

*Recibido 16 Dic 2016
Aceptado 2 Mar 2017*

ReCIBE, Año 6 No. 1, Mayo 2017

Modelización del canal inalámbrico para enlaces punto a punto empleando tecnología Zigbee en entornos exteriores

On Modeling Wireless Channel for point to point links by using Zigbee technology in Outdoors Scenarios.

Román Alcides Lara Cueva¹
ralara@espe.edu.ec

Daniel Mauricio Merino Jácome¹
dmmerino@espe.edu.ec

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

Resumen: En el presente trabajo se realiza el modelización del canal de propagación para una red de comunicación punto a punto (PtP, del inglés Point-To-Point) entre dispositivos que utilizan tecnología ZigBee en entornos suburbanos a 2.4GHz, para poder brindar a la comunidad científica encargada de la planificación y dimensionamiento de redes, un modelo ajustado específicamente a redes con estas características que permitirá aumentar la eficiencia y disminuir los costos implícitos de las mismas. El modelo presentado fue obtenido al interpolar las mediciones de la potencia recibida (RSSI, del inglés Received Signal Strength Indicator) durante el despliegue de una red PtP de longitud variable de 2 a 160 metros, modificando la altura de los dispositivos en intervalos de 25 centímetros y ajustando las curvas resultantes a modelos matemáticos conocidos. En contraposición a diversos artículos de la literatura, nuestro modelo hace énfasis en el efecto causado por la altura de los dispositivos sobre la distancia a la cual se genera discontinuidad en el modelo de propagación, encontrándose que dicha discontinuidad describe un comportamiento exponencial decreciente donde a medida que la altura aumenta, la discontinuidad se aproxima al transmisor, hasta una distancia límite de 60 metros, a partir de la cual la altura de los dispositivos deja de influir en la distancia donde se produce la discontinuidad.

Palabras clave: ZigBee, RSSI, modelización, canal inalámbrico

Abstract: In the present work we are modeling a propagation channel for a point-to-point (PtP) communication network between devices, using ZigBee technology in 2.4 GHz and suburban environments, in order to provide tools for the scientific community that manage planning and sizing of networks, a model is adjusted specifically to networks with these characteristics that will allow to increase the efficiency and to reduce the implicit costs. The model presented is obtained by interpolating the Received Signal Strength Indicator (RSSI) during the deployment of a PtP network of variable length from 2 to 160 meters, modifying the height of the devices in intervals of 25 centimeters and adjusting the resulting curves to known mathematical models. In contrast to several articles in the literature, our model emphasizes the effect caused by the height of the devices over the distance to which discontinuity is generated in the propagation model, and it was found that this discontinuity describes a decreasing exponential behavior in the measure. And that the height increases, the discontinuity approaches the transmitter, up to a limit distance of 60 meters, from which the height of the devices ceases to influence the distance when the discontinuity occurs.

Key words: ZigBee, RSSI, modeling, wireless channel

1. Introducción

El estudio de propagación es importante para la planificación y dimensionamiento de redes inalámbricas, ya que proporciona el modelado físico del canal de comunicación permitiendo estimar la potencia necesaria para establecer el enlace de comunicación (de Sales Bezerra, Rodrigues de Sousa, da Silva Eleutério, & Silva Rocha, Agosto 2015). Los modelos de propagación son herramientas matemáticas para planear y optimizar las redes de sistemas inalámbricos (Timoteo, Cunha, & Cavalcanti, 2014) a través de cálculos matemáticos y mediciones que permiten caracterizar las pérdidas en un entorno determinado (Rappaport, 2009). El amplio crecimiento de tecnologías inalámbricas en la última década ha dado lugar al desarrollo de nuevos dispositivos creados para suplir diversas necesidades que van desde la salud hasta el fitness (Rappaport, MacCartney, Samimi, & Sun, 2015). Siendo así como se han desarrollado las redes inalámbricas de sensores (WSN, del inglés Wireless Sensor Network).

Existen muchos ejemplos de aplicaciones de WSN que están siendo usadas para el sector rural tales como la monitorización de aguas residuales, riego de plantaciones, control de emisiones de gases de invernadero entre otras (Kalita, Kumar, & Kar, 2011). ZigBee es una tecnología inalámbrica global abierta basada en el estándar IEEE 802.15.4 y que opera en bandas no licenciadas (868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz) (IEEE). En la actualidad las redes de sensores inalámbricos utilizan ZigBee para su comunicación (Tabassum & Zen, 2015). La comunidad científica encargada de realizar el dimensionamiento y planificación de redes basadas en tecnología ZigBee no cuentan con un modelo de propagación específico para redes de estas características y con distancias de hasta 160 metros entre dispositivos por lo que utilizan modelos de propagación generalizados para las comunicaciones inalámbricas como son por ejemplo COST 231 (de Brito, 1993), Okumura Hata (Schneider, Lambrecht, & Baier, 1996), Espacio Libre (Manneback, 1923), entre otras. Con una adecuada planificación y dimensionamiento de este tipo de redes se lograría aumentar la eficiencia y disminuir los costos implícitos de las mismas. Para lograr este objetivo es necesario contar con un modelo de propagación confiable y de bajo error cuadrático medio.

