

Diseño de una red backhaul autogestionable para conectividad rural en Sucre - Colombia

Self-manageable backhaul network design for rural connectivity in Sucre - Colombia

Claudia L. Cortés¹, Mauricio Alejandro Montaña-Argote², Alejandra M. Osorio³, Neil Guerrero-González⁴

¹ Grupo de investigación en Telemática y Telecomunicaciones - GTT, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

Orcid: 0000-0001-5760-9990. Correo electrónico: clcortesc@unal.edu.co

² Proyecto Modelo Ecosistémico de Mejoramiento Rural y Construcción de Paz: Instalación de Capacidades Locales, Universidad de Caldas, Colombia. Orcid: 0000-0002-6255-0898. Correo electrónico: m.montanho.a@gmail.com

³ Grupo de investigación de Estudios Jurídicos y Socio- Jurídicos, Proyecto Modelo Ecosistémico de Mejoramiento Rural y Construcción de Paz: Instalación de Capacidades Locales, Universidad de Caldas, Colombia.

Orcid: 0000-0002-1846-209X. Correo electrónico: alejandram.osorio@ucaldas.edu.co

⁴ Grupo de investigación en Recursos Energéticos - GIRE, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

Orcid: 0000-0002-8504-3741. Correo electrónico: nguerrero@unal.edu.co

Recibido: 24 abril, 2020. Aceptado: 9 julio, 2020. Versión final: 25 octubre, 2020.

Resumen

Este artículo aborda el diseño e implementación de una red de telecomunicaciones de retorno (backhaul) en la región de Sucre (Colombia) como una solución disruptiva para extender la conectividad desde la red central ubicada en el municipio de Chalán a las comunidades rurales de Chalán y Ovejas. La conectividad a Internet se entregará a través de una tecnología de telecomunicaciones inalámbrica autogestionable conocida como WiBACK, que admitirá la tecnología futura de comunicación 5G. Los resultados de la investigación diseñarán la hoja de ruta y la evaluación comparativa de los escenarios de expansión de la red de acceso colombiana de banda ancha en escenarios de postconflicto.

Palabras clave: redes backhaul; conectividad rural; brechas urbano – rurales; postconflicto; solución disruptiva; red autogestionable.

Abstract

This paper addresses the design and implementation of a backhaul telecommunication network in the region of Sucre (Colombia) as a disruptive solution to extend connectivity from the core network located in the city of Chalán, to the rural communities of Chalán and Ovejas. Internet connectivity will be delivered through a self-manageable telecommunications wireless technology known as WiBACK, supporting future 5G communication. Results will layout the roadmap and benchmarking of upgrade scenarios of Colombian access network, envisioning broadband rural connectivity in the context of post-conflict.

Keywords: backhaul networks; rural connectivity; urban-rural gaps; post-conflict; disruptive solution; self-manageable red.

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 - 8456, **CC BY-ND 4.0** 

Como citar: C. L. Cortés, M. A. Montaña-Argote, A. Osorio, N. Guerrero-González, “Diseño de una red backhaul autogestionable para conectividad rural en Sucre - Colombia,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 1, pp. 67-78, 2021, doi: [10.18273/revuin.v20n1-2021006](https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021006)

1. Introducción

Se necesita una expansión de las redes de telecomunicaciones inalámbricas y basadas en fibra óptica del país para expandir el servicio de conectividad a nivel nacional y preparar la llegada de la tecnología 5G. De hecho, se espera que las redes de telecomunicaciones colombianas de próxima generación contribuyan al desarrollo económico, social y cultural reduciendo las brechas tecnológicas y de conocimiento entre las zonas rurales y urbanas. Además, el mercado emergente asociado al Internet de las cosas (IoT) requerirá infraestructuras de telecomunicaciones capaces de aumentar la tasa de datos de acceso, la capacidad de ancho de banda, aumentar la flexibilidad y permitir una fácil gestión de su compleja infraestructura.

Los desafíos asociados con la ampliación de la infraestructura de la red se pueden resumir en dos categorías: confiabilidad y flexibilidad. Por un lado, se requiere una operación de red altamente confiable debido a la expectativa de la sociedad moderna de acceder a la conectividad en cualquier momento y en cualquier lugar. Por otro lado, las redes 5G futuras y los servicios asociados como aplicaciones basadas en la nube, IoT, realidad virtual y aumentada exigirán mayor flexibilidad de ancho de banda y una latencia muy baja en comparación con las redes 4G existentes.

