

# Sistema Electrónico De Monitoreo, A Través De La Medición De Los Niveles De Contaminación De Las Aguas Del Río La Paz En El Municipio De Mecapaca

Ing. Abigail Esther Garnica Chacolla.

**JUNIOR** Carrera de Ingeniería en Sistemas Electrónicos, Escuela Militar de Ingeniería

La Paz, Bolivia

agarnicac@est.emi.edu.bo



## Electronic monitoring system, through the measurement of the levels of contamination of the waters of the La Paz River in the municipality of Mecapaca

**Resumen**— El presente trabajo tiene por objetivo el diseñar un sistema electrónico de monitoreo que permita la obtención de la temperatura, pH y turbidez de las aguas del Río La Paz en el municipio de Mecapaca, para ello se implementó una red de sensores inalámbricos basados en la tecnología Zigbee los cuales envían la información a un Servidor Raspberry pi que permiten recibir, almacenar y procesar la información en una base de datos, que pueda ser vista mediante una página web.

El sistema propuesto está conformado por tres subsistemas los cuales son: el subsistema de medición de datos, el subsistema de transmisión de datos y el subsistema de almacenamiento de datos.

**Palabras Claves**— *Zigbee, contaminación del agua, sensores inalámbricos, Raspberry Pi, Telemetría, base de datos, tiempo real.*

**Abstract**— The objective of this work is to design an electronic monitoring system that allows obtaining the temperature, pH and turbidity of the waters of the La Paz River in the municipality of Mecapaca, for which a network of technology-based wireless sensors was implemented. Zigbee that sends the information to a Raspberry pi server that allows the information to be received, stored and processed in a database, which can be viewed through a web page.

The proposed system is made up of three subsystems which are: the data measurement subsystem, the data transmission subsystem, and the data storage subsystem.

**Keywords**— *Zigbee, water pollution, wireless sensors, Raspberry Pi, Telemetry, database, real time.*

### I. INTRODUCCIÓN

El agua contaminada de los ríos y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis “A”, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, se calcula que unas 842.000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos.

El crecimiento industrial y demográfico de la ciudad de La Paz ha ocasionado un incremento en la contaminación del Río La Paz. La contaminación del río es causado por los efluentes de las fábricas que se encuentran a orillas del río y desechan sus aguas contaminadas directamente al río, sin recibir un tratamiento previo, por otra parte, las aguas residuales domiciliarias también contribuyen a la contaminación. Las principales zonas afectadas son las zonas agrícolas localizadas en la parte inferior del río, las cuales utilizan el agua del río para el riego de sus cultivos.

El uso de la telemetría permite realizar un monitoreo en tiempo real de la temperatura, pH y turbidez de las aguas del Río La Paz, estas variables monitoreadas son obtenidas por sensores conectados al sistema de monitoreo. Los datos obtenidos por los sensores serán almacenados, organizados y administrados con la finalidad de contar con datos actuales que permitan determinar la contaminación del Río La Paz que es

utilizado para el riego de cultivos. La telemetría permite realizar un envío de información de forma inalámbrica o cableada lo cual permite buscar nuevos protocolos de envío de información inalámbrica que se adapten a las condiciones del área de estudio.

De este modo y con el fin de ayudar a la determinación de los niveles de contaminación actuales del río, es un reto el diseñar un nuevo proyecto para el monitoreo de la temperatura, pH y turbidez del Río La Paz, con el objetivo de ser un instrumento que permita determinar la calidad del agua utilizada para el riego de cultivos.

La inexistencia de datos actuales sobre la contaminación a lo largo del Río La Paz, ocasiona que no se pueda evaluar las tendencias temporales y espaciales de la calidad del agua para poder implementar gestiones de tratamiento de aguas residuales para mitigar la contaminación de este.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente, los sistemas de telemetría son utilizados en aplicaciones para el monitoreo y control de variables como temperatura, presión, humedad, entre otras; así mismo es usado para detección de flotas y sistemas de seguridad.

