

Evaluación del Funcionamiento de la Capa Física y Capa MAC de las Redes Inalámbricas IEEE 802.11ac

Víctor Manuel Hinostrroza Zubia

*Instituto de Ingeniería y Tecnología
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
Av. Del Charro #450 Norte
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.
(656)688-4800 x 4672
vhinostr@uacj.mx*

Alejandra Mendoza Carreón

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
Av. Del Charro #450 Norte
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.
alemendo@uacj.mx*

Rommy Lizzuly Ibarra Reza

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
Av. Del Charro #450 Norte
C.P. 32310 Cd. Juárez, Chih. México.
rommy.ibarra@hotmail.com*

Resumen

En la actualidad el internet es la herramienta más utilizada alrededor del mundo, por lo que el conectarse a una red se ha convertido en una necesidad. La enorme cantidad de usuarios que se conectan al internet para transferir información, conlleva la necesidad de que las conexiones sean cada vez más rápidas, es por esto que se está trabajando en una nueva norma, el estándar IEEE802.11ac que es la modificación a la norma IEEE 802.11. Esta propuesta consiste en modificar la norma IEEE 802.11n para aumentar la velocidad de transferencia hasta 1 Gbit/s dentro de la banda de 5 GHz. La finalidad de este estudio es saber cómo afecta

la variación de parámetros de operación en el funcionamiento de las capas física y MAC del estándar IEEE-802.11ac. Asimismo, se evalúa su operación bajo diversas condiciones y parámetros.

Palabras Claves: BER, capa MAC, MIMO, OFDM, Redes inalámbricas

1. Introducción

En los últimos años se ha producido un crecimiento espectacular en lo referente al desarrollo y aceptación de las comunicaciones móviles y en concreto de las redes de área local (Wireless LANs). La función principal de este tipo de redes es proporcionar conectividad y acceso a las redes cableadas tradicionales, pero con la flexibilidad y movilidad que ofrecen las comunicaciones inalámbricas. El momento decisivo para la consolidación de estos sistemas fue la conclusión del estándar IEEE 802.11 en junio de 1997 [1]. En este estándar se encuentran las especificaciones tanto físicas como a nivel MAC que hay que tener en cuenta a la hora de implementar una red de área local inalámbrica [2]. La norma 802.11 ha sufrido diferentes extensiones [5]. El objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas

La finalidad de este proyecto es hacer un análisis de la eficiencia de funcionamiento de las capas física y MAC para las redes IEEE-802.11ac con el fin de establecer una comunicación en una red. Las capas MAC y física de este estándar tienen como característica sobresaliente que son configurables y reconfigurables [12]. Lo que significa que se puede modificar su funcionamiento de acuerdo a diversos parámetros; la velocidad requerida, el estado del canal de comunicación, los recursos disponibles, la cantidad de usuarios, la cantidad de entradas, la cantidad de salidas, el nivel de seguridad establecida, entre otros parámetros y condiciones.

La gran diversidad de parámetros, variables y funciones a manejar por la capa MAC, requiere que se evalúe su funcionamiento bajo diversos esquemas y supuestos. Para obtener una idea de su capacidad real. Además, compararla con las versiones de capa MAC que la preceden. Asimismo, será necesario evaluar el mecanismo de agregación de tramas del estándar con

diversos parámetros de operación con el fin de obtener información sobre que tanto afecta este mecanismo en la velocidad de los enlaces.

2. Estándar 802.11ac

2.1. El estándar 802.11

Cuando apareció el primer estándar de red inalámbrica, se hizo necesario nombrarlo y ya que todos los otros estándares de LAN habían tenido números como 802.1, 802.2, y 802.3, hasta 802.10. Entonces el primer estándar de LAN inalámbrica fue apodado 802.11. Un nombre coloquial común con el cual es conocido es WiFi. El primer problema era encontrar una banda de frecuencia adecuada que estaba disponible, preferiblemente en todo el mundo. El enfoque adoptado fue lo contrario de que utilizan en redes de telefonía móvil. En lugar de caro, espectro con licencia, los sistemas 802,11 operan en bandas sin licencia, tales como la ISM (Industrial, Científica y Médica). Estas bandas definidas por la UIT-R (por ejemplo, 902-928 MHz, 2.4 a 2.5 GHz, 5,725-5,825 GHz). Todos los dispositivos están autorizados a utilizar este espectro, siempre que limitan su potencia de transmisión para permitir que diferentes dispositivos coexisten. Esto significa que los radios 802.11 pueden encontrarse compitiendo con los teléfonos inalámbricos, apertura de puertas de garaje, y hornos de microondas.

