

METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE MONITORIZACIÓN REMOTA DE VARIABLES CON IoT

METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF REMOTE MONITORING APPLICATIONS OF VARIABLES WITH IoT

José Ignacio Vega Luna

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Mario Alberto Lagos Acosta

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Francisco Javier Sánchez Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

José Francisco Cosme Aceves

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Recepción: 17/octubre/2019

Aceptación: 23/noviembre/2019

Resumen

Se presenta un método para el diseño de aplicaciones de monitorización remota de variables de procesos usando Internet de las Cosas y las tecnologías que pueden usarse para obtener la mejor solución. El objetivo del trabajo es proponer la metodología que permita determinar los componentes necesarios para el diseño e implantación de la solución adecuada tomando en cuenta las necesidades de la aplicación y tecnologías disponibles. El documento presenta la problemática en la mayoría de ambientes donde es necesaria una solución de este tipo. A continuación, se indica el método para el diseño de la misma y posteriormente se propone la metodología. En la metodología se analizan las principales opciones tecnológicas de hardware y software que pueden usarse tomando en cuenta rendimiento, crecimiento, costo y seguridad. Finalmente se exponen recomendaciones derivadas

de la experiencia obtenida en pruebas y resultados de trabajos previamente realizados.

Palabras Claves: Hardware, IoT, monitorización, software, variables.

Abstract

This paper presents a method for the design of remote monitoring applications of process variables using the Internet of Things and the technologies that can be used to obtain the best solution. The objective of the work is to propose the methodology that allows determining the necessary components for the design and implementation of the appropriate solution taking into account the needs of the application and available technologies. The document presents the problem in most environments where such a solution is necessary. Next, the method for its design is indicated and then the methodology is proposed. The methodology analyzes the main technological options of hardware and software that can be used taking into account performance, growth, cost and security. Finally, recommendations derived from the experience obtained in tests and results of previously performed work are presented.

Keywords: Hardware, IoT, monitoring, software, variables.

1. Introducción

En la actualidad, existe una gran variedad de instalaciones donde es necesaria la monitorización y control remoto preciso y continuo de variables de ambiente o procesos [Bowen, 2017]. Estas instalaciones incluyen laboratorios, industrias, centros de datos, invernaderos y campos agrícolas [Chen, 2015], entre otras. Algunos ejemplos de estas variables son: temperatura [Huang, 2018], [Hurezeanu, 2016], humedad [Samsudin, 2018], presión y nivel de líquidos [Yun, 2016] y gases [Porus, 2017], iluminación y presencia de objetos o personas [Ashish, 2017]. Es vital que una organización o empresa cuente con mecanismos seguros y eficientes para la monitorización de variables para continuar las operaciones diarias a fin de evitar poner en riesgo la productividad [Tao, 2017]. En ocasiones, los métodos de monitorización son auditados por organismos y empresas externas, para que la

organización o empresa esté certificada y ofrecer servicios garantizados a sus clientes. Con la rápida evolución de la Internet y la necesidad de estar conectadas en todo momento, las auditorías exigen que los valores de las variables sean almacenados históricamente en un archivo y mostrados en una interfaz de usuario que se ejecute en una computadora conectada a la Internet. De esta forma, se conectan a la Internet los sensores usados para coleccionar el valor de las variables. Esta conexión de objetos cotidianos con la Internet es lo que forma el concepto de Internet de las Cosas (IoT) [Plathong, 2017]. Con IoT se conecta una gran cantidad de dispositivos embebidos, o cosas, a la Internet, los cuales se comunican con personas y otras cosas proporcionando información que se almacena, procesa y analiza en la nube [Madeira, 2016]. Los recientes avances tecnológicos en electrónica, sistemas digitales y comunicaciones han impulsado el desarrollo de la IoT [Wu, 2018]. Con estos avances, hoy se tiene una amplia variedad de hardware y software de procesamiento y conectividad a la Internet, así como proveedores de servicios en la nube para almacenamiento y acceso a la información de variables transmitida por sensores [Kochláň, 2014]. Los autores de este trabajo han realizado durante los últimos años una cantidad importante de sistemas de monitorización de variables a través de la Internet y han identificado que no existe una metodología a seguir para el diseño adecuado de este tipo de sistemas. El objetivo de la metodología es usar eficientemente las herramientas hardware y software actualmente disponibles, considerando los requerimientos técnicos de cada ambiente como ancho de banda, alcance, costo, y consumo de energía, para obtener la mejor solución. Las características principales de la metodología son las siguientes: es de fácil entendimiento y desarrollo y permite obtener un sistema confiable, seguro y de operación y crecimiento sencillo. La metodología está dirigida a diseñadores de aplicaciones con IoT y estudiantes que realicen su trabajo terminal o tesis usando tecnologías de comunicación inalámbricas.

2. Métodos

El desarrollo de aplicaciones de monitorización remota de variables de procesos es una tarea compuesta por varias fases. Hoy en día, es imperativo usar la IoT, para

tomar decisiones oportunamente ante cualquier eventualidad o emergencia. El método usado en la mayoría de estas aplicaciones consiste de las siguientes fases: Diseño, Implantación, Pruebas y Puesta en marcha. En figura 1 se muestra el diagrama de bloques de este proceso [Costa, 2017].

