

Evaluación de la conectividad IPV6 en la banda de 2,4 Ghz

Carlos Roberto Egas Acosta¹ Edgar Francisco Guamán Gavilanez²

¹ Profesor, Pontífice Universidad Católica del Ecuador, Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito, Ecuador, 17012184.

² Investigador Colaborador Rother E-513 y Hope Norton, Quito, Ecuador.

Autores para correspondencia: cregas@puce.edu.ec, efggcomputer@hotmail.com

Fecha de recepción: 28 de septiembre 2015 - Fecha de aceptación: 12 de octubre 2015

ABSTRACT

Nowadays, there are many wireless technologies that work in the 2.4GHz ISM band. This is extremely true for data networks in the local and personal area, which are called WLAN and WPAN, respectively. Considering the growing popularity of IEEE802.11 standard and the great 6LoWPAN potential of use related to IoT (which works with the IEEE 802.15.4 standard), it raises a several questions related to their coexistence specifically referring to the interference between them. This paper examines the effects of IEEE 802.11 standard over IEEE 802.15.4 transmissions, by analyzing delays and loss of connectivity when they work simultaneously. The study has made by implementing a prototype network using hardware *Wasmote* 6LoWPAN, *Libelium* developed in partnership with IBM development platform, *Mote Runner*. This prototype network is exposed to different interference conditions caused by the IEEE 802.11 standard. Measures are have been tabulated and analyzed in order to explain different behaviors and determine the best conditions to minimize delay and optimize the performance of transmissions.

Keywords: ISM, WLAN, WPAN, coexistence, interference, IEEE 802.11, 6LowPAN, IoT, IEEE 802.15.4, IBM, Mote Runner.

RESUMEN

Actualmente existe una gran cantidad de tecnologías inalámbricas que operan sobre la banda ISM (*Industry Science and Medical*) de 2,4 GHz, como son las redes WLAN y WPAN. Considerando la gran popularidad del estándar IEEE 802.11, el gran potencial de aplicación del estándar 6LowPAN que utiliza 802.15.4 en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), se plantean una serie de interrogantes relacionados con su coexistencia, específicamente refiriéndose a la interferencia que se puede producir entre ellos. En el presente trabajo se realiza un estudio de los tiempos de retardo y su influencia en la pérdida de conectividad que se producen cuando estos dos estándares funcionan simultáneamente. El estudio se lo ha realizado implementando un prototipo de red IEEE 802.15.4 utilizando el hardware *Wasmote*, desarrollado por *Libelium* en asociación con la plataforma de desarrollo de IBM, *Mote Runner*. Este prototipo de red es expuesto a diferentes condiciones de interferencia producidas por el estándar IEEE 802.11. Los resultados obtenidos, han sido tabulados, graficados y analizados con el fin de exponer los distintos patrones de comportamiento, así como de plantear posteriormente las mejores condiciones de uso, para minimizar retardos y optimizando el rendimiento de las transmisiones.

Palabras clave: ISM, WLAN, WPAN, IEEE 802.11, 6LowPAN, IEEE 802.15.4, interferencia, coexistencia, *Wasmote*, *Libelium*, IBM, *Mote Runner*.

1. INTRODUCCIÓN

La acelerada evolución de las redes de datos, la creciente popularidad de tecnologías de comunicaciones inalámbricas como es el caso de IEEE 802.11 y IEEE 802.15.4, su apertura a numerosas aplicaciones de usuario, han permitido introducir un nuevo concepto en nuestro medio: “Internet de todas las cosas - IoE (*Internet of Everything*)”. Lo atractivo de lo inalámbrico combinado al confort y nuevas tendencias tecnológicas, ha producido un interés global en satisfacer las crecientes necesidades de los usuarios.

Dada la gran popularidad de tecnologías que trabajan dentro de la banda ISM de 2,4GHz, al ser de uso libre, se presentan problemas de interferencia por la gran cantidad de nodos que ocupan esta banda, influyendo en la confiabilidad de los enlaces. Por este motivo es necesario realizar un análisis de la convivencia de las tecnologías que utilizan esta banda de frecuencias, para identificar los problemas y proponer soluciones para un correcto funcionamiento y control de interferencia.

La evaluación de los problemas que causa la coexistencia los estándares en esta banda de frecuencia en la conectividad de la red, se realizó en una red WSN que trabaja con IPV6, configurando el prototipo “*Waspnote PRO V1.2 Development Kit*” para realizar las pruebas con los estándares IEEE 802.15.4 y el IEEE 802.11 considerando condiciones extremas de tráfico.

