

SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.

MsC. Vicente Rodríguez Benitez¹, Ing. Mikel Ramos Inza², DrC. José Raúl Vento Alvarez³

^{1,3}Universidad de Pinar del Río "Hermandades Saíz Montes de Oca" (UPR), Pinar del Río, Cuba, ²Universidad Pública de Navarra (UPNA), Calle Cataluña, s/n, 31006 Pamplona, Navarra, España.

¹vicente@upr.edu.cu

²mikeltxo@gmail.com

³vento@upr.edu.cu

RESUMEN

Este proyecto consiste en la medición y monitorización de los parámetros de un sistema de distribución de agua, así como la puesta en marcha de los distintos actuadores del sistema, realizando dicha comunicación de forma inalámbrica utilizando la tecnología LoRa. El objetivo es dar solución a los problemas de comunicación y falta de control e información sobre el estado actual de la red de abastecimiento de agua, y poder llevar a cabo una mejor distribución y optimización de la misma. Para ello, se desarrolla una pequeña red que consta de nodos distribuidos por la ciudad. La estación de control visualizará los parámetros medidos sobre la situación actual del sistema, y se procede a la acción de cualquiera de los actuadores de la red de abastecimiento. En otro de los nodos, se lleva a cabo la medición de los parámetros del agua (presión, temperatura, caudal y nivel de agua almacenada, etc). Por último, consta de un nodo, donde se encuentran un motor que controla la apertura y cierre de la compuerta que da acceso a la circulación de agua y una luz de alarma. Cada nodo presenta un módulo de comunicación LoRa, mediante el cual se realiza la transmisión y recepción de los datos.

PALABRAS CLAVES: Agua, control, sensores, tecnología LoRa, telemedición.

ELEMEDITION SYSTEM OF WATER PARAMETERS FOR MULTIPLE POINTS IN DRIVERS WITH LORA WIRELESS NETWORKS.

ABSTRACT

This project consists of the measurement and motorization of the parameters of a water distribution system, as well as the commissioning of the different actuators of the system, making said communication wirelessly using LoRa technology. The objective is to solve the communication problems and lack of control and information about the current state of the water supply network, and to be able to carry out a better distribution and optimization of it. For this, a small network is developed consisting of nodes distributed throughout the city. The control station will display the parameters measured on the current situation of the system, and proceed to the action of any of the actuators of the supply network. In another of the nodes, the measurement of the water parameters (pressure, temperature, flow rate and level of stored water, etc.) is carried out. Finally, it consists of a node, where there is an engine that controls the opening and closing of the gate that gives access to water circulation and alarm light. Each node has a LoRa communication module, through which the transmission and reception of the data are carried out.

KEY WORDS: Water, control, sensors, LoRa technology, telemetry.

1. INTRODUCCIÓN.

Tras realizar un análisis sobre el sistema de distribución de agua de la ciudad de Pinar del Río, que hace posible que cerca de 190.000 personas tengan acceso a este recurso, se comprueba que la red hidráulica tiene una antigüedad de más de 50 años. A los problemas relacionados con el deterioro de los conductos por el paso de los años, se añade la problemática de la ineficiencia de la distribución de agua y las pérdidas que ello supone. Además de no contar con

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

sistemas de medida para conocer en todo momento el estado de la red, muchos de los actuadores del sistema se accionan de forma manual, lo que hace muy difícil su gestión y muy costosa su puesta en marcha. Todo esto hace que no haya una optimización de la distribución de agua, y que muchas familias no puedan acceder al agua potable en sus casas, para cubrir las necesidades básicas de todos los días.

Como el agua es un recurso básico, resulta necesario una mejor gestión y optimización de la red de distribución de agua. Para ello, se plantea la posibilidad de crear una red utilizando la filosofía de vanguardia denominada “Internet de las cosas”, para llevar a cabo la monitorización y control de todos los actuadores y sensores de la red desde un único punto de control remoto. Para entender mejor esta idea es necesario conocer de qué se habla en lo referido a “Internet de las cosas (IoT)” [1].

Hoy en día, el término Internet de las Cosas se ha popularizado para describir escenarios en los que la conectividad a Internet y la capacidad de cómputo se extienden a una variedad de objetos, dispositivos, sensores y artículos de uso diario. La viabilidad del IoT pasa por el desarrollo tecnológico de nuevos dispositivos y de nuevas redes que posibiliten la conexión global de objetos.

En la actualidad existen varias redes o propuestas de redes Low-Power Wide Area Network (LPWAN) que cumplen los requisitos iniciales para el IoT, pero sólo son tres las que en la actualidad tienen soluciones completas en el mercado: SigFox, Ingenu y LoRa. En el caso de la red LoRa, la empresa propietaria Semtech, lo es sólo de la capa física, la capa de acceso al medio se desarrolla de forma abierta por una entidad sin ánimo de lucro denominada LoRa Alliance [2] [3], por lo que dicha empresa sólo comercializa los productos. Entre las principales características de la tecnología LoRa se encuentran:

- Alta tolerancia a las interferencias
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB)
- Bajo consumo de batería
- Alcance de hasta 40km
- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)

Muchas son las aplicaciones que se pueden encontrar para obtener parámetros referentes a la calidad del agua a través del uso sensores. En [4] se crea un sistema IoT para obtener la calidad del agua a través de una red inalámbrica de sensores utilizando modelos de redes neuronales para el análisis de los datos obtenidos de la red. En [5] se diseña un sistema basado en una red inalámbrica LoRa para medir la calidad de agua a través de sensores donde los resultados son visualizados en la plataforma ThingSpeak IoT. También en [6] se propone un sistema de medición inteligente de calidad de agua basado en múltiples parámetros a través de redes LoRa, para entornos urbanos. Estos trabajos demuestran que con la tecnología LoRa se pueden lograr áreas de cobertura bastante grandes y en entornos de mediana complejidad de comunicación [7]. Además, que el uso de sensores para medir parámetros de agua da una idea bastante aproximada de la calidad de la misma.

