validan con el nodo función ppm, luego se guardan

en un archivo del sistema de archivos de *Raspbian*. Mediante una cuenta de Dropbox y el nodo correspondiente se actualizan los datos en la nube.

Con un nodo de función “ppm < ppmMin” se detecta cuando el nivel de CE sea bajo y en ese caso se envía un mail a la cuenta del administrador del sistema.

Por otro lado, se presentan los datos en el *Dashboard* de Node-Red (Fig. 5), en un gráfico de líneas donde se puede apreciar la evolución de la variación de la concentración de nutrientes y un gráfico tipo gaussiano que muestra los valores en tiempo real.

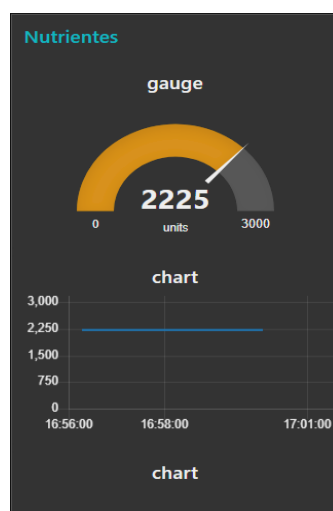


Fig. 5 Interfaz gráfica para el monitoreo de CE

4 Conclusión

En esta época altamente desarrollada donde, directa o indirectamente, todo depende de la computación y la tecnología de la información, placas de desarrollo como Arduino o Raspberry Pi demuestran ser una plataforma potente, económica y eficiente para poder implementar soluciones informáticas en distintas situaciones. Sumado a esto, la facilidad con que se pueden crear aplicaciones IoT utilizando NODE-RED, se pueden crear sistemas de monitoreo o procesamiento de alarmas, como el que se muestra en este documento.

En este trabajo se logró desarrollar un instrumento que presenta una buena estabilidad en la lectura de CE a un bajo costo, la simplificación del circuito electrónico permite que la señal alterna que polariza las puntas se active únicamente en los periodos

en que se realizan las mediciones, con lo que se incrementa la vida útil de los electrodos.

El monitoreo en tiempo real y las alertas permiten realizar tareas correctivas en los procesos de cultivos hidropónicos, mientras que la posibilidad de almacenar los valores en un disco virtual nos permitirá analizar la relación entre los valores históricos de CE con otras variables como temperatura ambiente o estaciones del año para diferentes cultivos.

5 Referencias

1. Casa, C., Renato, G.: Diseño y construcción de un sistema de control de electroconductividad (EC) para camas de cultivo en un invernadero (2002.).
2. Cjuno, J. A.: Diseño y armado de un conductímetro de baja frecuencia con electrodos de carbón amorfo. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, Vol. 8. (2005) 23–28.
3. Marinelli, M., Wurm G.: Sistema de adquisición en tiempo real de conductividad eléctrica y pH en nutrientes hidropónicos. *Anales del IV Seminario Argentina-Brasil de Tecnologías de la Información y la Comunicación*, (2016) 243–252
4. Liopa-Tsakalidi, A., Savvas D., Beligiannis, G.: Modelling the Richards function using Evolutionary Algorithms on the effect of electrical conductivity of nutrient solution on zucchini growth in hydroponic culture. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 18. (2010) 1266–1273.
5. Lykas, C., Katsoulas, N., Giaglaras, P., Kittas, C.: Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Crop. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 29. (2006) 1585–1599.
6. Velázquez, A., Hernández, M., León, M.: First Advances on the Development of a Hydroponic System for Cherry Tomato Culture. (2013) 155–159.
7. Wu, M., Kubota, C.: Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, Vol. 116. (2008) 122–129.
8. Blackstock, M., & Lea, R. (2014, October). Toward a distributed data flow platform for the web of things (distributed node-red). In *Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things* (pp. 34-39). ACM.
9. Kleinfeld, R., Steglich, S., Radziwonowicz, L., & Doukas, C. (2014, October). glue.things: a Mashup Platform for wiring the Internet of Things with the Internet of Services. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things* (pp. 16-21). ACM.
10. Salihbegovic, A., Eterovic, T., Kaljic, E., & Ribic, S. (2015, May). Design of a domain specific language and IDE for Internet of things applications. In *Information and Communi-*

cation Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2015 38th International Convention on (pp. 996-1001). IEEE.