2. AMBIENTE DE DESARROLLO

2.1. Estándar IEEE 802.15.4

La capa física o PHY de IEEE 802.15.4 define la disposición de los canales dentro del espectro de 2.4 GHz entre otras frecuencias, la misma que permite trasladarse dentro del espectro. En el rango de frecuencias de 2,4 a 2,4835 GHz, se definen 16 canales como se indica en la Figura 1 (Garg, 2010).

Los dispositivos que trabajan con este estándar, se caracterizan por trabajar con potencias de salida muy bajas, inferiores a 0 dBm. A pesar que las regulaciones gubernamentales en los Estados Unidos y en todo el mundo permiten una potencia de salida de hasta 1 W en la banda de 2.400 MHz, los dispositivos que operan en este estandar transmiten a niveles de potencia menores, eliminando la necesidad de filtros para suprimir las emisiones fuera de banda, ya que los niveles de potencia serán de entre -3 dBm y 10 dBm (Cooklev *et al.*, 2004).

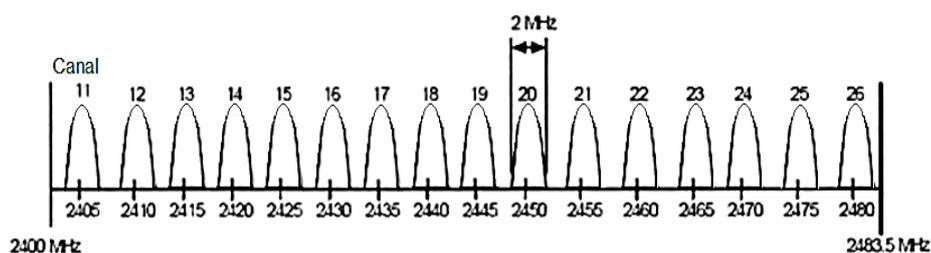


Figura 1. Canalización de IEEE 802.15.4 en la banda de 2.4 GHz.

El estándar 6LoWPAN (IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks) posibilita el uso de IPv6 sobre redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Los nodos de la red sensor inalámbrica son dispositivos de baja potencia, que forman parte redes de área personal (PAN) (Chatterjea *et al.*, 2005).

2.2. El Estándar IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 o también llamado Wifi fue definido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) en 1997 con el propósito de reemplazar la conexión alámbrica Ethernet

(Cooklev *et al.*, 2004; Tustón, 2012). Por ejemplo los estándares 802.11g, y de forma similar que 802.11b operan en la banda de 2.4 GHz y con anchos de banda de aproximadamente 30 MHz, lo que es un tercio de la banda (Tustón, 2012). La Capa Física establece las especificaciones que permiten transformar los paquetes de datos provenientes de la Capa MAC en señales eléctricas analógicas apropiadas para ser transmitidas al medio, en este caso el medio inalámbrico (Tuston, 2012), la subcapa PHY define la división de la frecuencia en canales, donde cada uno ocupa 22 MHz de ancho de banda y permite tres canales no interferentes espaciadas con 25 MHz de separación en la banda de frecuencia de 2,4 GHz (véase la Figura 2) (Garg, 2010). La máxima potencia radiada permitida en la subcapa PHY varía de una región a otra, esta potencia de transmisión está directamente relacionada con el rango de cobertura requerido que una implementación particular requiera, sin embargo para Norteamérica el límite de potencia de operación es 1000mW (Garg, 2010).

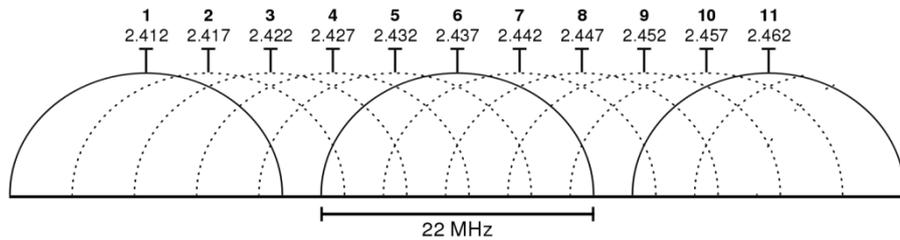


Figura 2. Canalización de IEEE 802.11 en la banda de 2.4 GHz.

