Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 135-140, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

REGISTRO DE PRESIÓN EN TUBERÍAS DE AGUA USANDO TRANSCEPTORES LoRa

José Ignacio Vega Luna, Mario Alberto Lagos Acosta, Gerardo Salgado Guzmán, Víctor Noé Tapia Vargas, Francisco Javier Sánchez Rangel, José Francisco Cosme Aceves.

Área de Sistemas Digitales, Dpto. de Electrónica, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México.

vlji@correo.azc.uam.mx

RESUMEN

Se presenta el diseño e implantación de un sistema de monitoreo remoto de sensores de presión de agua usando transceptores LoRa. El objetivo principal fue reportar a un servidor ubicado en la Internet los niveles de presión de diez sensores, dispuestos en el sistema hidráulico de un centro de datos. Utilizando diez transceptores LoRa y un gateway se implantó una LPWAN. Cada nodo de la LPWAN consta de un sensor de presión de agua, un módulo GPS, un microcontrolador y un transceptor LoRa. Los nodos transmiten los niveles de presión al gateway y éste los envía al servidor ubicado en la nube. A través de la interfaz de usuario se pueden monitorear los niveles registrados. El alcance logrado con la LPWAN son 11.7 Kilómetros con línea de vista.

Palabras clave: GPS, LoRa, LPWAN, sensor de presión, transceptores.

ABSTRACT

The design and implementation of a remote monitoring system of water pressure sensors using LoRa transceivers is presented. The main objective was to report to a server located on the Internet the pressure levels of ten sensors, arranged in the hydraulic system of a data center. Using ten LoRa transceivers and a gateway, a LPWAN was implemented. Each node of the LPWAN consists of a water pressure sensor, a GPS module, a microcontroller and a LoRa transceiver. The nodes transmit pressure levels to the gateway and the gateway sends them to the server located in the cloud. The registered levels can be monitored through the user interface. The range achieved with the LPWAN is 11.7 Kilometers with line of sight.

Keywords: GPS, LoRa, LPWAN, pressure sensors, transceivers.

1. INTRODUCCIÓN

Una variable física que se encuentra presente en procesos industriales, laboratorios de investigación, hospitales y en la agricultura, es la presión de líquidos. En estos lugares, es necesario controlar, o por lo menos monitorear, los niveles de presión alcanzados, ya que si se sobrepasan ciertos niveles de umbral, la presión se convierte en una variable de alto riesgo que puede causar daños irreparables y pérdidas. En los centros de datos existe una gran cantidad de variables que requieren ser monitoreadas y controladas con precisión remotamente. En un centro de datos se encuentran instalados sistemas para detección de fuego y extinción de incendios en equipo de cómputo y comunicaciones. En las tuberías de estos sistemas circulan gases inertes y agua ultra-pura. Esta última se usa en los sistemas de enfriamiento y en situaciones extremas donde no es suficiente el uso del gas inerte. Un centro de datos concentra recursos y equipos necesarios para el procesamiento y almacenamiento de información de empresas e instituciones, así como equipos de telecomunicaciones para acceder local y remotamente a la información [1]. Es vital que el centro de datos cuente con mecanismos seguros y eficientes para el funcionamiento del equipo de cómputo, ya que procesa y almacena información crítica y necesaria para las operaciones de clientes, empleados y colaboradores. Periódicamente los centros de datos son auditados por organismos y empresas externas para poder estar certificados y ofrecer servicios confiables [2]. Los mecanismos usados en el funcionamiento y mantenimiento de instalaciones hidráulicas están incluidos en los procesos de certificación de las auditorías. Estos procesos incluyen el monitoreo y registro de presión de agua en puntos estratégicos de las tuberías, lo cual, en muchos centros de datos, se realiza manualmente. Con el avance de la tecnología, las auditorías en centros de datos solicitan que los valores de presión sean registrados periódicamente, almacenados históricamente en un archivo y mostrados en una interfaz de usuario que se ejecute en una computadora, así como indicar la ubicación exacta de los sensores de presión mediante Sistemas de Posicionamiento Global (GPS-Global Positioning System). La computadora puede ubicarse en una oficina de control y monitoreo localizada en el centro de datos. Se requirió que la interfaz de usuario se ejecute en una computadora conectada en la Internet.

