

Monitoreo de Temperatura y Humedad en un Centro de Datos Usando Transceptores Bluetooth LE

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

Resumen—Se presenta el diseño e implantación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura y humedad en un centro de datos usando transceptores Bluetooth LE. El objetivo fue mostrar en una interfaz de usuario, que se ejecuta en una computadora conectada a la Internet, los valores de temperatura y humedad de cinco sensores dispuestos en puntos estratégicos de un centro de datos. Se implantó una WPAN integrada por cinco módulos remotos y un módulo central. Este último módulo recibe los valores de temperatura y humedad de los módulos remotos y conecta la WPAN a la Internet. Cada nodo remoto consta de un sensor de temperatura y humedad, un receptor GPS, un microcontrolador y un transceptor Bluetooth LE. El alcance logrado con la WPAN es 45 metros con línea de vista.

Palabras claves—Bluetooth LE, DHT22, GPS, humedad, PIC18F8722, Raspberry Pi 3 B+, temperatura, WPAN.

Abstract—The design and implementation of a remote temperature and humidity monitoring system in a data center using Bluetooth LE transceivers is presented. The objective was to show in a user interface that runs on a computer connected to the Internet the temperature and humidity values of ten sensors arranged at strategic points in a data center. A WPAN integrated by five remote modules and a central module was implemented. This last module receives the temperature and humidity values of the remote modules and connects the WPAN to the Internet. Each remote node consists of a temperature and humidity sensor, a GPS receiver, a microcontroller and a Bluetooth LE transceiver. The reach achieved with the WPAN is 45 meters with line of sight.

Keywords—Bluetooth LE, DHT22, GPS, humidity, PIC18F8722, Raspberry Pi 3 B+, temperature, WPAN.

I. INTRODUCCIÓN

Un centro de datos es una instalación donde se concentran recursos y equipos necesarios para el procesamiento y almacenamiento de información, así como equipos de telecomunicaciones de empresas y organizaciones. En los centros de datos se monitorean remota y continuamente los niveles de temperatura y humedad para activar los sistemas de enfriamiento y ventilación cuando sea necesario, así como almacenar históricamente el registro del valor de estas variables. Periódicamente, los centros de datos son auditados por organismos y empresas externas para poder estar certificados y ofrecer servicios confiables [1].

Estos procesos incluyen el monitoreo y registro periódico de temperatura y humedad en puntos estratégicos del centro de datos. Adicionalmente, las auditorías requieren que los valores de estas variables sean almacenados históricamente en un archivo y mostrados en una interfaz de usuario que se ejecute en una computadora, así como indicar la ubicación precisa de los sensores mediante Sistemas de Posicionamiento Global (GPS-Global Positioning System) [2].

Este trabajo surgió del requerimiento de una empresa propietaria de centros de datos. El objetivo planteado fue contar con un sistema que muestre en una interfaz de usuario, el valor actual de temperatura y humedad, medido por sensores instalados en diferentes puntos de un centro de datos, así como registrar en un archivo las coordenadas GPS de los sensores y los valores históricos de temperatura y humedad. La interfaz de usuario debe poder invocarse en una computadora conectada a la Internet. La solución propuesta consistió de un sistema integrado por cinco módulos remotos y un módulo central. La función de los módulos remotos es medir la temperatura y humedad cuando sea solicitado por el módulo central y transmitirla inalámbricamente, a través de un transceptor Bluetooth 4.1 o Bluetooth LE (Low Energy), a este último módulo. El módulo central se instaló en la oficina de control del centro de datos. El punto de más lejano de medida se encuentra a 45 metros, con línea de vista, de la oficina de control. Las funciones del módulo central son las siguientes: solicitar periódicamente a los módulos remotos la medida de temperatura, humedad y coordenadas GPS de su ubicación, almacenar la información recibida desde los módulos remotos e implantar un servidor web que transmita la información de temperatura y humedad actual o histórica a la interfaz de usuario. La interfaz de usuario permite mostrar información enviada por cada módulo remoto. El módulo central se desarrolló usando como base una tarjeta Raspberry Pi 3 B+ con sistema operativo Raspbian. Las razones principales de usar la tarjeta Raspberry Pi fueron las siguientes: la implantación de un servidor web se puede realizar de manera sencilla y rápida y cuenta con una interfaz WiFi, para conectarla a la Internet sin instalar cableado adicional o modificar el existente del centro de datos que cumple con estándares de instalación y operación altamente calificados, y un transceptor Bluetooth 4.1 para comunicarla con los módulos remotos.