Las redes 802.11 se componen de los clientes, tales como ordenadores portátiles y teléfonos móviles, e infraestructura denominada AP (puntos de acceso) que se instala en los edificios. Los puntos de acceso a veces se llaman estaciones de base. Los puntos de acceso se conectan a la red cableada y todas las comunicaciones entre clientes pasa a través de un punto de acceso. Es También es posible que los clientes que están en el rango de radio para hablar directamente, como dos computadoras en una oficina sin un punto de acceso. Este arreglo se llama red Ad hoc. Se utiliza con menor frecuencia que el modo de punto de acceso. La transmisión 802.11 se complica por las condiciones del canal inalámbrico que varían con incluso pequeños cambios en el medio ambiente. En las frecuencias utilizadas para 802.11, las señales de radio pueden ser reflejadas por los objetos sólidos para que varios ecos de una transmisión puede llegar a un receptor a lo largo de caminos diferentes. Los ecos pueden

cancelar o reforzar entre sí, haciendo que la señal recibida a fluctuar enormemente. Este fenómeno es llamado desvanecimiento por trayectos múltiples.

La idea clave para la superación de las condiciones inalámbricas variables es la diversidad de trayectos, o el envío de información a lo largo de múltiples caminos independientes. De esta manera, las diferentes versiones de 802.11 han utilizado todas estas técnicas. La versión inicial (1997) del estándar define una red LAN inalámbrica que alcanzaba una velocidad de 1 Mbps o 2 Mbps, con salto de frecuencias o la propagación de la señal a través del espectro permitido. Casi de inmediato, la gente se quejaba de que era demasiado lento, por lo que se inició el trabajo para normas más rápidas. El diseño de espectro ensanchado se convirtió en el (1999) estándar 802.11b funcionando a velocidades de hasta 11 Mbps. El 802.11a (1999) y 802.11g (2003). La norma cambió a un esquema de modulación diferente llamado OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Se divide una banda ancha de espectro en muchas bandas estrechas sobre las que bits diferentes se envían en paralelo. Esta mejora de esquema, impulsó las tasas de bits 802.11a / g hasta 54 Mbps.

Eso es un aumento significativo, pero la gente todavía quería más rendimiento para soportar aplicaciones más exigentes. La última versión es la 802.11n (2009). Se utiliza bandas de frecuencia más amplias y hasta cuatro antenas por nodo para lograr velocidades de hasta 450 Mbps. Desde que la red inalámbrica es inherentemente un medio de difusión, los radios 802.11 también tienen que tratar con el problema de que múltiples transmisiones que se envían al mismo tiempo colisionen, lo que puede interferir con la recepción. Para manejar este problema, 802.11 utiliza un esquema CSMA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora) que se basa en las ideas del Ethernet clásico por cable, que, irónicamente, sacó de una red inalámbrica desarrollada en Hawaii y que se llamó ALOHA. En este esquema los nodos de red esperan un breve intervalo aleatorio antes de transmitir y aplazan sus transmisiones si oyen que alguien demás ya está transmitiendo. Este esquema hace que sea menos probable que dos ordenadores envíen al mismo tiempo. No funciona tan bien como en el caso de las redes cableadas. Sin embargo. Para ver por qué, examinemos un ejemplo. Supongamos que un equipo A está transmitiendo a un equipo B, pero el alcance de la radio del transmisor de A es demasiado corta para llegar a una computadora C. Si C quiere transmitir a B puede escuchar antes de empezar, pero el hecho de que no oye nada no quiere decir que su transmisión será

un éxito. La incapacidad de C escuchar A antes de comenzar hace que algunas colisiones se produzcan. Después de una colisión, el emisor espera entonces otro tiempo aleatorio más largo y retransmite el paquete. A pesar de esto y algunas otras cuestiones, el esquema funciona suficientemente bien en la práctica.

