

# MONITORIZACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN REDES INALÁMBRICAS WI-FI CON DIFERENTES ESTÁNDARES DE COMUNICACIONES Y VOLÚMENES DE TRÁFICO

Manuel Jaya<sup>1</sup>, Iván Vizcaíno<sup>2</sup>, Freddy Acosta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Maestrante en Redes de Información y Conectividad, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador*

<sup>2</sup> *Director de tesis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador*

<sup>3</sup> *Docente oponente, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador*  
*rafaeljaya@yahoo.com.mx; ipvizcaino@espe.edu.ec; fracosta@espe.edu.ec*

**Resumen:** El presente trabajo tiene como objetivo monitorizar y analizar el consumo energético en redes inalámbricas Wi-Fi cambiando los estándares 802.11x y variando la velocidad del tráfico (desde 1 Mbps hasta 36 Mbps), para esto, se implementó un escenario de investigación ensamblando un enlace inalámbrico punto a punto (distancia de 5 m con antenas de 2 dBi omnidireccionales) a través del cual, se inyectó tráfico UDP y TCP para observar el comportamiento del consumo de potencia en el módulo de radio Wi-Fi. De los resultados obtenidos y analizados, se observó que el consumo de potencia en DC de los equipos de radio es proporcional a la velocidad de datos transmitidos e independiente de las marcas de dichos equipos, por otro lado, el consumo de potencia en el transmisor es mayor al receptor (desde un 30% hasta un 150% en promedio) dependiendo del tipo de dato y estándar inalámbrico, además se verificó que efectivamente existe mayor consumo de energía cuando se transmite tráfico TCP frente a UDP en todos los estándares Wi-Fi.

**Palabras clave:** Wi-Fi, 802.11x, D-ITG, TCP, UDP, SBC's.

**Abstract :** This work aims to monitor and analyze energy consumption in wireless networks Wi-Fi 802.11x standards varying changing traffic speed (from 1 Mbps to 36 Mbps) for this stage of research was implemented by assembling a wireless link point to point (distance of 5 m with 2 dBi omnidirectional antenna) through which TCP and UDP traffic is injected to observe the behavior of power consumption in the form of Wi-Fi radio. From the results obtained and analyzed, it was found that the power consumption in DC of the radio equipment is proportional to the rate of transmitted data, independent of the marks of such equipment, moreover, the power consumption in the transmitter is receptor increased (from 30% to 150% on average) depending on the type of data and wireless standard also verified that there is indeed more energy consumption when transmitting TCP traffic versus UDP on all Wi-Fi standards.

**Keywords:** Wi-Fi, 802.11x, D-ITG, TCP, UDP, SBC's.

## I. Introducción

Actualmente para nuestra civilización, la disponibilidad de energía está fuertemente atada al nivel de bienestar, confort, salud y conservación de la vida del ser humano. Vivimos en una sociedad del consumismo de energía a diferentes escalas, es decir, en teoría, países en vías de