El proyecto se propone alcanzar como objetivo general, diseñar un sistema de monitorización de parámetros para la red de distribución de agua a través de un conjunto de sensores y actuadores soportados sobre la tecnología LoRa, para lograr una mejor optimización de los nodos de distribución de agua.

Con el fin de organizar el trabajo a realizar se han trazado los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los parámetros de medición de un nodo de distribución de agua.
- Investigar la tecnología LoRa para el diseño de redes de sensores.
- Crear los puntos de medición y control que dispondrá la red basado en Arduino y LoRa.
- Diseñar una interfaz que sea capaz de monitorizar todos los parámetros que provienen de la red de sensores.
- Realizar un estudio de factibilidad de la red diseñada.

2. SISTEMA PROPUESTO.

El sistema a montar consta de tres clases de nodos diferenciados, separados entre sí una distancia de hasta un kilómetro, donde la comunicación entre ellos, como ya se ha explicado anteriormente, se realiza mediante la tecnología inalámbrica LoRa, creándose así una pequeña red como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1: Arquitectura del sistema.

Fundamentos teóricos sobre LoRa.

LoRa, que en sus siglas en inglés significa “Long Range Modulation”, es el tipo de modulación en radiofrecuencia diseñada para crear redes de comunicación de larga distancia con el objetivo de tener una baja transferencia de datos manteniendo un bajo consumo y una alta cobertura. LoRa está basado en la modulación de espectro esparcido que se origina de la modulación del tipo Chirp (Direct Sequence Spread Spectrum en inglés, DSSS), la cual mantiene las mismas características de consumo que la modulación FSK (Frequency Shift Keying) pero aumentando significativamente el rango de comunicación [8].

LoRa implementa una tasa de transferencia ajustable, utilizando un factor de ensanchamiento ortogonal (SF) que permite a los diseñadores elegir entre una transferencia de datos específica para un rango o consumo, mientras se mantiene un ancho de banda constante. Por lo tanto, dicha modulación se utiliza en el proyecto para llevar a cabo la comunicación entre los distintos nodos de la red.

La principal característica de este dispositivo es que es capaz de soportar comunicaciones vía WiFi, bluetooth y LoRa, proporcionando código fuente exclusivo del protocolo LoRaWAN ejecutado en el controlador ESP32. Incorpora también las funciones del MCU SX1276 de LoRa: interruptor de bucle de radiofrecuencia, circuito de radiofrecuencia, gestión de baterías de litio, USB a puerto serie, etc. Por ello, el usuario únicamente necesita de una conexión Micro USB para disponer de todas las funciones WiFi, bluetooth y LoRa.

Posee un diseño optimizado para conseguir un bajo consumo de energía, ya que el chip ESP32 tiene un alto nivel de rendimiento de baja potencia en la industria, incluyendo control de puerta de reloj de resolución fina, modo de ahorro de energía y regulación dinámica de voltaje. Este chip es idóneo para su implementación en dispositivos móviles, electrónica portátil y aplicaciones IoT.

Por último, cabe mencionar que este módulo es excelente para realizar una comunicación punto a punto (P2P) con otros dispositivos, ya que implementa de una manera muy intuitiva el protocolo LoRaWAN en la plataforma ESP32 + Arduino, utilizando RTC (Real Time Clock) interno, y soportando deep sleep. De este modo, los usuarios simplemente necesitan una sencilla configuración para completar una aplicación con LoRaWAN.

Las principales características del módulo son:

- Chip de control principal: ESP32
- Chip de Lora: SX1276 (868-915, 923MHz)
- Frecuencia : 240MHz.
- FLASH : 64M-bits
- Procesador : 2xTensilica LX6 + 1xULPThe processor.
- Distancia máxima de comunicación : 3KM
- Potencia de computación: 600 dmips
- Dos modos de Bluetooth: Bluetooth tradicional y BLE (low power Bluetooth)
- Entorno de programación: Totalmente compatible con la plataforma Arduino.
- Sensibilidad del receptor : -139dbm (SF12, BW125KHz) . UDP continuous throughput : 135Mbps
- USB-to-UART bridge chip : CP2102
- Modos Wi-Fi soportados : sniffer, Station, softAP, Wi-Fi Direct

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

A continuación (Fig. 2.) se hace una breve explicación de las características de los diferentes dispositivos que forman parte del módulo WiFi LoRa 32 (V2), y se muestra la distribución de pines del dicho módulo:

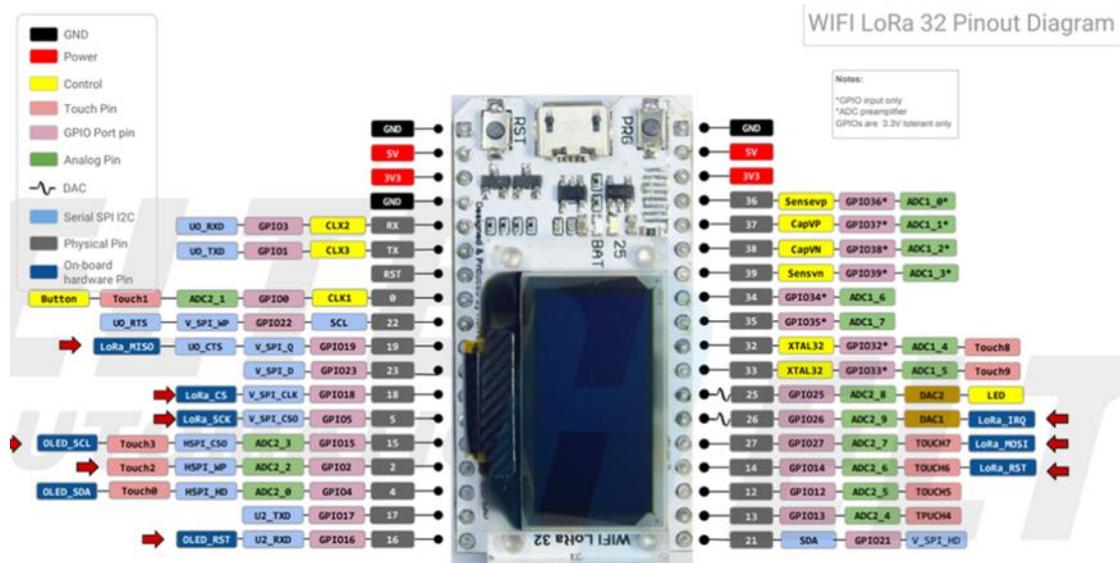


Figura 2: Distribución de Pines del Wifi LoRa 32.

Modulación LoRa.

Como se ha comentado anteriormente, LoRa es una modulación de espectro expandido que utiliza la técnica chirp, basada en la modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), que es la más usada de espectro expandido. Esta técnica cambia la fase de la portadora siguiendo una secuencia determinada por un código. Para lograr esto, realiza el producto entre el código y el mensaje, y el resultado de esta operación se monta en una portadora.

Este proceso generalmente se logra al multiplicar la señal deseada por un código de expansión, también conocido como secuencia de chips. La secuencia de chips se produce a una velocidad mucho más rápida que la señal de datos y, por lo tanto, extiende el ancho de banda de la señal más allá del ancho de banda original ocupada por la señal original. De modo que, se puede llevar a cabo la modulación y demodulación de la señal, en cada uno de los nodos, pudiéndose recuperar la información completamente (Fig. 3.) [9].

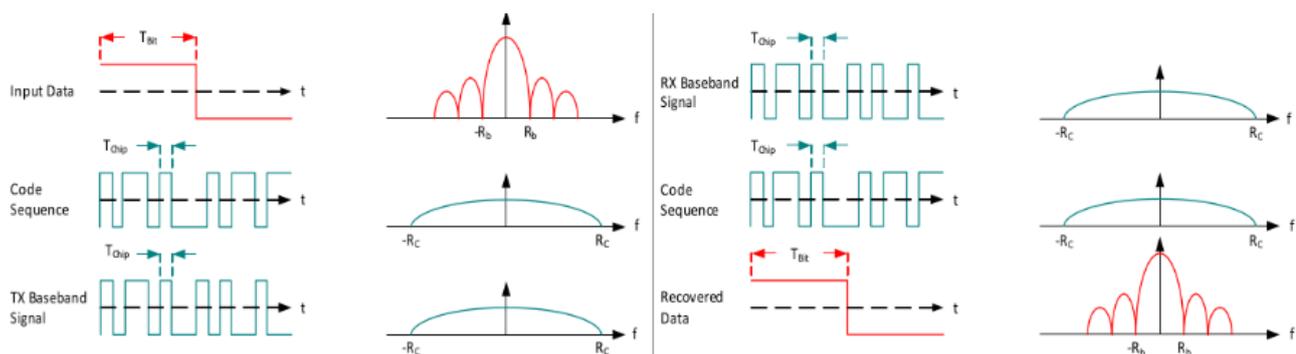


Figura 3: Modulación y demodulación LoRa.

Las principales características de esta técnica son:

- Baja susceptibilidad al desvanecimiento multirrayectoria (rebotes, multipath). De hecho, los rebotes que se pueden llegar a obtener sobre las paredes de un edificio, mejoran la comunicación, gracias a los múltiples caminos. Es importante aclarar que las comunicaciones de LoRa trabajan por debajo del GHz, debido a que, por encima de ésta frecuencia, las características de propagación de las ondas electromagnéticas cambian de

forma significativa, pues son capaces de traspasar paredes y no rebotan. Por este motivo LoRa recibe el nombre de tecnología subGHz. Hay una seguridad inherente, dado que se puede encriptar la información.