2.3. Interferencias entre estándares

Es necesario plantear, cuáles deberían ser las condiciones adecuadas para una óptima convivencia de ambas tecnologías en la banda de 2.4GHz. Si bien es cierto que cada una de ellas puede ser configurada en un canal de operación de los especificados, en la práctica no existe una gestión adecuada del uso del espectro. Por este motivo es necesario determinar las condiciones bajo las cuales esta convivencia puede resultar perjudicial para cada uno de ellos. La interferencia se produce debido que un canal del estándar IEEE 802.11 cubre el espacio de frecuencia de cuatro canales del estándar IEEE 802.15.4, razón por la cual al trabajar al mismo tiempo se generan interferencias con pérdida de conectividad.

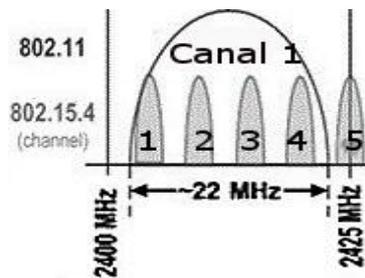


Figura 3. Interferencia de canales de IEEE 802.11 y IEEE 802.15.4.

Una red 802.11 está asociada con aplicaciones de video, telefonía y datos con tráfico transaccional y continuo de alta velocidad, mientras que IEEE 802.15.4 básicamente está asociado a monitoreo y control de dispositivos o tráfico transaccional a baja velocidad. Si bien en un inicio de la investigación se planteó determinar el grado de influencia mutuo entre estos dos estándares, con los antecedentes anteriores y los resultados obtenidos, el presente trabajo se concentró al análisis de como la interferencia generada por IEEE 802.11 afecta a la redes que trabaja con IEEE 802.15.4 y su efectos en una adecuada confiabilidad de la conectividad.

3. TRABAJOS RELACIONADOS

Dada la importancia del tema tratado, existen varias investigaciones relacionadas al tema en las que analizan la interacción de los estándares que trabajan en la banda de 2,4 Ghz, evaluando los problemas que se ocasionan. En trabajos relacionados (Tustón, 2012; Pollin *et al.*, 2008; Shuaib *et al.*, 2006; Won *et al.*, 2005), se hacen estudios comparativos entre ambas tecnologías aplicando el método experimental y analítico la mayoría desde el punto de vista del nivel de enlace. En nuestro caso el problema lo hemos tratado desde el punto de vista del nivel de red evaluando la pérdida de paquetes. Este análisis diferencia a la presente investigación con las demás, ya que al no disponer de un *Sniffer* IEEE 802.15.4 se ha logrado relacionar las retransmisiones a la variación en los intervalos de tiempo de llegada al *Gateway* entre dos paquetes consecutivos. Adicionalmente, otro importante aporte radica en que el presente análisis se lo ha realizado utilizando IPv6 y no IPv4 con el propósito de determinar cómo se ve afectada la conectividad de la red.

4. AMBIENTE DE PRUEBAS

Se implementó un prototipo de red 6LowPan que trabaja con IEEE 802.15.4 utilizando el hardware *Waspnote*, desarrollado por *Libelium* en asociación con la plataforma de desarrollo de IBM, *Mote Runner*. Se realizó las pruebas en un ambiente típico, como es el caso de un apartamento en un sector residencial, en donde se considera que existan aplicaciones de IoT asociadas con la domótica, y que requerirán la utilización de los dos estándares con la presencia de varios *Gateway* de otros usuarios que utilizan el estándar IEEE 802.11 y que se interfieren entre sí. En este ambiente se realizó el montaje del prototipo para la evaluación experimental, tal como se detalla en la Figura 4.

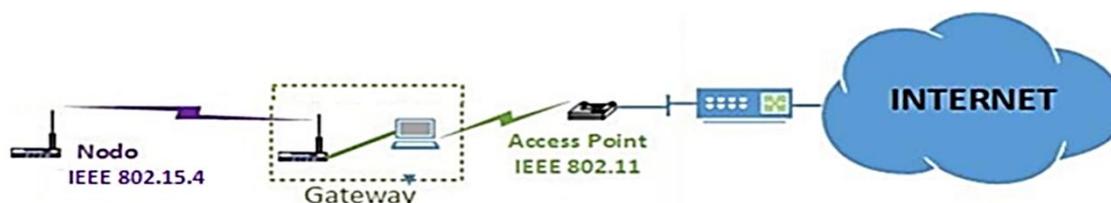


Figura 4. Ambiente de pruebas.