Bajo esta premisa en la literatura se encuentran varios modelos de propagación que se han generado para diversas redes inalámbricas con distintos estándares, en el artículo de (Sujak, Ghodgaonkar, Mohd, & Khatun, 2005) los autores presentan un modelo de propagación de una red inalámbrica WiFi bajo el estándar IEEE.802.11b para entornos indoors variando la altura del punto de acceso utilizado y considerando los obstáculos presentes. Por otra parte en (de Souza & Lins, 2008) los autores realizan una modelización de propagación de una red inalámbrica WiFi bajo el estándar IEEE.802.11g en

ambientes indoor para la generación del modelo y utilizan ambientes outdoors para validarlo. En el caso específico de redes inalámbricas que trabajan con tecnología ZigBee podemos encontrar diversas modelizaciones, en (Gao & Lan, 2013) los autores modelan mediante simulación el canal para comunicar ZigBee a través de la atmósfera a varios kilómetros de distancia, en su análisis describen que su modelo de propagación bordea un error del 10%. Adicionalmente en (Pellegrini, Persia, Volponi, & Marcone, 2011) se modela el canal de comunicación para ZigBee utilizando mediciones de la potencia de la señal recibida (RSSI) en tres entornos distintos, pero a distancias menores a 10 metros. Finalmente en (Moschitta, Macii, Trenti, Dalpez, & Bozzoli, Mayo 2012) se realiza la modelización del canal para una red ZigBee desplegada a una distancia máxima de 4 metros en condiciones ideales utilizando una cámara anecoica para eliminar interferencias causadas por el ambiente.

En este contexto, en base a la investigación realizada no existen trabajos que modelen el canal inalámbrico de enlaces en ambientes externos, por lo tanto el objetivo del presente trabajo consiste en caracterizar el canal inalámbrico en una red punto a punto entre dispositivos que utilicen tecnología ZigBee a una frecuencia de 2.4GHz en ambientes exteriores. El modelo resultante se obtiene tras analizar la potencia RSSI recibida al momento de comunicar dos dispositivos ZigBee en un rango de 2 a 160 metros con línea de vista en una superficie plana y sin obstáculos en el trayecto, adicionalmente se consideró la influencia de la altura sobre el suelo de las antenas de los dispositivos al momento de la comunicación.

El presente documento está organizado de la siguiente manera. En la sección II se explica los materiales y métodos utilizados para el despliegue de la red PtP con tecnología ZigBee. En la sección III se describe el análisis estadístico realizado a los datos obtenidos en el despliegue de la red. En la sección IV se muestra el resultado final de la modelización del canal ZigBee para exteriores a 2.4GHz. Finalmente en la sección V se realiza la discusión con los resultados de trabajos relacionados, así como las conclusiones propias de esta investigación y los trabajos futuros a desarrollar.

2. Materiales y métodos

El escenario escogido para la obtención de datos fue el parque Itchimbía en la ciudad de Quito ubicado a 1900 metros sobre el nivel del mar, dentro de este parque se seleccionó un tramo plano con línea de vista de 200 metros cercano al Centro Cultural Itchimbía ubicado en las coordenadas geográficas: Latitud 0°13'15.79"S y Longitud: 78°30'1.96"O mostrado en la figura 1.



Figura 1. Escenario de la Red Inalámbrica PtP

Para establecer la comunicación ZigBee se utilizaron los módulos XBee S2 PRO (XBee) fabricados por Digi International y configurados en modo API (del inglés: Application Programming Interface) para que puedan interactuar sin inconvenientes con los programas implementados sobre las tarjetas de desarrollo Waspote (Libelium) creado por la empresa Libelium.

La red PtP fue constituida en sus extremos por un terminal cumpliendo funciones de punto coordinador y en el otro extremo un terminal cumpliendo funciones de dispositivo final. En el extremo del dispositivo final se realiza un envío permanente de paquetes hacia el punto coordinador llenos de información aleatoria, utilizando el programa WaspZB_random (Libelium) proporcionado por el propio fabricante Libelluim para garantizar el envío de información aleatoria, mientras que en el punto coordinador se reciben estos paquetes despreciando los datos contenidos y almacenando únicamente el parámetro RSSI con que llegaron dichos paquetes utilizando el programa WaspXBeeZB_3_gettingRSSI (Libelium) integrado en el IDE (del inglés: Integrated Development Enviroment) v2.0 de Waspote. El modelado se lo realizó considerando el parámetro RSSI, variando la distancia de la red PtP en un rango de 2 a 160 metros debido a las características de alcance de los equipos utilizados en la medición y posteriormente modificando la altura de los dispositivos con respecto al suelo. Utilizando este procedimiento y programas desarrollados en el IDEv2.0 de Waspote e instalados en ambos dispositivos extremos de la red, tanto en el punto coordinador como en el dispositivo final, se logra la obtención de 200 muestras por minuto que son enviados por conexión serial desde el punto coordinador hacia un computador para almacenar los datos recibidos, manteniendo la conexión por dos minutos para conseguir 400 muestras por punto y así disminuir el error cuadrático medio.