El objetivo de este trabajo, fue por lo tanto mostrar, en una interfaz de usuario, el valor actual de presión de agua, medido por sensores instalados en tuberías de agua de los sistemas de enfriamiento y anti-incendio de un centro de datos, así como registrar en un archivo las coordenadas GPS de los sensores y los valores históricos de presión. El sensor de presión más lejano al punto de acceso a la Internet, se ubica a 1 Kilómetro.

Algunos centros de datos ya cuentan con sistemas que transmiten los valores de presión de agua a una computadora o sistema de control como un PLC. La comunicación entre los dispositivos de medición y la computadora utiliza tradicionalmente tecnologías alámbricas cuya infraestructura se instaló durante la construcción del centro de datos [3]. Para

lograr el objetivo planteado en este trabajo es necesario usar tecnología inalámbrica, ya que es indispensable no adicionar o modificar el cableado del centro de datos que cumple con estándares de instalación y operación altamente calificados. Las tecnologías de comunicación inalámbrica más comúnmente usadas en los últimos años son: ZigBee, WiFi, celular, Bluetooth y LoRa.

Se han realizado bastantes trabajos para medir remotamente la presión de líquidos en tuberías cuyo objetivo es detectar fugas [4]-[5] y controlar la presión de un fluido en carros-tanque [6]. Algunos de estos trabajos usan transceptores ZigBee [7] o transmisores de RF de corto alcance, no más de 40 metros [8]. Otras implantaciones miden remotamente la presión de instalaciones hidráulicas en presas utilizado tecnología ZigBee [9]. Se han desarrollado sistemas de monitoreo remoto de presión de agua en sistemas de irrigación agrícolas usando ZigBee [10] y tecnología GSM [11] o usando WiFi [12]. La tecnología ZigBee es de baja velocidad y bajo consumo de energía con transceptores y gateways de bajo costo. Su funcionamiento se basa en una red de malla que puede conectarse a la Internet, sin embargo el alcance de ZigBee es de 100 metros y no puede comunicarse fácilmente con otros protocolos. WiFi transmite información a velocidades mayores que ZigBee. Tiene menor alcance que ZigBee y los transceptores y puntos de acceso que usa son costosos y consumen mucha energía. La tecnología celular tiene gran alcance, pero los transceptores y acceso a la red son costosos, además el acceso a la Internet depende de la disponibilidad de la red celular. Considerando lo antes expuesto, las opciones prácticas a usar para la comunicación inalámbrica en este trabajo fueron Bluetooth y LoRa. Bluetooth Smart o Bluetooth Low Energy (BLE) es una tecnología de reciente creación, bajo consumo de energía y dirigida a implantar redes de área personal inalámbricas (WPAN-Wireless Personal Area Network) usando teléfonos inteligentes. Su alcance es de cientos de metros por lo cual no fue utilizada en este trabajo y en su lugar se usó tecnología LoRa para desarrollar una red de área amplia de bajo consumo de energía (LPWAN- Low Power Wide Area Network) de sensores de presión conectada a la Internet.

