

## DISEÑO DE UN ENLACE WI-FI AUTÓNOMO COMO UNA SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD PARA ZONAS RURALES.

### Design of an autonomous Wi-Fi link as a solution for connectivity in rural areas.

#### RESUMEN

Este documento describe la experiencia de diseño, implementación y pruebas de campo de un enlace de largo alcance, alimentado con energía solar, utilizando radios Wi-Fi modificando parámetros de su MAC. El sistema es una alternativa para la conectividad de zonas rurales. Se utilizó el simulador RadioMobile durante el proceso de diseño. Se evaluó el desempeño del sistema entre dos estaciones separadas 10.22 Km alcanzándose una tasa promedio de transferencia en TCP de 13.8 Mbps. El sistema se diseñó para permitir una operación continua de 24 horas durante 3 días con bajos niveles de radiación solar.

**PALABRAS CLAVES:** Energía Solar, Iperf, MAC, Radio enlaces, Radio Mobile, Rural, Wi-Fi, IEEE 802.11.

#### ABSTRACT

*This document describes the experience of design, implementation and field tests of a long-range radio link using solar energy and Wi-Fi radios with modifications in parameters of the MAC. The system could be an alternative for rural areas connectivity. Radio Mobile simulator was used during the design process. The performance of the system was evaluated between two separate stations 10.22 Km, getting an average data transfer of 13.8 Mbps over TCP. The system was designed to allow 24-hour continuous operation during 3 days with low solar radiation.*

**KEYWORDS:** Solar Energy, Iperf, MAC, Radio Link, Radio Mobile, Rural, Wi-Fi, IEEE 802.11.

### 1. INTRODUCCIÓN

Aunque existen algunas iniciativas y programas gubernamentales para mejorar la conectividad en algunas regiones de países en vías de desarrollo, generalmente estos esfuerzos no se orientan a los sectores rurales donde existe una baja densidad de población. Estas comunidades se encuentran en algunos casos marginadas y desprotegidas. No cuentan con vías de acceso ni suministro de energía eléctrica, tienen elevados niveles de analfabetismo, carecen de servicios de salud y mucho menos hacen parte de algún tipo de programa para la prevención contra posibles desastres naturales.

Entre las alternativas tecnológicas que permiten ofrecer conectividad en zonas rurales se encuentran: *Very small aperture Terminal* (VSAT), *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX), *Terrestrial Trunked Radios* (TETRA), *Code Division Multiple Access* en 450MHz (CDMA450), *Digital Cordless Phone System*

#### ÓSCAR GUALDRÓN G.

Ph D. M.Sc.

Ingeniero Sistemas, Físico

Profesor Titular

Director Grupo CPS

Universidad Industrial de Santander

gualdron@uis.edu.co

#### JOSE RUGELES U.

Ingeniero Electricista y Electrónico,

Magister en Ingeniería Electrónica.

Investigador Grupo CPS.

Universidad Industrial de Santander

joserugeles@cps.uis.edu.co

#### RICARDO DIAZ S.

Ingeniero Electrónico, MSC(C).

Estudiante de Maestría en Ingeniería Electrónica

Universidad Industrial de Santander

rdiazcps@hotmail.com

Grupo de investigación en  
Conectividad y Procesado de señal  
(CPS). Universidad Industrial de  
Santander.

(DECT) y *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Cada una de ellas con características técnicas tales como: cobertura, banda del espectro electromagnético que ocupan, ancho de banda, número de estaciones que pueden acceder al canal de comunicación en forma simultánea, tipos de servicios que puede soportar la red, consumo de energía, además de los costos asociados para su instalación y funcionamiento. [1]

Wi-Fi es una marca registrada que garantiza la interoperabilidad entre fabricantes bajo el estándar IEEE 802.11 para ofrecer conectividad a varios usuarios en una red de área local (< 300 m). Esta tecnología de espectro ensanchado se destaca por su buen desempeño, bajo costo y consumo de potencia y alta flexibilidad, entendiéndose este factor como la posibilidad de realizar variaciones sobre la capa MAC de los radios. Estas características acompañadas por la selección de antenas de alta ganancia, hace posible ofrecer conectividad para el diseño de enlaces de largo alcance.

