

Prototipo para el control de acceso a recintos por medio de tecnología inalámbrica ZigBee*¹

[Prototype for access control to enclosures through ZigBee wireless technology]

ANDRÉS ZAMBRANO RODRÍGUEZ², CARLOS ALBERTO RUIZ VILLA³,
MARCELO HERRERA GONZÁLEZ⁴, SANDRA MILENA GÓMEZ POVEDA⁵,
MARIANA BUSTAMANTE ALZATE⁶

Recibo: 20.02.2015 - Aprobación: 17.09.2015

Resumen

Este artículo muestra el desarrollo de un prototipo para el control de accesos a recintos usando una aplicación móvil en un dispositivo o teléfono inteligente. La transmisión de datos utiliza la tecnología ZigBee que permite la conexión de miles de dispositivos en una misma red. Los resultados obtenidos demuestran que es una alternativa viable a las tecnologías ya existentes para el control de accesos a recintos, ya que los datos pueden ser transmitidos

-
- * Modelo para la citación de este artículo:
ZAMBRANO RODRÍGUEZ, Andrés; RUIZ VILLA, Carlos Alberto; HERRERA GONZÁLEZ, Marcelo; GÓMEZ POVEDA, Sandra Milena & BUSTAMANTE ALZATE, Mariana (2015). Prototipo para el control de acceso a recintos por medio de tecnología inalámbrica ZigBee. En: Ventana Informática No. 33 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 143-156. ISSN: 0123-9678
- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Prototipo para la seguridad y control de acceso a recintos por medio de tecnología inalámbrica ZigBee*, ejecutado en el periodo 10/2013 – 02/2015, e inscrito en el grupo de investigación GITIR dentro de la convocatoria especial 2013 para la financiación de proyectos de Investigación e Innovación de la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados, Universidad de Caldas.
 - 2 Ingeniero de Sistemas y computación. Investigador Colciencias, Universidad de Caldas (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: andreszambrano24@gmail.com
 - 3 Doctor en Bioingeniería con énfasis en Bioelectrónica, Ingeniero electricista. Docente, departamento de sistemas informáticos, Universidad de Caldas; Profesor departamento de informática y computación, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales (Manizales, Caldas, Colombia). Correos electrónicos: carv@ucaldas.edu.co y caruizvi@unal.edu.co
 - 4 Magister en Mecatrónica y control. Esp. en telecomunicaciones. Docente, departamento de sistemas informáticos, Universidad de Caldas (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: marcelo.herrera@ucaldas.edu.co
 - 5 Ingeniera de Sistemas y computación. Desarrollador Junior.net, Newshore (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: sara2204@hotmail.com
 - 6 Ingeniera de Sistemas y computación. Ingeniera de Requerimientos, Mobility Solutions S.A.S (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: mariana.bustamante.90@gmail.com

a las distancias requeridas lo cual se vería representado en una mayor cobertura. Se diseñó un sistema que utiliza elementos de hardware y software, sobre una puerta metálica acondicionada de un elemento de cierre y apertura magnética. El sistema desarrollado permite una monitorización constante de los ingresos y salidas del personal y el control de apertura y cierre a voluntad por los usuarios definidos en el sistema.

Palabras claves: Control de accesos, aplicación móvil, ZigBee.

Abstract

This paper shows the development of a prototype for controlling access to facilities using a mobile application on a device or smartphone. The data transmission uses the ZigBee technology that allows connection of thousands of devices on a network. The results show that it is a viable alternative to existing technologies for access control enclosures, since data can be transmitted to the required distances which would be represented in more coverage. A system using hardware and software elements are designed. A metal gate with a magnetic closure member and was conditioned opening. The developed system allows constant monitoring of income and staff departures and control opening and closing by users defined in the system.

Keywords: Access control, app, ZigBee.

Introducción

La gran cantidad de personal que se moviliza en las organizaciones, ha aumentado el interés por mejorar el nivel de seguridad físico ofrecido en los diferentes espacios, buscando que sólo las personas autorizadas tengan acceso a los lugares de acuerdo a su rol. El tradicional uso de llaves ha sido reemplazado por un gran número de tecnologías que facilitan la autenticación, control del personal y la gestión de los espacios físicos.

Algunas de las tecnologías usadas para solucionar este problema son teclados de autenticación numérica, en los cuales cada miembro de la organización tiene la clave para acceder a recintos permitidos de acuerdo a su rol. Sistemas más personalizados usan identificadores inalámbricos de radiofrecuencia como las etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*), en las cuales se almacena una clave personal e información sobre el usuario, esto permite el registro y

seguimiento para una mejor vigilancia como lo considera Roberts (2006, 18). Sistemas más avanzados y personalizados usan sistemas biométricos para almacenar características físicas únicas como las huellas, el patrón del iris o la estructura de la voz, asegura Gill, (2005, 25), e inclusive, según Roussos & Kostakos (2009, 110), se encuentran sistemas donde se almacena las características biométricas a través de la tecnología RFID.