desarrollo consumirán mucho menos energía que los industrializados pero esto no es del todo cierto, puesto que, actualmente las tendencias están cambiando, en definitiva la tendencia siempre será un alto consumo energético. El consumo mundial de energía aumentará según la (Energy Information Administration, 2011) en un 53%, esto es, de 505 cuatrillones de BTU en el 2008 a 770 cuatrillones de BTU para el 2035. Por otro lado, para (Jadhav, 2010), la investigación del consumo energético para Laptops y Smartphone que utilizan tarjetas Wi-Fi, las cuales revelan que para el caso de las laptops entre el 2009 y 2014 existirá un incremento de un 170%, es decir, mientras que la potencia consumida en el 2009 fue de 1 TWh, el consumo proyectado para el 2014 será de 2.7 TWh. Por otro lado, para los Smartphone en el mismo intervalo de tiempo el incremento será en un 300%, esto es, la potencia consumida en el 2009 fue de 17.2 GWh y se prevé que en el 2014 el consumo será de 53.961 GWh. Así mismo, las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían incrementarse en la misma proporción y países como Brasil, India y China sufrirían en un futuro cercano la elevación de sus costos debido al aumento tecnológico en las Wi-Fi. Por otro lado, el consumo de las tarjetas Wi-Fi es aproximadamente el 9% del consumo total de todos los dispositivos portátiles en el mundo y para (Zhang & Kang, G, 2012), Wi-Fi es el primer consumidor de energía para dispositivos móviles y la IL es el principal consumidor incluso con el PSM activado, realizando un análisis extenso de tráfico real, encontraron que era de más del 60% del consumo total. Finalmente para (Lee, Su, & Sen, 2007) entre las tecnologías inalámbricas estándar, Wi-Fi es la que más consume energía actualmente tan solo comparable con UWB. De acuerdo a lo expuesto, es alarmante la proyección del consumo de energía a futuro, obviamente este consumo no es solamente debido a los dispositivos electrónicos, sino de otros sectores que requieren de energía, por tanto, se deben buscar mecanismos para la optimización adecuada de los recursos energéticos antes de devastar a nuestro planeta.

Por tanto, es más que justificable la investigación sobre la monitorización del consumo energético en redes inalámbricas Wi-Fi con diferentes estándares de comunicaciones y volúmenes de tráfico, para contribuir con un granito de arena al esfuerzo de utilizar eficientemente los recursos en nuestro planeta como lo afirman (Hirales & Martines, 2008), quienes escriben sobre el uso eficiente de los recursos computacionales, ellos dicen que este tema no es reciente, sus orígenes datan a inicios de 1992 cuando la EPA ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)) y el Departamento de Energía ([www.energy.gov](http://www.energy.gov)) de los Estados Unidos, conjuntamente, promulgaron reconocer los esfuerzos en el uso óptimo de energía de diferentes dispositivos electrónicos a través del programa conocido como Energy Star. Para ellos, el uso eficiente de recursos energéticos tiene como objetivos la viabilidad económica, es decir, que la tecnología sea económica; con responsabilidad social mediante la construcción de tecnología que contribuya a minimizar los problemas de consumo irracional de energía a fin de minimizar el impacto en el medio ambiente.

La presente investigación, es experimental, puesto que se van a medir parámetros reales como la corriente eléctrica utilizando el método invasivo (Little, 2011) en módulos de radio Wi-Fi, para lo cual, se utilizarán diferentes variables como protocolos, tráfico y módulos de radio Wi-Fi de diferentes marcas, manteniendo el mismo escenario de prueba. Con los datos recogidos, se espera obtener resultados concretos de consumo energético, los mismos que serán analizados y evaluados para entregar criterios sobre ahorro y optimización para una adecuada eficiencia energética en las comunicaciones con Wi-Fi.

El artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección II, se muestra la metodología que se usó para monitorizar el consumo energético en las Wi-Fi que a su vez consta del diseño del escenario de investigación, proceso de medición y cálculo de la potencia consumida, en la sección III, se evalúa y se discuten los resultados, en la sección IV, se muestran los trabajos relacionados, finalmente en la sección V, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

## II. Metodología para monitorizar el consumo energético

### A. Diseño del escenario de investigación.

En esta sección se describe la configuración e implementación de una red inalámbrica punto a punto para monitorizar el consumo de energía al transmitir datos TCP y UDP de un extremo a otro cambiando los estándares 802.11x, para lo cual, se utilizaron tarjetas SBC's integrados con sus respectivos radios Wi-Fi, por otro lado, estas tarjetas fueron conectadas a sus respectivas terminales de computadoras en las cuales se instalaron el software D-ITG (Punkytse, 2013), para inyectar tráfico en forma direccional o bidireccional. En un extremo, se utilizó una tarjeta RouterBoard RB433UAH + (radio Wi-Fi), este conjunto fue configurado como *AP BRIDGE*, mientras que en el otro extremo, se utilizó una tarjeta RouterBoard RB411AH + (radio Wi-Fi), el mismo que fue configurado como *STATION*. Para medir el consumo de potencia en los módulos de radio Wi-Fi, se utilizó el método de la resistencia *shunt* (Drafts, 2004), ubicada entre el conversor AC/DC y la tarjeta Routerboard.