- Puede coexistir con otro tipo de modulaciones y con otro tipo de tecnologías de comunicación.
- Se puede alcanzar grandes distancias en las comunicaciones.
- Buena inmunidad ante interferencias.

Esta modulación se utiliza en una gran cantidad de dispositivos, pero resulta inadecuada para otros, en especial aquellos que necesitan de un bajo consumo, debido a que su alimentación está limitada por una batería. Además, la de modulación DSSS requiere de un reloj muy preciso y sincronizado en alta frecuencia, lo que hace que la recepción de datos sea compleja. LoRa surge y se hace popular debido a que es fuerte en todas aquellas áreas donde DSSS es débil.

Distribución de frecuencias LoRa.

LoRa puede coexistir con múltiples técnicas de comunicación. Es importante recordar que la información de los bits está diseminada por varias frecuencias, por lo que sí existe la presencia de algún tipo de interferencia pulsante, como éstas se producen a frecuencias distintas, es posible recuperar la información original. LoRa puede aceptar interferencias impulsivas de hasta el 30% del tiempo de símbolo con una degradación de 6 dB en la sensibilidad.

La distribución de frecuencias para realizar comunicaciones con este tipo de modulación se realizó aprovechando las bandas que son libres en la mayor parte del mundo, ver Tabla 1. Las especificaciones para LoRaWAN en Europa y América del Norte están establecidas, pero para el resto de regiones, éstas se encuentran definidas por el comité técnico de cada país [10].

Tabla 1: Distribución de frecuencias para LoRa.

País	Banda/Canales	Plan del canal
Cuba	433.05-434.79 MHz	EU433
	915-921 MHz	Otro
Estados Unidos	902-928 MHz	US902-928,AU915-928

Para explicar en qué consiste esta distribución en frecuencias, se procede a explicar el caso concreto de los Estados Unidos. En esta región, la banda comienza en los 902 MHz y llega hasta los 928MHz. El rango de frecuencias de 902 a 914 MHz se utiliza para hacer comunicaciones uplink, donde el dispositivo transmite los mensajes hacia el servidor. En cambio, los mensajes downlink son en sentido inverso, desde el servidor al dispositivo. Se tiene, por tanto, una banda para uplink y otra banda para downlink, lo que implica que se puede transmitir y recibir información de forma simultánea. A este tipo de comunicación se le conoce como Full Duplex.

Plataforma Arduino.

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, por lo que las especificaciones y diagramas de los dispositivos son de acceso público, cuyo código también es accesible. Un microcontrolador Arduino es, por tanto, una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programado tanto en Windows como macOS y GNU/Linux (Fig. 4.).

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

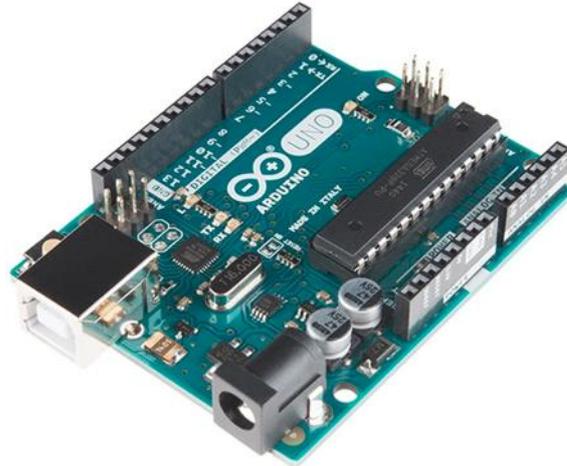


Figura 4: Distribución de pines de la plataforma Arduino Uno.

Incorporación de LoRa en el entorno de Arduino.

Una vez estudiado de forma teórica el principio de funcionamiento para poder entender una comunicación mediante la tecnología LoRa, se lleva a cabo su implementación práctica. Para ello, como el módulo de comunicación utilizado es totalmente compatible con el entorno de programación de Arduino, se procede a instalar dicha tarjeta en el compilador, para que de este modo el software sea capaz de detectarla, y se pueda compilar los diferentes programas y ser volcados posteriormente sobre ella. Por lo tanto, tras realizar una búsqueda en internet, se encuentra la forma de instalar el módulo del ESP32 en el IDE de Arduino para Windows, y tras realizar varias pruebas, se comprueba que para volcar el programa es necesario seleccionar la tarjeta ‘Heltec_Wifi_Lora_32’ [11] .

Tras solucionar el problema de reconocimiento de la placa, es necesario poder probar una comunicación entre ambos módulos, por lo que se realiza otra exhaustiva búsqueda por la red, para conocer el modo en que se programa este tipo de comunicación. Finalmente, se comprueba que para poder realizar la comunicación y programar el módulo, son necesarias una serie de librerías específicas. Las librerías utilizadas son:

- Lora [12]: Encargada de definir las funciones para poder establecer los distintos parámetros del protocolo LoRa y poder llevar a cabo una comunicación de forma sencilla e intuitiva.
- SPI: Librería para realizar la comunicación Serie entre el módulo y el PC en el nodo de control, y entre los módulos LoRa y los Arduinos en los nodos remotos.
- Wire: Esta librería se utiliza para comunicar la placa Arduino con dispositivos que trabajan mediante el protocolo I2C/TWI, por lo que es necesario incluirla, puesto que la conexión entre la pantalla OLED de 0.96 pulgadas y el procesador del módulo es mediante este protocolo.
- SSD1306 [13]: Librería utilizada para programar la pantalla OLED.

