

Monitor De Nivel En Depósitos De Agua Usando IoT

J.I. Vega-Luna¹, M.A. Lagos-Acosta¹, G. Salgado-Guzmán¹, V.N. Tapia-Vargas¹, F.J. Sánchez-Rangel¹, J.F. Cosme-Aceves¹

Resumen—Se presenta el diseño e implantación de un sistema de monitoreo remoto de nivel de agua usando una LPWAN. El objetivo principal fue reportar a un servidor ubicado en la Internet los niveles de agua en cuatro tanques usados por los sistemas de enfriamiento en un centro de datos. La LPWAN está formada por cuatro nodos y una puerta de enlace. Cada nodo consta de un medidor de distancia ultrasónico, un microcontrolador y un transceptor LoRa. En cada tanque se encuentra instalado un nodo. Los nodos transmiten los niveles de agua a la puerta de enlace y ésta los envía a un servidor ubicado en la nube. A través de la interfaz de usuario se pueden monitorear los niveles registrados de agua. El alcance logrado con la LPWAN son 10 Kilómetros con línea de vista.

Palabras claves—LoRa, LPWAN, medidor de distancia ultrasónico, microcontrolador, transceptor.

Abstract—The design and implementation of a remote water level monitoring system using a LPWAN is presented. The main objective was to report water levels in four tanks used by the cooling systems of a data center to a server located on the Internet. The LPWAN consists of four nodes and one gateway. Each node consists of an ultrasonic distance meter, a microcontroller and a LoRa transceiver. A node is installed in each tank. Nodes transmit water levels to the gateway and send them to a server located in the cloud. Through the user interface can monitor the recorded water levels. The range achieved with the LPWAN is 10 Kilometers with line of sight.

Keywords—LoRa, LPWAN, microcontroller, transceiver ultrasonic distance meter.

I. INTRODUCCIÓN

Tanto en ambientes industriales y agrícolas, como en empresas, instituciones y centros de datos, uno de los procesos operativos es el monitoreo de nivel de un líquido. Particularmente, en un centro de datos se encuentran instalados sistemas para detección de fuego y tuberías para extinción de incendios en equipo de cómputo y comunicaciones. En las tuberías circulan gases inertes y agua ultra-pura. Ésta se usa en situaciones extremas donde no es suficiente el uso del gas inerte. El agua en las

tuberías proviene de tanques de almacenamiento secundarios ubicados en la periferia del centro de datos y a corta distancia. Los tanques de almacenamiento secundarios están conectados a un depósito central de agua del centro de datos [1]. Instituciones y organismos auditan periódicamente los sistemas y procesos de operación y mantenimiento de centros de datos para estar certificados. El sistema de monitoreo de nivel de agua de los tanques secundarios es uno de los procesos de operación auditados. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una red de sensores de nivel de agua de bajo consumo de energía monitoreados remotamente vía Internet. El centro de datos en el que se realizó la implantación es un edificio de 80x80 metros ubicado en la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana. En el exterior se encuentran los depósitos de agua secundarios ubicados en lugares estratégicos y seguros. Los depósitos son de 4x3x3 metros y tienen capacidad de 36,000 litros. Una especificación solicitada para implantar el sistema de monitoreo fue que la interfaz que reporta el nivel de agua lo realice cada 30 segundos y permita descargar los valores históricos de nivel de agua a un archivo de texto.

Para diseñar el sistema se realizó una investigación sobre trabajos desarrollados en investigaciones, implantaciones y relacionados con el tema, así como los tipos de sensores de nivel de agua adecuados para esta aplicación. Los resultados mostraron que la selección del sensor a utilizar depende de varios factores, entre los que se encuentran la distancia, el tamaño, la altura y profundidad del depósito o tanque y la precisión. Desde el punto de vista operacional, existen dos tipos de sensores de nivel: los puntuales y los continuos. Los sensores de nivel puntuales se usan para indicar la altura máxima o mínima de un líquido o una condición de nivel preestablecida. Se usan comúnmente para activar una alarma o un actuador. Los sensores de nivel continuos se utilizan para el monitoreo de nivel de un líquido dentro de un rango y generan una salida directamente proporcional al nivel en el depósito del líquido [2]. Desde el punto de vista de fabricación, los sensores pueden ser magnéticos, ultrasónicos, capacitivos o resistivos, entre otros [3]. Los sensores ultrasónicos son continuos y detectan la proximidad sin contacto mecánico con el líquido, son fáciles de instalar y económicos [4]. Detectan objetos ubicados a distancias de milímetros hasta