El presente proyecto fue creado con los requisitos que debe desempeñar una red de inalámbrica de monitoreo, que permite obtener, transmitir y almacenar la información de la mejor manera posible, para ello se realizó el siguiente diseño presentado en el siguiente punto.

### A. Arquitectura del sistema

Para la realización de este proyecto se identificó tres partes que componen el diseño conceptual del sistema las cuales son:

- El dispositivo de monitoreo que está conformada por la parte de detección, alarma y obtención de valores.
- Red de transmisión de información que está conformado por la obtención de valores y el envío de la información.
- El sistema de centralización de información que representa la base de datos y la interfaz de usuario.

El diagrama general del sistema se muestra en la Fig. 1, este diagrama está conformado por los dispositivos de monitoreo localizados a orillas del Río La Paz, la red de transmisión de información conformada por una red inalámbrica Zigbee y por un sistema de centralización de información.

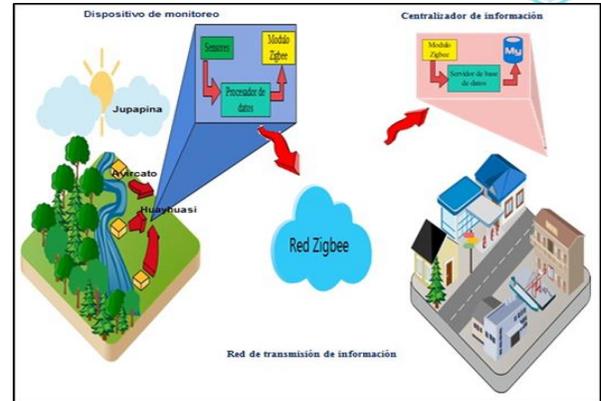


Fig. 1 Diagrama general del sistema

A continuación, se realiza una descripción detallada de las partes del sistema mencionada en la Fig. 2:

### 1) Dispositivo de monitoreo

La información es obtenida por los sensores que se encuentran en las aguas del Río La Paz, los datos obtenidos son de la temperatura, pH y turbidez; los sensores se encuentran conectados a pines análogos y digitales del microprocesador, en caso de ser análogos son convertidos a digitales mediante un ADC integrado en el microprocesador, al tener los datos digitales el microprocesador se encarga del análisis de los datos obtenidos.

El dispositivo de monitoreo también cuenta con un módulo Xbee que se encarga de permitir la conexión del dispositivo de monitoreo con la red de sensores inalámbricos.

En la Fig. 2 se muestra el diseño circuital del dispositivo de monitoreo con los componentes seleccionados en el subtítulo análisis de la tecnología.

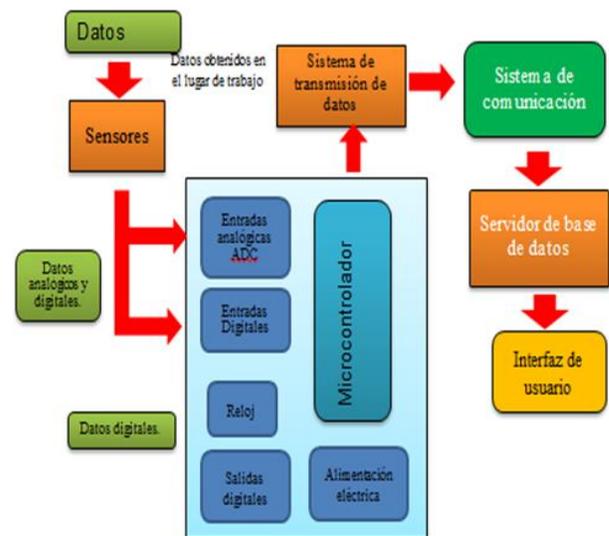


Fig. 2 Dispositivo de monitoreo

## 2) Red de transmisión de información

En la Fig. 3 se muestra el diseño conceptual de la red de sensores inalámbricos Zigbee, las motas sensoriales representan los dispositivos de monitoreo descritos anteriormente que serán colocados en las localidades de: Comunidad de Huaricana Comunidad de Avircato. Comunidad de San Pedro.