Función de cada nodo del sistema.

Nodo remoto 1: Nodo donde se realiza la medición de distintos parámetros de la red de abastecimiento de agua. Se incorporan sensores para medir el nivel de agua almacenado en un tanque, la presión a la que circula el agua dentro de la tubería, el caudal de dicho flujo de agua y la temperatura a la que se encuentra. Este nodo está compuesto por un módulo de comunicación LoRa y un microcontrolador Arduino Uno, al que se conectan los distintos sensores y donde se procede a la lectura de los mismos. El Arduino toma estos valores, y se los transmite al módulo LoRa mediante comunicación Serie. Por último, este módulo envía los datos recibidos al nodo de control. La Fig. 5. muestra un ejemplo del prototipo.

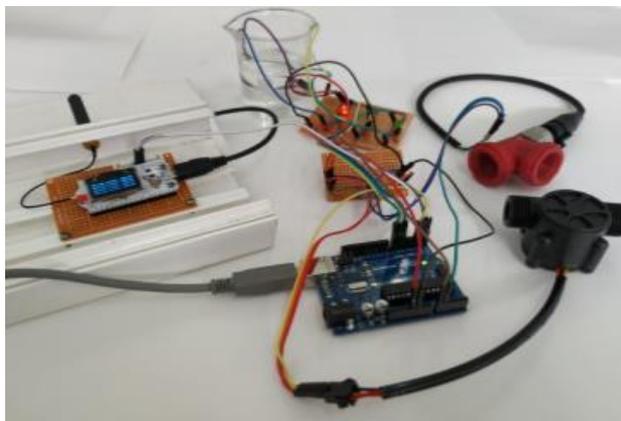


Figura 5: Nodo Remoto 1.

La carga útil de datos posee una estructura propia, de modo que se puede identificar fácilmente a qué corresponde cada byte de la trama. Además, dicha carga dispone de dos caracteres que se envían para indicar el inicio y el final de la trama, para poder identificar en todo momento la carga útil y evitar errores a la hora de leer los datos.

Los datos de la carga útil se corresponden con los valores medidos en los diferentes transductores situados en el nodo de medición de los parámetros de la red de abastecimiento de agua. La longitud de los valores medidos siempre es la misma, siendo de tres bytes para la presión, dos para la temperatura, uno para el nivel y dos para el caudal. Por lo tanto, como los datos ocupan siempre la misma posición dentro de la trama, tienen una longitud constante, y además, van separados mediante un carácter de separación ('-'), su identificación dentro de la carga útil es muy sencilla como se muestra en la Fig. 6. Por último, es importante indicar que la trama de datos tiene una longitud fija de 13 bytes, por lo que, a la hora de proceder a la lectura de los datos, se puede indicar cuántos bytes se deben leer, y, por tanto, se disminuye la posibilidad de realizar una lectura errónea.

<				-			-		-			>
Inicio de trama	Presión				Temperatura			Nivel		Caudal		Final de trama

Figura 6: Estructura de la carga útil del nodo 1.

Nodo remoto 2: Nodo donde se encuentran los diferentes dispositivos actuadores del sistema. En este caso, se dispone de una compuerta para controlar el flujo de agua que entra en el sistema de abastecimiento, que es accionado mediante un motor de corriente continua, y un indicador LED. Ambos dispositivos se pueden accionar tanto a través de una orden emitida por el nodo de control, como por medio de unos pulsadores incorporados en dicho nodo. Está compuesto por un módulo de comunicación LoRa y un microcontrolador Arduino Uno al que se conectan los distintos actuadores. Las órdenes de accionamiento son recibidas por el módulo LoRa, y son enviadas al Arduino a través de comunicación Serie.

En el caso de la información que se envía desde el nodo de control al nodo donde están situados los actuadores, la carga útil indica el estado en el que deben estar el LED indicativo y la compuerta. Como la información para ambos dispositivos es enviada dentro de un mismo paquete, y en este caso la longitud de los datos no es constante, se cuenta con la utilización de caracteres para indicar el inicio y final de cada trama por separado como se muestra en la Fig. 7. De este modo, cuando la información es recibida por el nodo remoto, éste es capaz de identificar sencillamente para qué dispositivo corresponde cada orden.

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

<	ON/OFF	>	(OPEN/CLOSE)
Inicio trama 1	Estado LED	Final trama 1	Inicio trama 2	Estado COMPUERTA	Final trama 2

Figura 7: Estructura de la carga útil del nodo 2.

Nodo de control: Nodo encargado de procesar los datos recibidos de los distintos nodos y realizar la toma de decisiones de los actuadores del sistema. Consiste en un puesto de mando donde se visualizan los parámetros medidos mediante los sensores incorporados en el nodo remoto 1, y en función de dichos valores, se procede a actuar sobre los distintos dispositivos incorporados en el nodo remoto 2. Está compuesto por un PC donde se encuentra el software para el procesamiento de los datos, y un módulo para realizar la comunicación LoRa. La comunicación entre el PC y el dispositivo LoRa se realiza mediante puerto Serie. Una vez desarrollado cada uno de los nodos, la distribución de los mismos quedaría de la siguiente forma, como se muestra en la Fig. 8.