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México, México.* vlji@correo.azc.uam.mx.

varios metros. Emiten un pulso de ultrasonido de forma cónica cuya frecuencia es de varios KHz. El pulso se refleja en un objeto, el sensor recibe el eco producido y genera una señal eléctrica que permite medir el tiempo que la señal tarda en retornar, tomando en cuenta la velocidad del sonido en el aire. Pueden detectar líquidos o sólidos de diferente color y acabado. En la implantación de este trabajo se usó el medidor de rango SRF10, el cual trabaja en base a un sensor ultrasónico.

Cuando la distancia entre el sensor y el punto de monitoreo es menor a 50 metros, comúnmente se usa cableado directo o transmisores de radio de corto alcance, máximo 40 metros. Para distancias mayores a 50 metros, la comunicación se realiza usando transceptores inalámbricos de tecnología WiFi, ZigBee o celular [5]. En los últimos años se han realizado trabajos donde los sensores se conectan a un transceptor WiFi para transmitir a una estación central, conectada a la Internet, el nivel de agua a través de un router WiFi [6]. Las desventajas de estas redes de sensores son: el alcance en decenas de metros, el alto consumo de energía y el alto costo de la infraestructura WiFi. Se han desarrollado bastantes implantaciones donde los sensores de nivel de agua se conectan a una red de transceptores ZigBee, los cuales consumen mucho menos energía que WiFi pero su alcance está limitado a 100 metros [7]. Inclusive el monitoreo de nivel de agua con transceptores ZigBee se ha extendido a otros ambientes como la piscicultura [8], albercas [9] y sistemas de detección de inundaciones [10]. También se ha usado tecnología GSM para la transmisión de información, adquirida por sensores de nivel, por medio de mensajes de texto enviados a teléfonos móviles [11], lo cual presenta la ventaja de tener alcance ilimitado pero el costo de los transceptores es alto y depende de la disponibilidad de la red celular cuyo costo también es alto. Una alternativa para la transmisión de información inalámbrica, adquirida por sensores como los usados en la aplicación aquí presentada, a un servidor conectado a la Internet, son las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN-Low Power Wide Area Network). Las LPWAN no son nuevas, se han hecho más populares debido a que en los últimos años, la cantidad de controladores y dispositivos para conectar a la Internet equipos terminales o procesos a monitorear se ha incrementado considerablemente. El equipo terminal, que puede ser un sensor, un termostato, la chapa de una puerta, un rastreador GPS, un refrigerador o una lavadora de vajillas, se conecta a Internet sin el uso de tecnologías inalámbricas tradicionales como Bluetooth, WiFi o ZigBee [12]. Para llevar a cabo esto, han surgido tecnologías y redes más inteligentes para la comunicación de dispositivos terminales. Una de estas tecnologías es conocida como

Internet de las Cosas (IoT-Internet Of Things), y está basada en redes LPWAN. Algunos tipos de LPWAN están basados en el protocolo LoRa (Long Range). El protocolo abierto LoRa fue desarrollado por LoRa Alliance para crear LPWAN para el mercado de IoT. LoRa usa el procesador de señales digitales SX1301, fabricado por Semtech, y define la capa física del modelo OSI, o modulación inalámbrica, para realizar el enlace de comunicación de larga distancia. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa se les conoce como LoRaWAN. Usan comunicación de radio de baja potencia que permite establecer conexiones de largo alcance transmitiendo pequeñas cantidades de información a baja velocidad y lograr mayor tiempo de vida de baterías. Una red basada en tecnología LoRa proporciona mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares existentes. Muchos operadores de redes móviles complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que es fácil de integrar a la infraestructura existente a fin de ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías. Proveedores de sensores y puntos de acceso de aplicaciones IoT han incorporado en sus soluciones transceptores RF LoRa para transmitir información a grandes distancias consumiendo mínima potencia. Las principales características técnicas de LoRaWAN son las siguientes: 1) Arquitectura de estrella. Las puertas de enlace transmiten información a un servidor de red central ubicado en la nube usando una conexión IP estándar. 2) La comunicación entre nodos y puerta de enlace puede ser bidireccional a diferentes velocidades. La velocidad de datos varía en el rango de 0.3 Kbps a 50 Kbps. Para maximizar la duración de la batería de nodos de la red, el servidor central LoRaWAN administra la velocidad para cada nodo individualmente usando un esquema adaptivo de velocidad de datos (ADR-Adaptive Data Rate). Una puerta de enlace LoRa puede cubrir ciudades completas o cientos de kilómetros cuadrados. Existen muchas ciudades en el planeta con infraestructura y cobertura de operadores de redes LoRaWAN públicas que ofrecen servicios de IoT. 3) Gran tiempo de vida de baterías. LoRaWAN es una red de estrella, los nodos son asíncronos y se comunican cuando tienen datos a enviar, ya sea de forma calendarizada o por evento. En contra parte, en una red de malla o síncrona, como por ejemplo la red celular, los nodos frecuentemente despiertan para sincronizarse con la red y revisar mensajes. Esto consume una cantidad significativa de energía y reduce el tiempo de vida de baterías. LoRaWAN consume de 3 a 5 veces menos energía que cualquier red inalámbrica.