El protocolo abierto LoRa fue desarrollado por LoRa Alliance para crear redes LPWAN para el mercado de IoT (IoT-Internet Of Things) [13]. LoRa define la capa física del modelo OSI o modulación inalámbrica, para realizar el enlace de comunicación de larga distancia con transceptores de radio de baja potencia que permiten transmitir pequeñas cantidades de información a baja velocidad y lograr mayor tiempo de vida de baterías. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa se les conoce como LoRaWAN y se usan en aplicaciones máquina a máquina (M2M-Machine-to-Mahine) y por operadores de redes inalámbricas que usan el espectro sin licencia para comunicar dispositivos IoT a través de su red. Las LoRaWAN proporcionan mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares existentes. Muchos operadores de redes celulares complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que se integran a la infraestructura existente para ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías. Usando LoRaWAN pueden implantarse soluciones de IoT sin utilizar tecnologías de transmisión inalámbrica tradicionales como WiFi o celular. Las redes LoRaWAN usan arquitectura de estrella y los nodos establecen el enlace inalámbrico de baja frecuencia con uno o más puntos de acceso o gateways conectados a la Internet. Los gateways transmiten información a un servidor de red central ubicado en la nube, usando una conexión IP estándar, lo cual permite a desarrolladores y empresas implantar fácilmente redes de IoT. La velocidad de transmisión varía en el rango de 0.3 Kbps a 50 Kbps. Para maximizar la duración de la batería de dispositivos finales y capacidad de la red, el servidor central LoRaWAN administra la velocidad para cada dispositivo. Con un gateway o estación base LoRa se pueden cubrir ciudades completas o cientos de kilómetros cuadrados. La capacidad de una LoRaWAN es de miles de nodos y usa dos capas de seguridad: una para la red y otra para la aplicación. La seguridad de la red sirve para autenticar el nodo y la seguridad en la aplicación garantiza que el operador de la red no tenga acceso a la información de la aplicación del usuario final. Existen diferentes proveedores de transceptores y gateways LoRa para desarrollar LPWAN. Varias ciudades de Estados Unidos y Europa cuentan con operadores de LoRaWAN públicas, similares a las redes celulares existentes en casi todo el mundo, que permiten conectar una LPWAN a un servidor ubicado en la Internet y crear aplicaciones IoT. Estos operadores usan la banda ISM, que no requiere licencia, de 915 MHz. en Estados Unidos y de 868 MHz en Europa [14]. En Latinoamérica no existe este tipo de operadores hasta hoy, por lo que una opción para conectar una LPWAN a la Internet es usando Symphony Link. Symphony Link es una especificación alterna a LoRaWAN, es un protocolo estandarizado desarrollado por Link Labs para usuarios que necesitan comunicación inalámbrica de larga distancia con rendimiento no disponible en LoRaWAN. Symphony Link proporciona transceptores y gateways LoRa donde la comunicación es más segura que en una LoRaWAN, ya que maneja reconocimiento de todos los paquetes de datos, a diferencia de una LoRaWAN que usa reconocimientos limitados presentando una tasa de error en paquetes (PER) mayor a 50%. Symphony Link usa 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. Usando 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. La operación de una red Symphony Link no requiere identificador de red ni membresía a LoRa Alliance, lo cual puede costar hasta $20,000 USD por año. Symphony Link no interfiere con LoRaWAN y viceversa. Se puede desarrollar una LPWAN para IoT

adquiriendo los transceptores necesarios, uno para cada nodo de la red, y el gateway Symphony Link conectado a Internet. Los nodos intercambian información, a través del gateway, con un servidor de red, ubicado en los servicios de nube de Amazon, administrado por Link Labs. El gateway soporta más de 250,000 nodos [15].

En este trabajo se implantó una LPWAN Symphony Link compuesta por diez nodos y un gateway. La LPWAN reporta al servidor de red periódicamente el valor de presión de agua de diez sensores ubicados en el centro de datos. Los sensores ya estaban instalados en el sistema hidráulico y solo fueron conectados al nodo correspondiente de la LPWAN. Cada nodo transmite al gateway el valor de presión del sensor correspondiente, conjuntamente con la fecha, hora y coordenadas GPS de su ubicación. En la interfaz de usuario, que se ejecuta en una computadora personal conectada a Internet, se muestra la información enviada por cada nodo de la red. Las ventajas y aportaciones del sistema aquí presentado son las siguientes: la comunicación usada en la red de sensores es inalámbrica y por tanto no interfiere con el cableado del centro de datos, y la tecnología inalámbrica usada es de reciente creación con alcance de varios Kilómetros. No necesita instalarse una computadora para comunicarse desde la Internet a la LPWAN, ya que se usa el servidor proporcionado en Symphony Link. El sistema desarrollado resuelve una necesidad real, conectando una LPWAN a la Internet sin usar una LPWAN pública. Se han desarrollado diversas aplicaciones usando LoRa e IoT pero no como la aquí realizada para centros de datos.