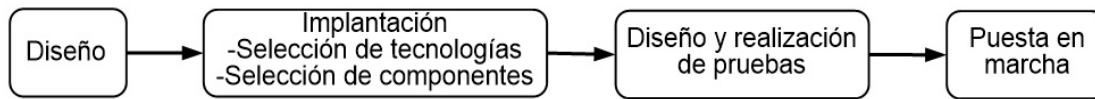


Figura 1 Diagrama de bloques de la metodología propuesta.

En la fase de diseño se determina la cantidad y funciones de los elementos que integran el sistema de monitorización. Comúnmente, este tipo de sistemas recolectan información de sensores ubicados en distintos lugares de la organización o empresa. La mayoría de estas aplicaciones están integradas por una red de nodos distribuidos geográficamente. Es importante considerar el compromiso entre el problema a resolver, crecimiento a futuro y costo de la solución. Una aplicación bien diseñada no debe presentar problemas de desempeño cuando sea puesta en marcha y a futuro [Mezghani, 2017].

En la fase de implantación se lleva cabo la selección del tipo de hardware y software de los nodos del sistema respetando el diseño realizado en la fase anterior. La instalación, configuración y programación del hardware y software seleccionado depende del estado del arte en lo que se refiere a tecnología en el momento de la implantación. Esta fase implica el uso de la documentación técnica de los componentes usados. Es la fase que requiere más tiempo para su realización y su depende de las habilidades y herramientas disponibles para llevarla a cabo [Özkaya, 2018].

Uno de los aspectos importantes es usar comunicación inalámbrica entre los nodos, ya que con esto se evita que el sistema sea intrusivo. Esto es, que no sea necesario instalar cableado adicional ni modificar el ya existente en el lugar del proceso a monitorizar el cual, en la mayoría de las ocasiones, cumple con normas de instalación. Se debe seleccionar en esta fase la tecnología inalámbrica a usar [Li, 2017].

Una vez construido el sistema de monitorización, es necesario realizar la fase de diseño y realización de pruebas funcionales. Esta fase tiene dos objetivos: Presentar al usuario la matriz de pruebas para adicionar, eliminar o modificar pruebas en caso necesario y Realizar las pruebas.

Después de realizar las pruebas y que el usuario acepta la operación del sistema se procede a realizar la última fase, la puesta en marcha. En esta fase de la metodología se libera a producción el sistema construido.

La experiencia adquirida en trabajos previos realizados por los autores en los cuales se usó el método indicado anteriormente dio como resultado la metodología propuesta a continuación [Vega, 2018].

3. Resultados

La metodología para el desarrollo de aplicaciones de monitorización de variables usando IoT analiza y describe las actividades secuenciales del método explicado en la sección anterior, así como las técnicas que se pueden usar en el desarrollo de este.

Diseño Modular del Sistema

Es recomendable diseñar el sistema usando cuatro módulos principales: los nodos remotos de recolección, el concentrador de información, la computadora de almacenamiento y procesamiento de información y la interfaz de usuario. En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques de la arquitectura modular recomendada.

La función principal de los nodos remotos es coleccionar el valor de variables entregada por los sensores y transmitirla al concentrador de información. Están ubicados en el sitio del proceso a monitorizar y realizan nulo o poco procesamiento sobre la información obtenida, como por ejemplo convertir valores de variables de un formato a otro o llevar a cabo algún tipo de escalamiento. La cantidad de nodos remotos está relacionada con la cantidad de ubicaciones geográficas de los procesos a monitorizar [Hejazi, 2018].

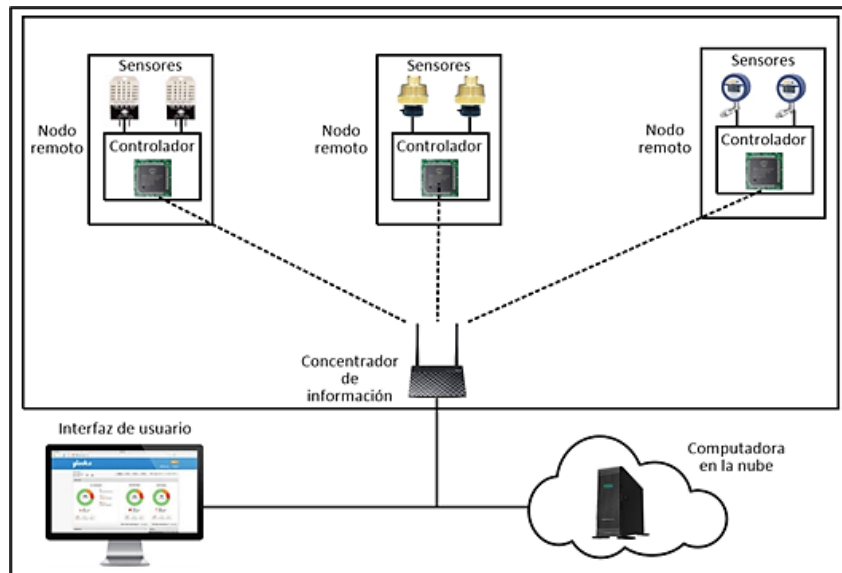


Figura 2 Diagrama de bloques de la arquitectura funcional.