¹Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo No.180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200. Delegación Azcapotzalco. Ciudad de México, CDMX México. Tel:(52 55) 5318-9000

José Ignacio Luna Vega (vlji@correo.azc.uam.mx)

Algunos centros de datos ya cuentan con sistemas que transmiten los valores de variables como temperatura, humedad y presión de agua o gas a una computadora o sistema de control como un PLC. La comunicación entre los dispositivos de medida y la computadora utiliza tradicionalmente tecnologías alámbricas cuya infraestructura se instaló durante la construcción del centro de datos. Actualmente, continúan desarrollándose sistemas de monitoreo utilizando comunicación a través de un segmento de red alambreado Ethernet. Algunos de estos sistemas permiten monitorear el consumo eléctrico [3], temperatura y humedad [4] o variables de un PLC en ambientes industriales [5]. Sin embargo, con la tendencia tecnológica de migrar a la IoT, la mayoría de aplicaciones de monitoreo están cambiando las redes alambreadas por sistemas de comunicación inalámbrica de bajo consumo de energía como ZigBee, LoRa (Long Range), Bluetooth LE o tecnologías como WiFi [6].

Los últimos años, se han realizado bastantes trabajos para monitoreo remoto de variables y control de procesos utilizando transceptores ZigBee. Estos trabajos monitorean: variables ambientales en hogares [7], concentración de gases en industrias y laboratorios [8], temperatura y humedad en depósitos de granos [9] e invernaderos conjuntamente con dispositivos GPRS para conexión a la Internet [10], niveles de agua para evitar inundaciones [11] y consumo de energía eléctrica usando adicionalmente tarjetas Raspberry [12]. La tecnología ZigBee es de 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 con alcance de 100 metros, no puede comunicarse fácilmente con otros protocolos y es de baja velocidad, mucho menor al ancho de banda de Bluetooth LE. En caso de haber usado tecnología ZigBee en este trabajo, se tendría que adicionar a la tarjeta Raspberry del módulo central un transceptor de este tipo, desaprovechando el transceptor Bluetooth LE con el que cuenta la tarjeta.

Por otra parte, LoRa es una de las recientes tecnologías inalámbricas de largo alcance. Han surgido recientemente una gran cantidad de aplicaciones que incluyen monitoreo de contaminación ambiental y calidad del aire [13]-[14], de generación de energía eólica y fotovoltaica usando además tarjetas Raspberry y Arduino [15], transformadores de redes de distribución eléctrica [16] y aplicaciones médicas y de salud para seguimiento de pacientes con problemas mentales [17]. LoRa es una tecnología de comunicación cuya velocidad de transmisión es baja y permite integrar miles de nodos conformados por sensores y transceptores con alcance de varios kilómetros, para desarrollar aplicaciones dirigidas al mercado de IoT (IoT-Internet Of Things). Sin embargo, LoRa usa para la

conexión a la Internet gateways cuyo costo es elevado. En lo referente a investigaciones relacionadas con el uso de tecnología Bluetooth LE, se han realizado aplicaciones enfocadas principalmente al sector médico para el monitoreo cardíaco [18]-[20] e infusión sanguínea utilizando adicionalmente un teléfono móvil [21] e inclusive se han implantado sistemas de seguimiento de manadas de animales en vida salvaje combinando BLE y LoRa [22]. De manera similar, se han desarrollado investigaciones que emplean tecnología WiFi para la comunicación entre sensores y conexión a Internet cuyo fin ha sido el monitoreo y control de la calidad del aire en hogares [23], monitoreo de fuego usando ZigBee y WiFi [24], irrigación y monitoreo de agua potable y monitoreo de temperatura en sistemas de pasteurización de leche [25]. La tecnología WiFi transmite información a velocidades mayores que Bluetooth LE pero tiene menor alcance que Bluetooth LE y los transceptores y puntos de acceso WiFi son costosos y consumen mucha energía. La tecnología celular es de alcance mucho mayor a Bluetooth LE pero los transceptores y acceso a la red son costosos, además el acceso a la Internet depende de la disponibilidad de la red celular.