Una forma de implantar una LPWAN es usando Symphony Link. Desarrollada por Link Labs usa un

protocolo estandarizado para usuarios que necesitan comunicación inalámbrica de larga distancia con rendimiento no disponible en LoRaWAN. Symphony Link está construido sobre la tecnología de modulación CSS de la capa física de LoRa y es una especificación alterna a LoRaWAN. Symphony Link es una solución propietaria que no necesita un operador de LoRaWAN para conectarse a Internet. Las ventajas de Symphony Link sobre una LoRaWAN son las siguientes: 1) Recepción garantizada de mensajes. LoRaWAN es un protocolo asíncrono con reconocimientos limitados de mensajes, por lo que es común que presente una tasa de error en paquetes (PER) mayor a 50%. Esto es aceptable en algunas aplicaciones de lectura de medidas, pero para redes de sensores industriales o sistemas de control se requiere un PER de 0%. A diferencia de LoRaWAN, la capa MAC de Symphony Link reconoce cada mensaje, los transmitidos y recibidos. 2) Uso de repetidores. El uso de repetidores en una red permite expandir el rango de la misma aumentando también la latencia. Al ser Symphony Link un protocolo síncrono, los repetidores aumentan el alcance de la red sin aumentar la latencia y su costo es mucho menor al de un punto de acceso de LoRaWAN. 3) Capacidad de la red más alta. Usando las características síncronas, como ranuras y coordinación en los tiempos de transmisión de nodos, una red Symphony Link tiene más de 4 veces la capacidad de una red LoRaWAN. Por las ventajas que ofrece el uso de una LPWAN Symphony Link, las aportaciones y beneficios del sistema aquí presentado son las siguientes: la conexión de los sensores de nivel de agua a la Internet es inalámbrica, no fue necesario modificar la infraestructura de red actual del centro de datos, los transceptores utilizados son de reciente tecnología, largo alcance y bajo consumo de energía. No fue necesario instalar un servidor que concentre la información de los sensores. La LPWAN transmite la información de los sensores a un servidor ubicado en la nube el cual está bajo responsabilidad de Link Labs quién ofrece un servicio siempre disponible y seguro. No existen soluciones como ésta aplicadas a centros de datos.

II. DESARROLLO

La metodología usada para el desarrollo del sistema consistió en dividirlo en dos partes: la LPWAN y la interfaz de usuario. A continuación, cada una de estas partes se diseñó usando los componentes más adecuados tomando en cuenta el consumo de energía y costo. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema.

A. La LPWAN

La solución Symphony Link proporciona transceptores

LoRa, una puerta de enlace y un servidor en la nube para implantar una LPWAN y conectarla a la Internet.