Una alternativa para lograr el objetivo planteado en este trabajo fue usar una solución de red de sensores inalámbricos de largo alcance actualmente disponibles en el mercado. Un ejemplo de este tipo de redes es la tecnología MICA motes. MICA motes es una plataforma de desarrollo basada en hardware y software abiertos que incluye sensores, transceptores de radio y procesadores. Es utilizada por desarrolladores e investigadores para implantar sistemas de monitoreo, automatización y control, principalmente en aplicaciones de agricultura, estudios ambientales y servicios públicos, como distribución de agua, gas y alumbrado público. La arquitectura de esta plataforma consta de tres niveles: el sistema operativo embebido en los nodos de la red, también llamados motes, el gateway al cual transmiten los nodos y la interfaz gráfica. Los nodos obtienen información de los sensores, la procesan y transmiten a otros nodos o al gateway. Están compuestos por pequeñas tarjetas, denominadas MPR (Mote Processor/Radio) y MTS (Mote Sensor). Un nodo tiene una MPR, que integra un procesador, convertidores analógico-digitales, un transceptor de radio y una o más MTS con el tipo de sensor usado. Las redes MICA mote usan arquitectura de malla y los transceptores usan la banda ISM de 916 MHz transmitiendo a 50 Kbps con alcance de 2 millas. Cada nodo mantiene una tabla donde almacena información de sus vecinos para realizar el ruteo de paquetes en la red, lo que permite extender el alcance de la misma. Se ha desarrollado una variedad de tarjetas MTS que incorporan sensores de luz, humedad, temperatura, sonido, voltaje, aceleración, magnéticos, acústicos y módulos GPS. El gateway permite conectar la red a la Internet y en él se ejecuta la interfaz de usuario para acceder la información reportada por los sensores. Actualmente existen diferentes proveedores de este tipo de redes, entre los que se encuentran Aceinna y Memsic. Tienen disponibles nodos, por ejemplo los módulos EN21XX, con diferentes tipos de sensores y gateways, así como soluciones completas listas para instalar y usarse. La tecnología MICA motes tiene características funcionales similares a la LPWAN desarrollada en este trabajo. Ofrece la ventaja al usuario que no tiene que construir los nodos de la red, solo necesita crear la programación para implantar la aplicación correspondiente, lo cual trae como consecuencia que su costo, en promedio $50 USD cada nodo, sea mayor al de los nodos implantados en este trabajo, cuyo costo fue $10 USD. Otra razón para no usar la tecnología MICA motes en este trabajo es que los sensores de presión ya se encuentran instalados en el centro de datos.

2. DESARROLLO

La metodología usada en el desarrollo de este sistema consistió 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.

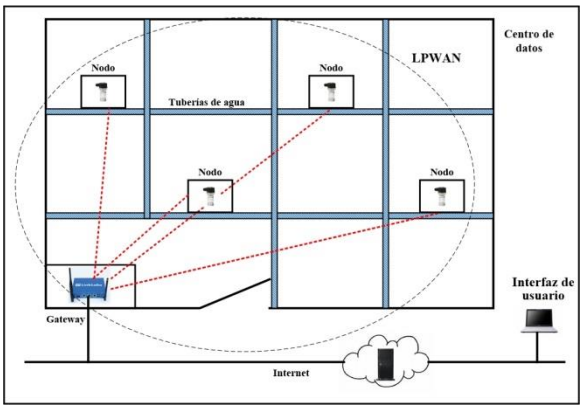

Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema

2.1. La LPWAN

Se implantó una LPWAN formada por diez nodos y un gateway. Los nodos tienen la arquitectura indicada en el diagrama de bloques de la Figura 2. Cada nodo está compuesto por el sensor de presión de agua, el módulo GPS, el microcontrolador y el transceptor LoRa. La función de los nodos de la red es colectar periódicamente los valores de

presión, por medio del sensor conectado al nodo, y transmitirlos al gateway. El periodo de recolección es por defecto de 30 segundos y es configurable en la interfaz de usuario.