La interconexión de la red de sensores inalámbricos Zigbee hacia la red tradicional es centralizada mediante un dispositivo Gateway conformado por una Raspberry Pi, el cual esta interconectado hacia el nodo coordinador de la WSN mediante una conexión serial por puerto USB y por una interfaz Ethernet se encuentra conectado hacia la red LAN, para posteriormente comunicarse con el servidor en donde se deben gestionar los datos de la WSN.

En el segmento de la red LAN se encuentra interconectado una computadora portátil que permitirá verificar la captura de tráfico generado entre la WSN y el servidor, para corroborar el correcto funcionamiento de la red.

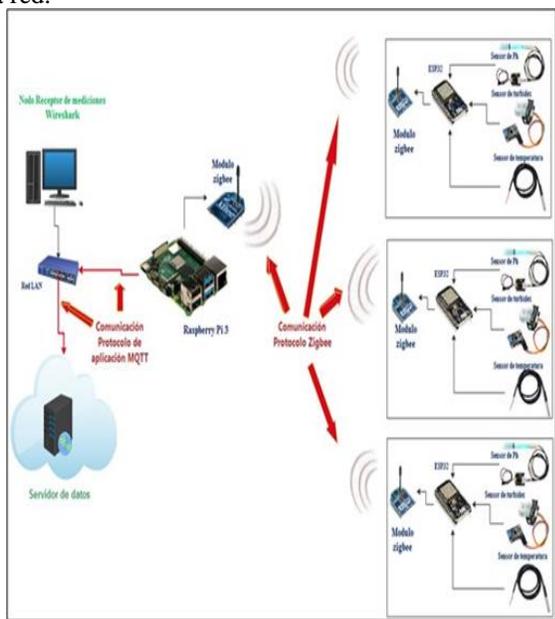


Fig. 3 Diseño conceptual de la red de sensores inalámbricos zigbee

## 3) Sistema de centralización de información

El protocolo de comunicación entre la Raspberry pi y la base de datos es un protocolo MQTT que se basa en la comunicación de sensores ya que consume poco ancho de banda, esta comunicación se basa en "Topics" que son las variables que se miden en el sistema embebido, en este subsistema se almacenan los datos obtenidos por medio de los sensores para posteriormente ser visualizados en la interfaz web.

Como se especificó en la selección de la base de datos, para este proyecto se usó la base de datos MySQL para el

almacenamiento de la información y se usó una interfaz de usuario del tipo GUI, en la Fig. 4 se muestra el diagrama de conexión del sistema de centralización de información, con las características ya descritas.