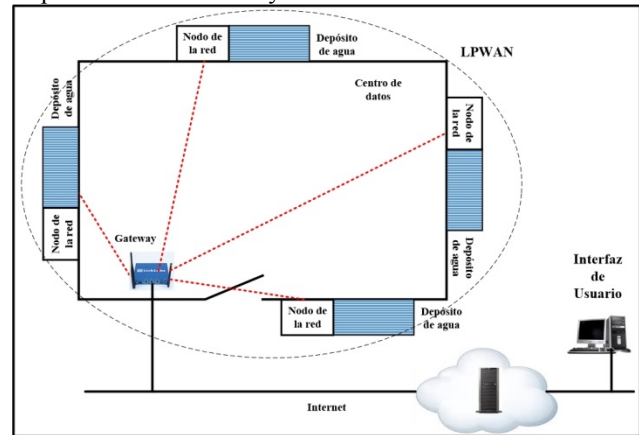


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema implantado

En este trabajo, la LPWAN se implantó con cuatro nodos y una puerta de enlace. Los cuatro nodos de la red tienen la misma arquitectura. Cada nodo se compone de un medidor de rango SRF10, un microcontrolador y un transceptor LoRa. El SRF10 es un dispositivo compacto y económico que puede detectar objetos ubicados a distancias de 3 centímetros a 6 metros. Se alimenta con 5 V y consume en operación 15 mA y 3 mA en reposo, siendo esta una de las razones por la que fue seleccionado para diseñar los nodos de la LPWAN los cuales pueden alimentarse con baterías. El SRF10 tiene cinco terminales, una es usada para alimentación, otra para tierra, la tercera es no conexión y las últimas son las líneas SCL y SDA del bus I²C por la cuales transfiere el valor de distancia medida. Esta distancia puede estar expresada en pulgadas o centímetros o bien el medidor puede proporcionar el tiempo que tarda el eco de la señal ultrasónica. En el bus I²C de los nodos de la red, el medidor de rango es el esclavo y el microcontrolador es el maestro. El funcionamiento del medidor SRF10 es programable por medio de cuatro registros. El registro 0 es de comandos y por medio de este registro el microcontrolador puede indicar al SRF10 las unidades de medida de distancia o el inicio de medida. El registro 1 se usa para configurar la ganancia máxima del medidor. A través de los registros 2 y 3 el microcontrolador puede leer los 16 bits del valor de la distancia medida. Cuando ha terminado la medida, el SRF10 lo indica por medio de la línea SDA. La comunicación del microcontrolador con el SRF10 se realizó usando el bus I²C, por lo que las terminales SDA y SCL del medidor de distancia se conectaron a las terminales del mismo nombre del microcontrolador. La dirección del SRF10 en el bus I²C es por defecto 0xE0 y puede cambiarse a una de 16 direcciones posibles si es necesario. En la implantación de este trabajo no se cambió

ya que solo se conectó un SRF10 esclavo al bus I²C. El sensor se instaló en la parte superior de cada depósito de agua usando un kit de montaje proporcionado por el distribuido del mismo. El kit consiste de una escuadra metálica y empaques de hule. El microcontrolador utilizado en los nodos de la red fue el PIC18F4550. Este dispositivo tiene 40 terminales que permitió construir nodos de tamaño compacto y cuenta con los siguientes recursos: CPU de 8 bits, 32 KB de memoria de programa, 2 KB de memoria RAM, 35 líneas de entrada/salida, convertidor analógico-digital de 10 bits y 13 canales, 3 temporizadores, un puerto USART y un módulo maestro I²C. Periódicamente, el microcontrolador envía un comando de inicio de medida al SRF10 y al terminar el proceso de medida lee el resultado en centímetros. Usando este valor y las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua, el PIC18F4550 determina el nivel o cantidad de agua del tanque. Posteriormente, el microcontrolador transmite, usando el puerto USART, el valor del nivel de agua al transceptor LoRa LL-RXR-27 de Symphony Link. El puerto UART del LL-RXR-27 se conectó directamente al USART del microcontrolador como se indica el diagrama de bloques de la Figura 2.