Considerando que en zonas rurales con baja densidad de población no solo la disponibilidad sino la continuidad del suministro de energía son limitadas, se hace necesario diseñar este tipo de sistemas utilizando sistemas fotovoltaicos para garantizar su autonomía. Para el dimensionamiento de este tipo de sistemas es necesario establecer el periodo de tiempo de operación del sistema de comunicación y el consumo de energía requerido en los diferentes modos de trabajo: reposo, recepción y transmisión. Es necesario realizar además un balance energético entre el recurso solar disponible, la potencia generada por el panel solar seleccionado y la capacidad del banco de baterías, con el propósito de establecer el nivel de autonomía del sistema fotovoltaico.

Una adecuada planificación y diseño de enlaces Wi-Fi de largo alcance se puede lograr empleando herramientas de simulación para realizar un dimensionamiento de los sistemas donde se tiene en cuenta la potencia entregada por los radios, las pérdidas en los cables y conectores, los niveles de sensibilidad, la ganancia de las antenas, la frecuencia de operación, la separación entre las estaciones y las pérdidas de espacio libre además de las ocasionadas por fenómenos de propagación inalámbrica.

Mediante la planificación se busca garantizar que el nivel de señal recibida en el enlace siempre sea mayor que el nivel sensibilidad de los radios, parámetro que se relaciona directamente con tasa máxima de transmisión posible en la capa física.

En este documento se describe la experiencia de diseño de un radio enlace, se realiza una comparación entre los cálculos teóricos obtenidos con los simulados mediante la herramienta de uso libre RadioMobile y se presentan los resultados obtenidos con las mediciones en campo del enlace implementado.

## 2. INICIATIVAS MUNDIALES

Existen diversas iniciativas similares desarrolladas especialmente por grupos de investigación alrededor del mundo. En la tabla 1 se hace referencia a algunos de ellos.

Experiencias nacionales como las realizadas por la Universidad del Cauca [5], describen enlaces de 6km, 36.1km y 88km alcanzando velocidades de transmisión de 4.5 Mbps, 2.5Mbps y 1.4Mbps respectivamente.

Otras iniciativas emplean equipos como el emulador de canal SR5500 para analizar enlaces de largo alcance, como lo muestra la experiencia del grupo TIER en el proyecto WILDNET, donde se analizan las prestaciones que ofrece la tecnología Wi-Fi con tráfico UDP sobre enlaces de varios kilómetros.[7]

Grupo	Universidad	Ref
Grupo de Telecomunicaciones Rurales. GTR-PUCP	Universidad Pontificia Católica. Perú	[2]
Technology and infrastructure for emerging regions (TIER)	Universidad de Berkeley. USA	[3]
Networks Research Group (WAND)	Universidad de Waikato. Nueva Zelanda.	[4]
Grupo de Ingeniería Telemática. GIT.	Universidad del Cauca. Colombia	[5]
Systems and Networks Research group. SynerG.	Instituto de tecnología de Kanpur. India	[6]

Tabla 1. Grupos de investigación en radio enlaces rurales

Trabajos como los realizados por el grupo SynerG [6], describen las experiencias en el diseño e implementación de redes Wi-Fi de largo alcance y detallan las modificaciones de las características del protocolo de acceso al medio que permiten mejorar el desempeño de los radio enlaces. También se destacan programas como el “Wi-Fi itinerante”, liderado por la organización responsable del portal WILAC (Tecnologías inalámbricas para el desarrollo de América Latina y el Caribe) donde se encuentra una gran cantidad de documentación para impulsar la implementación de redes comunitarias a partir de routers de bajo costo.[8]

En cada uno de los trabajos mencionados se evidencia que es posible emplear la tecnología Wi-Fi en la solución en la comunicación para entornos rurales, pero es necesario para su implementación, expansión y masificación. Cada región debe generar sus propias experiencias de acuerdo con su situación económica y política.