En la figura 1, se muestra el diagrama de red para el escenario de experimentación montado en el laboratorio de comunicaciones.

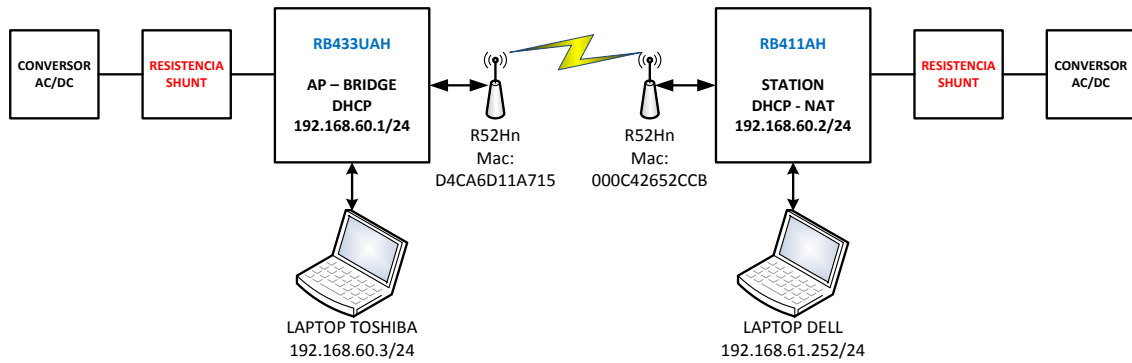


Figura 1. Diagrama de red para el escenario de experimentación

Como se puede apreciar en la figura 1, cada tarjeta SBC (Routerboard) posee su módulo de radio inalámbrico para la comunicación de servidor a cliente y viceversa, es decir, de (*AP – BRIDGE*) a *STATION* y cada conjunto a su vez se comunican vía Ethernet a sus respectivas laptops. Para el experimento se utilizaron dos tipos de placas diferentes como son el RB433UAH y RB411AH, en cada una de estas tarjetas se insertaron módulos de radio Wi-Fi R52Hn/DCMA-82. La placa de la izquierda está funcionando en modo (AP-Bridge + servidor DHCP) previamente configurado, mientras que la placa de la derecha está funcionando en modo (STATION +servidor DHCP + NAT). La monitorización se realizó en la alimentación de cada tarjeta Routerboard aplicando el método de la resistencia *shunt* o serie de ( $R = 1\Omega$ ), en la resistencia se pudo medir directamente con un osciloscopio y voltímetro, el voltaje y por la ley de Ohm, se tiene que ( $I = V$ ), por tanto, se obtuvo directamente la señal corriente consumida por la placa y el módulo Wi-Fi en un osciloscopio con tierra flotante como se muestra en la figura 2, donde:

$$P_{WiFi} = P_{Total\_medida} - P_{SBC\_inicial\_sin\_radio\_WiFi} \quad (1)$$

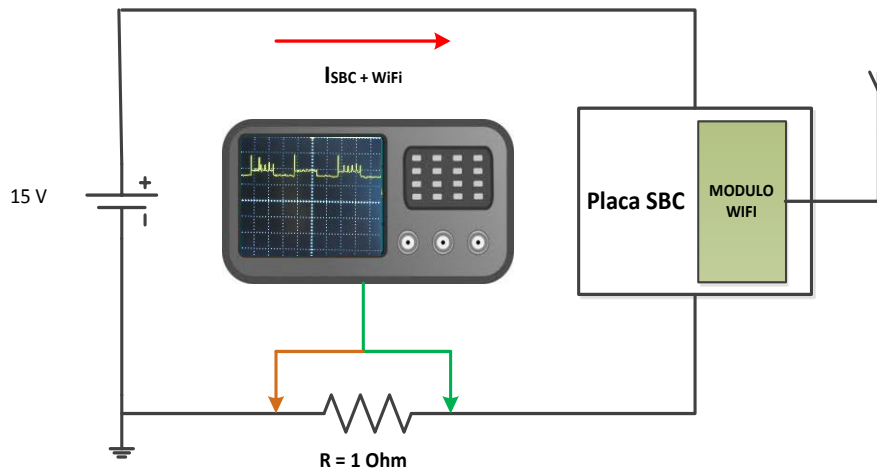


Figura 2. Diagrama de medición de la corriente eléctrica

## B. Proceso de mediciones

Una vez armado el escenario de experimentación, se procedió a obtener las mediciones, el proceso consto de tres fases principales para realizar las experimentaciones como se muestra en la figura 3.

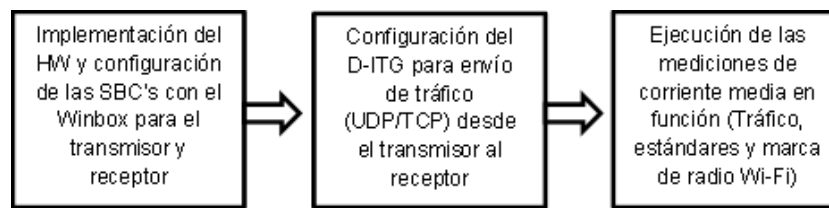


Figura 3. Procesos para la medición de la corriente eléctrica

Como se aprecia en la figura 3, el proceso para obtener las diferentes medidas de corriente consumida tuvo un orden dado, es decir, en primera instancia se ensambló el enlace inalámbrico, luego se configuró las tarjetas para un enlace punto a punto con la aplicación *Winbox* tanto en el transmisor como en el receptor, luego, se configuró una serie de parámetros en la aplicación D-ITG bajo Linux, finalmente, se realizaron una serie de experimentaciones para obtener las medidas de corriente y se los registro en una base de datos.

En la figura 4, se muestra el proceso de cómo se realizaron las diferentes pruebas para determinar el consumo de corriente eléctrica en cada caso. Como se puede observar, se efectuaron pruebas para cada estándar 802.11x y tipo de radio Wi-Fi, es decir, 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n. Para cada estándar, se toma como constante al primer canal de las portadoras (por ej. 2412 y 5180 KHz), respecto a la distancia entre los dispositivos inalámbricos, fue de 5m. Para cada prueba, simplemente en la configuración de la tarjeta fue cambiando el tipo del estándar inalámbrico. Por otro lado, en la aplicación D-ITG, para cada uno de los estándares, se enviaron valores de tráfico entre 0.5 Mbps y 112 Mbps, tanto para UDP como para TCP. Para cada protocolo se mantuvo constante: el *tiempo de medición* (60s) y *tamaño del paquete* (512 bytes) y variable, el *número de paquetes/segundo*. Utilizando el osciloscopio y voltímetro, se midió la *corriente media consumida* para cada tipo de experimento, y se registró estos valores en una base de datos. Cabe recalcar que se tomó como tiempo de experimentación 60 segundos porque el generador durante este tiempo envía constantemente tráfico UDP o TCP, se pueden proporcionar tiempos superiores de experimentación pero los resultados de las mediciones fueron los mismos.

