



Monitoreo de calidad de agua usando red de sensores inalámbricos LPWAN

Water quality monitoring using LPWAN wireless sensors network

Cristian Yamith Burbano Ordoñez ^{1*}, Julián Rolando Camargo López ², Cesar Andrey Perdomo Charry ³

¹.Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Laboratorio de Automática, Sistemas Embebidos y Robótica. cyburbano@correo.udistrital.edu.co

² Docente de Tiempo Completo, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Laboratorio de Automática, Sistemas Embebidos y Robótica. jcamargo@udistrital.edu.co

³ Docente de Tiempo Completo, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Laboratorio de Automática, Sistemas Embebidos y Robótica. cperdomo@correo.udistrital.edu.co

Resumen

En este documento se muestra el diseño y la implementación de una red de sensores inalámbricos para medir parámetros de calidad del agua en ríos, empleando elementos de bajo costo. Se emplean módulos LoRa™ para la comunicación entre nodos, la cual es una tecnología surgida con el auge que ha tenido las WSN (redes de sensores inalámbricos), el IoT (Internet de las Cosas) y el M2M. Se construyen nodos sensores los cuales monitorean los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, pH, temperatura. También se realiza un nodo receptor que estará conectado a un computador y mostrará los datos mediante una interfaz gráfica realizada en Java.

Palabras clave: LoRa, Red de Sensores Inalambricos

Abstract

This article shows the design and implementation of a wireless sensor network to measure water quality parameters in rivers, using low cost elements. Long Range (LoRa) modules are used for communication between nodes, due to the widely used in Wireless Sensor Networks (WSN), Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine (M2M) technologies. The sensor nodes are designed to monitor the following parameters: electrical conductivity, potential of Hydrogen (pH) and temperature. Moreover, a receiver node will be connected to a computer to display the data through a Graphical User Interface (GUI) in Java.

Keywords: LoRa, WSN

1. Introducción

Un tema que a diario toma más importancia es el uso eficiente del recurso hídrico, teniendo en cuenta que muchas acciones que se realizan afectan su calidad (ONU,2014). Presentar la posibilidad de monitorear los parámetros de la calidad del agua como lo es el pH (potencial de hidrogeno), CE (conductividad eléctrica), y la temperatura se ha vuelto un proceso imprescindible para que con base en la medida de estos y otros parámetros se puedan tomar decisiones correctas respecto al control del agua. En Colombia, la calidad del agua de consumo solo se determina teniendo en cuenta parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Gelves, 2015).

La conductividad eléctrica es otro parámetro de interés ya que a través de este se puede determinar de manera indirecta los sólidos totales disueltos o sales disueltas. Aunque la salinidad en el agua no es un estándar primario y por sí sola no es motivo de daños en la salud, el uso de estas aguas puede presentar inconvenientes en su empleo. Si la salinidad es muy alta ya no es conveniente su consumo sin un tratamiento previo. El pH, presenta información sobre la acidez o alcalinidad del agua, que permite saber si el agua es corrosiva o incrustante. La temperatura también es un parámetro importante para medir. La contaminación térmica puede causar trastornos en sistemas

acuáticos. Si la temperatura aumenta disminuye la concentración de oxígeno disuelto (OD), si este es deficiente puede ocasionar la muerte de especies acuáticas. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida (Rocha, 2010).

2. Metodología

Para la realización del prototipo se establecen las variables a tener en cuenta (temperatura, conductividad, ph) y la comunicación haciendo uso de la especificación LoRa, como se puede observar en la figura 1.

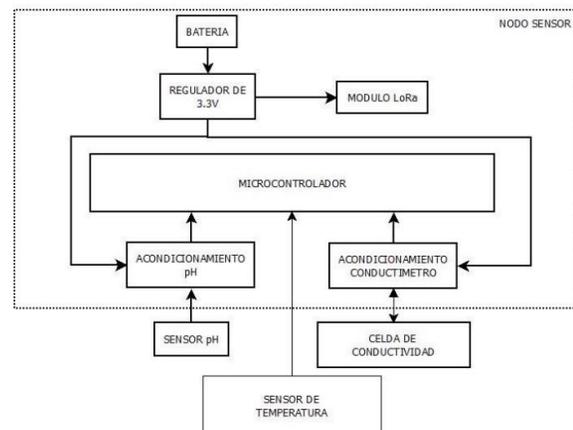


Figura. 1. Diagrama de bloques del prototipo

Como se puede observar en la figura 1, se hace necesario los circuitos de acondicionamiento de los sensores de pH y conductividad. En el caso del sensor de temperatura no se hace necesario pues se usa un sensor de tipo digital que ya cuenta con caracterización por fabricante.