3. Modelización del canal Zigbee

Una vez obtenidas las mediciones del parámetro RSSI se procede a calcular la mediana en cada punto medido de las tres redes no simultáneas desplegadas en el escenario (a 25cm, a 50cm y a 75cm del suelo), se trabaja con la mediana para equilibrar las dispersiones de las muestras adquiridas. Como se muestra en la Figura 2 la altura a la que fueron colocados los dispositivos influyen en la pendiente de los valores obtenidos, por tal motivo se procede a analizar de forma independiente cada caso y al final realizar una interpolación de resultados.

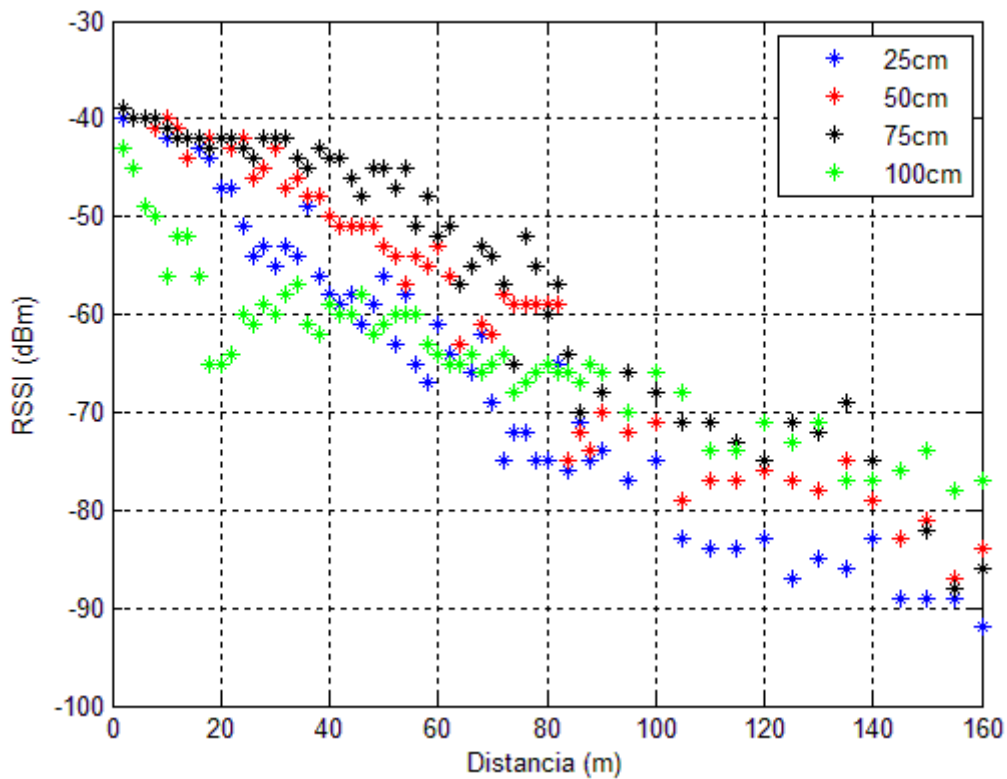


Figura 2. Mediciones obtenidas en todos los puntos

Posteriormente se consideran los valores que se encuentran en un intervalo de confianza en el rango de la mediana ± 1 desviación estándar para disminuir el error cuadrático medio y los valores fuera de este intervalo son descartados ya que estos valores incrementarían el error. Con los valores obtenidos se procede a realizar la modelización, en (Ahmed, Orfali, Khattab, & Mohamed, 2011) se determinó que el promedio de pérdidas de un enlace (PL) a una distancia d entre el transmisor y el receptor viene dado por:

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10 n \log\left(\frac{d}{d_0}\right), \tag{1} \quad 156$$

donde n es el exponente de las pérdidas de trayecto y d_0 es la distancia de referencia cercana.

Como se puede observar en la Figura 3, cuando los terminales se encuentran a 25cm sobre el nivel del suelo, se encuentra un punto de discontinuidad a los 105 metros por ende se realiza el ajuste de la curva en dos intervalos, de 2 a 105 metros y de 105 a 160 metros para lograr un mejor ajuste de curva.

En la Tabla 1 se muestran los coeficientes de (1) que describen el comportamiento de la curva al realizar la medición a 25 centímetros de altura sobre el suelo, el ajuste tiene un error cuadrático medio del 2.27%.

ALTURA DE LOS DISPOSITIVOS A 25cm	
Intervalo de 2 a 105 metros	
$PL(d_0)_1 = -11.55$	$n_1 = -2.99$
Intervalo de 105 a 160 metros	
$PL(d_0)_2 = 7.298$	$n_2 = -4.431$
Error	
$e = 2.27 \%$	

Tabla 1. Constantes y errores obtenidos para altura de los dispositivos a 25cm.