A futuro, el *Gateway* instalado para acceder a la red cableada del hogar, deberá manejar los dos estándares inalámbricos. En el prototipo en el cual se realizaron las pruebas se pueden identificar cuatro elementos fundamentales:

- **Gateway:** Constituido por un computador, utiliza el hardware proporcionado por *Libelium* y el software de IBM para manejar el estándar 6LowPAN, el cual permite conectar las tecnologías inalámbricas a la red cableada del hogar y al dispositivo que permite la conexión a Internet. El *Gateway* se compone de, una interfaz IEEE802.15.4 (hardware *Libelium*), una conexión Ethernet interna PC-Nodo de Borde y un interfaz IEEE 802.11 (incluida en el ordenador personal).
- ***Nodo IEEE 802.15.4:** Enviará información al *Gateway* continuamente con el fin de generar tráfico dentro de la red.
- ***Access Point IEEE 802.11:** *Access Point* que se conectaran a la red cableada utilizados para generar tráfico que ocupen las mismas bandas de frecuencia que IEEE 802.15.4, generar tráfico, provocar una ocupación de canales específicos dentro de la red IEEE 802.11 y con ello la generación de interferencia hacia la red IEEE 802.15.4.

- **Estaciones IEEE 802.11:** Se refiere a ordenadores conectados a la red Wifi/IEEE 802.11 .En ellas se realizará la generación de tráfico continuo a fin de simular un ambiente de ocupación de la red.

5. PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

Las pruebas se realizaron con el propósito de medir retardos y evaluar la conectividad en la red con la presencia de interferencia. Se registró los tiempos de envío y de llegada de los paquetes emitidos por los nodos IEEE 802.15.4 hacia el nodo *Gateway* y de esta manera determinar los tiempos de retardo y la pérdida de conectividad. Como se puede apreciar en la Figura 5, las transmisiones se realizaron cambiando los canales tanto del estándar IEEE 802.11 como del estándar IEEE 802.15.4 enfatizando en regiones coincidentes del espectro. Para el registro de la información requerida se utiliza el programa de análisis de paquetes Wireshark en su versión para Linux.

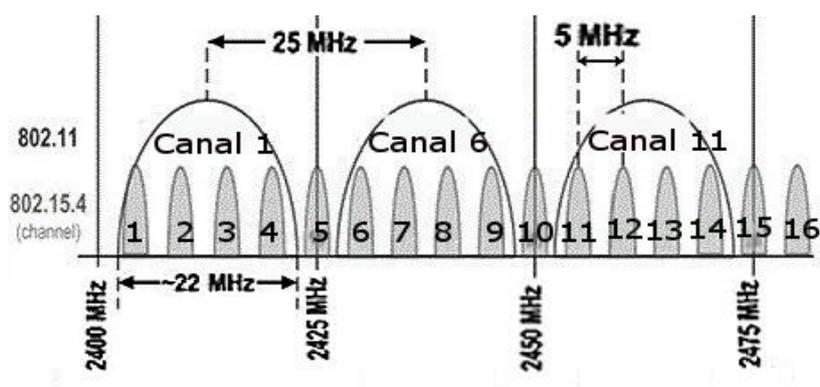


Figura 5. Canales de operación del estándar IEEE 802.11 e IEEE802.15.4.

Como se puede observar, el problema consiste en la coincidencia de regiones de frecuencia, por lo que se realizarán las pruebas en las diferentes combinaciones de canales de los dos estándares, de acuerdo a su ocupación dentro del espectro.

La realización y resultados de las pruebas han definido la presentación de los siguientes 5 experimentos considerandos como los más significativos, en lo que se relaciona con el nivel de interferencia del estándar IEEE 802.11 sobre la red IEEE 802.15.4. El primer experimento consiste en el registro de los tiempos de llegada de paquetes sin la presencia de interferencias, con el fin de poder establecer parámetros de referencia en base al cual se evalúan los restantes experimentos. El segundo se refiere al registro de llegada de paquetes al *Gateway* con la presencia de interferencia del estándar IEEE 802.11 generada por un solo *Access Point* conectado a un host que genera tráfico continuo con paquetes de 256 KB de longitud (Tamaño máximo de paquete soportado a fin de evitar una desagregación del dispositivo emisor de la topología). Los experimentos 3, 4 y 5 se refieren al mismo registro de tiempos pero con la incidencia de 2, 3 y 4 *Access Point* respectivamente. Cada uno de ellos adherido a un host que genera tráfico continuo de la misma forma que en el experimento 1.