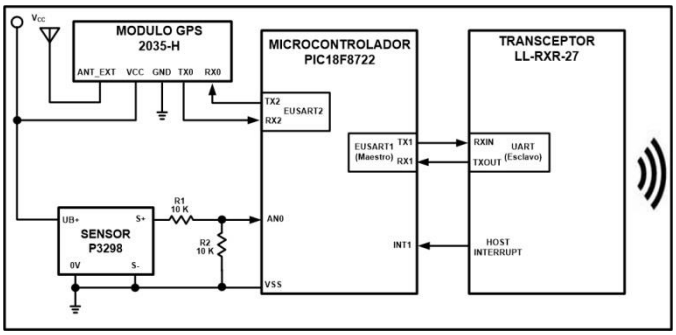

Fig. 2. Diagrama de bloques de los nodos de la LPWAN

Los sensores de presión instalados en el centro de datos son dispositivos P3298. Es un sensor que mide presión de agua usando una membrana de deposición de vapor químico (CVD-Chemical Vapor Deposition), se utiliza en aplicaciones de alta presión y periodos de tiempo prolongados. Contiene internamente un ASIC que permite ajustar los valores de presión linealmente sin requerir un circuito externo de compensación por temperatura. El rango de presión que puede medir es 0 a 15,000 bars, o 217556.61 psi, con una exactitud de 0.5%. Se alimenta con 14V a 30V. La salida del P3298 es el valor de la presión expresada como una señal analógica de 0V a 10V. Esta salida se conectó, usando un divisor de voltaje, a la entrada analógica AN0 del convertidor analógico-digital (ADC) del microcontrolador.

Para determinar las coordenadas de la ubicación del sensor que está conectado a cada nodo de la LPWAN, se usó un módulo GPS A2135-H. Este módulo tiene antena de cerámica integrada y puede conectársele una antena activa externa. Contiene un motor de seguimiento de 48 canales y -163dBm de sensibilidad. Su exactitud es menor a 2 metros y consume en operación 22 mA. Transmite cada segundo las coordenadas GPS por un puerto USART, el cual conectó al EUSART2 del microcontrolador. La velocidad de este puerto serie es configurable en el rango de 4,800 bps a 115.2 Kbps. La comunicación del módulo GPS con el microcontrolador se lleva cabo usando comandos que siguen el protocolo NMEA.

El microcontrolador usado en los nodos de la red es el PIC18F8722. Este dispositivo de 64 terminales se alimenta con 2V a 5.5V y cuenta con los siguientes recursos, suficientes para las funciones que realizan los nodos: CPU de 8 bits, 128 KB de memoria de programa, 3,936 Bytes de memoria SRAM, convertidor analógico-digital de 10 bits y 16 canales, 3 temporizadores y dos puertos EUSART. Periódicamente, el microcontrolador muestrea la entrada analógica AN0, para lo cual solicita al ADC que inicie la conversión del valor de voltaje, presente en esta entrada, a una palabra digital de 10 bits. A continuación, el PIC18F8722 espera el fin de la conversión y determina el valor de presión, en bars, obteniendo una palabra de 16 bits. Posteriormente, el microcontrolador lee la fecha, hora y coordenadas del módulo GPS y finalmente transmite la información del sensor y del módulo GPS, por medio del puerto EUSART1, al transceptor LoRa. En la Figura 3 se indica el diagrama de flujo de la programación que se ejecuta en el microcontrolador la cual implanta las tareas anteriores.