La mayor parte de las características de estándar IEEE 802.11n se han incorporado en el IEEE 802.11ac. Esto incluye el uso de tamaños de constelación de 64 QAM y dos anchos de banda (20 MHz y 40 MHz). MIMO es uno de los principales agregados de la capa física de 802.11n, todavía se utiliza. El uso de MIMO permite la transmisión simultánea de hasta cuatro flujos espaciales hacia una estación en particular.

2.2. Características del protocolo 802.11ac

a) Aumento del tamaño de la constelación y el número de secuencias espaciales.

El estándar IEEE 802.11ac se ha definido para permitir transmisiones en el orden de los gigabits en la banda de 5 GHz. Uno de los métodos naturales mediante el cual es posible el aumento de las velocidades de datos, es aumentar al máximo el tamaño de la constelación a 256 QAM [11] [12]. Sin embargo, con esto la ganancia no es suficiente para cumplir con los objetivos fijados, se requiere multiplicar la velocidad de datos alcanzable a través de aumentar al máximo número de flujos espaciales a ocho. Esto implica el aumento del número de cadenas paralelas de codificación y también el número de cadenas *de front-end*, lo que hace a esta solución relativamente costosa [13].

b) Canalización adicional: Una alternativa de menor costo para alcanzar mayor velocidad es la ampliación del ancho de banda utilizado. El cambio de 20 MHz a 40 MHz es extendido a 80 MHz y hasta 160 MHz, con el fin de prácticamente duplicar o cuadruplicar las velocidades de datos posibles

c) MU – MIMO: Así como MIMO era la nueva técnica de 802.11n, MU-MIMO es la de 802.11ac. Un AP puede transmitir simultáneamente grupos independientes de flujos de datos a varios nodos. Se puede por lo tanto hacer uso de un canal de acceso para transmitir datos *unicast* a

un grupo de estaciones. Hasta cuatro grupos independientes de los flujos pueden ser transmitidos. Las antenas disponibles en el AP pueden, por lo tanto, ser utilizadas para aumentar la eficiencia del sistema. No hay indicación explícita de que técnica de pre-codificación se utilizará para transmisiones MU - MIMO en el estándar 802.11ac. Sin embargo la CTI entre las estaciones debe reducirse al mínimo. Se ha elegido el bloque de diagonalización técnica de pre-codificación, debido a su buen equilibrio entre rendimiento y complejidad que ofrece. Este esquema intenta cancelar CTI a través de la técnica de forzado a cero. Se simplifica la pre-codificación con inversión de canal para estaciones de antenas individuales.

2.3. Características de la capa MAC

1) El aumento de las velocidades de datos de la capa física en 802.11ac, comparado con los estándares anteriores, implica un mayor tamaño de paquete de capa MAC, por lo que la eficiencia se reduce considerablemente. La solución a esto es agregación de capa MAC. En 802.11ac, se utilizan servicios agregados de unidades de datos, así como servicios agregados de paquetes de datos, ambos con tamaños máximos incrementados para una mayor eficacia [14].

2) El uso de MU-MIMO implica pre-codificación de las secuencias de bits a enviar a cada nodo y por lo tanto, tener un conocimiento preciso de sus canales de comunicación. Esto se hace a través de la retroalimentación del canal explícito. Tramas especiales, que son adicionales a los datos, son enviados con el fin de retroalimentar el estado del canal y enviar esta información al AP. Otra implicación es que los grupos de nodos han de ser definido por el AP. Esto está basado en que los nodos reciben su información de las tramas MU-MIMO. Por último, el procedimiento de reconocimiento es también adaptado para permitir a los nodos destino reconocer las tramas recibidas.