Cada registro obtenido en Wireshark ha sido almacenado con el fin de disponer de la información de tiempos para realizar el cálculo de intervalos de tiempo entre la llegada entre paquetes consecutivos mediante la diferencia de tiempos de llegada, y de acuerdo a este parámetro analizar los 5 experimentos. En cada uno de los experimentos que implican interferencia (2, 3, 4 y 5) se realiza el cálculo del rendimiento de la transmisión con la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{\text{tiempo usado para enviar datos}}{\text{tiempo que ocupa el medio}} * 100\%$$

Cabe destacar que no se ha considerado aumentar el número de nodos emisores de información en la Red IEEE 802.15.4 considerando que los mismos no transmiten información de manera simultánea. Por ello se consideró necesario y suficiente un nodo IEEE 802.15.4 transmitiendo información continuamente al *Gateway*. Los retardos producidos en la red se relacionan a paquetes perdidos que implican una o varias retransmisiones ya procesamiento adicional dependiendo de si llegaron o no a su destino, que en este caso es el *Gateway*.

5.1. Experimento 1

Sin presencia del estándar IEEE 802.11y haciendo uso de *Wireshark*, se realizó el registro de valores de tiempos de llegada de 1000 paquetes enviados desde el nodo IEEE 802.15.4 hacia su *Gateway*. Cabe recalcar que se detectaron ciertas señales vecinas del estándar IEEE 802.11 que pudieron haber alterado el comportamiento normal, sin embargo se logró obtener la información requerida.

A partir de la diferencia entre tiempos de llegada se obtuvo intervalos de tiempo entre paquetes consecutivos. De esta forma se llegó al valor más frecuente de 2,51 segundos, con una frecuencia de 98% de los intervalos obtenidos como se muestra en la Tabla 1. Al valor más frecuente se lo tomó de referencia para contrastarlo con los demás experimentos en los cuales se induce interferencia de manera intencional. Los valores obtenidos con la interferencia han sido posteriormente contrastados con el valor más frecuente. Este intervalo de tiempo obtenido se debe entre otras cosas al tiempo de retardo por procesamiento de los nodos sensores, tiempo de envío de información entre otros.

Tabla 1. Valor intervalo de tiempo más probable en medio libre de interferencia.

Valor más Probable	Frecuencia repetición	Total muestras
2,51 segundos	980	1000

5.2. Experimento 2

Para este experimento, se incluyó la presencia de un *Access Point* conectado a una estación que genera tráfico continuo con paquetes de 256 KB de longitud (máximo valor admitido por los dispositivos para que no se produzca la desagregación de la topología).

Se tomaron medidas cambiando el número de canal de transmisión del estándar IEEE 802.15.4. Estas mediciones se repitieron cuando el AP transmitió en los Canales 1, 6, 11 con el fin de cubrir cada uno de los 3 canales no solapados del estándar IEEE 802.11 con todos los canales de IEEE 802.15.4, como se ilustra en la Figura 6. Toda la información acerca de los paquetes se la tomó en el *Gateway*, que es el que concentra toda la información enviada por el nodo.



Figura 6. Interferencia de canales IEEE802.15.4 e IEEE802.11 en experimento 2.

En la Figura 6 se puede apreciar las posibles combinaciones entre los canales de ambos estándares con las cuales se realizaron las mediciones. Es decir los canales contenidos en el mismo espacio de frecuencias, por ejemplo el canal 1 IEEE 802.11 con los 5 primeros de IEEE 802.15.4 el 6 con los 5 siguientes y el 11 con los restantes.

5.3. Experimento 3

El experimento 3 sigue básicamente el mismo proceso del experimento 2 en los canales 1, 6 y 11, a diferencia de que se ha duplicado los niveles de interferencia IEEE 802.11. Esta vez se tienen 2 *Access Point* conectados cada uno a una estación generando tráfico continuo con paquetes de 256KB a lo largo de todos los canales IEEE 802.15.4.

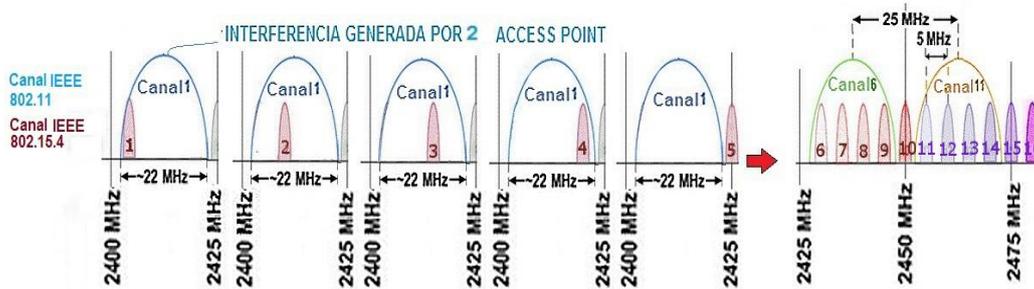


Figura 7. Interferencia de canales IEEE802.15.4 e IEEE802.11 en experimento 3.