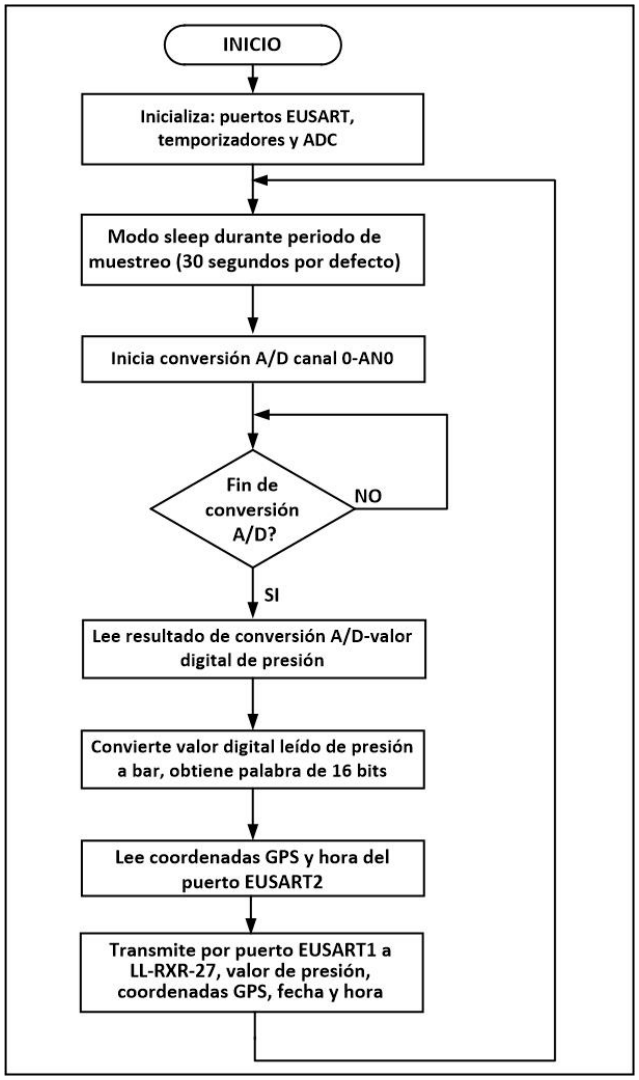

Fig. 3. Diagrama de flujo de la programación del PIC18F8722

El transceptor LoRa usado es el Symphony Link LL-RXR-27. Este transceptor es un radio multi-banda bidireccional 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 al mismo tiempo que minimiza el

consumo de energía e interferencia. El transceptor LL-RXR-27 integra un DSP Semtech SX1276, 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 PIC18F8722. Las características principales de operación del transceptor LL-RXR-27 son las siguientes: alimentación de 3.5V a 5.5V, consumo de corriente <1uA en reposo, 480 mA en transmisión y 40 mA en recepción, memoria flash de 256 KB, memoria RAM de 32 KB, 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. La comunicación entre el PIC18F8722 y el transceptor LL-RXR-27 se llevó a cabo conectando el puerto EUSART1 del microcontrolador al puerto UART del LL-RXR-27 para usar el protocolo maestro/esclavo. El microcontrolador realiza las funciones de maestro y el transceptor LL-RXR-27 las de esclavo. El protocolo permite intercambiar dos tipos de mensajes: paquetes de comando y paquetes de respuesta. El maestro siempre envía paquetes de comando, mientras que el esclavo siempre transmite paquetes de respuesta. Los paquetes de comando consisten de los siguientes campos: preámbulo (4 bytes), inicio de trama (1 byte), tipo de comando (1 byte), número de mensaje (1 byte), longitud del mensaje (2 bytes), mensaje (hasta 256 bytes) y checksum para verificar la integridad del paquete (2 bytes). Cada vez que el microcontrolador solicita al transceptor LL-RXR-27 que transmita al gateway el valor de presión y coordenadas GPS, le envía un paquete de comando. Tanto el sensor, como el módulo GPS y el transceptor son dispositivos de bajo consumo de corriente que permitió crear la LPWAN con nodos de la red compactos. El gateway usado es modelo LL-BST-8 de Link Labs, el cual, conjuntamente con los transceptores LL-RXR-27 forman la LPWAN. La solución Symphony Link está compuesta por la LPWAN y el servidor en la nube de Link Labs. El gateway cuenta con dos puertos de red Ethernet. A través de un puerto Ethernet se conecta localmente a una computadora y por medio del otro puerto se conecta a la Internet. De esta forma, la red de sensores de presión puede ser accedida y monitoreada desde la Internet. Para configurar y establecer el hostname del gateway, el método de conexión a la Internet, ya sea 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 y se comunica con el gateway través de un segmento de red local. Cuando un transceptor LL-RXR-27 establece una sesión de comunicación con el gateway, la sesión se registra como aplicación de usuario en el gateway y en *Prelude*, y se le asigna un nombre o token usado para encriptar la información que transmite el gateway al servidor de red de Symphony Link.

2.2. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario se realizó en Visual Basic y Python 3.6. Se ejecuta en una computadora conectada, vía la Internet, al servidor de red. El servidor de red se encuentra alojado en los servicios de nube de Amazon. La interfaz de usuario muestra el valor de presión de agua de cada sensor en los últimos 30 segundos, como se indica en la Figura 4, y permite descargar en un archivo de texto los valores históricos de presión registrados. El periodo de tiempo de muestreo es configurable.