## 3. DESCRIPCION DEL HARDWARE

Se diseñaron dos nodos de comunicación WiFi, para una distancia de 10.22 km entre las estaciones A y B cuyas coordenadas se presentan en la tabla 1. Se utilizaron reflectores parabólicos de 24 dBi a 50 Ohm y dos tipos de *motherboards*: Soekris NET4801 y ALIX2D2, en las cuales se instala el sistema operativo Linux Voyage, versión 0.6.2 y el *driver* Madwifi. Las características de los radios XR2 de Ubiquiti utilizados se describen en la tabla 3. Se seleccionó el canal 3 con una frecuencia central de 2422 MHz.

	A	B
Longitud	73° 9' 4.4" Oeste	73° 6' 10.5" Oeste
Latitud	7° 9' 24.5" Norte	7° 6' 14.4" Norte
Altura	1063 metros	1294,6 Metros

Tabla 2. Coordenadas de ubicación de las dos estaciones.

	DataRate (Mbps)	Tx dBm	Sensitividad (dBm)
802.11b	1	28	-97
	2	28	-96
	5.5	28	-95
	11	28	-92
802.11g OFDM	6	28	-94
	9	28	-93
	12	28	-91
	18	28	-90
	24	28	-86
	36	26	-83
	48	25	-77
	54	24	-74

Tabla 3. Características de radio Extreme XR2 Ubiquiti [9]

Se consideran para el diseño las regulaciones de la FCC, sección 15.247 (*Regulations for Low Power, Non-Licensed Transmitters*) [10]. Esta normativa limita la potencia isotrópica radiada equivalente 30dBm, considerando una antena de 6 dBi y establece que por cada dBm que disminuya la potencia de transmisión del radio se puede aumentar en 3dBi la ganancia de la antena. Para el diseño se utilizan antenas de 24 dBi y se considera como potencia máxima permitida para el radio 24 dBm.

### 3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema se realizaron mediciones de consumo de potencia del nodo WiFi en los diferentes modos de operación utilizando un *data logger* Hobbo H8 para el cual se diseñó una etapa de acondicionamiento de señal que permitió medir la corriente consumida por la carga. Se adoptó una metodología similar a la utilizada en [11]. La figura 1 muestra el resultado obtenido con una prueba de 20 horas.

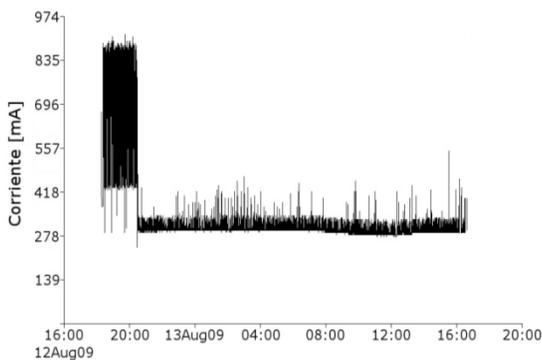


Figura 1. Medida de corriente en la carga

Se observa un consumo promedio de corriente de 575 mA durante un periodo de dos horas, tiempo durante el cual el radio estaba operación. Durante el tiempo restante la corriente tiene un valor promedio de 312 mA. A partir de estas medidas y conociendo la tensión de la batería se determinó el consumo promedio de potencia en la carga

para transmisión y en reposo de la misma forma se estableció el consumo de potencia cuando el nodo se modo recepción. Estos resultados se presentan en la tabla 4.

Consumo potencia motherboard Alix con un radio XR2	
Reposo	3,75 W
Transmisión	6.9 W
Recepción	5 W

Tabla 4. Consumo de potencia del nodo inalámbrico.

Se considera como autonomía del sistema al periodo de tiempo dentro del cual el sistema fotovoltaico es capaz de suministrar energía en forma continua al nodo Wi-Fi para que opere en cualquiera de sus tres estados (reposo, transmisión, recepción) o una combinación contigua de estos estados, sin recibir radiación solar.

#### 3.1.1 Cálculo de la energía consumida

El cálculo de la energía consumida se obtiene a partir de la ecuación (1).

$$E_{consumida} = P_{consumida} * T_{Funcionamiento} \quad (1)$$

Para lograr una autonomía de 24 horas con una potencia máxima de 6.9W el consumo de energía se estima en un valor de 165.6W-h.