El uso de aplicaciones móviles asociadas a tecnologías *ZigBee* es usada principalmente en ambientes de domótica para el manejo inteligente de la energía, como lo plantean Hjorth & Torbensen (2012, 940). Su uso en control de accesos tiene diversas oportunidades para ser exploradas.

1. Fundamento teórico

1.1 Control de acceso

La gestión organizacional permite mediante el establecimiento de políticas de seguridad, definir los límites de acceso físico al personal autorizado de acuerdo a las responsabilidades propias de cada funcionario o empleado, con lo cual se demarcan las áreas específicas (salas, oficinas, bodegas), funciones, equipos o dispositivos a las que tiene acceso. Algunos de los tipos de control de acceso son: mecánicos, acceso por código, electrónicos, biométricos, de acceso múltiple, acceso individual, en una sola dirección, bidireccional (entrada/ salida) o activo. En los cuales se usan como dispositivos tecnológicos: teclados, lectores de patrones biométricos (huellas, voz, iris) o tarjetas que almacenan información mediante cintas magnéticas o con etiquetas RFID. Como concluyen Castro, Jiménez & Rodríguez (2005, 117), estos dispositivos permiten la vigilancia, control, seguimiento y el registro del personal y los espacios físicos.

1.2 Estándar ZigBee

En el año 2000 el grupo 15 de la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) desarrolló, según informan Kohvakka et al. (2006, 48), un estándar inalámbrico cuyas características principales fueran la flexibilidad del diseño de topologías de red, bajo costo y bajo consumo de energía gracias a la subcapa de control de acceso al medio (MAC) y la capa física (PHY) diseñada para baja velocidad en redes de área personal inalámbricas (LR-WPAN) optimizado para aplicaciones de baja velocidad de datos (<250 kb/s).

De la integración del estándar IEEE 802.15.4 y la *ZigBee Alliance* da como resultado la creación del estándar *ZigBee* el cual presenta dos

capas nuevas ubicadas encima de la pila del protocolo. La capa de red (NWK) es la encargada de organizar y proporcionar enrutamiento a través de una red de salto múltiple, mientras que la capa de aplicación (APL) tiene la intención de proporcionar un marco para el desarrollo de aplicaciones distribuidas y la comunicación. *ZigBee* puede coexistir con otros tipos de tecnologías inalámbricas como *Wi-Fi* o *Bluetooth*, puesto que no afecta su desempeño y funcionamiento por la amplia opción del uso de diferentes canales en las frecuencias que utiliza (2450 MHz band con 16 canal, a 915 MHz band con 10 canal y a 868 MHz band 1 canal mencionado en estudios previos, expresan Baronti et al (2007, 1659). Tiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica aumenta la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor número de rutas alternas habrá para garantizar que un paquete llegue a su destino, estos y otros temas de rendimiento son profundizados por Kohvakka et al. (2006, 48).

ZigBee es una tecnología flexible, que se adapta fácilmente a las necesidades por las frecuencias en que transmite; cuando usa frecuencias sub GHz (915-868 MHz) puede alcanzar mayores distancias, por otra parte ofrece facilidad de implementación en diversas topologías, como estrella, malla o punto a punto (Molina, 2011, 16) e inclusive, señalan Yick, Mukherjee & Ghosal (2008, 2292) el fabricante ofrece soluciones (antenas) para brindar mayor rango de línea de vista, esto hace que la tecnología se adapte fácilmente a múltiples entornos (bajo agua, bajo tierra o con condiciones atmosféricas críticas), con solo modificar alguno o varios de estos parámetros.

1.2.1 Componentes de una red *ZigBee*. *ZigBee*, de acuerdo con Yick, Mukherjee & Ghosal (2008, 2292), es una tecnología principalmente usada para la transmisión de datos en redes de sensores inalámbricos, estas redes se pueden formar con un par de dispositivos o con miles conectados en una topología de malla. Se pueden identificar tres tipos de dispositivos: coordinador, enrutador y dispositivo final. El coordinador inicializa las redes, almacena información y permite el puente entre diversas mallas. El enrutador asocia grupos de dispositivos, permite la comunicación y salto de la información entre ellos, y el dispositivo final está directamente conectado con los sensores, actuadores y controladores que recogen los datos; los dispositivos finales solo se comunican con el enrutador o el coordinador.

1.2.2 Aplicaciones. *ZigBee* está diseñado para aplicaciones que transmiten unos cuantos bytes, como en los casos de automatización de hogares (domótica). Al usar esta tecnología no habría necesidad de cablear los interruptores, los cuales podrían ser cambiados de un lugar a otro con plena libertad, permitiendo a *ZigBee* prender o apagar las

luces de la casa a través de Internet o utilizando el teléfono celular. En la actualidad, la mayoría de las comunicaciones inalámbricas nacionales están dominadas por estándares tecnológicos como Bluetooth y *Wi-fi*, pero para el caso concreto de estudio en el cual no se necesita una tasa de transmisión alta, *ZigBee* termina siendo la mejor y más económica opción de las conocidas en el mercado.