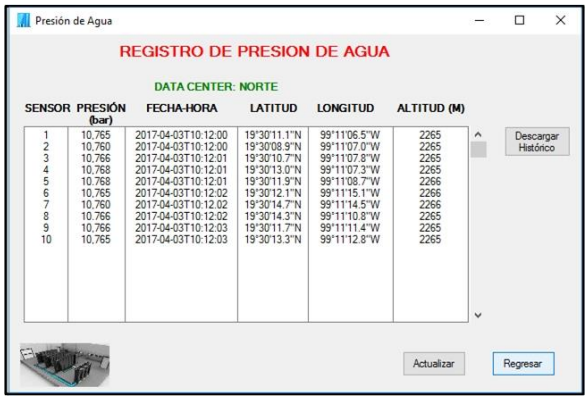

Fig. 4. Interfaz de usuario

En el servidor de red se ejecuta la aplicación *Conductor* de Link Labs. Ésta 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*. Se pueden acceder los servicios de *Conductor*, desde una aplicación o programa, utilizando un conjunto de APIs proporcionado por Link Labs. La interfaz de usuario se conecta al portal de *Conductor* y usa estos APIs para desplegar los valores de presión y coordenadas GPS en un formato más sencillo y claro que los mostrados en el portal de *Conductor*. Este formato fue solicitado por los responsables del centro de datos. Cada vez que un gateway Symphony Link se conecta a *Conductor*, es registrado por esta aplicación, lo que permite a *Conductor* comunicarse de forma segura con cada LPWAN Symphony Link.

3. RESULTADOS

En las pruebas realizadas al sistema construido no se tuvo problema en la comunicación del gateway al sensor más lejano ubicado a 1,200 metros, ya que el fabricante del gateway y transceptores LoRa indica que su alcance es de 12 Kilómetros. Adicionalmente, se realizaron dos conjuntos de pruebas con el sistema construido. El primero tuvo como objetivo determinar el alcance de la LPWAN implantada. Para esto, se ubicó uno de los nodos de la red, sin el sensor, en diferentes posiciones fuera del centro de datos. El alcance logrado fue 11.7 Kilómetros con línea de vista, 9.2 Kilómetros localizando el nodo en una posición donde existen tres edificios entre el nodo y el centro de datos y 8.3 Kilómetros

con cuatro edificios. El segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar el alcance de la LPWAN a diferentes velocidades de transmisión. En la LPWAN construida la velocidad de transmisión la establece automáticamente el gateway en un rango de 183 bps a 37.5 Kbps, dependiendo de la carga de datos que maneja en ese momento. Para realizar estas pruebas se modificó la velocidad de transmisión entre un nodo y el gateway usando *Prelude*. Los resultados mostraron que a menor velocidad de transmisión, los transceptores LL-RXR-27 tienen mayor alcance. Al configurar la velocidad más baja de 183 bps se tuvo un alcance de 18.9 Kilómetros con línea de vista, mayor al logrado en el primer grupo de pruebas, como se muestra en la gráfica de la Figura 5.

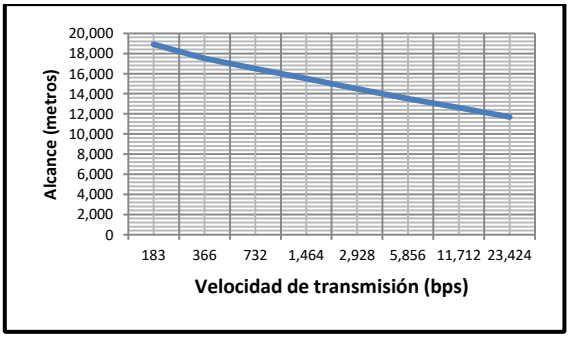

Fig. 5. Alcance logrado con los transceptores LL-RXR-27

No es común modificar esta velocidad, Link Labs recomienda que el gateway administre los parámetros de comunicación con los transceptores, sin embargo, se realizó esta prueba para verificar como influye la velocidad usada en la capa física LoRa en el alcance de la LPWAN.