2.1 Presentación del módulo LoRa y caracterización de sensores

155

Módulos LoRa

Los módulos LoRa usados en el prototipo son del fabricante Microchip de referencia RN2903 como se puede ver en la figura 2.

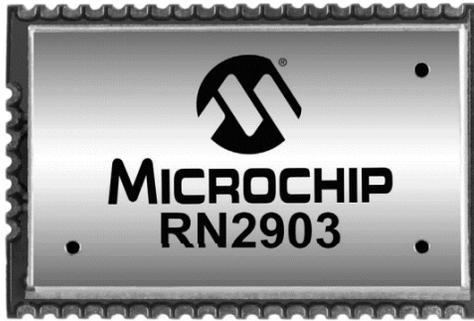


Figura. 2. Módulo RN2903 (Microchip,2015)

En cuanto a características eléctricas el modulo opera entre los 2.1V a 3.6V. El consumo de corriente a 3.3V va desde 0.0013mA(inactivo) hasta los 2.8mA. Cuando se encuentra en modo transmisión puede llegar hasta los 124.4mA. Adicionalmente, se usó una antena externa de la empresa PULSE ELECTRONICS Referencia W1063.

Sensor de conductividad

Para el diseño de la celda que permita la medición de la conductividad se crearon distintos prototipos con el fin de encontrar la más adecuada para el proyecto. En la figura 3 se muestra las 3 celdas probadas.

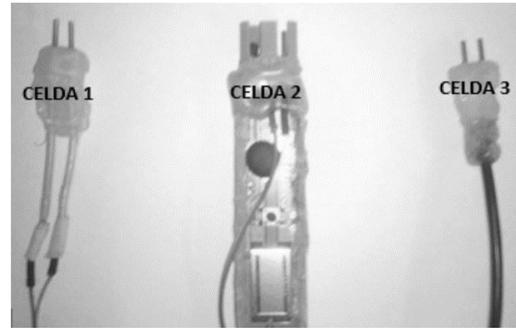


Figura. 3. Celdas para medición de la conductividad

La celda 1 de la figura 3 se realizó a partir de dos alambres de cobre AWG14. La celda 2 fue construida a partir de un medidor TDS (Total Solidos Disueltos), por último, la celda 3 se realizó con acero inoxidable del mismo tamaño del alambre de cobre.

El circuito para realizar la medición con este sensor se muestra en la figura 4 y 5, en donde la ganancia depende de la conductancia de la sustancia en la cual se encuentra el sensor.

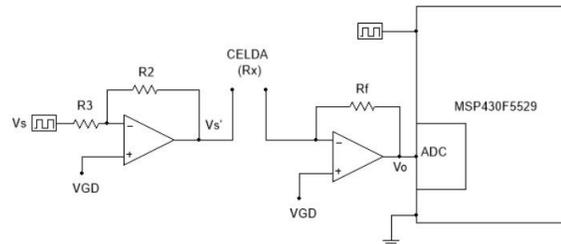


Figura. 4. Acondicionador de señal medidor de conductividad

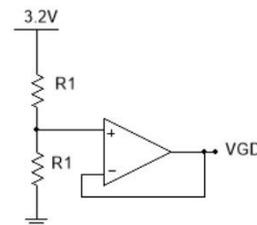


Figura. 5. Tierra virtual VGD

Teniendo en cuenta que la polarización del prototipo se realizó con fuente sencilla, se usa el amplificador operacional de precisión OPA2316-Q1.

Inicialmente los valores de las resistencias se establecen en la ecuaciones 1 al 4.

Ec. 1 $R_f = 0.983 K\Omega \cong 1K\Omega$

Ec. 2 $R_2 = 0.968 K\Omega \cong 1K\Omega$

Ec. 3 $R_3 = 1.97 K\Omega \cong 2K\Omega$

Ec. 4 $R_1 = 50 K\Omega$

Debido a que el primer operacional se encarga únicamente de reducir el voltaje de la señal cuadrada generada en el microcontrolador en referencia con la tierra virtual. De allí tenemos:

Ec. 5 $V_s' = -V_s \frac{R_2}{R_3} + \left(\frac{R_2}{R_3} + 1\right) VGD$

Al ser la señal Vs una señal cuadrada se tiene 2 valores posibles como se observa en la ecuación 6:

Ec. 6 $V_s' = \begin{cases} 0.8138V & | & V_s = 3.2 V \\ 2.3862V & | & V_s = 0 V \end{cases}$

Al analizar el segundo operacional se calcula la salida con la ecuación 7.