En Colombia ha ido creciendo el interés sobre *ZigBee* y sus grandes ventajas; en los últimos años se han presentado proyectos para la solución de problemáticas del país que incluyen a *ZigBee*. Entre los más recientes se encuentran:

- Monitoreo y gestión del riesgo del departamento del Quindío realizado por Ramírez, Buitrago, & Marín (2014),
- Automatización de un sistema de suministro de agua, por Durán & Iturriago (2011),
- Plataformas de laboratorio para fortalecer el uso de las tecnologías, de Romero, Marín & Arango (2013),
- Monitoreo de alertas tempranas en minas subterráneas, de Romero, Marín & Jiménez (2013).

Por otro lado *ZigBee* ha sido usado en sistemas de medición avanzada como medidores de agua, luz y gas, que pueden formar parte de una red con otros dispositivos de salida digital ubicados dentro de las casas, estos ayudarían a monitorear el consumo de energía. En el mercado se encuentra el dispositivo *hardware Xbee*, como plataforma de implantación y desarrollo de la tecnología. Gracias a este, la ejecución de aplicaciones se puede llevar a cabo fácilmente, por ejemplo, máquinas, herramientas y redes de sensores, como lo plantea Cázarez et al. (2011, 315), para el control industrial de plantas de proceso e incluso en hogares convencionales.

En medicina, su uso se ha centrado en monitorización de pacientes y cuidado personal como es considerado por Larroza, Zena & Frutos (2008, 50). En servicios públicos como la medición del consumo de agua de acuerdo con Osorio, Garzón & Giraldo (2008). Dentro de las posibilidades que ofrece *ZigBee* está la integración con aplicaciones móviles (*apps*). Este *software*, debe ser descargado en un dispositivo móvil como un teléfono inteligente o una tableta y permite la interacción con *hardware* del propio dispositivo (sensores), generalmente está desarrollada para aumentar la productividad y a diferencia de un entorno *web* no requiere de conexión a internet para su funcionamiento. Su uso actualmente está diversificándose a otros campos como el entretenimiento, la salud o la navegación, señala Cuello & Vittone (2013, p).

Este trabajo tiene como propósito demostrar que el uso del estándar *ZigBee* garantiza de manera eficiente el control de acceso de espacios, acoplando otras tecnologías como *Bluetooth*, generando de esta manera una solución híbrida de alto rendimiento y bajo consumo de recursos para su funcionamiento.

2. Metodología

La estrategia metodológica utilizada en este trabajo consiste en desarrollar un prototipo funcional tanto del *hardware* como del *software*. Para el *hardware* utilizamos micro-controladores de laboratorio y dispositivos de comunicación comerciales. En *software* se desarrolló un programa para entornos *web*, de escritorio usando *NetBeans* y *Android Studio* para los dispositivos móviles Android.

2.1 Materiales

2.1.1 Micro-controlador. El micro-controlador utilizado es un *Olimexino-SMT32* (Olimex, s.f.), con un procesador ARM® CORTEX® M3, voltaje de alimentación externo de 9 a 30V, 5V por USB y 3,7V con batería Li-ion, contiene tarjeta micro-SD para el registro de datos y conector UEXT que permite conectar diferentes módulos de comunicaciones como *ZigBee*, RF (Radio Frecuencia), GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles) o GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

2.1.2 Dispositivos de comunicaciones. Los dispositivos utilizados para la transmisión de la información fueron los siguientes:

- Módulo *XBee Serie 1*: soporta el protocolo de red IEEE 802.15.4 (*ZigBee*). con potencia de salida de 1 mW, velocidad de transmisión de 256 kbps, sensibilidad de recepción de -92 dBm y frecuencia de 2,4 Ghz, de acuerdo con Digi International, 2014).
- *Bluetooth Bee*: De referencia BLK-MD-BC04-B que implementa el protocolo *Bluetooth2.1* + EDR module en frecuencias 2.4GHz -2.48GHz, compatible con los módulos *XBee Explorer*, según AliExpress (s.f.).
- Dispositivos móviles: *Smartphone Google Nexus 4 (LG E960) 8GB (GSM/UMTS/HSPA+) Android 4.2* y *tablet Google Nexus 10" (Samsung) Dual-core A15 processor 2GB of system memory and 16GB on-board storage memory, Android 4.2 (Jelly Bean) OS 802.11b/g/n Wi-Fi and Bluetooth*.

2.1.3 Software para el desarrollo. Se utilizaron los siguientes:

- *NetBeans IDE 8.0.1*: Permite desarrollar rápida y fácilmente aplicaciones para escritorio en Java, móviles y aplicaciones *web*, así como

aplicaciones HTML5 con HTML, JavaScript y CSS. El IDE también proporciona un gran conjunto de herramientas para desarrolladores de PHP y C / C ++. Es gratuito y de código abierto y tiene una gran comunidad de usuarios y desarrolladores de todo el mundo, como reporta NetBeans (2015).

- *Android Studio*: De acuerdo con Developers Android (s.f.), es el ambiente de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones sobre el sistema operativo de dispositivos móviles Android.
- XAMPP: Señala Apache Friends (2015), que es un servidor *web* y presta e instala MySQL, PHP y Perl, es gratuito tanto para usos comerciales como no comerciales. XAMPP es una compilación de *software* libre y puede ser copiada libremente de acuerdo a la licencia GNU GPL.