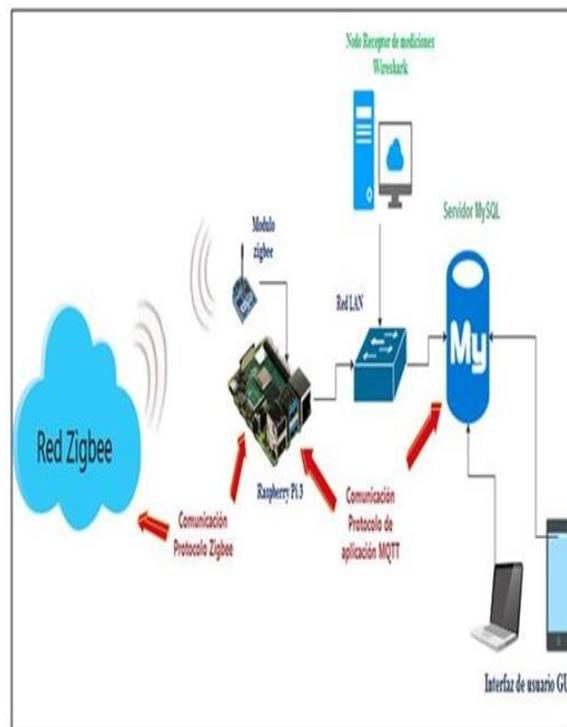


Fig. 4 Sistema de centralización de información

En la Fig. 5 se observa que el protocolo de comunicación entre la red Zigbee y el Raspberry es el protocolo Zigbee, esto debido a las características mismas del terreno que no cuenta con una conexión estable de internet, lo cual impide tener una comunicación confiable entre la red Zigbee y el Gateway, el Raspberry en este proyecto es el Gateway que se encuentra conectado a la red LAN del municipio de Mecapaca, lo cual permite la conexión con internet para poder enviar la información al servidor MySQL .

## B. Diseño Circuitual

El diseño circuitual de un sistema electrónico consiste en investigar y seleccionar los componentes, determinar las especificaciones individuales de los sistemas, verificar el funcionamiento de los circuitos y definir si construir o comprar a nivel de componentes, módulos, subsistemas, etc.

Para iniciar con el diseño circuitual se realizó una investigación de las características técnicas de los componentes que conformaran el sistema de monitoreo, así mismo se realizó una prueba de funcionamiento individual de cada uno de los componentes y se analizó

el comportamiento individual de los mismos, para finalmente llegar al siguiente circuito.

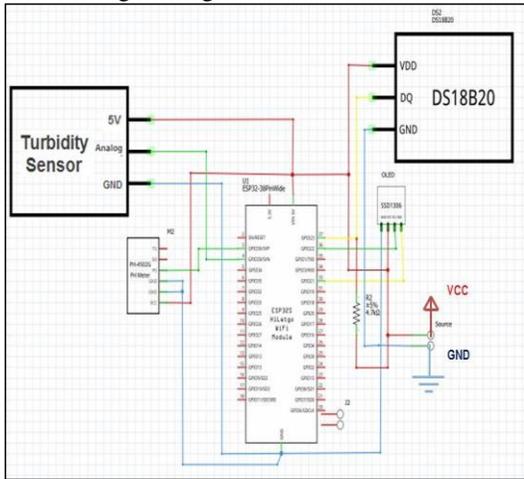


Fig. 5 Diagrama de conexión de los componentes.

C. Creación del servidor y la base de datos  
 El tipo de servidor que se utilizó se denomina LAMP, que es un acrónimo de las herramientas utilizadas en el servidor, las características del servidor utilizado se muestran en la Tabla 1.

TABLA. 1  
 CARACTERÍSTICAS DEL SERVIDOR.

Característica	Selección
Sistema operativo	Linux
Servidor Web	Apache
Gestor de base de datos	MySQL
Lenguaje de programación	PHP

### III. RESULTADOS

Para el análisis del proyecto se realizaron pruebas del prototipo en diferentes localidades del municipio de Mecapaca, la distribución de los dispositivos de monitoreo se puede observar en la siguiente Fig 6.



Fig. 6 Distribución de los dispositivos de monitoreo en el Río La Paz

Para poder evaluar el funcionamiento del prototipo se desarrolló una página web que permita mayor facilidad para poder observar los datos que son obtenidos y almacenados por el sistema desarrollado.



Fig. 7 Página web del sistema de monitoreo

En la Fig. 7 se puede observar la interfaz de usuario que presenta la página web, en la cual se muestra la ubicación geográfica donde se obtuvieron las mediciones de pH, temperatura y turbidez, además de ello permite visualizar los últimos datos almacenados en la base de datos sobre las mediciones realizadas, finalmente cuenta con links de acceso a las mediciones realizadas en las distintas localidades donde se obtuvieron los datos, permitiendo visualizar de forma gráfica la variación de los datos obtenidos, para ello se utilizó el programa de Node Red que es una herramienta de código abierto desarrollada por IBM que permite la creación del flujo del sistema de monitoreo por medio de protocolos estándares como el MQTT.

Los datos obtenidos vistos de forma gráfica se muestran en la Fig. 8.