El segundo módulo es el concentrador de información. Como su nombre lo indica, la función de este módulo es recibir la información enviada por los nodos remotos y transmitirla, a través de la Internet, a la computadora ubicada en la nube.

Las funciones del tercer módulo, la computadora en la nube, son almacenar y procesar el valor de las variables colectadas por los sensores. De acuerdo a la funcionalidad del sistema, en ocasiones debe considerarse que esta computadora procesa la información recibida desde los sensores para mostrar su grafica o analizarla y llevar a cabo alguna acción como por ejemplo ordenar a un nodo remoto activar un actuador.

La interfaz de usuario constituye el cuarto módulo del sistema y su función principal es acceder la información transmitida por los sensores, almacenada en la computadora en la nube, y mostrarla al usuario [Dhanalaxmi, 2017].

Implantación del Sistema

Se recomienda usar en la implantación de los módulos remotos un microcontrolador para conectar los sensores y actuadores. Es importante considerar que el microcontrolador de los módulos remotos cuente con un transceptor inalámbrico para comunicarse con el módulo concentrador de datos.

En la actualidad, las principales tecnologías inalámbricas usadas y sus características de ancho de banda, consumo de energía, alcance y costo de cada una de estas tecnologías para elegir la adecuada, considerando el ambiente del lugar del proceso y necesidades funcionales del sistema [Datta, 2017], son:

- **ZigBee.** Esta tecnología está diseñada para crear redes de sensores. Está basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN-Wireless Personal Area Network). Se diseñó para usarse en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras de baja velocidad y bajo consumo de energía maximizando al mismo tiempo la vida útil de las baterías. No requiere licencia ya que usa la banda ISM (Industrial Scientific and Medical) de 2.4 GHz. Una red ZigBee puede estar compuesta por máximo 65,535 nodos. La velocidad de los transceptores ZigBee es 250 kbps, consumen 30 mA transmitiendo y 3 μ A en reposo, logran un alcance de 100 metros y su costo es 6 USD en promedio. La seguridad en ZigBee es alta, ya que proporciona mecanismos de control de acceso de los dispositivos en la red, o autenticación, y cifrado a través de criptografía de clave simétrica [Shende, 2018].
- **Bluetooth 4.1 o Bluetooth LE (Low Energy).** Esta tecnología está basada en el estándar IEEE 802.15 y se utiliza para implantar WPAN usando la banda ISM. Bluetooth LE fue diseñada para realizar aplicaciones alimentadas por baterías donde se requiere bajo consumo de energía. Pueden implantarse piconets Bluetooth compuestas hasta por 8 dispositivos de este tipo. La velocidad de los transceptores Bluetooth LE es 32 Mbps, consumen de 1.2 μ A a 340 μ A en reposo y 8.5 mA activos, logran un alcance de 100 metros y su costo es 12 USD en promedio. La seguridad en Bluetooth es alta, ya que usa autenticación y encriptado de información [Dian, 2019].
- **LoRa (Low Range).** Es una tecnología de comunicación diseñada para implantar aplicaciones de baja potencia a través de redes de área amplia de bajo consumo de energía (LPWAN-Low Power Wide Area Network). Es la más adecuada para realizar aplicaciones de IoT y ciudades inteligentes. Permite integrar miles de nodos conformados por sensores y transceptores

con alcance de varios kilómetros para desarrollar aplicaciones dirigidas al mercado de IoT. Los transceptores LoRa logran un alcance de más de 15 kilómetros y consumen de 9.9 a 13.8 mA en recepción y de 20 a 28 mA en transmisión [Lavric, 2017].

La combinación de largo alcance y baja potencia de LoRa limita la velocidad de datos a 50 kbps. La seguridad de LoRa es alta, ya que utiliza cifrado AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bits y dos capas de seguridad, una clave de sesión de red y una clave de sesión de aplicación. El costo de los transceptores LoRa es 10 USD en promedio. Sin embargo, LoRa usa para la conexión a la Internet puertas de enlace cuyo costo es elevado, de 1,500 a 3,000 USD. Las puertas de enlace LoRa transmiten la información recibida de los nodos a un servidor de red central ubicado en la nube usando una conexión IP estándar. La función del servidor no solo es recibir y almacenar la información de los sensores, también administra la velocidad para cada nodo individualmente para maximizar la duración de la batería de los nodos. Una puerta de enlace LoRa puede cubrir ciudades completas o cientos de kilómetros cuadrados. Existen actualmente diferentes proveedores de transceptores y puertas de enlace LoRa que proporcionan acceso y uso sin costo del servidor en la nube. Uno de ellos es Symphony Link. El diseñador de la aplicación IoT no tiene necesidad de instalar y mantener el servidor que almacena la información de los sensores, lo cual disminuye el costo de la aplicación misma [Mosin, 2018].