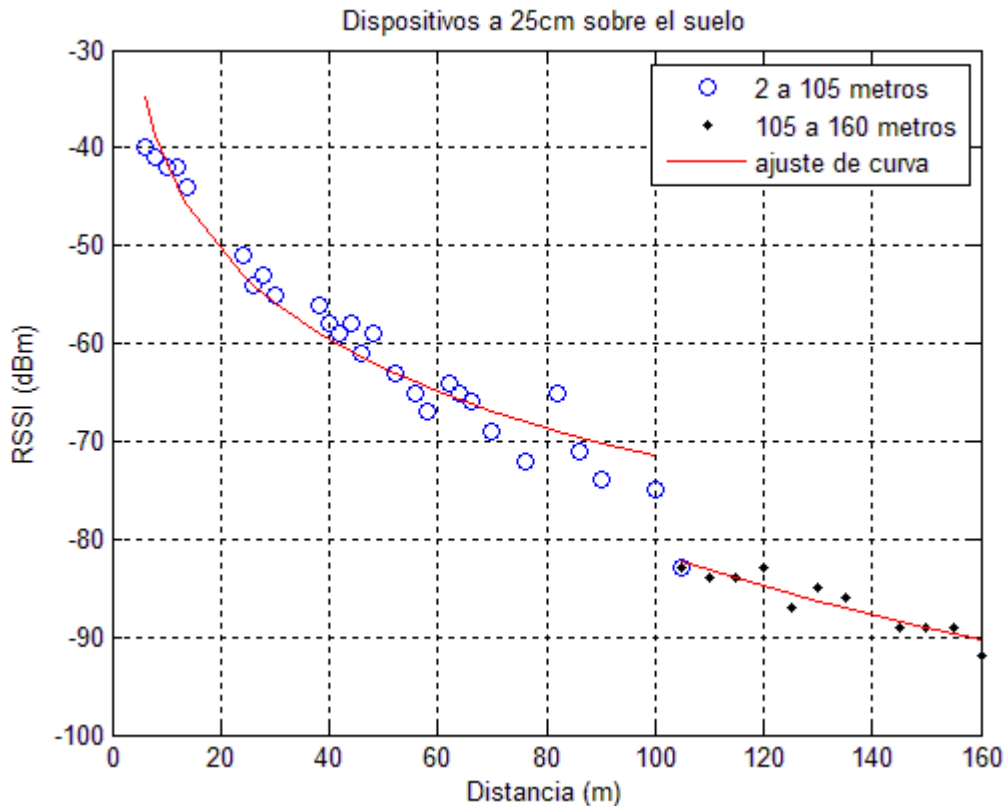


Figura 3. Dispositivos desplegados a 25cm sobre el suelo

Al analizar en el caso donde los dispositivos fueron ubicados a 50cm sobre el nivel del suelo, mostrado en la Figura 4, se determina que existe una discontinuidad ubicada a los 80 metros, por tal motivo se procede a dividir en dos intervalos, de 2 a 80 metros y de 80 a 160 metros, para lograr un mejor ajuste de curva.

En la Tabla 2 se observan los coeficientes obtenidos al ajustar a (1) las mediciones realizadas a una altura de 50 centímetros sobre el suelo, con dicho ajuste se obtiene un error cuadrático medio del 2.77%.

ALTURA DE LOS DISPOSITIVOS A 50cm	
Intervalo de 2 a 105 metros	
$PL(d_0)_1 = -21.57$	$n_1 = -1.87$
Intervalo de 105 a 160 metros	
$PL(d_0)_2 = 3.128$	$n_2 = -3.88$
Error	
$e = 2.77\%$	

Tabla 2. Constantes y errores obtenidos para altura de los dispositivos a 50cm.