Considerando una relación de energía generada y consumida de 1.1 y el valor de radiación solar histórico del mes más bajo, se concluye que las horas de radiación normalizada a 1000W requeridas son 2.9 h/día. Para el cálculo de la potencia del panel se utiliza la siguiente expresión.

$$P_{panel} = \frac{E_{consumida} * 1.1}{Horas_{Radiación_{1000W}}} = 62.81W \quad (2)$$

Se busca un panel fotovoltaico policristalino comercial con el valor de potencia más cercano al valor obtenido en la ecuación (2), para el caso 65W. Para calcular la potencia generada por el panel en el día para el peor mes se utiliza la siguiente expresión.

$$E_{generada} = Potencia_{panel} * HorasRadiación_{1000W} \quad (3)$$

De la ecuación (3) se obtiene que la energía generada por el panel al día es 188.8W-h. Para el cálculo de la autonomía del sistema se determina la capacidad de la batería con a partir de la ecuación 4.

$$C_{Bateria} = \frac{E_{consumida} * Nro_{dias\_autonomia}}{Profundidad_{descarga} * Tension_{Bateria}} \quad (4)$$

Considerando 12V de tensión en la batería, que la profundidad de descarga en la batería es 0.7 y estimando que en el peor de los casos la ausencia de radiación será

de 3 días, se estima que la mínima capacidad de la batería es de 59.14 AH. Se requiere que la batería seleccionada sea mayor que la capacidad calculada. Se seleccionaron entonces 2 baterías 33AH marca MTEK. La selección del regulador se realiza considerando la corriente que necesita ser regulada donde esta siempre será menor a 5 Amperios. El regulador seleccionado para el prototipo es el Steka PR0505.

Se llega finalmente a un sistema que utiliza un panel solar de 65 W y dos baterías de 33 AH, con lo cual es posible alimentar la carga, que tiene un consumo de potencia máximo durante el modo de transmisión de 6.9 Watts alcanzándose para este diseño una autonomía de 24 horas.

### 3.2 Capa MAC del estándar 802.11

La capa de acceso del estándar 802.11 define dos mecanismos para su operación: DFC (*Distribution coordination function*) y el PCF (*Point Coordinated Function*). Los equipos comerciales generalmente emplean el mecanismo DFC, el cual accede al medio con el protocolo *Carrier Sense Multiple Access / Collision avoidance* (CSMA/CA). La figura 2 describe este mecanismo.

Cuando se utiliza DCF básico la estación transmisora antes de inicializar una transmisión invoca al mecanismo *Carrier Sense* (CS) para determinar si hay otra estación transmitiendo. Si encuentra el canal libre por un intervalo de tiempo que excede un espacio *interframe* distribuido DIFS inicia un intervalo de tiempo *backoff* exponencial aleatorio el cual se encuentra ranurado. Estas ranuras se van decrementando mientras la estación transmisora detecta el canal libre. Cuando el contador de la ranuras llega a cero la estación transmite (la transmisión se realiza al inicializar la ranura del tiempo cero). Si la estación encuentra el canal ocupado el contador se reinicia y vuelve a esperar DIFS, tiempo durante el cual el canal se debe encontrar libre para continuar decrementando el contador. El tiempo *backoff* aleatorio se selecciona a partir de un valor entre  $(0, C_w)$  donde  $C_w$  se llama la ventana de contención cuyo valor depende del número de transmisiones fallidas al enviar un paquete, en el primer intento en que la estación desea transmitir. La  $C_w$  toma el valor de  $C_{wmin}$  llamado la ventana de contención mínima. Cada vez que se realiza una transmisión y ésta no es exitosa el valor de  $C_w$  se dobla, hasta alcanzar un máximo valor  $C_{wmax}$ . [12]

#### 3.2.1 Variaciones en los parámetros MAC.

Se describen a continuación dos de los principales parámetros asociados a la capa MAC que permiten utilizar la tecnología Wi-Fi para enlaces de largo alcance con buen desempeño.