- **WiFi.** La tecnología WiFi fue diseñada bajo el estándar IEEE 802.11b para transmitir inalámbricamente grandes cantidades de información. La velocidad de WiFi a 5 GHz es 867 Mbps. Los transceptores de este tipo consumen mucha energía, 80 mA, logran un alcance de 25 a 40 metros y tienen un costo de 12 USD en promedio. La seguridad de esta tecnología es baja.

En la tabla 1 se presenta el resumen las principales características técnicas de cada una de las tecnologías indicadas anteriormente. En todas se puede incrementar el alcance usando repetidores [Ang, 2018].

Tabla 1 Características técnicas de las tecnologías de comunicación inalámbrica.

Tecnología	Ancho de banda	Consumo de energía	Alcance	Costo de transceptores
ZigBee	Bajo, 250 kbps	Muy bajo 3 μ A a 30 mA	Alto 100 metros	Bajo 6 USD
Bluetooth LE	Alto, 32 Mbps	Muy bajo 1.2 μ A a 8.5 mA	Alto 100 metros	Medio 12 USD
LoRa	Bajo, 50 kbps	Medio 20 a 13.8 mA	Muy alto 15 kilómetros	Medio 10 USD Costo de puertas de enlace de 1,500 a 3,000 USD
WiFi	Muy alto 867 Mbps	Alto 80 mA	Muy bajo, 25 a 40 metros	Medio 12 USD

Selección de Componentes de Hardware y Software

Una vez definida la tecnología de comunicación inalámbrica a usar, se eligen los componentes específicos de cada módulo del sistema. La elección dependerá de tres factores: el tipo de hardware y hardware necesario, la disponibilidad de componentes y el costo de estos. El tipo de hardware y hardware está determinado por aspectos técnicos como, por ejemplo: tipo de microcontrolador o tarjeta de desarrollo, sistema operativo y lenguaje de programación. Esto es debido a la existencia de diferentes proveedores que ofrecen una variedad de recursos como cantidad de terminales entrada/salida, convertidores analógico/digitales, interfaces serie y paralelo, plataformas de desarrollo y bibliotecas de funciones de código abierto, entre otros. Es recomendable utilizar un microcontrolador que integre el transceptor inalámbrico de la tecnología de comunicaciones a usar para la transmisión de datos ente los módulos remotos y el concentrador de información [Vega, 2018]. Por otra parte, en algunos lugares, no están aún disponibles en el mercado local o no es posible importarlas por cuestiones legales componentes de tecnología reciente, como LoRa o tarjetas de desarrollo como Pyboard, Si este es el caso, existen alternativas de este tipo de componentes, en cuyo caso el costo del sistema aumenta ligeramente [Khamphroo, 2018]. De la forma que sea, el parámetro que indica la elección del componente es el costo/beneficio, ya que, por ejemplo, si la variable a monitorizar se encuentra en un proceso de un campo agrícola o una industria cuyo punto de acceso o concentrador de datos esté ubicado a varios kilómetros, será altamente recomendable usar tecnología LoRa.

Otro aspecto importante a considerar en esta etapa es la computadora en la nube y la interfaz de usuario. No es una tarea fácil instalar, configurar y mantener una computadora en la nube, ya que implica costos, esfuerzo y habilidades de programación. Si la tecnología de comunicación inalámbrica a usar es LoRa, existen proveedores que ofrecen el servicio de un servidor en la nube libre de costo y una interfaz de usuario sencilla que se invoca desde un explorador web para visualizar y graficar la información transmitida por los nodos remotos. Si la tecnología no es LoRa, existen proveedores que ofrecen servicios en la nube para almacenar, graficar y analizar la información transmitida por los nodos remotos sin costo alguno para ciertas cantidades de datos [Vega, 2018]. Sea cualquiera el caso, se requiere realizar la interfaz de usuario para visualizar los datos enviados por los sensores, más allá de cómo se lleva a cabo con un explorador web, ya que en muchas aplicaciones se requiere transmitir una orden al proceso monitorizado en base a los valores de las variables muestreadas. En otras aplicaciones, se requiere descargar del servidor en la nube la información de los sensores en cierto formato, que en algún caso es solicitado por entidades de supervisión, auditoría o certificación de servicios. Al seleccionar el servidor en la nube debe tomarse en cuenta que los proveedores de servicios en la Internet tienen disponibles API (Application Programming Interface) que pueden usarse para realizar la interfaz de usuario. Estas API pueden invocarse desde la mayoría de los lenguajes de programación y facilitan la implantación de la interfaz de usuario. Existen proveedores de mensajería en la nube cuyas API pueden utilizarse en la interfaz de usuario para transmitir SMS y mensajes de voz, audio, video o de WhatsApp a un dispositivo móvil. Los mensajes pueden ser notificaciones, alertas y alarmas que sucedan en los procesos monitorizados. Hasta una cierta cantidad de mensajes, el servicio de estos proveedores es libre de costo [Bröring, 2018].