Sondeo de canal y retroalimentación en IEEE 802.11ac. Observando más de cerca el sondeo de canal y el protocolo de realimentación en 802.11ac. En el estándar anterior 802.11n, la multiplicidad de opciones para el protocolo de sondeo ha hecho las cosas más difíciles para la

interoperabilidad al usar técnicas de formación de haz (BF). Por consiguiente, 802.11ac utiliza un protocolo único, basado en el uso de un paquete de datos nula (PND) para el sondeo de canal y matrices de formación de haz comprimidas para la retroalimentación del estado de canal [16].

2.4. Simulación del estándar 802.11ac

El simulador que se utilizó fue construido para el protocolo 802.11n. Este simulador está disponible como software de uso libre. Sin embargo con algunas modificaciones puede ser utilizado también para simular partes del protocolo 802.11ac. Este simulador básicamente consiste en un sistema con modulación OFDM y un sistema MIMO con cuatro canales espaciales. Su funcionamiento es el siguiente; se modula la señal con una secuencia de bits generada aleatoriamente, luego la señal se convierte en una señal multi-portadora OFDM la cual transmitirá múltiples secuencias del flujo de datos. A su vez estas señales se dividen y se envían por las diferentes antenas. En el proceso de modulación OFDM, una vez que la señal pasa por la IFFT, enseguida pasará por CSD2 (prefijo cíclico) para atenuar los efectos de la interferencia entre símbolos (ISI). Una vez que se ha agregado el prefijo cíclico, se enviarán las señales por tramas OFDM multi-canalizadas. Esta trama se encargará de enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias. Las modificaciones al estándar fueron principalmente en esta área. Por ejemplo, una vez que se hicieron los cambios requeridos a la señal portadora, esta señal es pasada por el canal de comunicación (TGn) donde se definen el modelo de canal y el tamaño de la dispersión, probabilidad de error, número taps (dispersión del efecto Doppler), retardo, filtro de canal, varianza del ruido, AWGN (ruido aditivo blanco gaussiano), ruido aditivo, ruido al canal, relación señal ruido (SNR) y la señal ruido (SNR) para la curva PER (Packet Error Rate).

Cuando se han realizado los cálculos necesarios viene el proceso inverso para recuperar la señal comenzando por el trama de OFDM la cual sirve para separar la señal multi-canalizada anteriormente, luego remueve el prefijo cíclico aplicado antes para quitar la interferencia entre símbolos, enseguida se le aplica la FFT (transformada rápida de Fourier) para pasar la señal al dominio de la frecuencia, cuando se pasa la señal se procede a remover los ceros, para

después pasarla a la detección MIMO donde se esparce la potencia de transmisión total de las antenas aumentando la matriz para mejorar la eficiencia espectral (más bits por segundo de ancho de banda) y mejorar la confiabilidad del enlace. Una vez que pasa por el proceso MIMO se envía al desranurado de trama OFDM, donde se convierten las portadoras de datos paralelos en portadoras serie. Enseguida se pasa al demodulador donde se extraerá la señal original.

3. Resultados

Para poder hacer una comparación de la operación entre los protocolos 802.11n y 802.11ac, se utilizó el ruteador Netgear ac1900 y el adaptador EnGenius EUB1200AC, para poder medir la velocidad del protocolo 802.11ac en la frecuencia de los 5 GHz. En la PC se usaron los medidores de ancho de banda de Internet de los servidores de Axtel, Speed y SpeedTest. Estos medidores se usaron después de probar otros medidores y se encontró que estos son los que tienen más similitud en sus mediciones. Se decidió tomar las medidas en diferentes días y a diferente hora para analizar su comportamiento con respecto a la variación de tráfico.

Las Figs 1 y 2 muestran las mediciones hechas con el protocolo IEEE-802.11n para ser comparados con las mediciones hechas con el protocolo IEEE-802.11ac. Aunque se puede inferir de los resultados de las mediciones que la administración de red tiene límites de velocidad predeterminados, tanto para subida como para bajada de datos. Las Figs 3 y 4 muestran las mediciones sobre la bajada de datos para los tres medidores en otro día y hora. Para tratar de mostrar cómo afecta el tráfico general de la red en las mediciones.