Por las razones expuestas anteriormente, se utilizaron transceptores Bluetooth para implantar en este trabajo la Red Inalámbrica de Área Personal (WPAN-Wireless Personal Area Network) compuesta por el módulo central y los módulos remotos. Bluetooth es una especificación industrial creada por el Bluetooth Special Interest Group, Inc. con el objetivo de transmitir datos y voz entre diferentes tipos de dispositivos usando un enlace por radiofrecuencia en la banda mundial sin licencia ISM (Industrial Scientific and Medical) de 2.4 GHz, la cual pertenece a la banda de ultra alta frecuencia que inicia en los 300 MHz y termina en los 3 GHz. Inicialmente, el objetivo de esta tecnología fue facilitar las comunicaciones entre equipos móviles eliminando cables y conectores. Actualmente se usa en diversos campos de la tecnología y vida humana. La primera versión de Bluetooth ratificada como estándar IEEE 802.15.1 fue la Bluetooth V1.1 en 2002. Posteriormente, aparecieron las versiones 2, 3, 4 y 5. A pesar de que la última versión, desarrollada en 2017, es la V5.0, la más usada actualmente es la V4.0 debido a que existe mayor disponibilidad de transceptores de bajo costo. La especificación Bluetooth V4 o Bluetooth LE fue diseñada para aplicaciones alimentadas por batería donde se requiere bajo consumo de energía alcanzando una velocidad de transferencia de datos de 32 Mbps y alcance de 100 metros. Se pueden configurar las características operacionales de un transceptor Bluetooth LE usando comandos AT transmitidos a través del puerto UART de un controlador.

Estas características indican al transceptor la velocidad de transmisión serie a usar, la dirección Bluetooth, la función del transceptor, maestro o esclavo, el nombre y el modo de trabajo. Puede establecerse uno de cuatro modos de trabajo donde el consumo de corriente del transceptor es de 1.2 μ A a 340 μ A. El modo 3 es el indicado para transceptores Bluetooth LE configurados como esclavos en el cual el dispositivo se encontrará en estado de reposo, consumiendo la mínima cantidad de energía, hasta que reciba un paquete del transceptor maestro que lo despierta y saca de reposo.

Las ventajas y aportaciones del sistema aquí presentado son las siguientes: la comunicación usada es inalámbrica y no interfiere con el cableado del centro de datos, la tecnología inalámbrica usada es de reciente creación con la cual se implantó una red de sensores de bajo consumo de energía con módulos alimentados por baterías y alcance de varias decenas de metros. El sistema construido resuelve una necesidad real, conectando la red de sensores de temperatura y humedad a la Internet. La innovación tecnológica es el uso de transceptores Bluetooth LE que hasta ahora se han estado utilizando en aplicaciones domésticas y de corto alcance.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología usada en el desarrollo de este sistema consistió dividirlo en tres partes: los módulos remotos, el módulo central y la interfaz de usuario. A continuación, cada una de estas partes se diseñó usando los componentes más adecuados. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema.

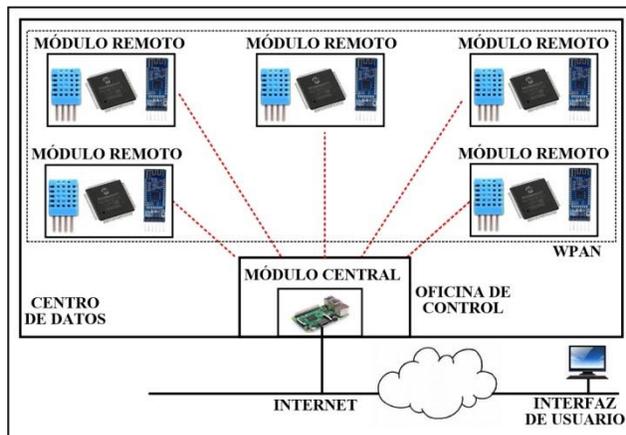


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema

A. Los módulos remotos

Se construyeron cinco módulos remotos, cuya arquitectura se indica en el diagrama de bloques de la

Figura 2, para implantar la WPAN. Cada módulo está compuesto por el sensor de temperatura y humedad, el receptor GPS, el microcontrolador y el transceptor Bluetooth LE. La función de estos módulos es leer del sensor los valores de temperatura y humedad, las coordenadas GPS de la ubicación del módulo y transmitir esta información al módulo central cuando este último lo solicite. El sensor de temperatura y humedad utilizado es el dispositivo DHT22. Este dispositivo está construido en base a un capacitor de polímero, está compensado en temperatura, se alimenta con 5 V y proporciona los valores de temperatura y humedad relativa (RH) en una palabra de 40 bits a través de una terminal digital.