Diseño y Realización de Pruebas Funcionales

Deben llevarse a cabo al menos dos grupos de pruebas. El primer grupo tiene como objetivo determinar la exactitud de los sensores y medidores usados en los nodos remotos de recolección realizando diferentes medidas de la variable

monitorizada y comparándolas con la medida obtenida con un instrumento de precisión calibrado. La exactitud real podrá compararse también con la exactitud indicada por el fabricante del sensor o medidor.

El segundo grupo de pruebas tiene como objetivo determinar el alcance de los nodos de la red considerando la tecnología de comunicación inalámbrica usada. Antes de realizar estas pruebas, es importante que no existan problemas en la comunicación entre los nodos remotos de recolección y concentrador de información. A continuación, es recomendable realizar un programa que transmita continuamente un archivo o un bloque de datos de prueba desde uno o varios nodos remotos al concentrador de información. De esta forma, puede ubicarse el nodo en distintos puntos, con y sin línea de vista, y medir la distancia y velocidad de transmisión respecto al concentrador hasta llegar a un punto donde se pierda la comunicación. El alcance dependerá de la cantidad y tipo de obstáculos entre el nodo y el concentrador.

El programa deberá registrar la hora de inicio y fin de la transmisión para obtener la velocidad de la misma. La medida del ancho de banda puede realizarse usando un analizador de protocolos o con explorador de redes inalámbricas. Existen en la Internet herramientas de este tipo de libre uso como las aplicaciones inSSIDer y Bennett Bluetooth Monitor, las cuales puede instalarse en una computadora portátil ubicada en el punto donde se localiza el concentrador de información para medir el nivel de RSSI (RSSI-Received Signal Strength Indicator) o potencia de la señal WiFi o Bluetooth recibida. En la sección de resultados se explican las pruebas que se recomienda realizar.

Puesta en Marcha

En la mayoría de los escenarios el sistema construido reemplaza a otro, por lo que se recomienda usar una ventana de tiempo para detener la operación del sistema anterior y poner en marcha el nuevo. Siempre es bueno contar con un plan de retorno en caso de que suceda algún imprevisto al liberar el sistema nuevo. En esta etapa debe realizarse la documentación, la cual debe incluir el procedimiento de diseño, operación y mantenimiento del sistema creado.

4. Discusión

Es importante indicar que la metodología presentada en este trabajo se centra en el diseño e implantación de los nodos de recolección y en el concentrador de información usando diferentes tecnologías inalámbricas de comunicación. No incluye recomendaciones y aspectos técnicos para la selección, uso y pruebas de sensores y medidores de variables.

Una vez determinada la tecnología a usar, puede diseñarse el sistema de forma modular. Debe considerarse el ambiente donde será implantado el sistema, ya que de él depende el alcance de la comunicación inalámbrica, fundamentalmente cuando existan obstáculos entre los elementos del sistema.

Por otra parte, pueden existir restricciones o limitaciones técnicas en los componentes del sistema, particularmente en los transceptores de comunicación, lo cual impacta en el alcance y velocidad de transmisión logrados. Por ejemplo, en las pruebas realizadas con nodos de recolección implantados usando el SoC ESP32, el cual integra un transceptor Bluetooth LE, el fabricante especifica que la velocidad máxima del transceptor es 90 kB/s. En las pruebas realizadas se utilizó un MTU de 512 bytes, el máximo que se puede configurar en el ESP32, por lo que la velocidad máxima lograda de 57.1 kB/s es menor a la que indica el fabricante del ESP32 aún a una distancia pequeña de 5 metros.

No se incluye en la metodología presentada el aspecto de costos, ya que en la actualidad existen diferentes opciones y proveedores de componentes para implantar el sistema una vez diseñado. Las opciones para construir el sistema son las siguientes: 1. Construirlo de forma discreta, adquiriendo cada componente de los nodos y el concentrador y llevar a cabo la conexión, lo cual es la opción más económica, 2. Adquirir una solución ofrecida por los diferentes proveedores existentes, lo cual facilita la implantación del sistema y disminuye el tiempo de realización, pero su costo es mayor que la opción anterior. Las soluciones actualmente ofrecidas consisten en tarjetas de desarrollo a las cuales se le conecta los sensores y medidores necesarios y se programan y configuran de acuerdo al ambiente operativo y 3. Una combinación de las primeras dos opciones. Esta opción se utiliza cuando es necesario construir los nodos de recolección de acuerdo con

necesidades específicas del usuario o ambiente y usar un concentrador de información de un proveedor comercial.

En las diversas implantaciones realizadas por los autores de este trabajo se realizaron este tipo de pruebas y se obtuvieron los resultados que a continuación se explican, existiendo línea de vista entre el nodo y el concentrador.

Usando tecnología WiFi, los resultados mostraron que el alcance de los nodos de recolección fue en promedio 37 metros a una velocidad de 230 Mbps, menor a los 300 Mbps que pueden lograrse teóricamente usando el estándar 802.11n [Vega, 2018]. A una distancia mayor a 37 metros el nivel de RSSI decreció aceleradamente y se perdió el enlace cuando el nivel cayó a los -86 dBm como se muestra en la gráfica de la figura 3.