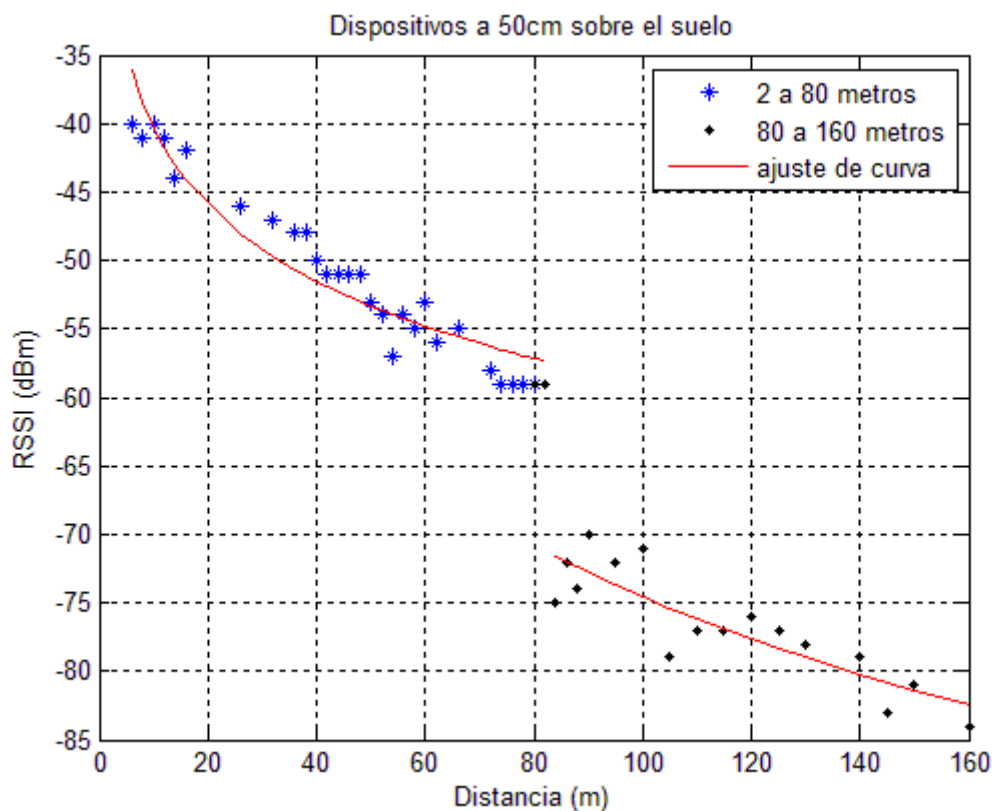


Figura 4. Dispositivos desplegados a 50cm sobre el suelo

A continuación se analiza el caso en el cual los dispositivos fueron colocados a una altura de 75cm sobre el nivel del suelo (Figura 5), donde se puede visualizar que el punto de discontinuidad se presenta a los 60 metros y de igual forma que en los procesos anteriores, se dispone a dividir en dos intervalos, de 2 a 60 metros y de 60 a 160 metros para optimizar los resultados al realizar el ajuste de la curva. En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de (1) que describen el comportamiento de la curva al realizar la medición a 75 centímetros de altura sobre el suelo, el ajuste tiene un error cuadrático medio del 1.95%

ALTURA DE LOS DISPOSITIVOS A 75cm	
Intervalo de 2 a 105 metros	
$PL(d_0)_1 = -35.87$	$n_1 = -0.542$
Intervalo de 105 a 160 metros	
$PL(d_0)_2 = 84.46$	$n_2 = -7.614$
Error	
$e = 1.95 \%$	

Tabla 3. Constantes y errores obtenidos para altura de los dispositivos a 75cm.

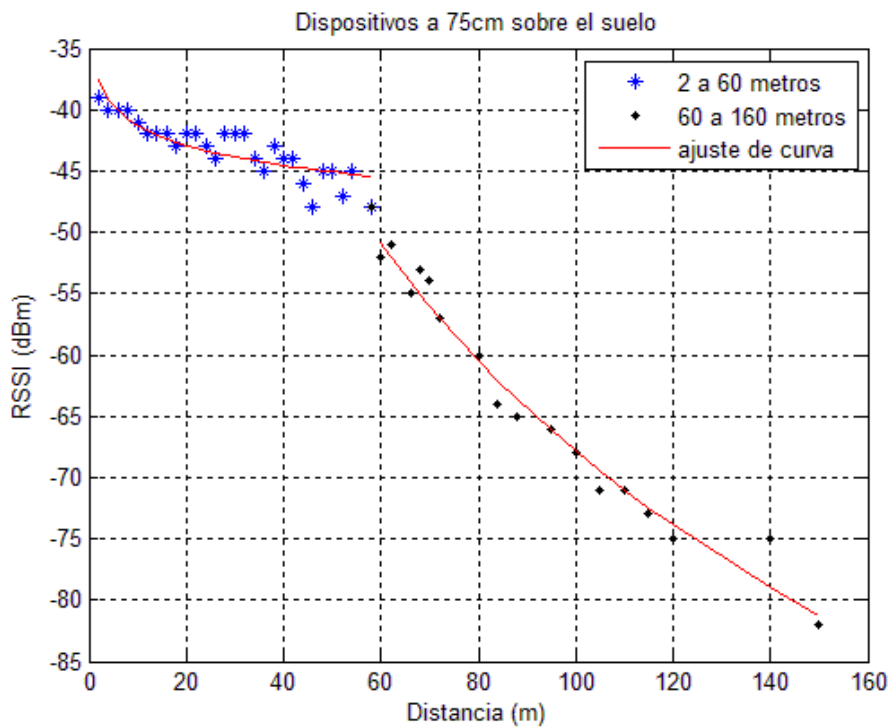


Figura 5. Dispositivos desplegados a 75cm sobre el suelo

Finalmente se realiza el análisis cuando los dispositivos fueron colocados a una altura de 100cm sobre el nivel del suelo (Figura 6), donde se puede visualizar que el punto de discontinuidad se presenta a los 60 metros y de igual

forma que en los procesos anteriores, se divide en dos intervalos, de 2 a 60 metros y de 60 a 160 metros para optimizar los resultados al realizar el ajuste de la curva.