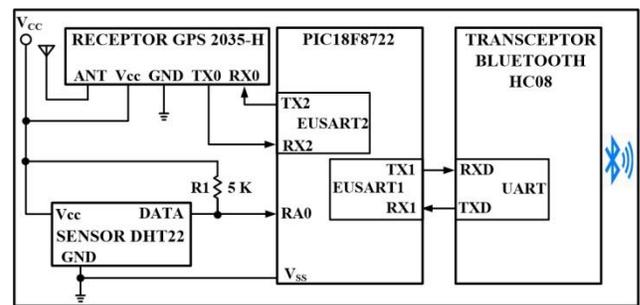


Figura 2. Diagrama de bloques de los módulos remotos

El DHT22 puede realizar dos medidas de temperatura y humedad cada segundo. El rango temperatura del DHT22 es de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una precisión de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el rango de humedad es de 0 % a 99.9 % con una precisión de $\pm 2\text{ \% RH}$ a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores digitales de temperatura y humedad están formados por un entero y una cifra decimal usando el siguiente formato: 8 bits para la parte entera de la RH, 8 bits para la parte decimal de la RH, 8 bits para la parte entera de la temperatura, 8 bits para la parte decimal de la temperatura y 8 bits para el check-sum. Para realizar una medida, el DHT22 requiere una señal de inicio transmitida por un controlador externo a través de la terminal digital. Acto seguido, el DHT22 inicia la transmisión de la palabra de 40 bits. Un cero lógico tiene una duración de 26-28 μ s y un uno lógico 70 μ s. En los módulos remotos la terminal digital del DHT22 se conectó a la terminal 0 del Puerto A (RA0) del microcontrolador. Para determinar las coordenadas de la ubicación de cada módulo remoto se usó un dispositivo GPS A2135-H. Este dispositivo cuenta con antena de cerámica integrada y puede conectarse una antena activa externa. Contiene un motor de seguimiento de 48 canales y -163 dBm de sensibilidad. Su exactitud es menor a 2 metros y consume en operación 22 mA. Transmite cada segundo las coordenadas GPS de su ubicación 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 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 2 V a 5.5 V y cuenta con los siguientes recursos: 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. El transceptor Bluetooth LE usado es el dispositivo HC-08. Este transceptor se alimenta con 3.3 V y cuenta con un UART de dos terminales TTL, TXD y RXD, para comunicarse en forma serie asíncrona con un controlador. A través de estas terminales, el controlador puede establecer los parámetros de configuración del HC-08, usando comandos AT, así como enviarle o recibir la información a transmitir o recibir vía la señal de RF. La comunicación entre el PIC18F8722 y el transceptor HC-08 se llevó a cabo conectando el puerto EUSART1 del microcontrolador al UART del HC-08 usando una velocidad de 9,600 bps. El transceptor Bluetooth LE de los módulos remotos se configuró como esclavo en modo de reposo 3, de manera que despertará y saldrá de este modo al recibir un paquete de módulo central. El programa que se ejecuta en el microcontrolador se encuentra en un ciclo continuo explorando en el transceptor Bluetooth el arribo de la solicitud de lectura desde el módulo central. Cuando recibe la solicitud, el programa transmite la señal de inicio al sensor DHT22 y lee la palabra de 40 bits entregada por este dispositivo a través de la terminal RA0, así como la fecha, hora y coordenadas del receptor GPS. Posteriormente, el programa envía esta información, por medio del puerto EUSART1, al transceptor Bluetooth LE. En la Figura 3 se indica el diagrama de flujo del programa que se ejecuta en el microcontrolador para implantar las tareas anteriores.

B. El módulo central

El módulo central está integrado por una tarjeta Raspberry Pi 3 B+. Esta tarjeta cuenta con todos los recursos hardware para realizar las tareas del módulo central entre los cuales se encuentran los siguientes: procesador de 64 bits de cuatro núcleos de 1.4 GHz, interfaz de LAN inalámbrica IEEE 802.11.b/g/n/ac, transceptor Bluetooth 4.2/BLE, 40 terminales de entrada/salida de propósito general y un puerto para memoria Micro SD.