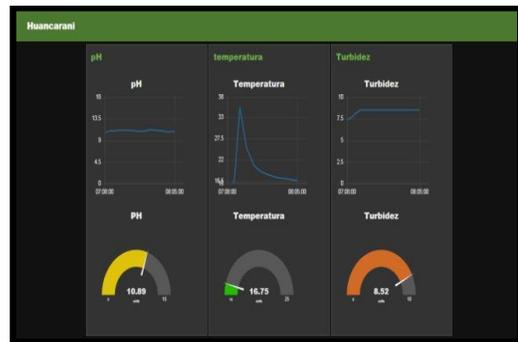


Fig. 8 Grafica de datos medidos a través de node red

Este proyecto es diseñado con la intención de ser una herramienta que coadyuve a la determinación de la contaminación del Río La Paz mediante un análisis de los datos obtenidos, para ello se vio necesario la implementación de la interpolación de Lagrange con el objetivo de obtener las curvas características de cierta cantidad de datos referentes a cada uno de los parámetros medidos en las distintas localidades donde se implemente este sistema, para finalmente ser almacenados en una base de datos más extensa para su posterior análisis.

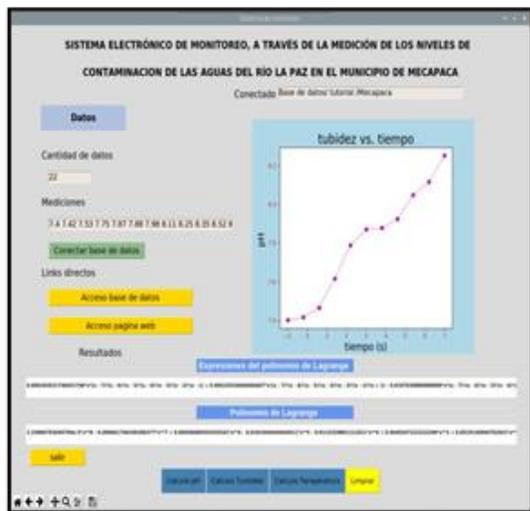


Fig. 9 Interfaz de usuario para la obtención de la interpolación de los puntos de medición

#### IV. CONCLUSIONES

Luego de analizar la información brindada por el municipio de Mecapaca y el ministerio de salud y sobre la base de los valores aceptables de temperatura, pH y turbidez se establece que en el municipio de Mecapaca no hay control sobre estos valores, lo cual afecta a la salud de los pobladores y los consumidores de productos provenientes de este Municipio.

Después de realizar el análisis de la problemática se pudo elaborar el diseño de alto nivel, en el mismo que se determinó las variables de entrada, las variables de salida y los procesos internos, lo cual sirvió para orientar el diseño de detalle y determinar la tecnología, permitiendo la elección adecuada de los componentes internos del circuito y el software a utilizarse para su funcionamiento. Luego de realizar un examen detallado de las características de los componentes empleados en el desarrollo del sistema, fue posible finalizar satisfactoriamente con el diseño circuital del dispositivo de monitoreo mediante el uso de tablas de requerimientos y tablas comparativas de distintos componentes.

Se propone un dispositivo de monitoreo capaz de medir la temperatura, pH y turbidez mediante sensores que cumplen con el rango de medición establecido por la ley

de medio ambiente N.1333, lo cual permite ser una herramienta para determinar la contaminación del Río La Paz.

- Después de haber realizado los prototipos, los mismos que se integraron en un solo sistema, se verificó el funcionamiento del mismo, mediante múltiples pruebas en diferentes localidades, verificando que los resultados son óptimos, lo cual se determinó mediante la respuesta de los sensores y la funcionalidad de la interfaz del usuario.

Por todo lo mencionado anteriormente se puede apreciar que se dio cumplimiento a todos los objetivos planteados para este proyecto, con el fin de coadyuvar determinar el nivel de contaminación del Río La Paz en distintas localidades ubicadas a orillas de este.