Además, y debido a la reciente expansión masiva de operadores de red en Colombia, la integración de nuevas redes de sub-acceso en áreas rurales a redes urbanas también requerirá técnicas de gestión de red de vanguardia. La parte de la infraestructura que conecta la red central para acceder a las redes se conoce como red de retorno (backhaul). Para garantizar un impacto mínimo en la calidad de servicio (QoS) de internet, se deben desarrollar técnicas de backhauling inteligentes que le permitan a la red adaptarse a escenarios inesperados resultantes de las redes de 5G [1, 2]. De hecho, las redes de backhaul de próxima generación se visualizan como sistemas autogestionables capaces de detectar las condiciones de la red para reconfigurar recursos de red [3].

El presente documento se enfoca en el diseño de una red de retorno para extender la conectividad a las zonas rurales de los municipios de Ovejas y Chalan en el departamento de Sucre en Colombia. La estrategia de backhauling estudiada llamada WiBACK [4] fue presentada en 2016 por el Instituto Fraunhofer de Tecnología de Información Aplicada FIT y tiene la ventaja de estar diseñada con características de Redes Definidas por Software (SDN) [4]. Además, WiBACK

permite una instalación rápida incluso en entornos geográficos difíciles como las zonas rurales colombianas.

2. Conectividad en zonas de posconflicto

A nivel mundial las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han sido motor de avance para el desarrollo económico y social de cada país. Sin embargo, estas tecnologías presentan limitantes dependiendo del entorno en el cual se desenvuelven; por ejemplo, la conectividad en países desarrollados es de mayor calidad y menor costo que en países subdesarrollados o emergentes, así mismo, esta relación se conserva entre los centros urbanos y las zonas rurales.

Ciertamente, estas diferencias influyen en el desarrollo de los países creando desigualdades entre sus habitantes y construyendo la llamada “Brecha Digital”. La Brecha Digital es definida como “la separación que existe entre las personas (comunidades, estados, países, ...) que utilizan las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) como una parte rutinaria de su vida diaria y aquellas que no tienen acceso a las mismas y que, aunque las tengan no saben cómo utilizarlas” [5].

En consecuencia, en el año 2000 los 189 estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobaron la llamada “Declaración del Milenio” [6], con la cual se acordaron los ocho (8) “Objetivos de Desarrollo del Milenio – (ODM)” con el propósito de tener un mundo más pacífico, próspero y justo para todos sus habitantes.

Así, como muestra de las necesidades en torno al sector TIC, su objetivo ocho (8) titulado “Fomentar una Sociedad Mundial para el Desarrollo” en una de sus metas invita a velar por el desarrollo global y cierre de las brechas tecnológicas de cada país; estableciendo que, “En colaboración con el sector privado, velar por que se puedan aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías, en particular, los de las tecnologías de la información y de las comunicaciones” [7].

Recientemente, organizaciones como Google LLC. con su proyecto Loon [8], la empresa de comunicaciones One Web con su proyecto One Web Satellite Constellation [9] y el Instituto Alemán Fraunhofer-Gesellschaft con su tecnología WiBACK [4], han avanzado en el desarrollo de tecnologías que pueden facilitar el acceso a las TIC y reducir la brecha digital. La tecnología WiBACK ha mostrado grandes avances en cuanto a la conexión de áreas rurales alrededor del mundo, proporcionando Internet de buen rendimiento a un bajo costo. En la Figura 1 se presenta la propuesta de red de

telecomunicaciones backhaul para conectividad rural utilizando la tecnología WiBACK.

Esta investigación está enmarcada en el programa de Colombia Científica “Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto” y tiene como uno de sus objetivos integrar servicios de conectividad a modelos de desarrollo rural en el Departamento de Sucre. Las ventajas asociadas a la instalación rápida y expandible de la infraestructura, así como la reconfiguración del ancho de banda, permitirán la creación de observatorios socioambientales con actualizaciones en tiempo real de variables asociadas con la prevención o solución sustentable de los problemas ambientales y sus consecuencias sociales, y la generación de comunidades virtuales con fines de innovación social y tecnológica.