Ec. 7 $V_o = -V_s' \frac{R_f}{R_x} + \left(\frac{R_f}{R_x} + 1\right) VGD$

Reemplazando, se obtiene la ecuación 8:

Ec. 8 $V_o = \begin{cases} \frac{0.8V * K\Omega}{R_x} + 1.6 V & | & V_s = 3.2 V \\ -\frac{0.8V * K\Omega}{R_x} + 1.6 V & | & V_s = 0 V \end{cases}$

A partir de allí reemplazando se llega a la ecuación 9:

Ec. 9 $V_o = -\frac{0.8V * K\Omega}{K} * k + 1.6V$

Donde:

k: Conductividad de la sustancia

K: Constante de la celda

A partir del comportamiento que se puede evidenciar en la figura 6, se puede calcular las constantes de las celdas $K_1 = 2.13 cm^{-1}$, $K_2 = 1.4169 cm^{-1}$ y $K_3 = 1.67329 cm^{-1}$.

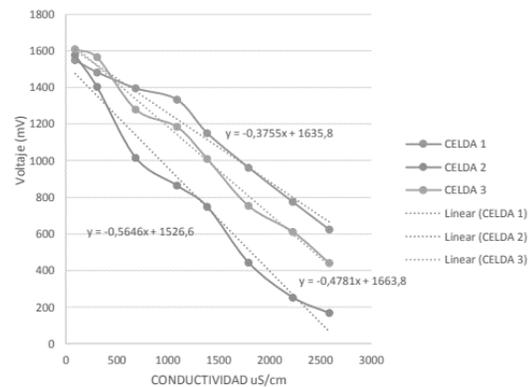


Figura. 6. Respuesta de los sensores propuestos.

Luego de este proceso, se recomienda el uso de la celda 3 debido a que presenta una respuesta más estable y por su característica inoxidable del material.

Sensor de pH

Para el sensor de pH se usó la referencia 009 (I) de marca KELILONG que se muestra en la figura 7.



Figura. 7. Medidor de pH KELILONG 009 (I).

157

El motivo principal de la selección del dispositivo es su bajo costo, que para el desarrollo del prototipo tiene las características suficientes.

Para su caracterización se usó un amplificador no inversor de ganancia 11 que permite obtener la respuesta que se observa en la figura 8.

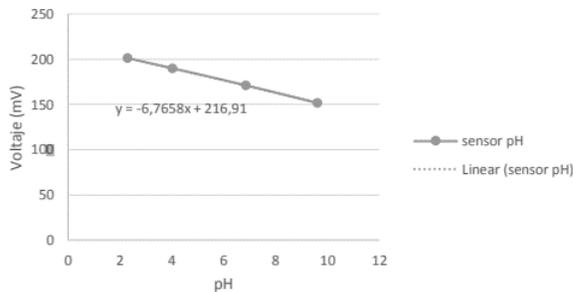


Figura. 8. Respuesta del sensor de pH KELILONG 009 (I).

En la figura 8 se observa una respuesta lineal con offset. Sin embargo, para aprovechar todo el rango de medida del conversor ADC se hace necesario el circuito acondicionador de la figura 9 que permite obtener una respuesta linealizada como se puede observar en la figura 10.

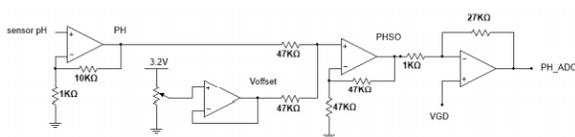


Figura. 9. Circuito acondicionador del sensor de pH

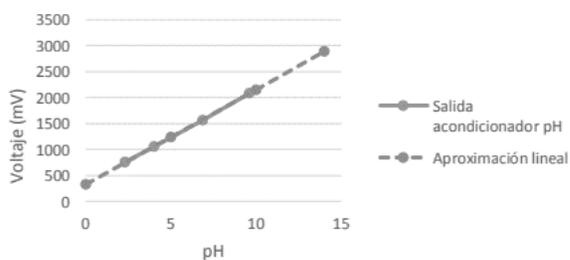


Figura. 10. Respuesta del sensor de pH con circuito de acondicionamiento.