ALTURA DE LOS DISPOSITIVOS A 100cm	
Intervalo de 2 a 105 metros	
$PL(d_0)_1 = -38.62$	$n_1 = -1.367$
Intervalo de 105 a 160 metros	
$PL(d_0)_2 = -6.231$	$n_2 = -3.191$
Error	
$e = 1.72\%$	

Tabla 4. Constantes y errores obtenidos para altura de los dispositivos a 100cm.

En la Tabla 4 se observan los coeficientes de (1) que describen el comportamiento de la curva al realizar la medición a 100 centímetros de altura sobre el suelo, el ajuste tiene un error cuadrático medio del 1.72%

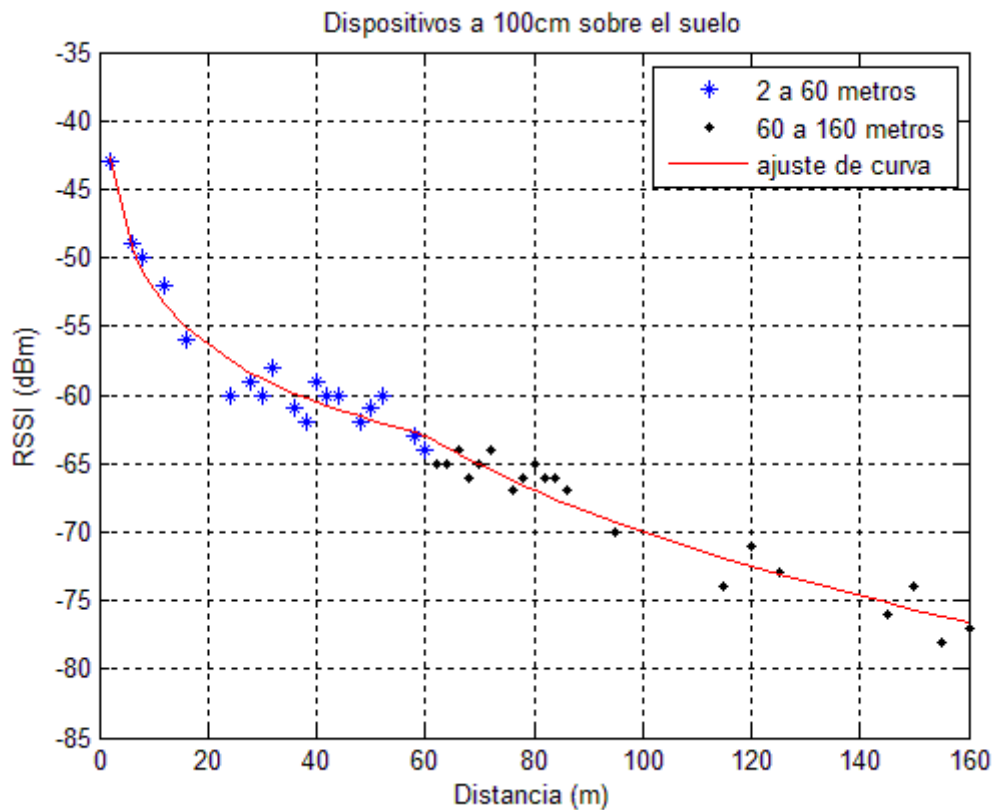


Figura 6. Dispositivos desplegados a 100cm sobre el suelo

Considerando los puntos de discontinuidad hallados se determinó que dicha discontinuidad responde a una forma exponencial, variando con respecto a la altura de los dispositivos, como se muestra en la Figura 7.

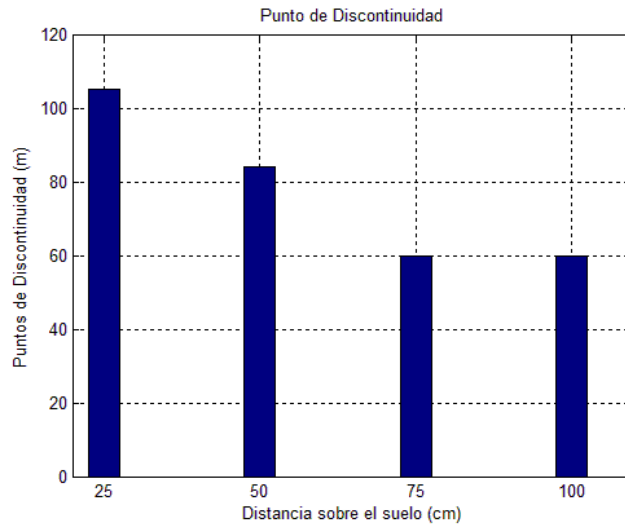


Figura 7. *Puntos de Discontinuidad*

Analizando la Figura 7 se observa que a mayor altura sobre el suelo están colocadas las antenas, el punto de quiebre tiende a acercarse al punto coordinador de la red desplegada y que la posición de la discontinuidad describe una curva exponencial decreciente con asíntota en 60 metros.