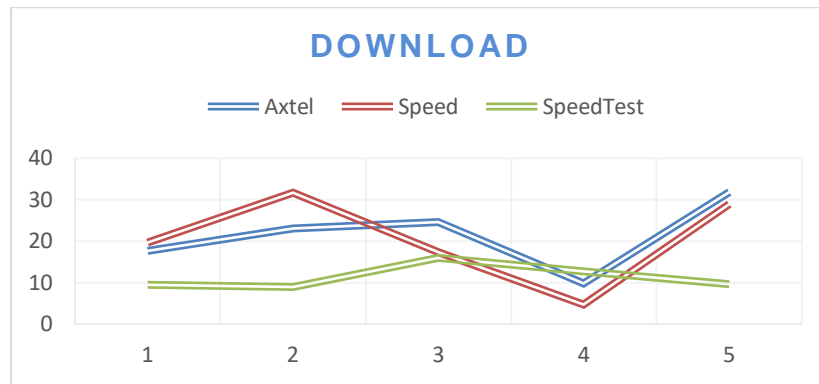


Fig. 1. Velocidad de bajada con los tres medidores.

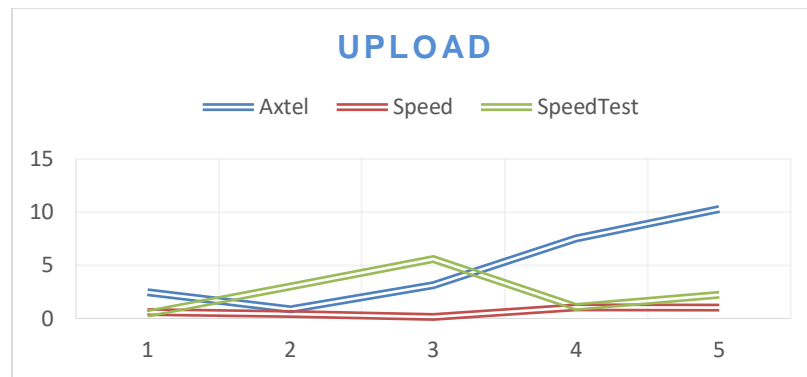


Fig. 2. Velocidad de subida con los tres medidores.

Se hizo una adaptación a un simulador del protocolo IEEE-802.11n al protocolo IEEE-802.11ac, esta adaptación consistió en actualizar el modelo de canal (TGn) del *n* al *ac*. El TGn contiene los valores de potencia y retardo que simulan la variación del canal inalámbrico. El resto del simulador no cambia. El funcionamiento de simulador fue explicado brevemente en la sección 2.4. La Fig. 5 muestra la variación de la relación señal a ruido en el simulador con respecto al tiempo. En la Fig. 5 se puede observar que hay una variación dependiente del tiempo de simulación. Esto puede afectar los resultados de salida del simulador. Sin embargo, la mayoría de los resultados útiles no son afectados por esta característica.

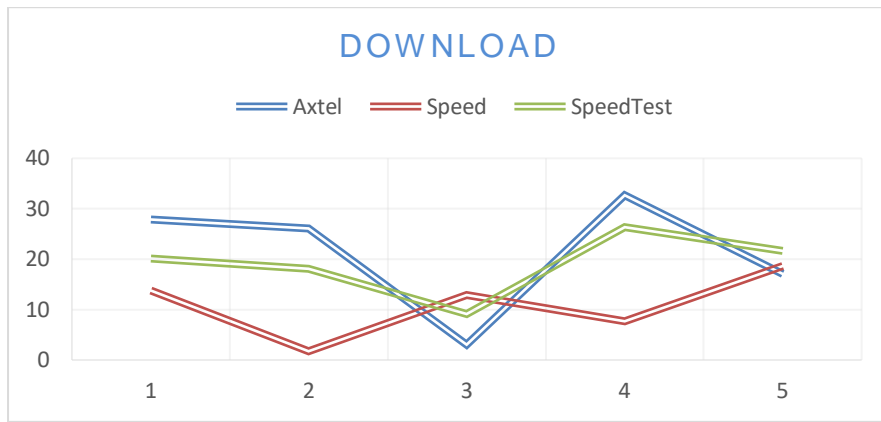


Fig. 3. Velocidad de bajada con los tres medidores en diferente día y hora.