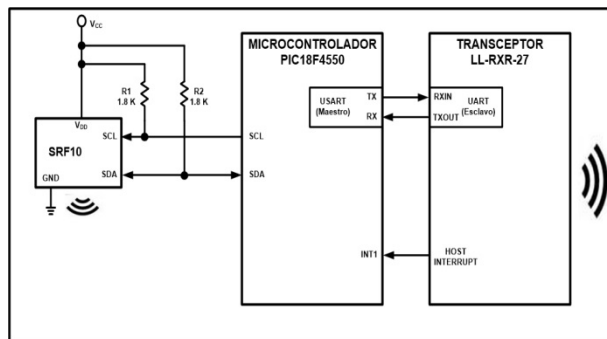


Figura 2. Diagrama de bloques de la LPWAN

El LL-RXR-27 es un transceptor de radio de Link Labs. Es compatible con redes públicas LoRaWAN 1.0 y con redes privadas de área amplia Symphony Link. Está optimizado para usarse en las bandas de frecuencia de 915 MHz ISM u 868 MHz. Usa modulación LoRa de Semtech para maximizar el alcance y minimizar el consumo de energía e interferencia. Integra un DSP Semtech SX1276 y un microcontrolador de 32 bits Renesas R5F51116ADNE. El DSP SX1276 implanta la capa física usando modulación LoRa mientras que el firmware del microcontrolador RX111 implanta la pila de protocolos de red y la interface de comandos para la comunicación con el PIC18F4550. Las características principales de operación del transceptor LL-RXR-27 son las siguientes: alimentación 3.5 a 5.5 V, consumo de corriente <1uA en

reposo, 480 mA en transmisión, 40 mA en recepción, potencia máxima de transmisión 23 dBm, velocidad de transmisión RF 183 bps a 37.5 Kbps y velocidad de transmisión del UART 115,200 bps. Para la comunicación entre el PIC18F4550 y el transceptor LL-RXR-27 se usó el protocolo maestro/esclavo. El microcontrolador realiza las funciones de maestro y el transceptor LL-RXR-27 las de esclavo. El protocolo permite intercambiar paquetes de comando y paquetes de respuesta. El maestro siempre envía paquetes de comando, mientras que el esclavo siempre transmite paquetes de respuesta. La temporización del bus I²C y la implantación del protocolo maestro-esclavo las lleva a cabo la programación que se ejecuta en el microcontrolador cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 3.

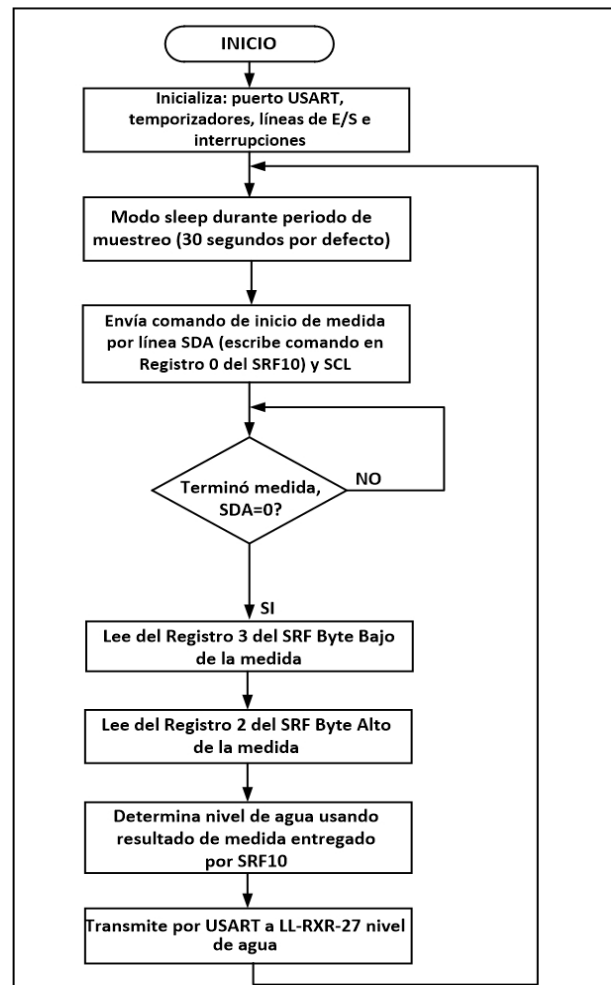


Figura 3. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador

El transceptor LL-RXR-27 de cada nodo de la red transmite el valor de nivel de agua a la puerta de enlace de la LPWAN. La puerta de enlace es modelo LL-BST-8 y

cuenta con dos puertos de red Ethernet. A través de un puerto Ethernet se conecta a la Internet y por medio del otro puerto se conecta localmente a una computadora. De esta forma, la red de medidores de rango puede ser accedida y monitoreada desde la Internet, implantando con esto la solución IoT en los tanques de almacenamiento. Para configurar y establecer el hostname de la puerta de enlace, el método de conexión a la Internet (alámbrico o inalámbrico) y los parámetros de comunicación con los nodos de la red se usa la aplicación *Prelude* de Link Labs, la cual se ejecuta en una computadora conectada a la puerta de enlace a través de un segmento de red local. *Prelude* encripta la información que envía la puerta de enlace al servidor de red.

B. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario se ejecuta en una computadora conectada, a través de la Internet, al servidor de red. El servidor de red está alojado en los servicios de nube de Amazon y su administración está bajo Link Labs. La interfaz de usuario muestra el valor de nivel de agua en litros de cada tanque en los últimos 30 segundos, como se indica en la Figura 4, y permite descargar en un archivo de texto los valores históricos. El periodo de tiempo es configurable. En el servidor de red se ejecuta la aplicación *Conductor* de Link Labs. *Conductor* es la plataforma de servicios de datos en la nube que puede accederse a través de un portal conectándose a la página web de *Conductor*. Link Labs proporciona un conjunto de APIs para acceder los servicios de *Conductor* desde una aplicación o programa. La interfaz de usuario se conecta al portal de conductor y usa estos APIs para desplegar los valores de nivel de agua en un formato más sencillo y claro que los mostrados en el portal de *Conductor*. Cada vez que una puerta de enlace Symphony Link se conecta *Conductor*, es registrada por esta aplicación, lo que permite a *Conductor* comunicarse de forma segura con cada LPWAN Symphony Link.

III. RESULTADOS

El fabricante de la puerta de enlace y transceptores LoRa indica que su alcance son 12 Kilómetros. En este trabajo la distancia del tanque de agua más lejano a la puerta de enlace son 500 metros y no se tuvo problema alguno en la comunicación en la LPWAN. Adicionalmente, se realizaron dos conjuntos de pruebas. El primero tuvo como objetivo determinar el alcance la LPWAN implantada. Para esto, se movió uno de los nodos de la red a diferentes posiciones fuera del centro de datos. El alcance logrado fue 10 Kilómetros con línea de vista y 8 Kilómetros ubicando el nodo en una posición donde existen dos edificios entre el nodo y el centro de datos. El

segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar la exactitud del medidor de distancia a diferentes temperaturas.

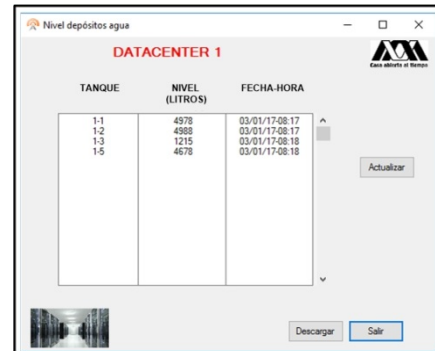


Figura 4. Interfaz de usuario

El fabricante del medidor indica una exactitud de ± 3 centímetros a temperatura ambiente de 20°C . En estas pruebas el nivel de agua del tanque fue el mismo y se llevaron a cabo a diferentes horas del día, donde los valores de temperatura ambiente fueron de 12°C a 38°C . Se comparó la medida reportada en la interfaz de usuario con la medida en sitio, viendo que: la exactitud del fabricante se mantiene en el rango de 18°C a 22°C y disminuye o aumenta conforme lo hace la temperatura, como se muestra en la Figura 5. Esto es debido a que la velocidad del sonido aumenta con la temperatura.

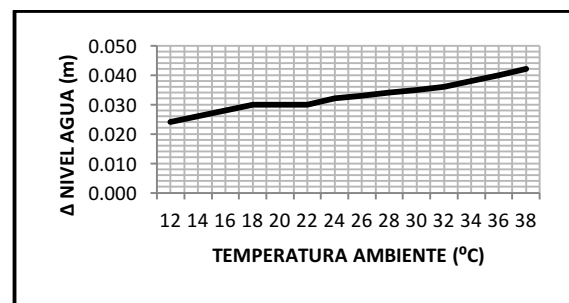


Figura 5. Exactitud del medidor de distancia SRF10

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se construyó un sistema que monitorea, desde la Internet, el nivel de agua de cuatro tanques de almacenamiento, a través de una LPWAN y una interfaz de usuario. Al usar una solución propietaria, como lo es Symphony Link, se implantó una LPWAN de forma, confiable y de costo bajo, la cual puede replicarse en otros centros de datos. La LPWAN es totalmente escalable y el diseño de los nodos de la misma permite sustituir el medidor de distancia o adicionar otro que use el bus I^2C para coleccionar información de otra variable de ambiente realizando cambios mínimos en la programación del microcontrolador. Si es necesario