2.1. Redes backhaul autogestionables

WiBACK funciona como red de acceso inalámbrica entre puntos de acceso e infraestructuras fijas a través de enrutadores utilizando un controlador central, lo cual permite controlar, administrar y configurar la red. En cuanto a conectividad, tiene la capacidad de conectarse a Wi-Fi, GSM, UMTS o LTE (4G). Sus antenas se conectan entre sí como una red en malla con lo cual puede cubrir distancias de cientos de kilómetros, y si algún enlace presenta fallas tiene la capacidad de trazar nuevas rutas para mantener una conexión estable. Además, los equipos pueden ser conectados a la red eléctrica o por medio de paneles solares, lo cual brinda menores costos y acceso a lugares donde la energía eléctrica es escasa [4].

Estaciones operativas y pilotos realizados en ciudades del mundo como Maseru - Lesoto en África, Theishohn - Hennef en Alemania, Bunda - Tanzania, la Jagua de

Iribico - Cesar en Colombia en participación con la compañía BlazingSoft, Bruneck - Italia, entre otros, son muestra de la proyección que tiene esta tecno-logía [10].

2.2. Dinámicas territoriales en los municipios de Ovejas y Chalán, Sucre – Colombia

Los municipios de Ovejas y Chalán se localizan en la subregión Montes de María, departamento de Sucre en el caribe colombiano. Según el Registro Único de Víctimas (RUV) [11], en las décadas de los años 90 y 2000 estos territorios fueron bastante impactados por el conflicto armado, que dejó entre el 82 y 85% de la población víctima. Ovejas con una extensión de 453 km², de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) presenta una proyección a 2020 de 20.806 habitantes, urbanos 12.067 y rurales 8.739. Por su parte, el municipio de Chalán abarca una superficie de 80 km² y cuenta con una población de 4.431 personas, de las cuales 2.792 viven en la cabecera municipal y 1.639 en la zona rural [12].

La economía en los municipios de Ovejas y Chalán es campesina y se sustenta principalmente en actividades agropecuarias constituidas por cultivos de ñame, yuca, maíz, aguacate, ajonjolí y ganadería, que generan el ingreso del 90% de la población [13] [14]. Sin embargo, la falta de innovaciones tecnológicas, prácticas ambientales adecuadas, la ausencia de capital financiero, vías de acceso, centros de acopio y el cambio climático generan altos índices de pobreza. En el año 2018 la región caribe contó con la tasa de incidencia de pobreza multidimensional más alta del país con un 34% [15].

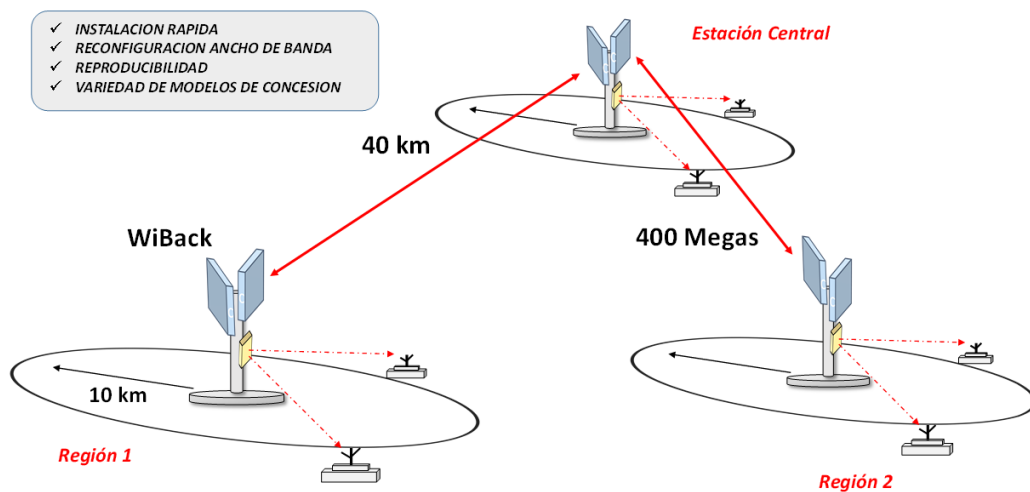


Figura 1. Propuesta de red de telecomunicaciones Backhaul para conectividad rural. Fuente: elaboración propia.