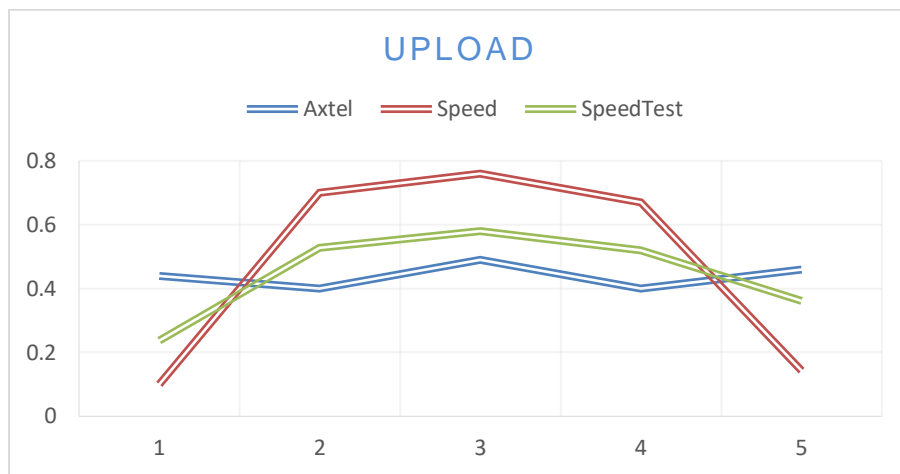


Fig. 4. Velocidad de bajada con los tres medidores en diferente día y hora.

La Fig. 6 muestra la relación señal a ruido de diferentes tiempos de simulación. Relacionado con lo expuesto en la Fig. 5, conforme avanza el tiempo de simulación hay una disminución en el BER.

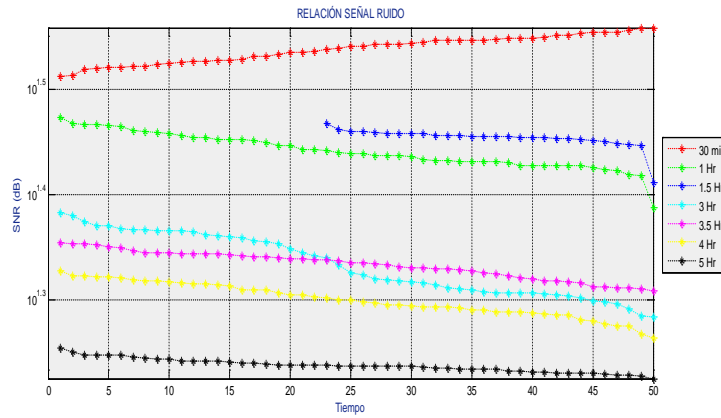


Fig. 5. Variación de la relación señal a ruido SNR del sistema con el tiempo.

La Fig. 7, muestra el BER para diferentes tiempos de simulación. Aquí se observa que hay una relativa estabilidad del BER con respecto al tiempo. Las Figs 6 y 7 comparan las mismas condiciones para los protocolos n y ac. Aquí se observa que el funcionamiento del ac es mucho mejor bajo las mismas condiciones.