2.2 Metodología de desarrollo de *software*

Para el desarrollo del *software* se usa la metodología *Scrum*, que de acuerdo con Schwaber (1997, 133-134), está diseñada como un marco sencillo para la colaboración en el desarrollo eficaz de proyectos complejos en donde el equipo de trabajo construye un producto de manera organizada y ágil. De este modo se basa en la producción de pequeños planes de trabajo con el fin de construir trozo a trozo el producto siguiendo un proceso iterativo, permitiendo la creatividad, retroalimentación y respuesta rápida al cambio, para construir exactamente y sólo lo que se necesita.

2.3 Protocolo de medición

La pérdida de potencia de la señal (atenuaciones) y las interferencias que puedan producirse con otras tecnologías inalámbricas deben ser consideradas dentro de las posibles perturbaciones del sistema. La tecnología *ZigBee* debe coexistir con otras tecnologías inalámbricas y la presencia de obstáculos en el entorno físico debe ser considerada. Se planificaron mediciones en los espacios físicos de la Universidad de Caldas, cuyos pasillos tienen las siguientes medidas: 2.7 m de altura, 2.6 m de distancia entre las paredes y una profundidad de 70 m.

Las pruebas de atenuación buscan analizar la señal entre el coordinador *ZigBee* y el dispositivo final, midiendo la intensidad de la señal inalámbrica (RSSI). Los escenarios propuestos para la toma de datos son los siguientes:

- En el pasillo a diferentes distancias desde los 5m hasta los 70 m.
- A 5 m con la presencia de obstáculos (puerta de vidrio templado de 1 cm de espesor, puerta de madera con 4 cm de espesor y pared de concreto con 15 cm de espesor). Se usa la distancia de 5 m, ya

- que es la distancia máxima que podría tenerse entre enrutadores *ZigBee* al implementarse un sistema completo de control de acceso.
- Conexión piso a piso con una distancia de 3.2 m y una placa de concreto de 50 cm.

Para todos los escenarios se realizaron toma de muestras por 5 segundos, manteniendo siempre una señal de *Wi-Fi* para observar su interferencia en la pérdida de paquetes.

3. Resultados y discusión

Una vez aplicada la metodología descrita anteriormente y aplicando el protocolo de medición se consolida el diseño de un prototipo de sistema de apertura de puerta vía inalámbrica con conexión remota a través de *ZigBee*.

3.1 Modelo del prototipo desarrollado

El prototipo está constituido por un sistema que se divide en dos partes; la primera hace referencia al componente de *hardware* compuesto por una placa olimexino smt-32, un módulo *Xbee* serie 1, un módulo *BluetoothBee* y una puerta dotada de un electroimán. El segundo componente, el *software*, comprende la interacción de tres subsistemas desarrollados para diferentes ambientes de programación, el primero un aplicativo *web*, el segundo una aplicación de escritorio y por último una aplicación móvil.

En la figura 1.a se muestra el dispositivo móvil en el que se ha instalado previamente una aplicación para Android en el que se presenta una interfaz por la cual el usuario podrá interactuar con el sistema. En 1.b se representa la puerta que se va a controlar en la cual se ha puesto un dispositivo *BluetoothBee* el cual recoge la información emitida por el dispositivo móvil. En 1.c se tiene el dispositivo *Xbee* que recibe la información del dispositivo anterior para ser transmitida por la red *ZigBee* hasta llegar al *Xbee* coordinador indicado en 1.e el cual envía los datos vía serial al ordenador de monitoreo (1.f) el cual a su vez envía a través de internet a un servidor *web* (1.h) el cual gestiona los accesos de usuario y registra la fecha y hora de la petición realizada determinando finalmente su aceptación o rechazo, si la respuesta es positiva se devuelve una señal hasta el dispositivo 1.c el cual acciona mediante un relé (1.d), un electroimán para la apertura de la puerta.

3.2 Diseño de *software* de control y gestión

Se desarrolló un *software* que permite la interacción entre todos los componentes del modelo, el cual comprende una interfaz a nivel de usuario final, de monitoreo y un servidor *web* que actúa como un gestor

de accesos y registros con base en datos de las acciones de los usuarios como se indica en la figura 2.