4. Ecuación general de la Modelización del Canal Zigbee para una red punto a punto, sin obstáculos Y Con Línea de vista en entornos Outdoors

Interpolando los resultados encontrados en la sección anterior, comparando entre varias aproximaciones (lineales, cuadráticas y logarítmicas) se determinó que la aproximación con un menor error cuadrático medio entre los valores calculados y los valores medidos viene dado por el siguiente modelado:

Las pérdidas del enlace vienen dado por la ecuación general (1):

Donde $\left(\frac{d}{d_0}\right)$ será la distancia a la cual se desea calcular la pérdida, los coeficientes de la ecuación dependen del punto de discontinuidad (p) que será dado por (2), modelado en forma exponencial decreciente

$$p = (200 \times 0,0025^h) + 60 \quad (2)$$

Siendo: $h = \text{altura de las antenas (metros)}$

A partir de (2), para una distancia $\left(\frac{d}{d_0}\right) < p$ los coeficientes serán dados por (3) y (4):

$$PL(d_0) = 0.5418 \times p + 67.96 \quad (3)$$

$$n = -5.442 \times 10^{-3} \times p + 0.2716 \quad (4)$$

Finalmente retomando (2) para una distancia $\left(\frac{d}{d_0}\right) > p$ los coeficientes de la ecuación general serán dados por (5) y (6):

$$PL(d_0) = 0.07972 \times p^2 - 14.84 \times p + 689.6 \quad (5)$$

$$n = -4.04 \times 10^{-4} \times p^2 + 0.07374 \times p - 3.731 \quad (6)$$

5. Discusión y Conclusiones

En (Pellegrini, Persia, Volponi, & Marcore, 2011) se mide el parámetro RSSI en relación a la Distancia, en entornos indoors reales y se determina que la propagación se ve afectada por la polarización de las antenas de los dispositivos, más no se analiza si la altura de las antenas de los dispositivos va a influir en las pérdidas de propagación.

Por otra parte en (Moschitta, Macii, Trenti, Dalpez, & Bozzoli, Mayo 2012) se realiza el análisis de propagación dentro de una cámara anecoica a una distancia máxima de 4 metros, presentando un modelo válido en condiciones ideales sin interferencias haciéndolo un modelo limitado y poco aplicable en la realidad, el modelo presentado en esta investigación fue caracterizado a partir de datos obtenidos en campo en condiciones reales permitiendo que sea usado en aplicaciones para redes que cumplan con las características mencionadas previamente y desplegadas a una distancia de hasta 160 metros.

Mientras que en (Gao, & Lan, 2013) se obtiene un modelo de propagación mediante simulación para comunicación ZigBee a grandes distancias, con un modelo resultante de alto error, alrededor de 10% debido a los intervalos amplios (hasta cientos de metros) entre puntos de obtención de datos, a diferencia del modelo obtenido en la presente investigación, en el cual los datos son tomados en campo y se logra obtener un error cuadrático medio aproximado del 3%.

Finalmente en (Lara, Garcés, & Lanchimba, 2016) se obtiene un modelo del canal de propagación ZigBee a una frecuencia de 2.4GHz en entornos outdoors con un ajuste logarítmico para distancias de hasta 200 metros, donde se encuentra una discontinuidad a los 60 metros. Mientras que en el presente trabajo se realiza la modelización del canal de propagación ZigBee a 2.4GHz de entornos outdoors, analizando la afectación de la discontinuidad a causa de la altura de los dispositivos, la cual describe una curva exponencial decreciente donde a medida que la altura aumenta, la discontinuidad se aproxima al dispositivo que transmite la señal hasta llegar a su asíntota en 60 metros, punto en el que tiende a estabilizarse dicha discontinuidad, es justificable que a mayor altura el punto de discontinuidad tienda a acercarse al dispositivo transmisor debido a la influencia de la onda reflejada, como en (Sherstyukov, Latipov, & Sherstyukov, 2011) donde sus autores analizan la influencia de las ondas reflejadas sobre la propagación de ondas de radio, es coherente pensar en base a nuestra investigación que a menor altura de los dispositivos, las ondas reflejadas van a tener un ángulo mayor permitiendo una incidencia a mayor distancia, mientras que por el contrario a una mayor altura la incidencia de las ondas reflejadas va a ser menor y el punto de discontinuidad se va acercar al dispositivo transmisor. El modelo presentado en este trabajo divide a la propagación en dos segmentos para su análisis, siendo el punto decisivo, el punto donde se genera la discontinuidad, dicho punto es considerado en la presente investigación generando una ecuación matemática para poder localizarlo y a partir de ahí calcular las pérdidas del enlace a una determinada distancia a una altura precisada, entregando a la comunidad científica un modelo más completo capaz de contribuir a la mejora de la planificación y dimensionamiento de una red para sectores con baja densidad poblacional.