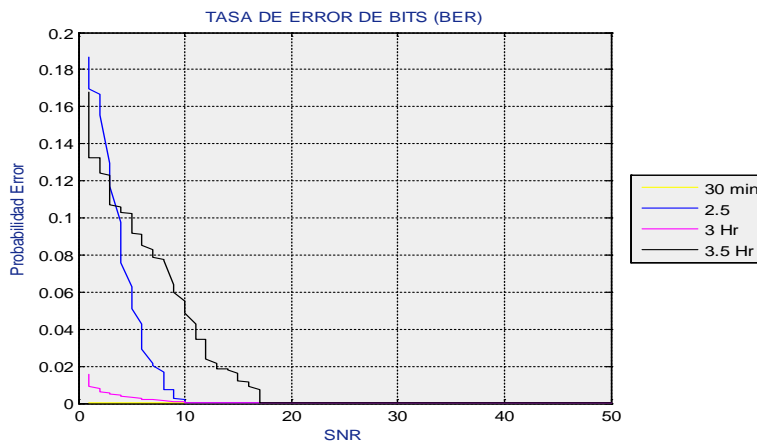


Fig. 6. Relación de bits en error BER para diferentes tiempos.

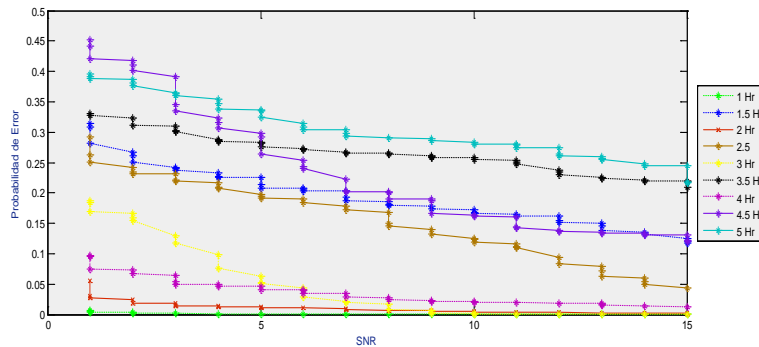


Fig. 7. Relación de bits en error BER para diferentes tiempos.

4. Conclusiones

Se realizó una simulación con un modelo 802.11n y se obtuvieron algunos resultados. Estos resultados se compararon con la misma simulación con el modelo 802.11ac después de hacerle las actualizaciones necesarias. En los resultados de relación señal a ruido entre los modelos 802.11n y ac. La probabilidad de error es menor en el modelo ac bajo las mismas condiciones. En las simulaciones de probabilidad de error por bit, también bajó para el protocolo 802.11ac comparado con el n. Esto puede deberse a que el número de derivaciones en el TGn es mayor en el modelo 802.11ac y proporciona mayor desvanecimiento, lo cual es una característica que favorece a los sistemas MIMO.

En cuanto a las velocidades de carga y descarga, se puede notar que son muy variables, ya que dependen de diferentes variables como día y hora, no tanto del protocolo con el que esté funcionando, aunque no se llegó a los 100 Mbps, si alcanzo una velocidad máxima de 43.58 Mbps usando los adaptadores para el protocolo 802.11ac, mientras que el más alto fue de 23 Mbps en el protocolo 802.11n. Una desventaja del protocolo 802.11ac es una pérdida de potencia mayor que la de 802.11n, por lo no que alcanza distancias mayores. No fue posible probar la nueva característica de 802.11ac de MU-MIMO quedando esta como una de las posibles mejoras que se le pueden hacer a esta investigación.

5. Referencias

- [1] IEEE, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE Std 802.11-1999, 1999.
- [2] IEEE, Part 11, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE Std 802.11g-2003
- [3] Alan, H., & Chi-Yu, H., (2010) "Medium Access Control", Springer, Computer Communications and Networks, (pp. 35-50)
- [4] Hongqiang, Z., Xiang, C., Yuguang, F., (2006) "A call admission and rate control scheme for multimedia support over IEEE 802.11 wireless LANs » *Wireless Networks*, 12(4), 451-463
- [5] IEEE, Part 11, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, November 2005.
- [6] Jeng, F., Wanjiun, L., Meng, C., (2007) "A Differentiated Service Model for Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) of IEEE 802.11e WLANs", *Mobile Networks and Applications*, 12(1), 69-77
- [7] Tinnirello, I., Choi, S. "Temporal fairness provisioning in multi-rate contention-based 802.11e WLANs." *IEEE WoWMoM'05*, Italy.
- [8] IEEE Part 11, Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput, 2009.
- [9] Pankaj, B., Rajballav, D., Gwan, C., "Array like runtime reconfigurable MIMO detectors for 802.11n WLAN: a design case study", *ASP-DAC '09*
- [10] Richard van Nee, (2011)"802.11n: The Global Wireless LAN Standard" Springer, *Globalization of Mobile and Wireless Communications, Signals and Communication Technology*.
- [11] Wireless Gigabit Alliance. Defining the future of multi-gigabit wireless communications. White Paper, pages 1–5, 2010.