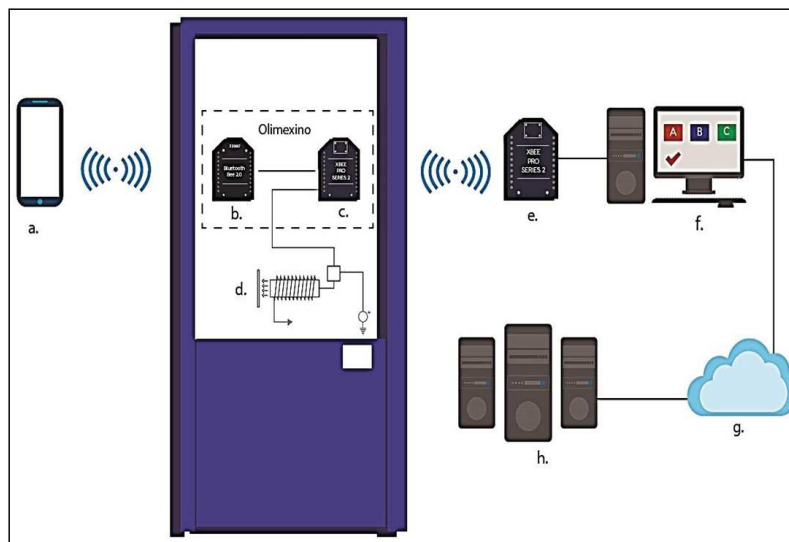


Figura 1. Modelo del prototipo desarrollado

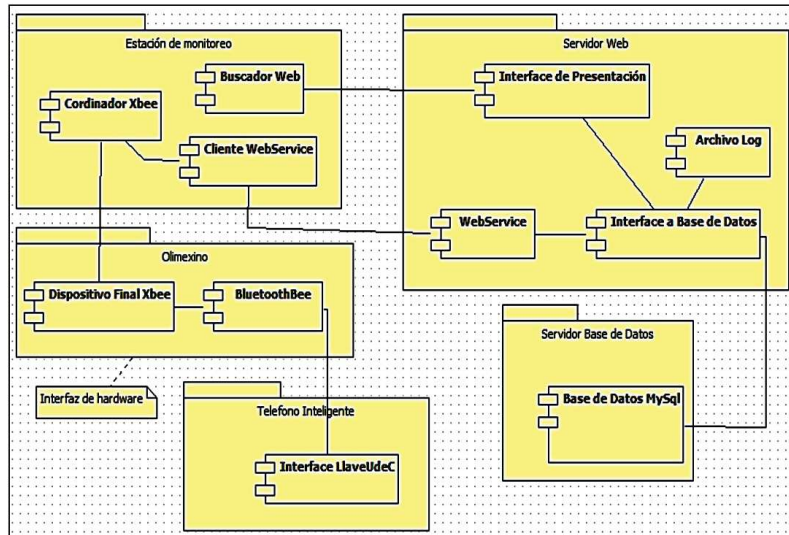


Figura 2. Diagrama de componentes

3.2.1 Aplicación para Android. Se desarrolló una aplicación para el teléfono inteligente denominada *LlaveUdeC* que permite la conexión con el dispositivo *BluetoothBee* para la transmisión de la información. El

funcionamiento de la app está basado en la clase *BluetoothService* encargada del manejo del periférico Bluetooth del teléfono, la clase *BluetoothCom* para la gestión de *sockets*, recepción y transmisión de paquetes. Y finalmente una clase encargada de la visualización de la información.

3.2.2 Estación de monitorización. Se diseñó una estación de monitorización compuesta por un ordenador y un dispositivo Xbee Coordinador conectado por un puerto de comunicación serial (COM) al ordenador. Para la monitorización y lectura de la información recibida por el puerto COM se desarrolló un software de escritorio, compuesto por una clase *Control* que realiza una constante lectura del puerto serial para la recepción de la información transmitida por la red *ZigBee*. También se implementa un cliente de *WebService* el cual consume un recurso alojado en un Servidor *Web* y devuelve la respuesta dada por este.

3.2.3 Servidor web. Se diseñó y se implementó un servidor para entornos *web* que expone toda su lógica de gestión de acceso a recintos para el consumo de la información solicitada, compuesto por cuatro módulos: Gestión de usuarios, Gestión de uso de espacios, Gestión de materias, y visualización del historial de ingresos o apertura de puertas, a los cuales solo tiene acceso un usuario administrador a través de un navegador *web* luego de ingresar sus credenciales.

3.2.4 Secuencia de acciones en el sistema de autenticación. En la figura 3 se detalla el proceso diseñado para llevar a cabo en el sistema de autenticación. El proceso inicia con una interacción del usuario y la interfaz de la app móvil, la información enviada es recibida por el *software* de monitoreo quien encola las peticiones y finalmente las envía al servidor *web* en donde este utiliza los métodos de aplicación necesarios para luego acceder a los datos del sistema, verificar la información enviada, si es correcta realiza el registro en el historial y finalmente devuelve la respuesta de la transacción solicitada.

3.3 Pruebas del protocolo de medición

Con el fin de determinar la calidad de la señal, se estableció un protocolo de medición de intensidad como se indica en la Figura 4. En ella se observan los resultados de la medición de la intensidad en dbm (decibeles-milivatio) de la señal RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) en un pasillo sin obstáculos permanentes, con la presencia temporal de estudiantes o docentes en algunos momentos de la toma de muestras. Se realizan tres tomas de muestras por 5 segundos cada una y se calcula la media de estas intensidades.

Puede observarse que a los 5 m de distancia entre el coordinador y el dispositivo final *ZigBee* se tiene una RSSI de -58.7 dBm y que con la

distancia máxima del pasillo de 70 m se tiene una RSSI de -85 dBm. Esta toma de muestras se realizó con la presencia esporádica de personas, sin embargo nunca se tuvieron valores menores a -92 dBm que es la sensibilidad de los Xbee serie 1. La presencia de personas puede afectar la RSSI pero por su movilidad esta atenuación puede considerarse despreciable. Estos resultados permiten inferir que la atenuación en estos espacios físicos sin obstáculos es apta para la tecnología ZigBee.