aumentar el alcance de la LPWAN, se recomienda adicionar a la misma un transceptor LL-RXR-27 configurado como repetidor. El sensor de rango usado SRF10 no es inmune a la humedad, lo que puede afectar su comportamiento a mediano y largo plazo. Para solucionar esto, es necesario usar un sensor a prueba de agua como el dispositivo JSN-SR04T, el cual es un sensor ultrasónico cuya alcance son 6 metros y cuenta con una interfaz serie para conectarlo al microcontrolador de este sistema.

V. REFERENCIAS

- [27] Rose, I. y Fleischer, A. S. (2016). "Analysis of a water tank energy storage system for use in a warm water cooled data center", in Proceedings 15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 31 May-3 June, Pages: 1273-1279, Las Vegas, NV, USA.
- [28] Ricchiuti, A. L.; Barrera, D. y Urrutia, A. (2016). "Continuous Liquid-Level Sensor Based on a Long-Period Grating and Microwave Photonics Filtering Techniques", IEEE Sensors Journal, Volume: 16, Issue: 6, Pages: 1652-1658.
- [29] Getu, B. N. y Attia, H. A. (2016). "Automatic water level sensor and controller system", in Proceedings 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), 6-8 Dec., Pages: 1-4, Ras Al Khaimah, United Arab Emirates.
- [30] Chhantyal, K.; Viundal, H. y Mylvaganam, S. (2016). "Ultrasonic level sensors for flowmetering of non-Newtonian fluids in open Venturi channels: Using data fusion based on Artificial Neural Network and Support Vector Machines", in Proceedings IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), 20-22 April, Pages: 1-6, Catania, Italy.
- [31] Sámano-Robles, R.; Nordström, T. y Santonja, S. (2016). "The DEWI high-level architecture: Wireless sensor networks in industrial applications", in Proceedings Eleventh International Conference on Digital Information Management (ICDIM), 19-21 Sept., Pages: 274-280, Porto, Portugal.
- [32] Mendez, G. R.; Yunus, M. A. y Mukhopadhyay, S. C. (2012). "A WiFi based smart wireless sensor network for monitoring an agricultural environment", in Proceedings 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 13-16 May, Pages: 2640-2645, Graz, Austria.
- [33] Maqbool, S. y Chandra N. (2013). "Real Time Wireless Monitoring and Control of Water Systems Using Zigbee 802.15.4", in Proceedings 2013 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks, 27-29 Sept., Pages: 150-155, Mathura, India.
- [34] Chen, J. H.; Sung, W. T. y Lin, G. Y. (2015). "Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment", in Proceedings 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 9-12 Oct., Pages: 1161-1166, Kowloon, China.
- [35] Marais, J. M.; Bhatt, D. V. y Hancke, G. P. (2016). "A web-based swimming pool information and management system", in Proceedings 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 19-21 July, Pages: 980-985, Poitiers, France.
- [36] Chan, K. H.; Cheang, C.S. y Choi, W. (2014). "ZigBee wireless sensor network for surface drainage monitoring and flood prediction", in Proceedings 2014 International Symposium on Antennas and Propagation Conference, 2-5 Dec., Pages: 391-392, Kaohsiung, Taiwan.
- [37] Telgote, A.M.; Narayanan, V. y Dave, N. A. (2015). "Design and implementation of water environment monitoring system using GSM technology", in Proceedings 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), 4-6 Feb., Pages: 1-4, Mumbai, India.
- [38] Wixted, A. J.; Kinnaird, P. y Larijani, H. (2016). "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks", in Proceedings 2016 IEEE SENSORS, 30 Oct.-3 Nov. Pages: 1-3, Orlando, FL, USA.

VI. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Estado de México, 1962. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990.

Él labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras.

Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.



Salgado-Guzmán Gerardo. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Tapia-Vargas Víctor Noé. Cd. de México, 1949. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1988.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Tapia realiza investigación con sistemas robóticos.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.



Cosme-Aceves José Francisco. Atlixco, Puebla, México, 1958. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.