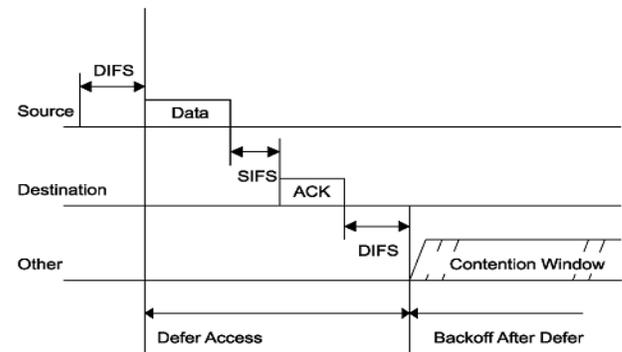


Figura 2. Mecanismo para enviar datos IEEE 802.11[12]

**ACKTimeout:** Es el tiempo que la estación transmisora espera el ACK de un paquete enviado previamente. Transcurrido este tiempo se considera que el paquete se perdió y se genera una retransmisión.

Al implementar un enlace de largo alcance se debe garantizar que valor de tiempo *ACKTimeout* el tiempo de propagación entre las dos estaciones, para no generar retransmisiones innecesarias las cuales conllevarían a que disminuya el *throughput* drásticamente. Esto se debe a que cuando el transmisor desconoce el arribo de un paquete al receptor se continuará enviando (7 veces como máximo), generando retransmisiones que a su vez colisionaran con los ACK. En general el valor de *ACKTimeout* debe ser mayor a dos veces el tiempo de propagación y su valor se calcula con la siguiente expresión.[13]

$$ACKTimeout = ACKTimeout_{local} + \frac{2 * D}{300} \mu s \quad (5)$$

Para el diseño del enlace se considera que un valor del  $ACKTimeout_{local}$  de  $48 \mu s$ , y conociendo la distancia entre las estaciones  $D=10.22$  km al utilizar (5) se obtiene un valor para *ACKTimeout* de  $116 \mu s$ .

**SLOTIME:** Está definido de tal forma que una estación siempre pueda determinar si otra estación ha accedido al canal al inicializarse un slot previo. El tiempo deduración para el *slottime* debe garantizar que éste no finalice antes de que la señal alcance a su destino, para evitar que aumente el número de colisiones cuando las dos estaciones estén accediendo al canal de manera simultánea. Esto se debe a que las estaciones no podrán determinar si otras estaciones se encuentran transmitiendo en el mismo *slot*.

El valor del *Slottime* deberá ser cercano al tiempo de propagación si se desea optimizar el *throughput*; si se desea optimizar el retardo y los paquetes perdidos el valor del *Slottime* debe ser cercano a dos veces el tiempo de propagación para que cuando las dos estaciones usen este valor solo generen colisiones en caso de transmitir en el mismo *slot*. [13]

Para el caso de diseño se tomo un valor *slottime* cercano al que optimiza el *throughput*.

$$Slottime = slottime_{estandar} + \frac{D}{300} \mu s \quad (6)$$

Donde *slottime*<sub>estandar</sub> para IEEE802.11b/g es 20µs y 9µs respectivamente. Reemplazando en (6) para el enlace diseñado se obtiene un valor para el *Slottime* de 44µs.

#### 4. SIMULACIÓN DEL ENLACE

Los modelos de propagación son el primer acercamiento que se tiene al diseñar un radio enlace debido a que permiten estimar el nivel de pérdidas asociados a los fenómenos de radio propagación.

Entre el software de uso libre más relevante para el diseño de radio enlaces se encuentran, Radio Mobile [14] y Splat [15]. Se seleccionó para este trabajo la herramienta Radio Mobile, la cual se configuró con la información geográfica de los puntos A y B del radio enlace. Esta información se encuentra disponible en [16].