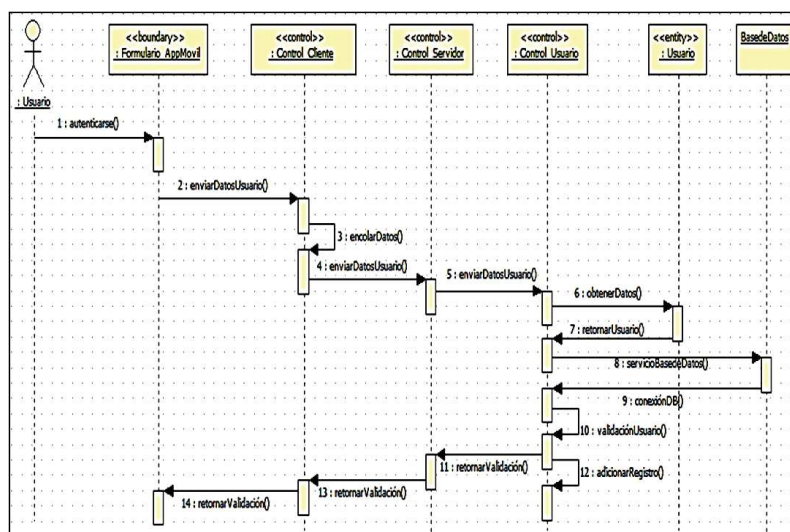


Figura 3. Diagrama de secuencia

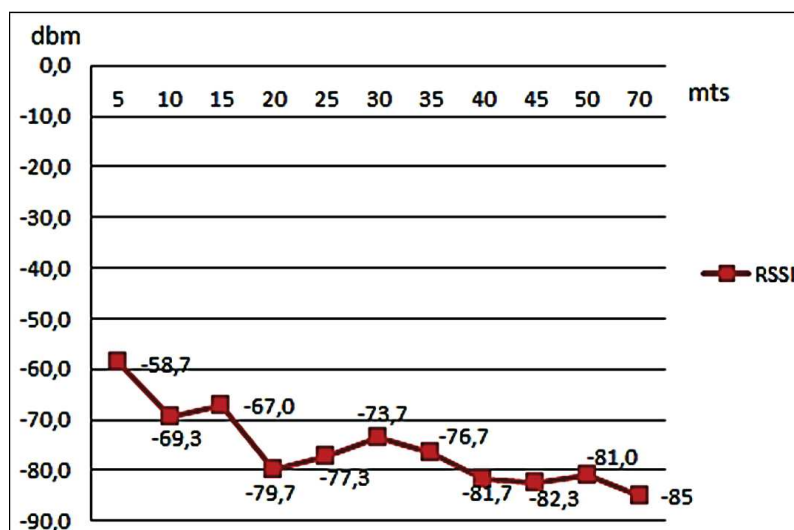


Figura 4. Intensidad de la señal sin obstáculos

En la tabla 1, puede observarse la pérdida de RSSI debido a la presencia de algunos obstáculos frecuentes dentro de la infraestructura física de la Universidad de Caldas. Se puede afirmar que de todos los materiales la madera es la que menos atenuación genera. Las puertas de vidrio templado al estar fabricadas con metal generan mayor atenuación que una pared de concreto de 15 cm. La conexión piso a piso tiene las mayores pérdidas de potencia a pesar de que la distancia es menor, esto se debe a la placa de concreto de 50 cm de espesor.

Tabla 1. Pérdidas de atenuación por obstáculos

Tipo de obstáculo	RSSI (dBm)	Distancia (m)
Vidrio templado	-59,7	5
Madera	-50,3	5
Concreto	-54,7	5
Piso-Piso	-75,7	3,2

Luego de comparar todas las pérdidas de potencia de señal se puede advertir que en ningún caso es mayor a -92 dBm que es la sensibilidad del dispositivo *Xbee* serie 1, lo que permite concluir que la conexión entre varios dispositivos *ZigBee* es posible ante la presencia de obstáculos comunes de la infraestructura física.

Por último, se obtiene el número de paquetes perdidos ante la presencia de obstáculos o ante la posible interferencia de una señal transmitida por la tecnología *Wi-Fi*. De los 50 paquetes por segundo enviados en cada toma de muestras se pierden en el peor de los casos dos paquetes. Lo cual permite reafirmar que la tecnología *Wi-Fi* puede coexistir con una señal de la tecnología *ZigBee*.

4. Conclusiones

Se puede concluir que el uso de una aplicación móvil desde un teléfono inteligente es una alternativa viable al control de accesos en recintos como se puede observar en las pruebas realizadas en el prototipo diseñado. También se puede concluir que *ZigBee* es una tecnología inalámbrica apropiada para esta aplicación gracias a las distancias que permite cubrir y al gran número de dispositivos finales que pueden interconectarse, lo cual permite la gestión, monitorización y seguimiento de los empleados en una organización.