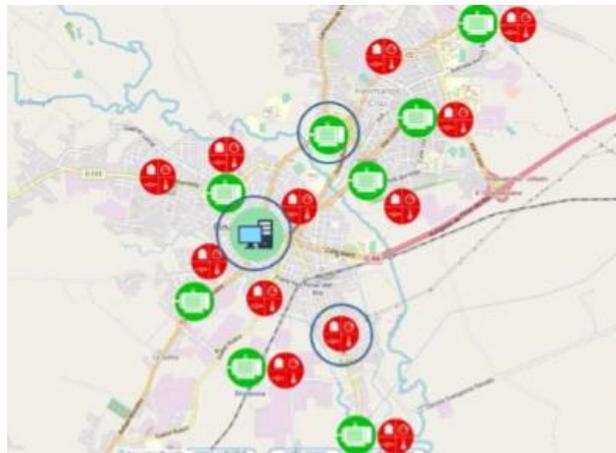


Figura 8: Distribución de cada nodo.

Una vez recibidos los datos en la estación de control, a partir de las medidas realizadas en uno de los nodos remotos, y que posteriormente son transmitidos de forma inalámbrica, es necesaria la utilización y el desarrollo de un programa en el PC de control, para poder realizar la monitorización y el tratamiento de la información recibida, así como proceder a la activación de los distintos actuadores remotos. Para ello, se utiliza el software LabVIEW, debido que posee una interfaz idónea para el propósito que se desea cumplir como se muestra en la Fig. 9.

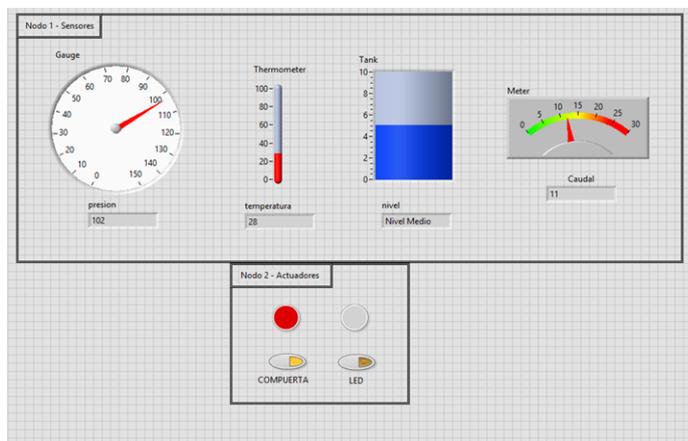


Figura 9: Programa en la PC.

Sensores utilizados en el sistema.

Sensor de temperatura

Para poder llevar a cabo una lectura correcta de la temperatura a la que se encuentra el agua, es necesario realizar de forma correcta la conexión de los pines del sensor al Arduino, así como realizar el procesado de los datos medidos para poder obtener un valor de temperatura. La conexión del transductor con la placa es muy sencilla, y únicamente hay que conectar el terminal de la derecha a la alimentación de 5V, la patilla del medio a tierra y el pin restante al pin analógico A0 del Arduino (Fig. 10).

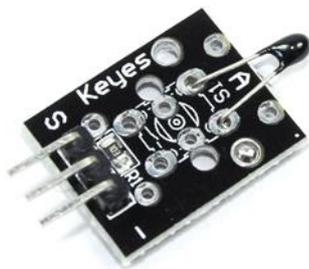


Figura 10: Conexiones del sensor de temperatura KY-013.

Sensor de presión

El sensor de presión consta de 3 pines, por lo que, para la conexión del transductor con la placa, únicamente es necesario conectar el terminal rojo a la alimentación de 5V, el negro a tierra y el terminal amarillo al pin analógico A1 del Arduino (Fig. 11). A la salida del transductor se obtiene una tensión lineal que puede variar entre los 0.5V para una presión de 0 PSI hasta los 4.5V que equivalen a 300 PSI. Como la lectura analógica de la tensión por parte del Arduino se realiza con un convertidor digital de 8 bits, es necesario traducir dichas tensiones analógicas a su valor digital (102 para 0.5V y 922 para 4.5V). Por lo tanto, para poder obtener la lectura en PSI del valor de la presión, únicamente es necesario realizar la lectura analógica del valor de tensión proporcionado por el sensor, y realizar una conversión del valor de tensión obtenido, con su correspondiente valor de presión.



Figura 11: Conexiones del sensor de presión.

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

Sensor de nivel de agua

Para realizar la conexión entre el sensor de nivel de agua y la placa, se conecta el ánodo de los LEDs indicativos de los niveles bajo, medio y alto, con los pines digitales 5, 6 y 7 del Arduino, respectivamente (Fig. 12). De este modo, si el transistor se pone a conducir debido a que se cierra el circuito de la base por el contacto del agua, obtendremos un valor bajo en el pin correspondiente.