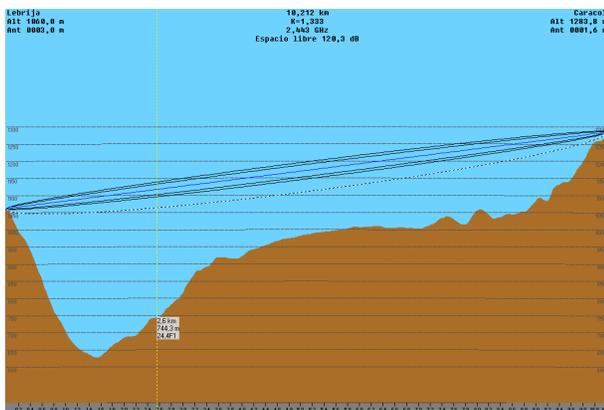


Figura 3. Vista lateral Radio enlace punto a punto entre A y B.

Teniendo en cuenta las coordenadas de los sitios, las especificaciones del hardware utilizado y la recomendación UIT-R P.530-12 se establecen los parámetros de simulación descritos en la tabla 5. A partir de la simulación se encontró que las pérdidas de espacio libre son de 120 dB y las pérdidas ocasionadas por otros factores son de 10.7 dB. El nivel de señal recibida es de -59.1 dB superando el nivel de sensibilidad del radio en 14.9 dB.

Ganancia de las antenas	24 dBi
Patrón de radiación	Directivo
Ancho del haz de la antena	10 grados
Potencia del radio :	24 dBm
Sentividad del receptor	-74 dBm
Tipo de ambiente	Rural
Clima	Ecuatorial
Refractividad de la superficie	301

Conductividad del suelo (s/m)	0.005
Permitividad relativa del suelo	15
Frecuencia de operación	2400 – 2500 MHz
Altura de la antena	2 metros
Perdidas cables y conectores	2 dB
Modelo de propagación	Longley-Rice

Tabla 5. Parámetros de simulación

Considerando el perfil del terreno se tiene que en el peor de los casos el cálculo de las zonas de fresnel resulta en un valor de 3.5 F1, resultado que evidencia la inexistencia de interferencia debido a la difracción para este enlace. Los azimuth obtenidos fueron: 125.1° desde la estación B hasta la estación A y 305.1° desde la estación A a la B.

#### 5. PRUEBAS DE CAMPO

La figura 4 muestra los nodos instalados en cada una de los sitios A y B.



Figura 4. Estaciones A y B

Las antenas de las estaciones se alinearon de acuerdo con la información de azimuth y ángulo de elevación calculados previamente. Para optimizar la alineación y calcular las pérdidas por radiopropagación se utilizó un generador de radiofrecuencia R&S SMB100A transmitiendo a una frecuencia de 2.422GHz con una potencia de 30 dBm y se utilizó el analizador de espectros Wi-Spy adaptado a la antena de 24 dBi para medir el nivel de potencia recibida, como se puede observar en la figura 5.

El nivel de señal recibida máxima observada con el Wi-Spy es de -52dB utilizando un transmisor de 30dBm. Como la potencia de transmisión del radio es de 24 dBm, se puede analizar este resultado restando 6dB a la potencia recibida, con lo que se obtiene una magnitud de -58 dBm; valor muy cercano a los -59.1 dBm entregado por la simulación.

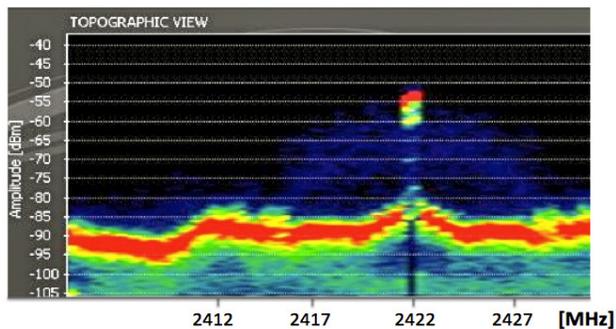


Figura 5. Medidas de nivel de señal recibida de la portadora.

Posteriormente se configuró el enlace a a 54Mbps, y con la herramienta de tráfico *Iperf* se calculó el *throughput* TCP cuyo promedio es de 13.8 Mbps. Los resultados de estas pruebas se pueden observar en la figura 6.