5.4. Experimento 4

Para el experimento 4 aumenta se utilizan 3 *Access Point* cada uno conectado a una estación que genera tráfico continuo con paquetes de 256 KB. Al observar un patrón de comportamiento en experimentos anteriores y considerando la simetría de la ubicación de los canales de IEEE 802.15.4 respecto a los canales del estándar IEEE 802.11, se ha realizado solamente el estudio de los 7 últimos canales IEEE 802.15.4 y al correspondiente canal 11 de IEEE 802.11 (Figura 8).



Figura 8. Interferencia de canales IEEE802.15.4 y canal 11 IEEE802.11 en experimento 4.

5.5. Experimento 5

El quinto experimento también se centró en los siete últimos canales de IEEE 802.15.4 y el canal 11 del estándar IEEE 802.11, con la única diferencia de que esta vez se generaba tráfico a partir de 4 *Access Point* con sus respectivas estaciones generando tráfico similar a experimentos anteriores.

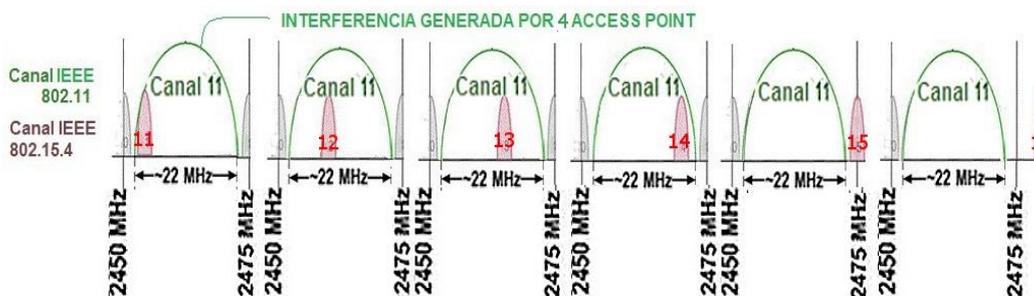


Figura 9. Interferencia entre el canal 11 IEEE 802.11 y canales IEEE 802.15.4 en experimento 5.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Gracias al experimento 1 se pudo determinar el intervalo ideal de tiempo que transcurriría entre la recepción de dos paquetes consecutivos que corresponde a 2.51 segundos. De la misma forma, en base a los restantes experimentos se ha podido constatar que las mejores condiciones donde el intervalo medio se asemeja al ideal de 2.51 segundos es en las zonas donde ciertamente no existe solapamiento. Es decir los canales 5, 10, 15 y 16 IEEE 802.15.4 (Figura 10).

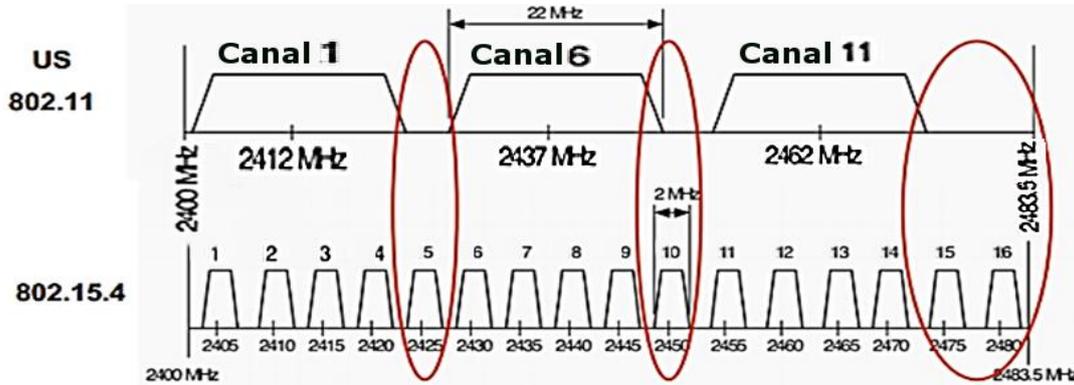


Figura 10. Comparación entre los canales de IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4.

Se observa un patrón de comportamiento muy variado, que nos da el indicio de una transmisión muy inestable, principalmente refiriéndose a los canales 1 y 6 IEEE 802.11. Esto es justificable dada la existencia de señales vecinas no deseadas sobre las cuales no se tenía ninguna potestad ya que parámetros típicos de funcionamiento de puntos de acceso inalámbricos domésticos son los dos primeros canales sin solapamiento. Dentro de los resultados obtenidos, se puede visualizar el peor resultado en cada región contenida dentro de cada canal IEEE802.11 comparando los experimentos 1 y 2, en lo que se refiere a rendimiento y desviación estándar. La Tabla 2 contiene columnas que indican el canal de operación de IEEE 802.11 como IEEE 802.15.4, así como el rendimiento, la desviación estándar y los retardos obtenidos tanto en el experimento 1 como en el experimento 2.