#### AGRADECIMIENTOS

Ing. Javier Mario Griffiths Jauregui, Tutor del Proyecto de Grado, quien ha guiado con su paciencia, conocimiento y rectitud como gran docente y profesional de la carrera de Ingeniería en Sistemas Electrónicos. Cnl. Juan Franco Vaca, Docente de Trabajo de Postgrado, por su valiosa orientación y asesoramiento en la realización de este proyecto.

#### Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud. (2019). Agua [página web en línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets>.
- [2] Contraloría general del estado de Bolivia. (2013). Auditoría ambiental. Recuperado de file:///C:/Users/usuario/Downloads/20130801\_596.pdf
- [3] Cereceda, J. (2019). El 65% de los grandes ríos del mundo están contaminados con antibióticos [versión electrónica]. Euronews. Disponible en: <https://es.euronews.com/2019/05/30/detectan-contaminacion-por-antibioticos-en-rios-de-todo-el-mundo>
- [4] Cloudamqp. (2019). ¿Qué es AMQP y porque se utiliza en RabbitMQ? [Página web en línea]. Cloudamqp. Disponible en: <https://www.cloudamqp.com/blog/what-is-amqp-and-why-is-it-used-in-rabbitmq.html>
- [5] Christian P. (2008). Zigbee, Comunicación para Dispositivos, [Página web en línea]. sg. Disponible en: [https://sg.com.mx/content/view/310#:~:text=E n%20otras%20palabras%3A%20ZigBee%20es ,WPANs\)%20IEEE%20802.15.4.&text=Zigbee%20es%20una%20tecnolog%C3](https://sg.com.mx/content/view/310#:~:text=E n%20otras%20palabras%3A%20ZigBee%20es ,WPANs)%20IEEE%20802.15.4.&text=Zigbee%20es%20una%20tecnolog%C3)

- ADa%20inal%C  
3%A1mbrica,y%20915%20MHz%20(EEUU).
- [6] Abate, C. J. (25 de Septiembre de 2018). Elektor. Obtenido de <https://www.elektormagazine.com/news/what-is-a-microcontroller>
- [7] ac-electronics. (1 de Julio de 2019). Obtenido de <https://ac-electronics.com.co/tienda/inicio/80-conector-db9-hembra-para-pcb.html>
- [8] Acquaticci, I. F. (2016). Universidad de Buenos Aires. Obtenido de [http://materias.fi.uba.ar/6610/Apuntes/Introduccion%20al%20Disenio%20electronico%20\(version%2013\).pdf](http://materias.fi.uba.ar/6610/Apuntes/Introduccion%20al%20Disenio%20electronico%20(version%2013).pdf)
- [9] Alvarez, M. A. (9 de Mayo de 2001). Desarrollo Web. Obtenido de <https://desarrolloweb.com/articulos/392.php>
- [10] Armién, F. (2011). UNESCO. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf>
- [11] Brady. (9 de Febrero de 2019). SETON. Obtenido de <https://www.seton.es/epi-proteccion-respiratoria.html>
- [12] BricoGeek. (2 de Julio de 2019). Obtenido de <https://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/comparativa-y-analisis-completo-de-los-modulos-wifi-esp8266-y-esp32/>
- [13] Internet Engineering Task Force (IETF). (2015). "Observing Resources in the Constrained Application Protocol (CoAP)". ISSN: 2070-1721., [en línea], última fecha de acceso: 28/05/2016. Disponible en:<https://tools.ietf.org/html/rfc7641>.
- [14] MQ Telemetry Transport Standardization Announce. (2011). [en línea], última fecha de acceso: 12/05/2020. Disponible en: <http://mqtt.org/2011/08/open-invitation-to-join-the-mqtt-standardization-discussion>
- [15] Using WebSphere MQ Telemetry and Pachube to connect to Remote Sensors and Devices. (2012). [en línea].

**Fecha de Envío del Artículo: 28/10/2020**

**Fecha de Aceptación de artículo: 15/11/2020**