En la figura 4 y la tabla 1 se muestra la capacidad del sistema para transmitir adecuadamente los datos en las distancias establecidas y los obstáculos que se analizaron; sin embargo, se podría mejorar la

tecnología de antenas, cambiando la serie de los dispositivos *XBee* por la serie 2 o mayor, para aumentar su sensibilidad en dBm y de este modo cubrir mayores distancias.

Como trabajo futuro está aumentar la seguridad lógica en la transmisión a través de protocolos de autenticación y cifrado de los datos en la comunicación entre el teléfono móvil y los dispositivos finales a través de la tecnología Bluetooth, además de la autenticación de los diferentes dispositivos *ZigBee* con el servidor *Web*.

5. Referencias bibliográficas

- ALIEXPRESS (s.f.). BC04-B master slave Bluetooth module [online]. Nanning (China): Ali Express. <http://es.aliexpress.com/store/product/Free-shipping-BLK-MD-BC04-B-master-slave-integrated-Bluetooth-module-Bluetooth-serial-module-CSR-Bluetooth/915786_890194538.html> [consult: 24/02/2015]
- APACHE FRIENDS (2015). XAMPP: Apache + MySQL + PHP + Perl [online]. Berlín (Alemania): Apache Friends <<https://www.apachefriends.org/es/index.html>> [consult: 02/11/2014]
- BARONTI, P.; PILLAI, P.; CHOOK, V. W.; CHESSA, S.; GOTTA, A. & HU, Y.F. (2007). Wireless sensor networks: a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards [online]. In: Computer Communications. Vol. 30, No. 7 (may). Amsterdam (NX): Elsevier B.V. p. 1655-1695. ISSN: 0140-3664. <http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/WSN_Zigbee%20Ovw.pdf> [consult: 14/02/2015]
- CASTRO LÓPEZ, R.E.; JIMÉNEZ ORTEGA, L. & RODRÍGUEZ PÉREZ, M. (2005). Control de acceso y seguridad por código de barras. Tesis Profesional (Ingeniero en Robótica Industrial). México D.F. (México): Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 118 p.
- CÁZAREZ AYALA, G.; LÓPEZ MACÍAS, C.; LÓPEZ RUELAS, A.; MORALES GARCÍA, J.; MONTOYA ENRÍQUEZ, A.; CASTILLO MEZA, H. & FONSECABELTRÁN, J. (2011). Diseño de un prototipo didáctico para la implementación de redes de sensores inalámbricos basados en el protocolo ZigBee [en línea]. En: Ra Ximhai. Vol. 7, No. 3, (sep-dic). Mochicahui (México): Universidad Autónoma Indígena de México. p 315-324. ISSN: 1665-0441 <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/30544>> [consulta: 03/08/2014]
- CUELLO, J. & VITTONI, J. (2013). Diseñando apps para móviles [e-book]. Toronto (ON, CA): Appdesignbook. 305 p. ASIN: B00DNMF408. <<http://www.amazon.com/Dise%C3%B1ando-apps-m%C3%B3viles-Spanish-Edition-ebook/dp/B00DNMF408>> [consulta: 05/08/2014]
- DEVELOPERS ANDROID (s.f.). Android Studio Overview [online]. Mountain View (CA, USA): Google Inc. <<http://developer.android.com/tools/studio/index.html>> [consult: 09/11/2014]
- DIGI INTERNATIONAL (s.f.). XBee® 802.15.4 [online]. Minnetonka (MN, USA): Digi International <<http://www.digi.com/es/>> [consult: 09/11/2014]
- DURÁN ACEVEDO, C. & ITURRIAGO, A.X. (2012). Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología zigbee [en línea]. En: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Vol. 2, No. 20 (abr-may). Bucaramanga (Colombia): Universidad de Pamplona. p 36-42. ISSN: 1692-7257. <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_20/05112012/05.pdf> [consulta: 04/08/2014]
- GILL, J. (2005) Biometría y sistemas de identificación personal [en línea]. En: Entre dos mundos: revista de traducción sobre discapacidad visual, No. 27 (abril). Madrid (España): ONCE. p. 25-27. ISSN: 1136-0720 <<http://www.once.es/appdocumentos/once/prod/SS-PUB-EDM-27.pdf>> [consulta: 05/08/2014]
- HJORTH, T.S & TORBENSEN, R. (2012). Trusted domain: a security platform for home automation. In: Computers & Security, Vol. 31, No. 8 (nov). Laxenburg (Austria): International Federation for Information Processing, IFIP. p. 940-955. ISSN: 0167-4048
- KOHVAKKA, M.; KUORILEHTO, M.; HÄNNIKÄINEN, M. & HÄMÄLÄINEN, T.D. (2006). Performance analysis of IEEE 802.15.4 and zigbee for large-scale wireless sensor network applications [online]. In: The Third ACM International Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks, PE-WASUN 2006 (02-06/10/2006). Torremolinos (Malaga, Spain): ACM. Bao, L & GUERIN