Aunado a lo anterior, las tasas de analfabetismo en mayores de 15 años son altas entre el 26% y el 34% [16]. La zona rural del municipio de Ovejas donde se instalará la tecnología WiBACK, es el Corregimiento La Peña, con una superficie de 2600 hectáreas y una población de 1154 habitantes que se destacan por su alto grado de escolaridad [17]. Toda la población es reconocida como víctima del conflicto armado y hacen parte de un plan integral de reparación colectiva [18].

En el municipio de Chalán el sector rural seleccionado para la instalación de la red inalámbrica WiBACK es el Corregimiento la Ceiba, un pequeño asentamiento localizado a 3 km de la cabecera, con una población de 150 personas que cuenta con servicio de acueducto y dos centros educativos. La comunidad está organizada mediante la Junta de Acción Comunal y una Asociación de Pequeños Agricultores integrada por 40 socios.

Los territorios de Ovejas y Chalan hacen parte de los 170 municipios de Colombia donde se implementan los Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial [19], cuya concepción promueve el cierre de brechas entre el campo y la ciudad. Montes de María proyecta para 2028 un territorio innovador líder en producción agroecológica, con desarrollo turístico comunitario y una población educada, organizada y empoderada que propicia la participación y la autonomía campesina [20].

3. Diseño red backhaul WiBACK para conectividad rural en los municipios de Ovejas y Chalán, Sucre – Colombia

El diseño de una red backhaul para ampliar la conectividad en áreas rurales mediante la estrategia tecnológica WiBACK se presenta a continuación. Previo a la instalación, se realizan dos etapas de diseño: i) la proyección teórica y el estudio de campo con el propósito de presupuestar la cantidad de enlaces necesarios para interconectar las poblaciones caracterizadas en la sección 2.2, y ii) el cálculo de parámetros previo a las simulaciones de los enlaces según los requerimientos técnicos de la tecnología WiBACK.

3.1. Proyección teórica y estudio de campo entre los municipios de Ovejas y Chalán, Sucre – Colombia

Según las necesidades de cobertura que debe satisfacer la red inalámbrica backhaul, primero se debe realizar la proyección teórica. La proyección teórica incluye la cantidad y la ubicación de puntos para realizar la interconexión entre las poblaciones objeto del proyecto: la cabecera municipal del municipio de Chalán, el corregimiento la Ceiba perteneciente al municipio de

Chalán y el corregimiento la Peña perteneciente al municipio de Ovejas.

Confirmados los sitios, se debe conocer la topografía de la zona buscando los sitios más elevados para instalar las torres que soportarán los equipos de comunicación, maximizando la distancia según las características técnicas de las antenas y transmisores a utilizar. Las coordenadas exactas de los puntos son adquiridas en campo mediante un dispositivo GPS, y digitadas y almacenadas en un software de mapas interactivo como Google Earth Pro [21]. Es una herramienta de software de uso libre que permite generar el perfil de elevación y dibujar una ruta entre dos sitios georreferenciados. En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de la cabecera municipal del municipio de Chalán, el corregimiento la Ceiba perteneciente al municipio de Chalán y el corregimiento la Peña perteneciente al municipio de Ovejas, y en la Figura 2 se presenta la ubicación geográfica de cada población.

Tabla 1. Coordenadas y referencia poblaciones ubicadas en la Figura 2

Población	Latitud	Longitud	Símbolo
C. Almagra	9.55°	-75.25°	Rombo
Chalán	9.54°	-75.31°	Triángulo
La Ceiba	9.56°	-75.30°	Cuadrado
La Peña	9.52°	-75.18°	Círculo

Fuente: elaboración propia.