Tabla 2. Rendimiento de los intervalos más críticos de experimentos 2 y 3.

Canales		η (%)		Desviaciones(seg)		Retardo Medio(seg)	
IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	EX 2 %	EX3%	EX 2 %	EX3%	EX 2 %	EX3%
1	1	54.92	38.85	2.832	10.06	2.06	3.95
6	8	75.83	35.15	1.311	25.218	0.8	4.63
	12	96.54	68.77	0.36	1.507	0.09	1.14
11	13	72.75	81.76	1.688	1.122	0.94	0.56
	14	73.18	79.94	1.304	1.1202	0.92	0.63

En la Tabla 2 se encuentran escritos con negrilla los valores de menor rendimiento y mayor desviación estándar, por ejemplo, podemos mirar que con la generación de interferencia en el canal 6 de IEEE 802.11, se tiene el menor valor de rendimiento en los experimentos 2 y 3 con una transmisión en el canal 8 de IEEE 802.15.4, que corresponden al 75% y 35% respectivamente. También se tiene la desviación estándar más grande para ambos experimentos, que corresponde a 1.311 y 25.218 respectivamente. Asimismo, se puede observar retardos muy significativos en el canal 1 y 8 que resultan críticos tomando en cuenta el valor del intervalo de tiempo ideal de 2.51 segundos.

En base a los experimentos 2, 3, 4 y 5 se tiene toda una gama de valores para analizar las condiciones entre el canal 11 de IEEE 802.11 con los canales del 10 al 16 de IEEE 802.15.4. Se ha

resumido la comparación de estos resultados mediante gráficas tanto del rendimiento de la transmisión (Figura 10), como de los retardos medios obtenidos en cada experimento (Figura 11).

Se puede apreciar que existe un patrón de comportamiento en el canal 13 de IEEE 802.15.4 en tres de los cuatro experimentos, ya que el experimento 2 denota un menor rendimiento en el canal 12. Sin embargo nos da la idea de una tendencia de comportamiento.

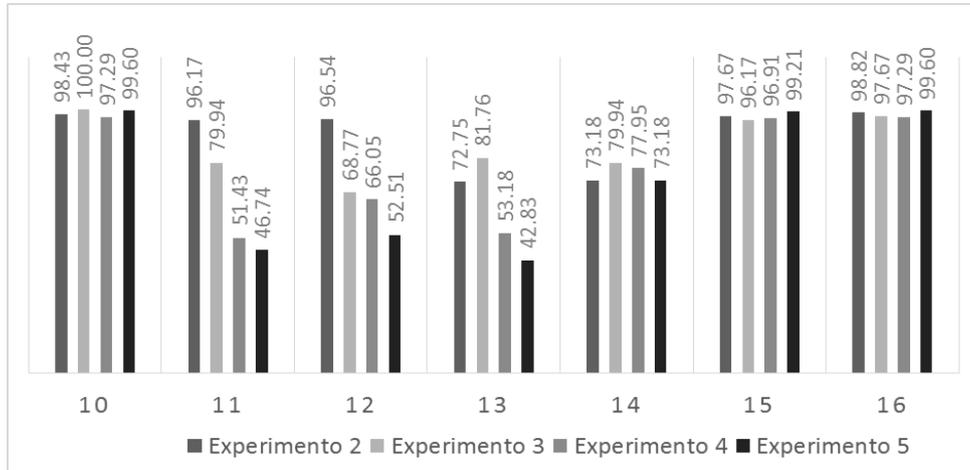


Figura 11. Rendimiento [%] en canales IEEE 802.15.4 en los experimentos 2, 3, 4 y 5.