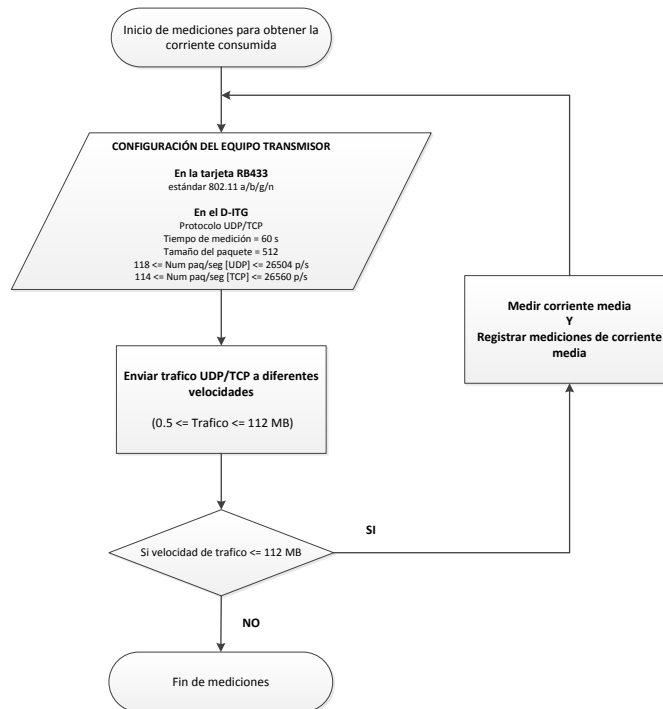


Figura 4. Proceso de las mediciones

### C. Calculo de la potencia consumida

Según (Muhammad, 2004), cuando una señal de voltaje o corriente posee componente continua y alterna, los instrumentos de medida calculan y muestran como dato de medición al verdadero valor eficaz.

$$V_{true-rms} = \sqrt{V_{DC}^2 + V_{AC}^2} \quad (2)$$

En las pre-mediciones de voltaje realizadas, se observó que el voltaje *rms* para señales alternas está en el orden de las unidades de *mV* frente a las centenas de *mV* del voltaje medio, por tanto, esa es la razón por la cual el valor medido de *V<sub>rms-true</sub>* en el osciloscopio o multímetro es aproximadamente igual al *V<sub>DC</sub>*, debido a que se toma como despreciable al voltaje *V<sub>AC</sub>* para la señal alterna.

En la siguiente ecuación, se obtiene la potencia media cuando se pone en paralelo las puntas de prueba en la resistencia de 1 ohm, donde se obtiene directamente el valor de la corriente media por lo referido en el párrafo anterior.

$$P_m = V_{SBC} * \left(\frac{I-I_0}{1000}\right) \quad (3)$$

### D. Pruebas y mediciones

Una vez configurada e implementada correctamente la red punto a punto, se procedieron con las respectivas pruebas de conectividad, luego, se procedió a enviar tráfico de datos con la aplicación D-ITG GUI desde el *servidor* hasta el *cliente*, el valor de este tráfico de datos pudo ser observado y medido en el *monitor del sistema* que es una aplicación que debió ser instalada en Ubuntu para las diferentes pruebas de envío y recepción de tráfico de datos como se muestra en la figura 5.



Con los datos obtenidos de las experimentaciones con diferentes radios, estándares y protocolos, se procedió a graficar los valores como se muestra en la figura 6, donde se muestra una comparativa para la potencia consumida con dos tipos de radios y tres estándares de comunicación.