- LASSOU, I. (eds.). 9th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems 2006, MsWiM '06 - Proceedings of the 3rd ACM PE-WASUN. New York (NY): ACM. p. 48-57. ISBN: 1-59593-487-1 <http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=1163619&ftid=382463&dwn=1&CFID=528046245&CFTOKEN=23873575>, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.367.7433&rep=rep1&type=pdf>> [consulta: 20/05/2015]
- LARROZA SANTACRUZ, A.M.; ZENA GIMÉNEZ, V.F. & FRUTOS OLMEDO, L.T. (2008). Monitor electrocardiográfico con tecnología inalámbrica ZigBee [en línea]. En: Conciencia tecnológica. No 36 (jul-dic). Aguascalientes (México): Instituto Tecnológico de Aguascalientes. p. 50-56. ISSN: 1405-5597. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94411386009>> [consulta: 20/05/2015]
- MOLINA MATUTE, M. (2011). Estudio de banda de frecuencias sub-ghz para redes de sensores inalámbricas e implementación en plataforma modular [en línea]. Proyecto Fin de Máster (Máster en Electrónica Industrial). Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid, Centro de Electrónica Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial. 93 p. <https://cookieswsn.files.wordpress.com/2011/11/pfm_marianamolina.pdf> [consulta: 15/08/2015]
- NETBEANS (2015). Descargar Net Beans IDE 8.0.1 [en línea]. Redwood Shores (CA, USA): Oracle Corporation <<https://netbeans.org/downloads/8.0.1/>> [consulta: 24/02/2015]
- OLIMEX (s.f.). Olimexino-STM32 [online]. Plovdiv (Bulgaria): Olimex <<https://www.olimex.com/Products/Duino/STM32/OLIMEXINO-STM32/>> [consulta: 09/11/2014]
- OSORIO CHAVES, J.A.; GARZÓN CANO, H. & GIRALDO, E. (2008). Propuesta de aplicación "medición del consumo de agua domiciliar" utilizando tecnología inalámbrica zigbee [en línea]. En: Scientia et Technica, Vol. 2, No. 39 (ago). Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira. p 43-47. ISSN: 0122-1701 <<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/3151/1913>> [consulta: 01/08/2014]
- RAMÍREZ, J.A, BUITRAGO, J.A. & MARÍN, J.I. (2014). Red de sensores de larga distancia usando zigbee para el monitoreo y la gestión del riesgo en el departamento del Quindío-Colombia [en línea]. En: Revista de investigaciones de la Universidad del Quindío, Vol. 25, No. 1 (sep). Armenia (Colombia): Universidad del Quindío. p 63-72. ISSN 1794-631X. <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/62eb_63-72.pdf>
- ROBERTS, C.M. (2006). Radio frequency identification (RFID) [online]. In: Computers & Security, Vol 25, No. 1 (feb), Laxenburg (Austria): International Federation for Information Processing, IFIP. p. 18-26. ISSN: 0167-4048 <doi:10.1016/j.cose.2005.12.003> <https://ourarchive.otago.ac.nz/bitstream/handle/10523/1247/Citation_of_Excellence.gif?sequence=4&isAllowed=y> [consulta: 12/01/2015]
- ROMERO ACERO, A.; MARÍN CANO, A. & ARANGO ZULUAGA, E.I. (2013). Plataformas de laboratorio de bajo costo basadas en el protocolo zigbee. En: Revista Tecno Lógica, Edición Especial (oct). Medellín (Colombia): Instituto Tecnológico Metropolitano. p. 411-423. ISSN: 0123-7799
- ROMERO ACERO, A.; MARÍN CANO, A. & JIMÉNEZ BUILES, J.A. (2013). Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de alertas tempranas en minas subterráneas: una solución a la problemática de atmósferas explosivas en la minería de carbón en Colombia [en línea]. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, Vol. 31, No. 2. Barranquilla (ene-jun): Universidad del Norte. p 227-250. e-ISSN: 2145-9371 <<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/4726/3417>> [consulta: 08/05/2015]
- ROUSSOS, G. & KOSTAKOS, V. (2009). RFID in pervasive computing: State of the art and outlook. In: Pervasive and Mobile Computing, Vol 5, No 1 (feb). Amsterdam (Netherlands): Elsevier Science Publishers. p 110-131. ISSN: 1574-1192
- SCHWABER, K. (1997). SCRUM development process [online]. In: SUTHERLAND, J.; CASANAVE, C.; MILLER, J.; PATEL, P. & HOLLOWELL, G. (eds.) (1997). Business Object Design and Implementation: OOPSLA '95 Workshop Proceedings. London (UK): Springer London. p. 117-134. e-ISBN: 978-1-4471-0947-1 <DOI: 10.1007/978-1-4471-0947-1_11><http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4471-0947-1_11#page-1> <http://agilix.nl/resources/scrum_OOPSLA_95.pdf> [consulta: 13/08/2015]
- YICK, J., MUKHERJEE, B., & GHOSAL, D. (2008). Wireless sensor network survey [online]. In: Computer Networks, Vol. 52, No 12 (ago). New York (NY, USA): Elsevier North-Holland. p. 2292-2330 <<http://cobweb.cs.uga.edu/~laks/ADCS-2013-Fall/YMG-WSN-Survey.pdf>> [consulta: 25/01/2015]