Estamos interesados en seguir con esta línea de investigación indagando sobre las causas que generan la brecha en la propagación de las ondas, tratado en el presente trabajo como punto de discontinuidad. Por otra parte se pretende desarrollar pruebas en un mayor número de escenarios, profundizando en el efecto causado por los obstáculos y la influencia de la

línea de vista, para lograr extender el alcance del modelo presentado y brindar a la comunidad científica un modelo de propagación más general.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por el apoyo económico en el desarrollo de este trabajo a través del Proyecto 2013-PIT-014 y 2015-PIC-004

Referencias:

Ahmed, I., Orfali, S., Khattab, T., & Mohamed, A. (2011). Characterization of the Indoor-Outdoor Radio Propagation Channel at 2.4 GHz. IEEE Conference and Exhibition (GCC). Dubai.

de Brito, G. S. (1993). Overview of the activities of the project cost 231 "Evolution of land mobile radio (including personal) communications. Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Universal Personal Communications, Ottawa, 560-564.

de Sales, T., de Sousa, J. A., da Silva, A. E., & Rocha, J. S. (2015). Accuracy of propagation models to power prediction in WSN ZigBee applied in outdoor environment. Sixth Argentine Conference on Embedded Systems (CASE). Buenos Aires.

de Souza, R., & Lins, R. (2008). A new propagation model for 2.4 GHz wireless LAN. 14th Asia-Pacific Conference on Communications, (págs. 1-5).

Gao, L., & Lan, D. Y. (2013). Transmission Distance Estimation and Testing for 2.4GHz ZigBee Applications. Fourth International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies (EIDWT), Xian.

IEEE. (s.f.). IEEE 802.15.TG4a.

Kalita, Kumar, H., & Kar, A. (2011). Simulator based performance analysis of Wireless Sensor Network-A new approach. IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob).

Lara, R. A., Garcés, K., & Lanchimba, R. A. (2016). Modelamiento del canal de propagación con Zigbee para escenarios outdoors. RECI.

Libelium. (s.f.). Waspote Datasheet. Obtenido de http://www.libelium.com/v11-files/documentation/waspote/waspote-datasheet_eng.pdf

Libelium. (s.f.). Wasmote Programing ZigBee. Obtenido de http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote-zigbee-networking_guide.pdf

Libelium. (s.f.). Wasmote software WaspZB_random. Obtenido de <https://www.libelium.com/forum/viewtopic.php?p=46053&sid=172be97f14f58e5e9897e484d36ecfec>

Manneback, C. (1923). Radiation from transmission lines. *Journal of the American Institute of Electrical Engineers*, 95-105.

Moschitta, A., Macii, D., Trenti, F., Dalpez, S., & Bozzoli, A. (Mayo 2012). Characterization of a Geometrical Wireless Signal Propagation Model for Indoor Ranging Techniques. *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2598-2603.

Pellegrini, R., Persia, S., Volponi, D., & Marcone, G. (2011). RF Propagation Analysis for ZigBee Sensor. *17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 339-343.

Rappaport, T. S. (2009). *Comunicações sem fio: Princípios e Práticas*. Pearson Prentice Hall.

Rappaport, T. S., MacCartney, G. R., Samimi, M. K., & Sun, S. (2015). Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design. *IEEE Transactions on Communications*.

Schneider, I., Lambrecht, F., & Baier, A. (1996). Enhancement of the Okumura-Hata propagation model using detailed morphological and building data. *Seventh IEEE International Symposium on, Taipei,*, 34-38.

Sherstyukov, O. N., Latipov, R. R., & Sherstyukov, R. O. (2011). Features of reflection at limiting range of one-hop radiowaves. *XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, (pp. 1-2).

Sujak, B., Ghodgaonkar, D., Mohd, B., & Khatun, S. (2005). Indoor Propagation Channel Models for WLAN 802.11b at 2.4GHz ISM Band. *Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics*.

Tabassum, M., & Zen, K. (2015). Performance evaluation of ZigBee in indoor and outdoor environment. *9th International Conference on Kota Samarahan*.

Timoteo, R., Cunha, D., & Cavalcanti, G. (2014). A proposal for path loss prediction in urban environments using support vector regression. *The Tenth Advanced International Conference on Telecommunications*.

Notas biográficas:



R. Lara-Cueva, recibió el grado de Ing. en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, en 2001. El grado de Master en Sistemas Inalámbricos y Tecnologías Relacionadas del Politécnico di Torino, Torino, Italia, en 2005. La Maestría y Doctorado en Redes de Telecomunicación para Países en Desarrollo de la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España en 2010 y 2015, respectivamente. En 2002, se unió al Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas—ESPE, Sangolquí, Ecuador, donde ha sido profesor auxiliar, llegando a ser profesor asociado en el 2005 y profesor titular principal en 2016. Desde 2007, el ha sido Director del Centro de Investigación de Redes Ad Hoc (CIRAD), además de haber fundado el grupo de investigación en Sistemas Inteligentes (WiCOM-Energy) en el 2011. Sus principales intereses de investigación incluyen el procesamiento digital de señales, ciudades inteligentes, sistemas inalámbricos y la teoría de aprendizaje automático. El es Autor y Coautor en 12 proyectos de investigación financiados con fondos públicos y ha dirigido 7 de ellos.



D. Merino-Jácome, es estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Ecuador. En el año 2016 se unió al Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes (WICOM-Energy) como ayudante de investigación. Sus áreas de interés incluyen la inteligencia artificial y las comunicaciones inalámbricas.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.