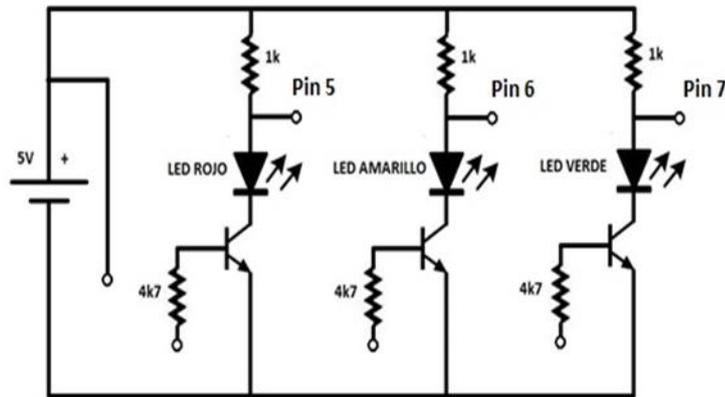


Figura 12: Esquema y conexiones del sensor de nivel de agua.

Caudalímetro

El sensor de caudal o flujo de agua consta de 3 pines, por lo que, para realizar la conexión del transductor con la placa, sólo hay que conectar el terminal rojo a la alimentación de 5V, el negro a tierra y el terminal amarillo al pin 2 del Arduino, que tiene habilitadas las interrupciones (Fig. 13). Como ya se ha contado anteriormente, a la salida del sensor se obtienen una serie de pulsos que constituyen una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al flujo de agua. Por lo tanto, para poder determinar la cantidad de pulsos por segundo, y por ende, poder obtener la frecuencia de la señal, se utilizan dos funciones. La primera tiene como objetivo contar los pulsos, y se habilita a través de una interrupción, que se producirá cada vez que se detecte un flanco de subida en el pin 2 del Arduino. Para contar la frecuencia de dichos pulsos, se utiliza otra función, que consiste en reiniciar el número de pulsos cada segundo, habilitando las interrupciones durante 1 segundo. De este modo, la frecuencia de la señal será igual al número de pulsos contados en dicho segundo. Finalmente, para poder obtener el valor del caudal en L/min, se divide la frecuencia por el factor de conversión del sensor.



Figura 13: Conexiones del sensor de caudal.

Pruebas de funcionamiento y análisis económico.

Antes de proceder a realizar el montaje práctico del sistema planteado a lo largo del proyecto, es necesario realizar una serie de ensayos para comprobar de forma práctica el alcance máximo de los módulos de comunicación. Es importante también hacer una prueba para comprobar que dichos módulos son capaces de comunicarse de forma correcta, cuando se encuentran en los puntos donde posteriormente irán situados cada uno de los nodos.

Para comprobar el alcance máximo de los módulos y la distancia máxima a la que son capaces de comunicarse, se coloca un dispositivo en un lugar fijo, que envía periódicamente paquetes de datos, cuya carga útil corresponde a un número aleatorio. El otro extremo de la comunicación consta de otro módulo LoRa, el cual se encarga de recibir los mensajes, y mostrar por pantalla la información y el RSSI de la señal recibida (Received Signal Strength Indicator). Dicho parámetro es una escala de referencia (en relación a 1 mW) para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas. Por lo tanto, se puede proceder también a realizar un ensayo para comprobar la relación entre distancia de comunicación y la RSSI de la señal.

Una de las pruebas que se realizaron fue la máxima distancia a la que los módulos son capaces de comunicarse en un entorno abierto, estableciendo un valor de SF de 12, consiguiéndose el alcance máximo. Para realizar el ensayo se busca un lugar sin interferencias electromagnéticas y donde no haya obstáculos para la comunicación. Por lo tanto, para realizar dicho experimento, se sitúa el emisor a la altura del puente de la autopista que llega desde La Habana hasta Pinar del Río, y el emisor se va alejando en dirección a La Habana, lográndose una distancia máxima de 986 m como se muestra en la Fig. 14.



Figura 14: Prueba de alcance máximo.

Finalmente, una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema, se procede a realizar un análisis económico del mismo. A continuación, se recogen en la Tabla 2 el precio de los distintos dispositivos utilizados en el prototipo y se compara el peso del valor de cada uno de ellos sobre el precio total.

Tabla 2: Análisis económico del sistema.

Dispositivo	Unidades	Precio	Total
Módulos LoRa	3	28,99 €	86,97 €
Sensor Caudal	1	1,99 €	1,99 €
Sensor Presión	1	13,28 €	13,28 €
Sensor temperatura KY-013	1	1,29 €	1,29 €
Motor DC con reductora	1	2,30 €	2,30 €
Driver L293D	1	1,20 €	1,20 €
Arduino UNO	2	5,65 €	11,30 €
Cables de conexión	1	2,50 €	2,50 €

TOTAL 120,83€

Se puede comprobar que la mayor parte del recurso económico consumido es debido a la compra de los módulos de comunicación LoRa, aunque es importante indicar que tienen una gran cantidad de prestaciones, a un precio asequible.

“SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA PARA MÚLTIPLES PUNTOS EN CONDUCTORAS CON REDES INALÁMBRICAS LORA.”

Además, dicho prototipo podría abarataarse si se omite el uso de los microcontroladores, y se realiza el control de los periféricos directamente desde los módulos LoRa.