- [12] IEEE P802.11ac. Specification framework for TGac. IEEE 802.11 09/0992r21. January 2011.
- [13] Eldad Perahia, Michelle X. Gong (2011) "Gigabit wireless LANs: an overview of IEEE 802.11ac and 802.11ad", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 3(15)
- [14] Chunhui Zhu, Youngs. Kim, Osama Aboul-magd, Chiu Ngo (2011) "Multi- User Support in Next Generation Wireless LAN", IEEE Consumer Communications and Networking Conference
- [15] IEEE Draft Standard - Part 11, Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band, IEEE Std 802.11ad, 2011
- [16] Eldad Perahia, Carlos Cordeiro, Minyoung Park, and L. Lily Yang "IEEE 802.11ad: Defining the Next Generation Multi-Gbps Wi-Fi", IEEE CCNC 2010 [17] Carlos Cordero, Dmitry Akhmetov, Minyoung Park, "IEEE 802.11ad: introduction and performance evaluation of the first multi-gbps wifi technology" mmCom '10
- [18] Giaoyi Zhu; Doufexi, A.; Kocak, T. "Throughput and Coverage Performance for IEEE 802.11ad Millimeter-Wave WPANs", VTC 2011
- [19] Anand R. Prasad, N. R. (2000). Indoor Wireless LANs Deployment. IEEE, 5.
- [20] CISCO. (AGOSTO de 2012). CISCO. Obtenido de CISCO: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/white_paper_c11-713103.pdf
- [21] Goth, G. (2012). Next-Generation Wi-Fi: As Fast as We'll Need? IEEE, 3.
- [22] Izaskun Pellejero, F. A. (2006). Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN: de la teoría a la práctica. Barcelona, España: MARCOMBO.
- [23] Knecht, E. H. (2011). IEEE 802.11ac: Enhancements for Very High Throughput WLANs. IEEE, 5.

6. Autores

Dr. Víctor Manuel Hinostrroza Zubia. Doctor de Filosofía (PhD) en el área de telecomunicaciones por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester (UMIST) en Manchester, Inglaterra en el 2002. Experiencia profesional de 10 años en la industria. Experiencia docente de 24 años, maestro en la UACJ desde enero de 1989. Imparte clases en la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones y en la Maestría en Ingeniería Eléctrica. Intereses de investigación: Estimación del canal de comunicación con señales multi-portadora y de muy amplio ancho de banda. Aplicaciones de redes vehiculares en ambientes distribuidos. Con más de 50 publicaciones académicas, tales como; libros, capítulos de libros, artículos científicos, artículos de difusión, ponencias en congresos nacionales e internacionales, memorias en extenso, ponencias y conferencias.

Mtra. Alejandra Mendoza Carreón. M.S. Computer Science, University of Texas at Dallas, Dallas, TX. Experiencia docente de 8 años, maestra en la UACJ desde enero de 2006. Imparte clases en la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones y en la Maestría en Ingeniería Eléctrica. Intereses de investigación: Algoritmos de ruteo para redes vehiculares Ad Hoc. Con más de 15 publicaciones académicas, tales como; artículos científicos, artículos de difusión, ponencias en congresos nacionales e internacionales, memorias en extenso, ponencias y conferencias.

Ing. Rommy Lizzuly Ibarra Reza. Alumna de la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la UACJ.