Sensor de temperatura

El sensor de temperatura seleccionado es el DS18B20 que se muestra en la figura 11.



Figura. 11. Sensor de temperatura DS18B20

La salida de la sonda es digital y se comunica con el microcontrolador a través del protocolo 1-Wire donde tanto la transmisión como la recepción se hace por un conductor.

2.2 Diseño y puesta en marcha del prototipo funcional

Como el circuito debe estar sobre el agua es necesario el uso de flotadores y una carcasa que permita protegerlo. Para ello, se hace uso de botellas plásticas que cumplen esta función como se observa en la figura 12.

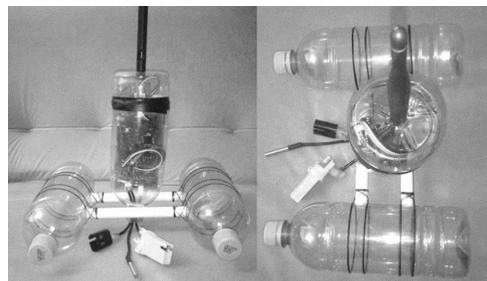


Figura. 12. Sensor de temperatura DS18B20

2.4 Diseño de interfaz gráfica para la visualización de los datos del prototipo.

La visualización de datos se hará con una interfaz gráfica en PC usando Java. En la

158

figura 13 se presenta el hilo en java para la visualización.

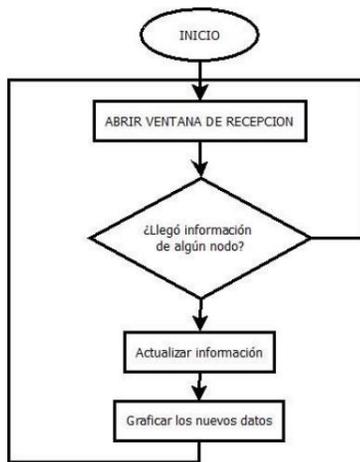


Figura. 13. Hilo en Java para la visualización de datos

Una vez implementada tenemos una interfaz como se muestra en la figura 14:

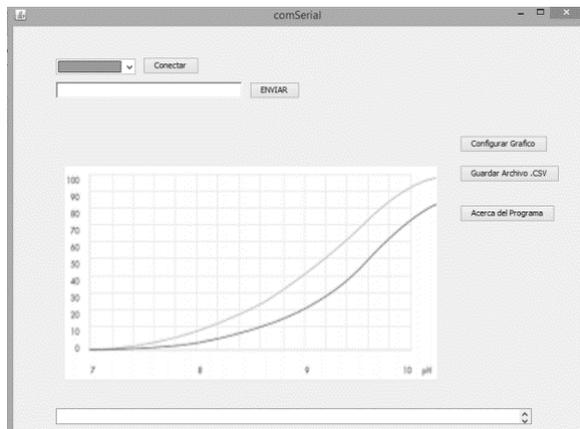


Figura. 14. Interfaz de usuario para la recepción de datos

3. Resultados

El prototipo fue probado con éxito en el río arzobispo en donde tomaron 300 datos en 5 horas de prueba los cuales se muestran a continuación:

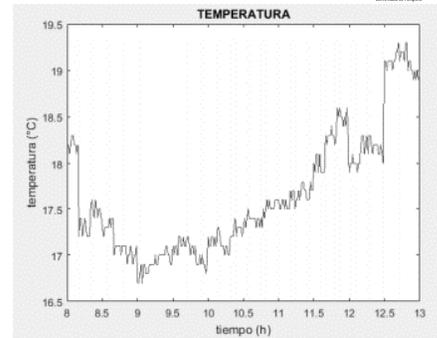


Figura. 15. Datos de temperatura - Prueba río Arzobispo

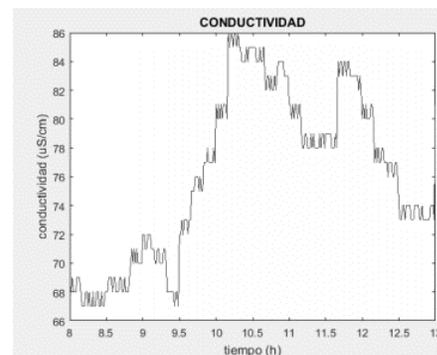


Figura. 16. Datos de conductividad - Prueba río Arzobispo

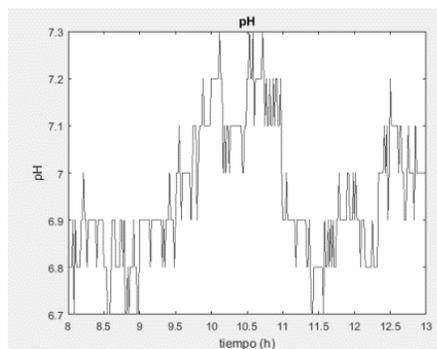


Figura. 17. Datos de pH - Prueba río Arzobispo

El nodo receptor se ubicó a 400 metros del receptor en donde no presento ningún problema en la comunicación de los datos presentados.

Conclusiones

Una comunicación efectiva no solo depende de los módulos de comunicación y de los



159

dispositivos a los que está conectado si no el medio en el cual se transmita; Las distancias alcanzadas por los módulos LoRa en zonas con alta radiación electromagnética son inferiores a las que se obtienen en zonas no Urbanas

Existen diversos parámetros que se deben ajustar para poder lograr un gran alcance con los dispositivos LoRa tales como el acople de impedancias, una antena de alta ganancia, la elección de la potencia de transmisión

El río arzobispo en el punto en que se desarrolló la toma de muestras presenta un pH y una conductividad que están en el rango de agua potable, aunque en los datos correspondientes a conductividad se presentaron variaciones sospechosas que pueden indicar el aumento de los sólidos disueltos.

Referencias Bibliográficas

Naciones Unidas, «Calidad del Agua,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.

D. P. K. A. U. Menon y M. V. Ramesh, «Wireless sensor Network for Rier Water Quality Monitoring in India,» 2012. [En línea]. Available:<http://ieeexplore.ieee.org/bdigi tal.udistrital.edu.co:8080/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6512437>.

Gelvez, I. M., Parra, A. Q., & Perez, E. P. (2015). Actividad genotóxica de aguas antes y despues de clorar en la planta de potabilización Empopamplona. BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS, 13(2), 12-23.

T. S. M. Kulkarni Amruta M., «Solar Powered Water Quality Monitoring system using Wireless Sensor Network,» 2013. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6526423&url=http%3A%2F%2Fieeexpl ore.ieee.org%2Fiel7%2F6520973%2F6526372%2F06526423.pdf%3Farnumber%3D6526423>.

K. M. J. Petajarvi, A. Roivanen, T. Hanninen y M. Pettissalo, «ON the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology,» de 14th International Conference, Fnland, 2015.

LoRa Alliance, «What is LoRa?,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.loraalliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>

F. V. T. Wedt y E. Mackensen, A benchmark survey of long range (LoRa TM) Spreaad-spectrumcommunication at 2.45 GHz for safety applications, Gengenbach, Germany: University of Applied Sicences Offenburg, Department of Business Adm. And Industrial Eng., 2015

C.Y. Burbano Ordoñez, Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - UD; Integrante activo del Grupo de Investigación LASER. [http:// orcid.org/0000-0001-3297-6009](http://orcid.org/0000-0001-3297-6009)

J.R. Camargo López, Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - UD; Magister en Ciencias de la Información y las comunicaciones de la Universidad de Distrital Francisco José de Caldas - UD. Profesor Asistente de la Universidad de Distrital, Facultad de Ingeniería; Integrante activo del Grupo de Investigación LASER. [http:// orcid.org/0000-0001-3297-6009](http://orcid.org/0000-0001-3297-6009)



C.A. Perdomo Charry, Ingeniero Electrónico de la Universidad Surcolombiana - USCO; Magister en Ciencias de la Información y las comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - UD. Profesor Asociado de la Universidad Distrital, Facultad de Ingeniería; Subdirector del Grupo de Investigación LASER. [http:// orcid.org/0000-0001-3297-6009](http://orcid.org/0000-0001-3297-6009)

*Para citar este artículo: Burbano Ordoñez C.Y.; Camargo López J.R.; Perdomo Charry C.A. *Water quality monitoring using LPWAN wireless sensors network*. . Revista Bistua. 2018 (16(2):153-160

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Burbano Ordoñez C.Y. *Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Laboratorio de Automática, Sistemas Embebidos y Robótica.* cyburbano@correo.udistrital.edu.co

Recibido: Diciembre 02 de 2017

Aceptado: Marzo 06 de 2018