Los impactos sociales y ambientales que se pueden lograr con este proyecto son incalculables. El ahorro de agua a través de tener un control de la información de los parámetros de la misma como son la presión, el caudal y el nivel de la misma, para poder actuar y brindársela a la población de la forma más eficiente. El ahorro de combustible ya que no hay que trasladarse a los diferentes puntos debido a que todo se hace a través de telemedición. Y por último la población contará con el preciado líquido debido al uso eficiente del mismo.

3. CONCLUSIONES

Los objetivos fueron cumplidos dado que se presenta una propuesta viable, donde se le da solución al problema planteado en la investigación. Para esto hay que destacar los siguientes elementos:

- Tras investigar la tecnología de comunicación LoRa, se demuestra que es idónea para el diseño de redes de sensores debido al alcance, seguridad y flexibilidad de la comunicación.
- El diseño de los nodos de monitorización y control, se evidencia la flexibilidad de la plataforma Arduino y LoRa, lográndose unos resultados satisfactorios.
- Con el diseño de una interfaz en LabVIEW se logró implementar una herramienta sencilla e intuitiva para el usuario.
- El sistema planteado presenta una gran robustez en la comunicación, a pesar del bajo costo de sus componentes.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Silvestre, «Internet de las cosas.,» České vysoké učení technické v Praze, Praha, Czech Republic, 2016.
- [2] C. Goursaud, «Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of art and challenges,» hal.archives-ouvertes, 2015.
- [3] I. O. Monfort, «Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa.,» 2017.
- [4] T. E. S. G. A. P. M. A. N. A. K. A. M. H. Mohammad Chowdury, «IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System,» de *The 16th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC)*, Halifax, Canada, 2019.
- [5] S. R. M. S. Simitha K M, «IoT and WSN Based Water Quality Monitoring System,» de *Third International Conference on Electronics Communication and Aerospace Technology [ICECA 2019]*, 2019.
- [6] V. R. Anto Merline Manoharan, «Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages,» de *2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities*, 2018.
- [7] P. H. J. N. H. A. Mauricio C. Tome, «Long-range Low-power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018.
- [8] E. Solera, «Modulación LoRa: Long Range Modulation,» Medium Corporation, 2017.
- [9] Semtech, «LoRa™ Modulation Basics, Application Note,» Semtech, 2015.
- [10] Inc. LoRa Alliance, «LoRaWAN 1.1 Regional Parameters,» Inc. LoRa Alliance, 2017.
- [11] Random nerd tutorials, «Installing the esp32 board in arduino ide-windows instructions,» Random nerd tutorials, 2017.
- [12] Sandeepmistry, «Librería comunicación LoRa,» Github, 2018.
- [13] HelTecAutomation, «Librería Heltec ESP32 Dev-Boards,» Github, 2015.

SÍNTESIS CURRICULARES DE LOS AUTORES

Vicente Rodríguez Benítez. Nacido en la ciudad de Pinar del Río en 1987. Graduado de ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad de Pinar del Río (UPR). Obtuvo el grado de master en Sistemas de Telecomunicaciones en 2014. Desde su graduación trabaja como profesor del Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica en la UPR. Actualmente imparte asignaturas relacionadas con mediciones electrónicas e instrumentación, así como programación de sistemas con microcontroladores. Trabaja en temas relacionados con automatización de procesos, medición de parámetros basados en sensores electrónicos, sistemas con microcontroladores y programación de dispositivos móviles todos estos temas sobre las líneas de internet de las cosas y ciudades inteligentes. Identificador ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7314-6930>.

Mikel Ramos Inza. Nacido en la ciudad de Navarra, España en 1997. Forma parte del convenio de colaboración entre la Universidad Pública de Navarra (UPNA) y la Universidad de Pinar del Río (UPR), graduándose de ingeniero eléctrico en 2019 en la UPR. Trabaja en temas relacionados con la medición de parámetros para estaciones meteorológicas, además de la programación de microcontroladores para sistemas de adquisición de datos. Identificador ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6746-4454>.

José Raúl Vento Álvarez. Nacido en la ciudad de Pinar del Río en 1958. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones en el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE) en 1982. Graduado de máster en Redes de Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Madrid en 1996. Obtuvo el grado de Doctor Ingeniero en Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Madrid en 1998. Profesor del Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Pinar del Río desde 1990 hasta la actualidad. Ha impartido las asignaturas relacionadas con Redes de Telecomunicaciones, Telemática y Comunicaciones Ópticas, siendo tutor de varios proyectos de culminación de estudios de ingeniería, maestría y doctorado en Telecomunicaciones. Investiga en las temáticas de sensores de fibras ópticas y sistemas de control en IoT. Identificador ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7335-3849>.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Autor 1:** 40%
Trabajo de diseño y montaje de la red de sensores. Calibración de sensores, así como puesta a punto del software desarrollado en Labview. Elaboración de informe del proyecto.
- **Autor 2:** 40%
Trabajo de diseño y montaje de la red de sensores. Calibración de sensores. Pruebas de campo para validación de los resultados.
- **Autor 3:** 20%
Estudio de los antecedentes teóricos del proyecto. Coordinación del trabajo en cuanto al uso de las herramientas más novedosas del tema tratado. Revisión del informe del proyecto.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