El programa que se ejecuta en el módulo central se realizó en Python 3.6 e invoca dos funciones. La primera función implanta el servidor web, el cual se encuentra en espera de una solicitud, desde la interfaz de usuario, para

envío de la información transmitida por los módulos remotos.

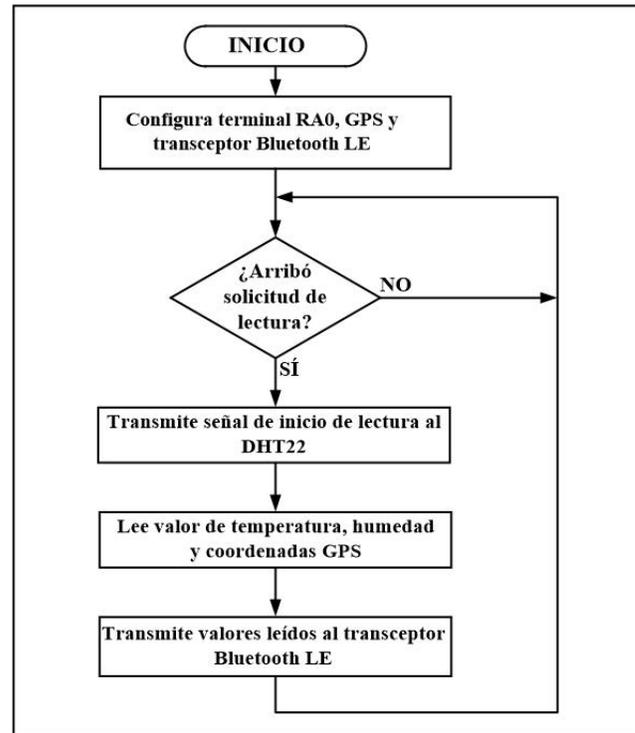


Figura 3. Diagrama de flujo de la programación de los módulos remotos

La segunda función realiza tres tareas: 1) Configura el transceptor Bluetooth, 2) Ejecuta en segundo plano el programa que periódicamente solicita a los módulos remotos la lectura de temperatura, humedad y coordenadas GPS y 3) Almacena la información retornada por los módulos remotos en la memoria Micro SD en un archivo de texto creado para cada día. El periodo de muestreo del módulo central a los módulos remotos es un minuto y es configurable en el programa. En la tarjeta Raspberry Pi se instaló el sistema operativo Raspbian kernel 4.14 y las siguientes herramientas de código abierto: Apache 2 para implantar servidor web HTTP, PHP 7 para la creación de la página web dinámica invocada desde la interfaz de usuario, Blues para usar la pila de protocolos de Bluetooth y *python-bluez*, la cual contiene los API de Python para acceder los recursos del transceptor Bluetooth y comunicarse con los módulos remotos. El transceptor Bluetooth de este módulo se configuró como maestro. Tanto a los módulos remotos como al módulo central se les asignó una dirección IP estática. Las direcciones Bluetooth de los transceptores de los módulos remotos son conocidas por el programa del módulo central.

C. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario es la página web implantada en el módulo central en PHP. La página se invoca cuando el usuario se conecta al servidor web desde una computadora conectada a la Internet. Es una parte importante del sistema ya que permite al usuario visualizar las coordenadas GPS de cada módulo remoto y los valores de temperatura y humedad reportados durante el día, así como mostrar los valores de temperatura y humedad registrados históricamente un día específico.