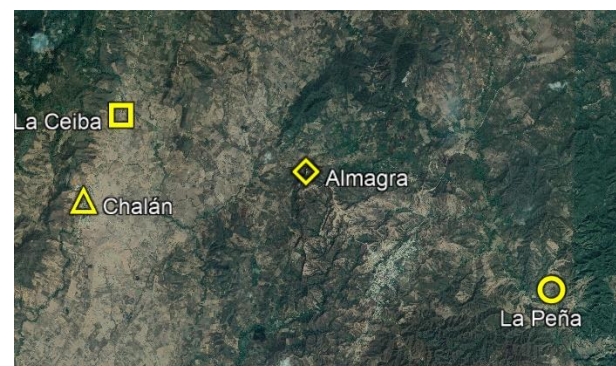


Figura 2. Ubicación geográfica de las poblaciones donde se instalarán torres. Fuente: imagen generada en Google Earth Pro.

Mediante la aplicación Google Earth se identifica si hay línea de vista u obstáculos entre la ubicación de los puntos seleccionados para la instalación de las torres y se muestra la topografía entre esos sitios, con datos de la altura sobre cualquier punto intermedio. Cuando no se encuentra línea de vista directa entre los puntos se hace

necesaria la instalación de una torre repetidora. En el caso particular de este proyecto, se observa en la Figura 3 el perfil de elevación entre la cabecera municipal del municipio de Chalán (Triángulo) y el corregimiento la Peña perteneciente al municipio de Ovejas (Círculo).

Según el perfil de elevación, se observa en la Figura 3 la falta de línea de vista directa obstaculizada por el Cerro Santafé (Flecha hacia abajo) localizado en las coordenadas 9.535129° latitud y -75.252183° longitud en un predio privado. La altitud de las poblaciones se presenta en la Tabla 2.

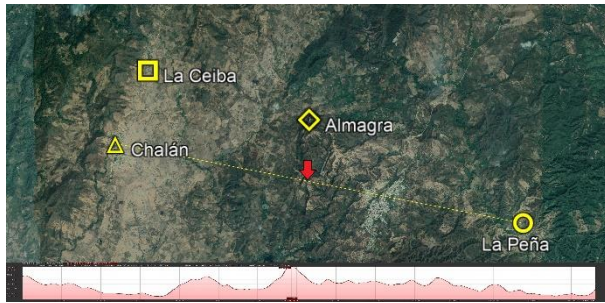


Figura 3. Perfil de elevación entre el municipio de Chalán (izquierda) y el corregimiento La Peña (derecha); en medio el Cerro Santafé (flecha hacia abajo) Ovejas, Sucre - Colombia. Fuente: imagen generada en Google Earth Pro.

Tabla 2. Altitud poblaciones referente al perfil de elevación de la Figura 3

Población	Altitud	Símbolo
Chalán	294.4 msnm	Triángulo
C. Santafé	345 msnm	Flecha hacia abajo
La Peña	224.6 msnm	Círculo
C. Almagra	380.3 msnm	Rombo
La Ceiba	308.9 msnm	Cuadrado

Fuente: elaboración propia.

Según el estudio de campo, el lugar más apropiado para la instalación de la antena repetidora es el cerro Almagra referenciado en la Tabla 1 y la Figura 2 - Rombo. El cerro Almagra está ubicado a 2.15 km del cerro Santafé. Por su ubicación y elevación (380.3 msnm), permite interconectar a Chalán con la Peña, y tiene línea de vista con el corregimiento la Ceiba. Luego de tener las líneas de vista estimadas, se realizan los cálculos previos a la simulación de los enlaces.

3.2. Cálculo de parámetros y características técnicas de los equipos previos a la simulación de enlaces entre los municipios de Ovejas y Chalán, Sucre – Colombia

Con la ayuda del software Radio Mobile [22], herramienta en línea usada para planificar enlaces de comunicación inalámbrica insertando datos reales, se realiza la simulación de los enlaces para interconectar la cabecera municipal del municipio de Chalán, el corregimiento la Ceiba perteneciente al municipio de Chalán y el corregimiento la Peña perteneciente al municipio de Ovejas.

Para realizar la simulación, es necesario conocer dos conjuntos de información; el primer conjunto son la ubicación geográfica con coordenadas de los sitios y la altura de las estructuras (torre o mástil) que soportarán y elevarán las antenas, y el segundo conjunto son las características técnicas de los equipos de transmisión y las antenas.