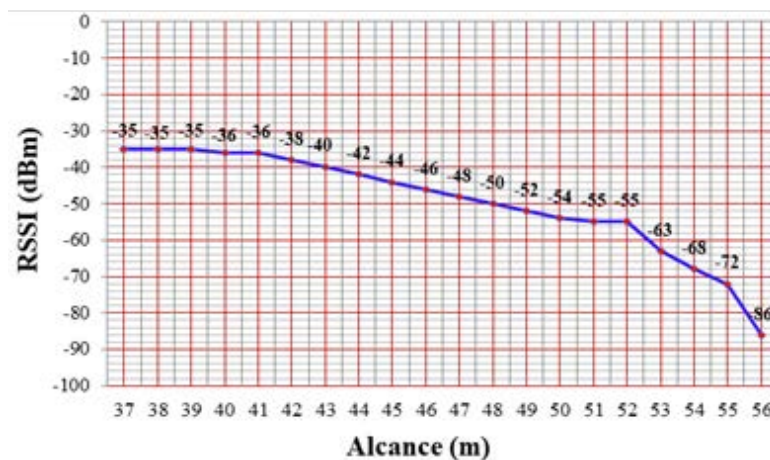


Figura 3 Alcance en la transmisión WiFi.

En el caso de la tecnología LoRa, la velocidad de transmisión la establece automáticamente el concentrador de información en el rango de 183 bps a 50 kbps, dependiendo de la carga de datos existente. El primer conjunto de pruebas de esta tecnología usó el manejo automático de la velocidad, logrando 12.5 kilómetros de alcance. En el segundo conjunto de pruebas se configuraron diferentes velocidades de transmisión en el nodo y en el concentrador. Los resultados obtenidos indicaron que, a menor velocidad de transmisión, se logra mayor alcance. Cuando el valor de la velocidad configurado fue 183 bps se tuvo un alcance de 14 kilómetros, mayor al logrado en el primer conjunto de pruebas. Conforme la velocidad aumentó, el

alcance disminuyó hasta los 7 kilómetros, como se muestra en la gráfica de la figura 4. Los fabricantes de concentradores y soluciones LoRa no recomiendan modificar esta velocidad, indican que sea el concentrador quien la administre, sin embargo, en este conjunto de pruebas se modificó para verificar cómo influye la velocidad de la capa física LoRa en el alcance [Vega, 2018].

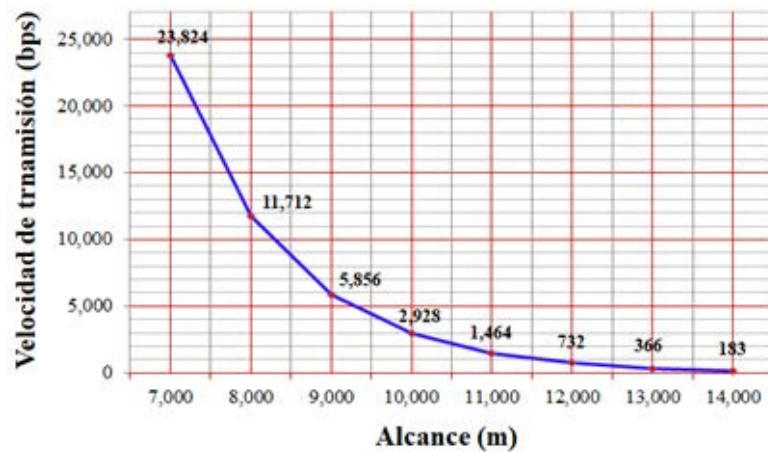


Figura 4 Alcance en la transmisión LoRa.

Respecto a la tecnología Bluetooth LE, Los resultados mostraron que el alcance logrado fue 75 metros a una velocidad de transmisión de 5.7 kB/s. La mayor velocidad, 57.1 kB/s, se obtuvo a una distancia de 5 metros entre el nodo de recolección y el concentrador, como se indica en la gráfica de la figura 5 [Vega, 2018].

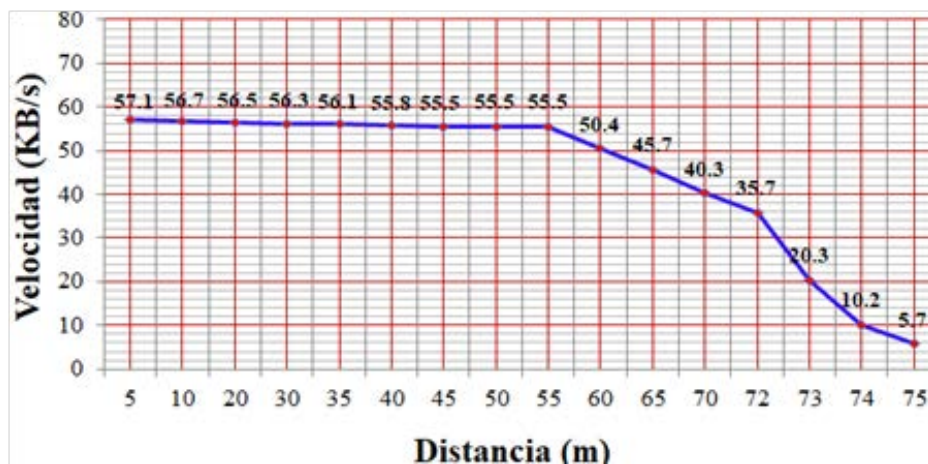


Figura 5 Velocidad y alcance de la comunicación BLE.