III. RESULTADOS

En las pruebas realizadas al sistema construido no se tuvo problema en la comunicación del módulo central con los módulos remotos, ya que el módulo remoto más lejano se ubicó a 40 metros de la oficina de control. Sin embargo, se realizaron dos grupos de pruebas con el sistema construido. El primer grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar el alcance de la WPAN implantada. Para realizar estas pruebas, se ubicó un módulo remoto en diferentes posiciones en el centro de datos y se ejecutó un programa que transmitió continuamente un archivo desde el módulo central al módulo remoto para determinar la distancia a la cual se perdía el enlace. Los resultados mostraron que el alcance logrado fue 45 metros con línea de vista. El segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar el alcance de la WPAN a diferentes velocidades de transmisión. Para llevar a cabo estas pruebas, se configuró el transceptor Bluetooth LE con una velocidad diferente en cada prueba, se ejecutó el programa del primer grupo de pruebas y se ubicó un módulo remoto en diferentes puntos para determinar el alcance con la velocidad configurada. Los resultados mostraron que a menor velocidad de transmisión se logró ligeramente mayor alcance. Al configurar la velocidad más baja soportada por transceptor, 1,200 bps, se tuvo un alcance de 46.5 metros con línea de vista y al configurar la velocidad más alta soportada, 115,200 bps, el alcance logrado fueron 38 metros, tal y como se muestra en la gráfica de la Figura 4. Para tener una buena relación entre velocidad y alcance se usó en los transceptores la velocidad por defecto de 9,600 bps logrando un alcance de 45 metros, menor a los 100 metros que teóricamente puede alcanzar Bluetooth LE.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un sistema de monitoreo de cinco sensores de temperatura y humedad a través de una WPAN y una interfaz de usuario que se ejecuta en una computadora conectada a la Internet. La LPWAN implantada puede replicarse en otros centros de datos u otro tipo de instalaciones, como hospitales y laboratorios, donde se necesite una solución de IoT. El diseño de los nodos

remotos permite cambiar el sensor o adicionar otro, para coleccionar información de otro tipo de variable de ambiente realizando cambios mínimos en la programación del microcontrolador.

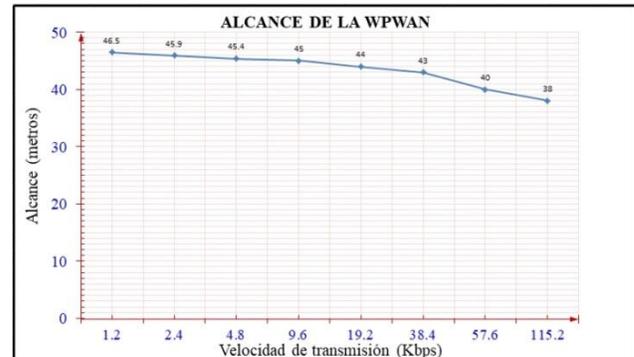


Figura 4. Alcance de la WPAN

Si es necesario aumentar el alcance de la WPAN, puede sustituirse el transceptor Bluetooth LE HC-08, de los nodos remotos por otro, se recomienda usar el dispositivo CC2541-Q1 cuyo alcance nominal son 100 metros, ya que no implicar realizar cambios mayores en el hardware y programación del microcontrolador y debe considerarse que el costo y consumo de energía del transceptor CC2541-Q1 es mayor al del HC-08. El costo del sistema aquí realizado puede disminuir bastante si el módulo central se implanta de manera similar a los módulos remotos, utilizando un microcontrolador, una interface WiFi y un transceptor Bluetooth LE en lugar de usar la tarjeta Raspberry Pi, pero esto implicaría mayor trabajo y complejidad para programar el servidor web y la configuración de los dispositivos WiFi y Bluetooth. El usar comunicación Bluetooth LE permitirá además desarrollar una siguiente versión del sistema en la cual se incorpore a los módulos remotos una cámara de video y transmitir la señal aprovechando el ancho de banda de la especificación Bluetooth LE.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] Wiboonrat, M. (2018). "Knowledge management in data center project lifecycle", in *Proceedings Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*, pp. 1-6.
- [2] Emesowum, H., Paraskelidis, A. y Adda, M. (2018). "Management of fault tolerance and traffic congestion in cloud data center", in