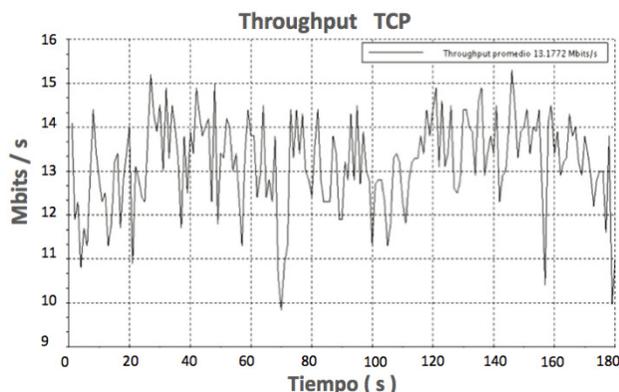


Figura 6. Medida de *throughput* TCP en pruebas de campo.

Se continúa trabajando en el mejoramiento del diseño hardware, en la instalación y pruebas de enlaces a distancias de 20, 30, 50 y 60 Km con el propósito de analizar las variaciones de la tasa de transferencia de datos respecto a la distancia, así como en la implementación de un nodo repetidor que permita mejorar el alcance del sistema de comunicación.

## 6. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un enlace punto a punto de largo alcance a partir de radios Wi-Fi que usan el *chipset* Atheros, los cuales permiten realizar modificaciones sobre ciertos parámetros MAC para mejorar el desempeño del enlace.

Se diseñó también una etapa de alimentación del sistema con energía solar considerando una condición extrema de operación continua de 24 horas con la máxima potencia de transmisión, donde se obtuvo una autonomía para el sistema de 3 días continuos con bajos niveles de radiación solar.

Fue posible establecer mediante pruebas de campo, utilizando la herramienta software *Iperf*, que la tasa promedio de transmisión de datos en TCP para una distancia de 10.22 Km fue de 13.8 Mbps. Estos

resultados permiten utilizar el sistema de comunicación diseñado como una alternativa de conectividad para implementar diversos servicios de comunicación en zonas rurales sin cobertura de comunicación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. V. Gomez, "Análisis de Sistemas digitales radio apropiados a las necesidades de telecomunicación en zonas rurales aisladas de la Amazonia peruana," Bsc. tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, N. 2003.
- [2] "Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR-PUCP)," Consultado en septiembre 2010, [En línea]. Disponible en: <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe>.
- [3] "Technology and infrastructure for emerging regions (TIER)," Consultado en septiembre 2010, [En línea]. Disponible en: <http://tier.cs.berkeley.edu/wiki/Home>.
- [4] "Networks Research Group (WAND)," Consultado en septiembre 2010, [En línea]. Disponible en: <http://wand.cs.waikato.ac.nz>.
- [5] "Grupo de Ingeniería Telemática (GIT)," Consultado en septiembre 2010, [En línea]. Disponible en: <http://git.unicauca.edu.co>.
- [6] "Systems and Networks Research group (SynerG)," Consultado en septiembre 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.cse.iitb.ac.in/synerg/doku.php>.
- [7] R. Patra, S. Nedeveschi, S. Surana, A. Sheth, L. Subramanianand, E. Brewer. "WILDNet: Design and Implementation of High Performance WiFi Based Long Distance Networks". NSDI, 2007.
- [8] "Tecnologías inalámbricas para el desarrollo de América Latina y el Caribe (WiLAC)," [En línea]. Disponible en: <http://wilac.net>.
- [9] "Ubiquity Networks XR2," 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.ubnt.com/xr2>.
- [10] UIT-R Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa, UIT-RP.530-12, 2007.
- [11] IEEE 802.11-2007, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, technical report, IEEE CS, 2007.
- [12] J. Lyons, "Datalogging Lessons," Magazine, Home power vol 114, pp 64-67 august & September 2006.
- [13] F. J. Simó, A. M. Fernández, F. J. Ramos-López, J. Seoane-Pascual, "Modeling and Optimizing IEEE 802.11 DCF for Long-Distance Links," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, no. 6, pp. 881-896, Feb. 2010.
- [14] "RADIOMOBILE," 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.
- [15] "SPLAT," 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>.
- [16] "Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)," 2010, [En línea]. Disponible en: [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3)