5. Conclusiones

La metodología propuesta es resultado de diferentes implantaciones de monitoreo de remoto de variables a través de la Internet e investigaciones al respecto que han realizado los autores. Ha sido usada y continúa siendo utilizada con éxito. Es importante tomar en cuenta las recomendaciones indicadas para reducir el tiempo de la implantación del sistema. Considerar la evolución tecnológica continua de las comunicaciones inalámbricas y los microcontroladores. De las tecnologías de comunicaciones analizadas en la sección de selección de componentes de hardware y software, la que más futuro prometedor tiene, en el área de monitorización remota de variables, es LoRa. La principal ventaja de la tecnología LoRa es el alcance de varios kilómetros de los transceptores. La desventaja que presenta LoRa es el costo relativamente alto de la infraestructura para conectar los nodos remotos a la Internet. Esta desventaja tiende a desaparecer ya que cada vez más hay más proveedores de transceptores y puertas de enlace LoRa de bajo costo.

En cuanto a los controladores de los nodos remotos, es recomendable usar una de las tarjetas de desarrollo con un microcontrolador que han aparecido los últimos años que ejecutan programas creados en lenguajes de alto nivel como MicroPython sin necesidad de un sistema operativo. Esto reduce el costo del sistema, la complejidad de desarrollo y el tiempo de implantación, ya que pueden utilizarse bibliotecas de funciones libres de código abierto disponibles en la nube. El uso de estas tarjetas y el lenguaje de programación facilitan el acceso a plataformas de IoT en la nube de reciente creación que proporcionan un servicio eficiente y confiable para almacenar información y transmitir mensajes de alerta a un teléfono móvil, como por ejemplo ThinkSpeak y Twilio.

Las ventajas de la metodología propuesta usando las tecnologías de comunicación expuestas son las siguientes: 1) La instalación de los elementos no es intrusiva, ya que no es necesario instalar cableado adicional, 2) Los nodos de recolección pueden alimentarse con baterías que pueden durar varios años 3) El acceso para la monitorización de variables es remoto, desde la Internet y 4) El diseño modular permite crecer la aplicación integrando fácilmente nodos con modificaciones

sencillas a la interfaz de usuario y configuración del concentrador, por lo que puede usarse casi en cualquier lugar o instalación donde sea necesario monitorear remotamente variables de ambiente o procesos.

Como trabajo a futuro se tiene planeado incorporar en la metodología algoritmos de seguridad, ruteo y técnicas para el manejo de retardos y colisiones, así como incluir opciones para usar redes de sensores de bajo consumo de energía y largo alcance como Bluetooth LE.

Finalmente, la metodología expuesta debe actualizarse, al menos cada dos años, considerando que está estrechamente ligada con el avance de las tecnologías analizadas. Los autores esperan que este trabajo sirva a desarrolladores de aplicaciones IoT y ayude a crear aplicaciones confiables y robustas.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ang, C. Vehicle positioning using WIFI fingerprinting in urban environment. IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) Proceedings. Singapore, Singapore. May, pp. 652-657, 2018.
- [2] Ashish, B. Temperature monitored IoT based smart incubator. International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) Proceedings. Palladam, India. pp. 497-501, 2017.
- [3] Bowen, Z., Feng, W. & Shuai, H. Research on the electrical equipment condition monitoring system architecture based on big data. 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE) Proceedings. Bangkok, Thailand. May, pp. 155-159, 2017.
- [4] Bröring, A., Ziller, A. & Charpenay, V. The BIG IoT API-Semantically Enabling IoT Interoperability. IEEE Pervasive Computing. Vol. 17, Issue: 4, Dec., pp. 41-51, 2018.
- [5] Chen, N., Zhang, X. & Chen, Z. Integrated geospatial sensor web for agricultural soil moisture monitoring. Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics) Proceedings. Istanbul, Turkey. July, pp. 1-5, 2015.