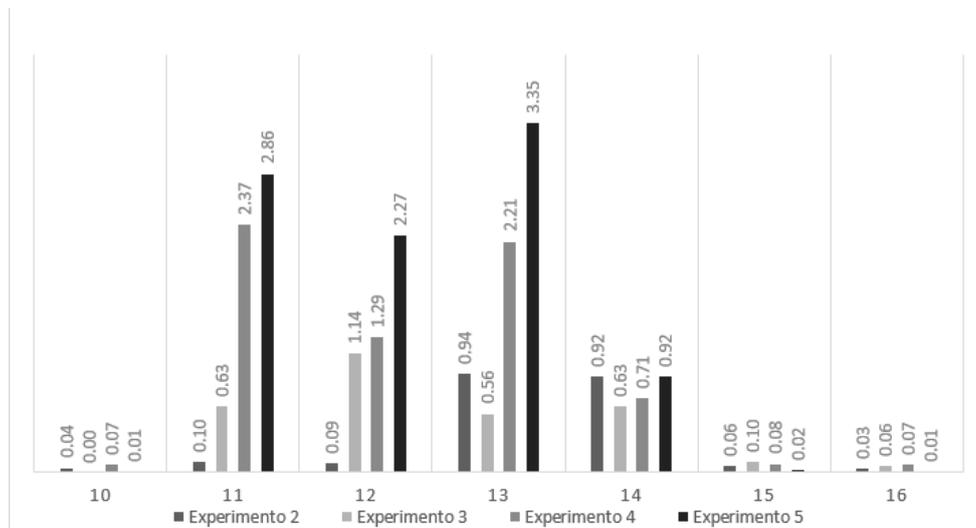


Figura 12. Retardo [seg] medio en los canales IEEE 802.15.4 en los experimentos 2, 3, 4 y 5.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es evidente que existe un problema de convivencia entre los estándares que trabajan en la banda de los 2,4 Ghz, especialmente por el tráfico que existe en IEEE 802.11 que se caracteriza por tener aplicaciones de tráfico continuo lo cual puede ser extremadamente crítico si se seleccionan las mismas frecuencias portadoras. Este escenario permite la pérdida de conexión de los dispositivos IEEE 802.15.4. La asignación dinámica de canales en ambas tecnologías permite disminuir la pérdida de paquetes, sin embargo en ambientes donde existen muchas redes WIFI, no es una solución final.

La identificación de la ubicación de los canales tanto de IEEE 802.11 como en IEEE 802.15.4 resulta muy importante, pues el espacio libre entre dos lóbulos vecinos resulta una gran opción de obtener mayor inmunidad a la interferencia.

Aparte del canal 5 y 10 de IEEE 802.15.4, que son los canales entre canales vecinos IEEE 802.11, existen aún los canales 15 y 16 que se encuentran ubicados fuera del alcance del canal 11 WIFI, en un ambiente de coexistencia con el fin de obtener una mejor comunicación en la red IEEE 802.15.4, se recomienda, no utilizar la asignación dinámica de canales en ninguna de los dos estándares pues si bien es una opción automática que no requiere configuración, nos hace cómplices de un posible mal rendimiento de nuestra red IEEE 802.15.4.

Se recomienda utilizar un software detector de señales IEEE 802.11 vecinas para poder tener claro el panorama de interferencia presente y evitar interferencias con el estándar IEEE 802.15.4.

Al empezar la coexistencia de IPv6 con IPv4, se deben realizar nuevamente los análisis de pérdida de conectividad en presencia de IPv6, para evaluar cómo afecta este protocolo a la conectividad de la red y evaluar las posibles mejoras-

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo presenta parte de los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto de investigación auspiciado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en el año 2015

REFERENCIAS

- Chatterjea, P., S. Havinga, S. Dulman, 2005. *Introduction to Wireless Sensor Networks*. In: Embedded Systems Handbook, pp. 10-31.
- Cooklev, T., 2004. *Wireless Communication Standards: A Study of IEEE 802.11, 802.15, 802.16*. IEEE Standard Wireless Networks, Wiley Publishing Comp., 325 pp.
- Garg, V., 2010. *Wireless Communications & Networking*. Imprint: Morgan Kaufmann, 840 pp.
- Pollin, S., I. Tan, B. Hodge, C. Chun, A. Bahai, 2008. *Harmful coexistence between 802.15. 4 and 802.11: A measurement-based study*. Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2008. CrownCom 2008. 3rd International Conference on, pp. 1-6.
- Shuaib, K., M. Boulmalf, F. Sallabi, A. Lakas, 2006. *Co-existence of Zigbee and WLAN, a performance study*. Wireless Telecommunications Symposium, 2006. WTS '06, pp. 1-6. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=4135336&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4135336.
- Tustón, T., 2012. *Evaluación del rendimiento del estándar IEEE 802.15. 4 (ZIGBEE) en entornos de Interferencia*.
- Won, C., J-H. Youn, H. Ali, H. Sharif, J. Deogun, 2005. *Adaptive radio channel allocation for supporting coexistence of 802.15. 4 and 802.11 b*. Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd (Volume:4), pp. 2522-2526. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=1559004&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1559004.