4. CONCLUSIONES

Se obtuvo un sistema que monitorea, desde una interfaz de usuario que se ejecuta en una computadora conectada a la Internet, el valor de diez sensores de presión de agua, a través de una LPWAN y una interfaz de usuario. La LPWAN implantada es fácil de instalar, usar y mantener. El utilizar una solución propietaria, como Symphony Link, permitió realizar de forma rápida una LPWAN eficiente y confiable, disminuyendo el costo de implantación. La LPWAN puede replicarse en otros centros de datos u otro tipo de instalaciones, como hospitales y laboratorios, donde se necesite una solución de IoT. La red es escalable y el diseño de los nodos de la misma, permite sustituir el sensor o adicionar otro, para colectar información de otra variable de ambiente realizando cambios mínimos en la programación del microcontrolador. Si es necesario aumentar el alcance de la LPWAN, puede adicionarse a la misma un transceptor LL-RXR-27 configurado como repetidor. Se dispone del servidor de red y soporte de Link Labs para desarrollos adicionales. Es una solución de monitoreo remoto adecuada para Latinoamérica donde no existen operadores de LPWAN públicas y la mejor forma de conectar a Internet una red LoRa es a través de un gateway. Finalmente, la ubicación de un nodo puede determinarse sin usar un módulo GPS. En este trabajo se solicitó que el sistema implantado reporte las coordenadas GPS de los sensores, lo cual es requerido por las entidades que auditan el centro de datos.

5. REFERENCIAS

[1] M. Levy, J.O. Hallstrom, "A new approach to data center infrastructure monitoring and management (DCIMM)", IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), Las Vegas, NV, USA, 9-11 Jan. 2017, Pages: 1-6.

[2] D. Dobrilovic, Z. Stojanov, Z. Covic, "Model of data center temperature monitoring system with the use of open source hardware", IEEE 14th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), Subotica, Serbia, 29-31 Aug. 2016, Pages: 221-226.

[3] A. Roohi, K. Raeisifard, S. Ibrahim, "An application for management and monitoring the data centers based on SNMP", 2014 IEEE Student Conference on Research and Development, Batu Ferringhi, Malaysia, 16-17 Dec. 2014, Pages: 1-4.

[4] E.A. Kadir, S.M. Shamsuddin, S. Hasan, "Wireless monitoring for big data center server room and equipments", 2015 International Conference on Science in Information Technology (ICSITech), Yogyakarta, Indonesia, 27-28 Oct. 2015, Pages: 187-191.

[5] M. JayaLakshmi, V. Gomathi, "An enhanced underground pipeline water leakage monitoring and detection system using Wireless sensor network", 2015 International Conference on Soft-Computing and Networks Security (ICSNS), Coimbatore, India, 25-27 Feb. 2015, Pages: 1-6.

[6] Q. Xiang, Z. Shi, H. Hong Li, "Structure analysis of a new type of flow straightener used in fire fighting water cannon", 6th International Symposium on Fluid Machinery and Fluid Engineering, Wuhan, China, 22-22 Oct. 2014, Pages: 1-6.

[7] M. Ismail, R.D. Dziyauddin, N.A. Ahmad, "Performance evaluation of wireless accelerometer sensor for water pipeline leakage", 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS), Langkawi, Malaysia, 18-20 Oct. 2015, Pages: 120-125.

[8] R.K. Parida, V. Thyagarajan, S. Menon, "A thermal imaging based wireless sensor network for automatic water leakage detection in distribution pipes", 2013 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies, Bangalore, India, 17-19 Jan. 2013, Pages: 1-6.

[9] I. Bennis, H. Fouchal, O. Zytoune, "Drip irrigation system using Wireless Sensor Networks", 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Lodz, Poland, 13-16 Sept. 2015, Pages: 1297-1302.

[10] M.U. Rani, S. Kamalesh, "Web based service to monitor automatic irrigation system for the agriculture field using sensors", 2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), Vellore, India, 9-11 Jan. 2014, Pages: 1-5.

[11] A.M. Telgote, V. Narayanan, N.A. Dave, "Design and implementation of water environment monitoring system using GSM technology", 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), Mumbai, India, 4-6 Feb. 2015, Pages: 1-4.

[12] G.R. Mendez, M.A. Yunus, S.C. Mukhopadhyay, "A WiFi based smart wireless sensor network for monitoring an agricultural environment", 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings , Graz, Austria, 13-16 May 2012, Pages: 2640-2645.

[13] O. Georgiou, U. Raza, "Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?", IEEE Wireless Communications Letters, Year: 2017, Volume: 6, Issue: 2, Pages: 162-165.

[14] A.J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks", 2016 IEEE SENSORS, Orlando, FL, USA, 30 Oct.-3 Nov. 2016, Pages: 1-3.

[15] M. Werme, T. Eriksson, T. Righard, "Maintenance concept optimization-A new approach to LORA", 2017 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Orlando, FL, USA, 23-26 Jan. 2017, Pages: 1-6.