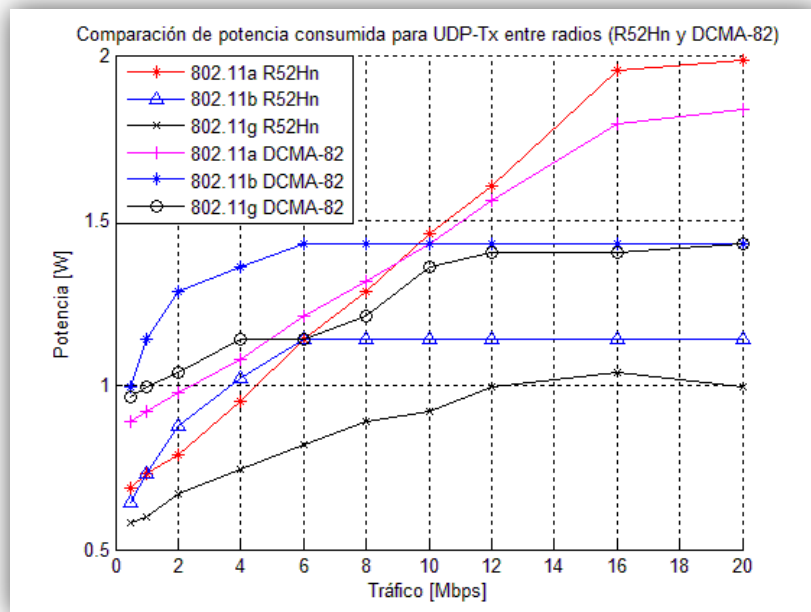


Figura 6. Graficas de comparativas entre estándares y tipos de radios Wi-Fi para protocolos UDP y TCP

Al realizar las respectivas comparativas en base a los numerosos datos arrojados, se obtuvieron gráficos estadísticos como se muestran en las siguientes figuras:

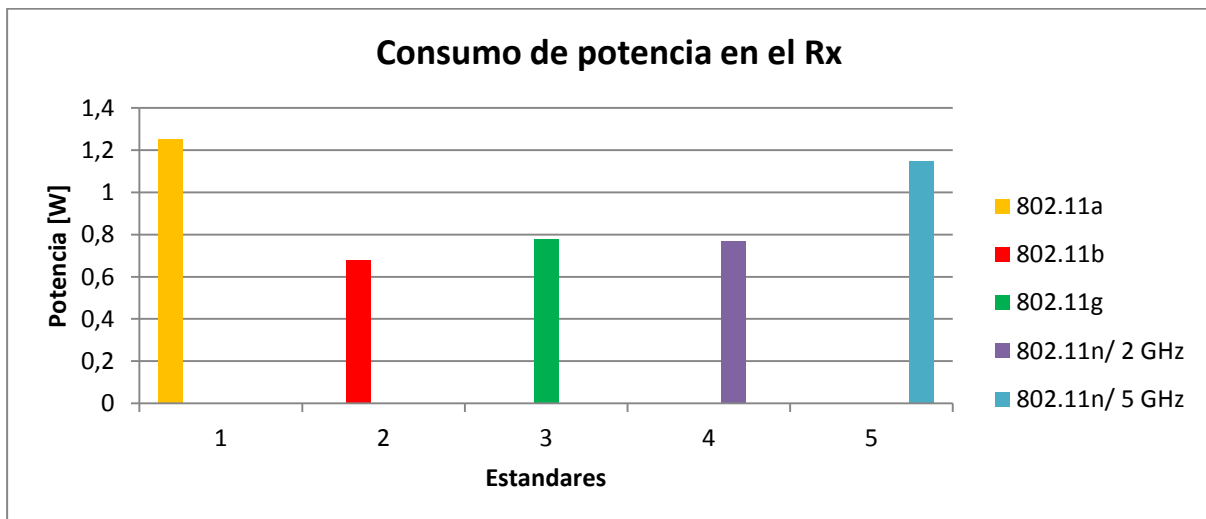


Figura 7. Consumo de potencia en función de los estándares 802.11x

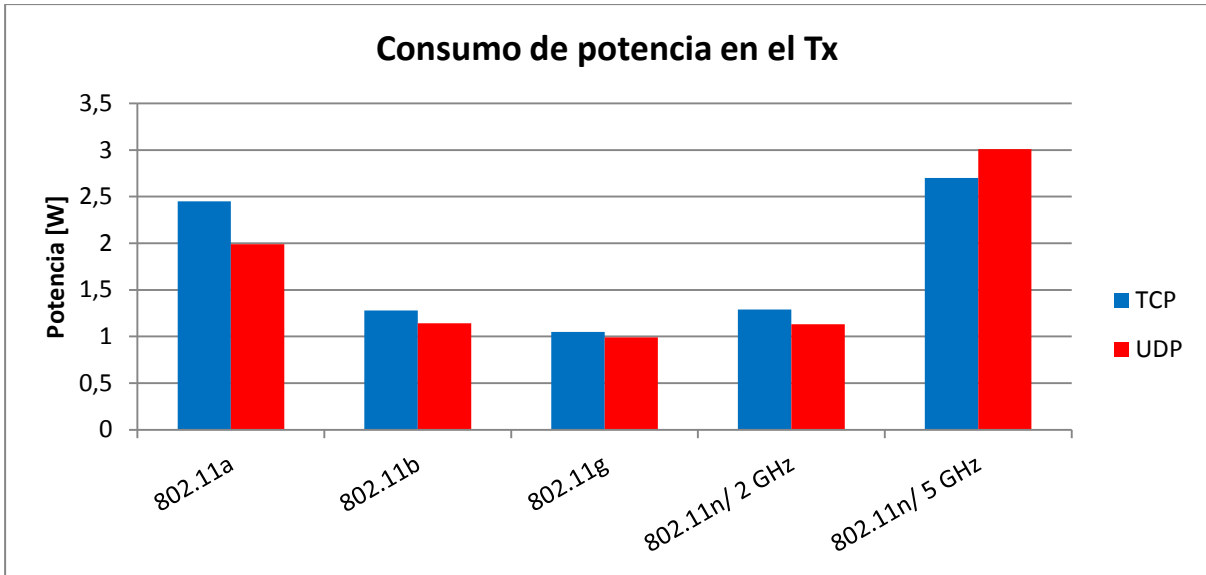


Figura 8. Consumo de potencia en el transmisor función de los estándares 802.11x para TCP y UDP

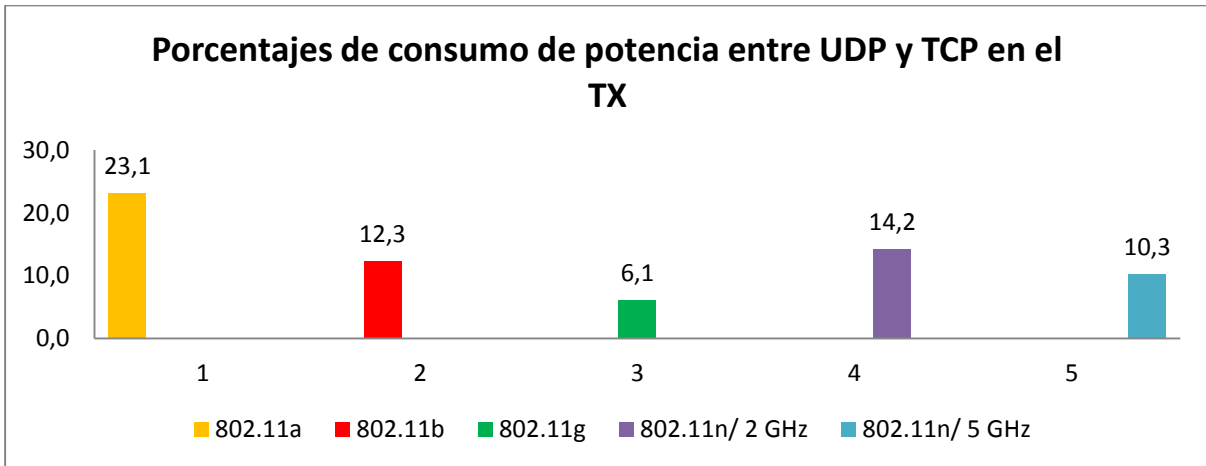


Figura 9. Porcentajes de consumo de potencia en el transmisor para estándares 802.11x.