- [6] Costa, B., Pires, P. F. & Delicato, F. C. Design and Analysis of IoT Applications: A Model-Driven Approach. IEEE 14th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing Proceedings. Auckland, New Zealand. Aug., pp. 392-399, 2017.
- [7] Datta, P. & Sharma, B. A survey on IoT architectures, protocols, security and smart city based applications. 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) Proceedings. Delhi, India. July, pp. 1-5, 2017.
- [8] Dhanalaxmi, B. & Naidu, G. A survey on design and analysis of robust IoT architecture. International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA) Proceedings. Bangalore, India. July, pp. 375-378, 2017.
- [9] Hejazi, H., Rajab, H. & Cinkler, T. Survey of platforms for massive IoT. IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT) Proceedings. Eger, Hungary. Jan., pp. 1-8, 2018.
- [10] Huang, X., Zhiwen, L. & Zhu, Y. The System of Temperature Rise Monitoring and Temperature Prediction for Power Equipment. Condition Monitoring and Diagnosis (CMD) Proceedings. Perth, Australia. Nov., pp. 1-5, 2018.
- [11] Dian, F. J., Yousefi, A. & Lim, S. A practical study on Bluetooth Low Energy (BLE) throughput. IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON) Proceedings. Vancouver, BC, Canada. Nov., pp. 768-771, 2018.
- [12] Hurezeanu, I., Nicola, C. I. & Sacerdoțianu, D. Temperature control and monitoring system for power transformer windings using fiber optic sensors. International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE) Proceedings. Bucharest, Romania. July, pp. 1-4, 2016.
- [13] Khamphroo, M., Kwankeo, N. & Kaemarungsi, K. Integrating MicroPython-based educational mobile robot with wireless network. 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) Proceedings. Phuket, Thailand. Jan., pp. 1-6, 2018.
- [14] Kochláň, M., Hodoň, M. & Čechovič, L. WSN for traffic monitoring using Raspberry Pi board. Federated Conference on Computer Science and

- Information Systems Proceedings. Warsaw, Poland. Sept., pp. 1023-1026, 2014.
- [15] Lavric, A. & Popa, V. Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey. International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS) Proceedings. Iasi, Romania. July, pp. 1-4, 2017.
- [16] Li, W. & Kara, S. Methodology for Monitoring Manufacturing Environment by Using Wireless Sensor Networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering. Vol. 61, pp. 323-328, 2017.
- [17] Madeira, R. & Nunes, L. A machine learning approach for indirect human presence detection using IOT devices. Eleventh International Conference on Digital Information Management (ICDIM) Proceedings. Porto, Portugal. Jan., pp. 145-150, 2017.
- [18] Özkaya, O. & Örs, B., Model based node design methodology for secure IoT applications. 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) Proceedings. Izmir, Turkey. July, pp. 1-4, 2018.
- [19] Mezghani, E., Exposito, E. & Drira, K. A Model-Driven Methodology for the Design of Autonomic and Cognitive IoT-Based Systems: Application to Healthcare. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence. Vol. 1, Issue: 3. May, pp. 224-234, 2017.
- [20] Mosin, S., A Model of LoRaWAN Communication in Class A for Design Automation of Wireless Sensor Networks Based on the IoT Paradigm. IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS) Proceedings. Kazan, Russia. Nov., pp. 1-6, 2018.
- [21] Plathong, K. & Surakratanasakul, B. A study of integration Internet of Things with health level 7 protocol for real-time healthcare monitoring by using cloud computing. 10th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON) Proceedings. Hokkaido, Japan. Dec., 1-5, 2017
- [22] Porus, M., Paul, T. A. & Kramer, A. Application of a multi-parameter sensor system for monitoring dielectric insulation of gas mixtures. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 24, Issue: 2. April, pp. 847-851, 2017.

- [23] Samsudin, M. F., Mohamad, R. & Izwan, S. Implementation of wireless temperature and humidity monitoring on an embedded device. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE) Proceedings. Penang, Malaysia. July, pp. 90-95, 2018.
- [24] Shende, S., Deshmukh, R. P. & Dorge, P. Performance improvement in ZigBee cluster tree network. International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) Proceedings. Chennai, India. Feb., pp. 308-312, 2018.
- [25] Tao, H., Zhou, J. & Liu, S. A survey of network security situation awareness in power monitoring system. IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2) Proceedings. Beijing, China. No., pp. 1-3, 2017.
- [26] Vega, J. I., Salgado, G. & Lagos M. A. Video portero usando tarjetas raspberry pi 3. *Pistas Educativas*. Vol. 40, No. 130. Nov., pp. 1222-1241, 2018.
- [27] Vega, J. I., Sánchez, F. J. & Lagos M. A. Acceso a un centro de datos utilizando una tarjeta RFID y huella digital. *Pistas Educativas*. Vol. 40, No. 130. Nov., pp. 1242-1258, 2018.
- [28] Vega, J. I., Salgado, G. & Lagos M. A. Implantación de una LPWAN para monitoreo de temperatura y humedad en un invernadero. *Pistas Educativas*. Vol. 40, No. 128. Feb., pp. 1531-1548, 2018.
- [29] Vega, J. I., Salgado, G. & Lagos M. A. Inventario de máquinas expendedoras usando una LPWAN. *Pistas Educativas*. Vol. 40, No. 128. Feb., pp. 1549-1566, 2018.
- [30] Vega, J. I., Salgado, G. & Cosme, J. F. Monitoreo de temperatura y humedad en un centro de datos usando transceptores Bluetooth LE. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, Vol. 1, No. 4. Oct., pp. 134-140, 2018.
- [31] Wu, F., Rüdiger, C. & Redouté, J. M. WE-Safe: A wearable IoT sensor node for safety applications via LoRa. IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) Proceedings. Singapore, Singapore. Jan., pp. 1-5, 2018.
- [32] Yun-Jie, L., De-Tai, Z. & Yan-Yu, W. HIRFL Water Level Monitoring System Research and Design. Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC) Proceedings. Harbin, China. Dec., pp. 127-130, 2016.