- Proceedings International Conference on Information and Communications Technology (ICOIAC)*, pp. 10-15.
- [3] Das, H. y Saikia, L. C. (2017). "Ethernet based smart energy meter for power quality monitoring and enhancement", in *Proceedings Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, pp. 187-191.
- [4] Dhole, Y. P. y More, V. (2015). "Embedded Ethernet microcontroller prototype for different parameter monitoring and control", in *Proceedings International Conference on Energy Systems and Applications*, pp. 429-431.
- [5] Li, H., Zhang, F. y Zhang, J. (2016). "Research and realization of a spinning machine control and monitoring system by industrial ethernet communication between IPC and OMRON PLC", in *Proceedings IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pp. 1901-1906.
- [6] Shahzad, K. y Oelmann, B. (2014). "A comparative study of in-sensor processing vs. raw data transmission using ZigBee, BLE and Wi-Fi for data intensive monitoring applications", in *Proceedings 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)*, pp. 519-524.
- [7] Tafa, Z., Ramadani, F. y Cakolli, B. (2018). "The design of a ZigBee-based greenhouse monitoring system", in *Proceedings 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, pp. 1-4.
- [8] Feng, J., Wei, Y. y Wei, Z. (2018). "A PM2.5 monitoring system for buildings based on Zigbee and Qt technology", in *Proceedings Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, pp. 1675-1679.
- [9] Tranca, D., Stancu, F. y Rughinis, R. (2017). "SiloSense: ZigBee-based wireless measurement system architecture for agriculture parameter monitoring", in *Proceedings 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pp. 330-335.
- [10] Liu, L. y Jiang, W. (2018). "Design of vegetable greenhouse monitoring system based on ZigBee and GPRS", in *Proceedings 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, pp. 336-339.
- [11] Balaji, V., Akshaya, A. y Jayashree, N. (2017). "Design of ZigBee based wireless sensor network for early flood monitoring and warning system", in *Proceedings IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, pp. 236-240.
- [12] Salunke, A. R. y Gaurkar, N. M. (2017). "Robotized electric meter reading and monitoring system utilizing ZigBee-integrated Raspberry pi", in *Proceedings IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)*, pp. 1-4.
- [13] Raju, V., Varma, A. S. y Raju, S. (2017). "An environmental pollution monitoring system using LORA", in *Proceedings International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, pp. 3521-3526.
- [14] Liu, S., Xia, C. y Zhao, Z. (2016). "A low-power real-time air quality monitoring system using LPWAN based on LoRa", in *Proceedings 13th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT)*, pp. 379-381.
- [15] Choi, C. S., Jeong, J. D. y Lee, I. W. (2018). "LoRa based renewable energy monitoring system with open IoT platform", in *Proceedings International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, pp. 1-2.
- [16] Kumar, T. A. y Ajitha, A. (2017). "Development of IOT based solution for monitoring and controlling of distribution transformers", in *Proceedings International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, pp. 1457-1461.
- [17] Nugraha, A. T., Hayati, N. y Suryanegara, M. (2018). "The experimental trial of LoRa system for tracking and monitoring patient with mental disorder", in *Proceedings International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, pp. 191-196.
- [18] Vue, M., Ochwangi, T. y Thao, M. (2017). "Design of a Bluetooth-enabled low energy electrocardiogram monitoring system", in *Proceedings IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, pp.223-228.
- [19] Babu, S., Shaji, S. P. y Vishwanatham, A. (2017). "Adapting BLE protocol for medical standard ECG transmission", in *Proceedings IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pp. 1-6.
- [20] Lopez, L., Ridder, M. y Fan, D. (2017). "SCAVM: A self-powered cardiac and activity vigilant monitoring system", in *Proceedings IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, pp. 1-4.
- [21] Wang, S. y Jiang, B. (2018). "Design of wireless infusion monitor based on Bluetooth 4.0", in *Proceedings 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pp. 750-754.
- [22] Ayele, E. D., Das, K. y Meratnia, N. (2018). "Leveraging BLE and LoRa in IoT network for wildlife monitoring system (WMS)", in *Proceedings IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 342-348.
- [23] Yang, X., Yang, L. y Zhang, J. (2017). "A WiFi-enabled indoor air quality monitoring and control system: The design and control experiments", in *Proceedings 13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA)*, pp. 927-932.
- [24] Yunhong, L. y Meini, Q. (2016). "The Design of Building Fire Monitoring System Based on ZigBee-WiFi Networks", in *Proceedings Eighth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, pp. 733-735.
- [25] Surendran, G., Udupa, G. y Nair, G. (2017). "Design and modelling of cable suspended sonde for water quality monitoring", in *Proceedings International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, pp. 1260-1265.

VII. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Ingeniería Electrónica, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azacapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Cosme-Aceves José Francisco. Ingeniería Electrónica, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azacapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.



Salgado-Guzmán Gerardo. Ingeniería Electrónica, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azacapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Ingeniería Electrónica, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azacapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de electrónica de la UAM-Azacapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de

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



Lagos-Acosta Mario Alberto. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. 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. El Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.