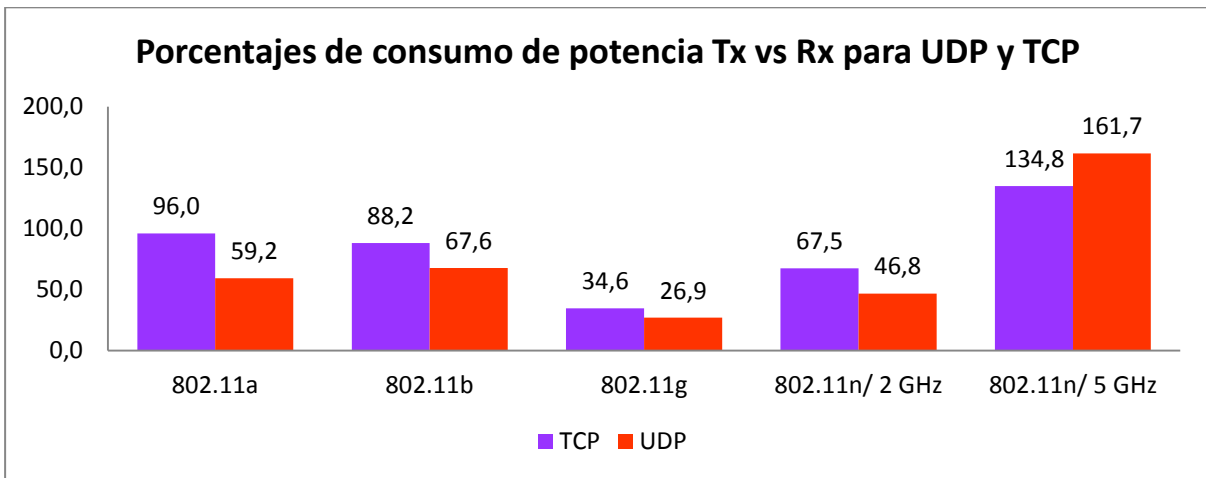


Figura 10. Porcentajes de consumo de potencia en el transmisor vs el receptor para estándares 802.11x.





## Referencias bibliográficas

- Abhinav, N., Koutsonikolas, D., Shepard, C., & Hu, C. (2008). Realizing the Full Potential of PSM using Proxying. *IEEE*, 5.
- Alonso, J., Gomez, S., & Alejandre, M. (2006). Experimental Measurements of the Power Consumption for Wireless Sensor Networks. *IEEE*, 14.
- Drafts, B. (1 de Abril de 2004). *Methods of current measurements*. Obtenido de [http://fwbell.com/ckfinder/userfiles/files/Methods\\_Current\\_Measurement.pdf](http://fwbell.com/ckfinder/userfiles/files/Methods_Current_Measurement.pdf)
- Energy Information Administration. (19 de 09 de 2011). *World energy demand and economic outlook*. Obtenido de [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf)
- Feeney, L. M., & Nilsson, M. (2011). Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment. *IEEE*, 10.
- Gomez, K., Riggio, R., & Rasheed, T. (2011). Analysing the Energy Consumption Behaviour of WiFi Networks. *IEEE*, 7.
- Gupta, A., & Mohapatra, P. (2008). Energy Consumption and Conservation in WiFi Based Phones: A Measurement-Based Study. *IEEE*, 13.
- Hirales, A., & Martines, E. (03 de Marzo de 2008). *Conservación de energía en medios inalámbricos*. Obtenido de <http://www.eveliux.com/mx/conservacion-de-energia-en-medios-inalambricos.php>
- Jadhav, S. (2010). *Accounting of energy consumption from Wi-Fi interface in portable devices*. Wichita.
- Lee, J.-S., Su, Y.-W., & Sen, C.-C. (2007). *A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi*. Taipei.
- Little, M. (8 de Julio de 2011). *DC Current Measurement*. Obtenido de <http://www.re-innovation.co.uk/web12/index.php/en/information/dc-current-measurement>
- Muhammad, R. (2004). *Electronica de Potencia*. Mexico: Prentice Hall.
- Punkytse. (20 de Junio de 2013). *Voyage Design and Consultants*. Obtenido de About Voyage Linux: <http://www.linux.voyage.hk/>
- Zhang, X., & Kang, G. S. (2012). E-MiLi: Energy-Minimizing Idle Listening in Wireless Networks. *IEEE*, 14.