La altura de las estructuras se determina según el obstáculo que deba ser evitado para que no haya un bloqueo de la señal. Se calcula usando el 60% base la medida de la Zona de Fresnel [23], un área con figura elipsoide, no visible, que se forma con la señal entre los dos extremos de un enlace y, que debe estar despejada para que haya una buena calidad de transmisión. La zona de Fresnel se puede calcular con la Ecuación 1 [24].

$$r = 0.5 \sqrt{\lambda * d} \tag{1}$$

Donde:

- r = radio de la Zona de Fresnel (m)
- λ = Longitud de onda transmitida (m)
- d = Distancia entre las antenas (km)

La longitud de onda se calcula: $\lambda = c/f$, donde $c = 300000 \text{ km/s}$ (Velocidad de la luz), $f = 5725000 \text{ kHz}$ es la Frecuencia de transmisión escogida dentro del rango soportado por WiBACK; y $d = 8315 \text{ km}$ (Distancia entre el cerro Almagra y La Ceiba, tomada como ejemplo). Reemplazando los valores en la Ecuación 1 se tiene que:

$$r = 0.5 \sqrt{\left(\frac{300000 \text{ km/s}}{5725000 \text{ kHz}}\right) * 8.315 \text{ km}}$$

$$r = 10.43 \text{ m}$$

$$r (60\%) = 0.6 * 10.43 \text{ m} = 6.26 \text{ m}$$

La medida mínima calculada para la altura de la torre es 6.26 m. Para efectos prácticos y de seguridad se decide comenzar las simulaciones con una altura de la torre de 9 m.

El segundo conjunto de información está comprendido por las características técnicas de los equipos de transmisión WiBACK, y las antenas utilizadas entre los que se encuentran las frecuencias de trabajo, potencia de transmisión, ganancia de las antenas y otros datos más que pide el software y que se pueden conseguir en la hoja técnica de los equipos [25, 26]. Las características técnicas de los equipos WiBACK se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características técnicas equipos WiBACK

Característica	Valor	Unidad
Rango de frecuencias	5180 - 5800	MHz
Potencia de transmisión	30	dBm
Ganancia de antena	23	dBi
Sensibilidad de recepción	-96	dBi

Fuente: elaboración propia.

La tecnología WiBACK posee un software autogestionable, el cual define de manera automática las frecuencias de trabajo mediante el escaneo del espectro, adaptándose a la mejor frecuencia de trabajo disponible y cambiándola cuando haya otro enlace ajeno usando la misma frecuencia que cree interferencia [27]. Para efectos de simulación, se escoge una frecuencia de trabajo dentro del rango de frecuencias disponibles, la frecuencia escogida para realizar la simulación es 5725 MHz.

Una red backhaul complementa la red de internet existente y mejora la cobertura. El nodo principal de la red backhaul rural WiBACK se ubica en la cabecera municipal del municipio de Chalán. En la Figura 4 se presenta la proyección de los enlaces presupuestados para realizar la interconexión de las poblaciones, a los cuales se les ha asignado una nomenclatura como se describe en la Tabla 4.

Tabla 4. Origen y destino enlaces red WiBACK referenciados en la Figura 4

Enlace	Origen	Destino	Color
1	Chalán	C. Almagra	Cian
2	C. Almagra	La Ceiba	Amarillo
3	C. Almagra	La Peña	Verde

Fuente: elaboración propia.

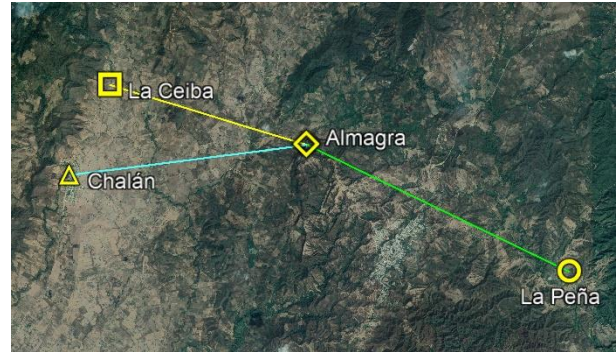


Figura 4. Ubicación de sitios y enlaces inalámbricos.

Fuente: imagen generada en Google Earth Pro.

4. Resultados simulación red backhaul rural WiBACK en los municipios de Ovejas y Chalán, Sucre – Colombia

Los tres enlaces diseñados para interconectar las poblaciones se presentan de forma detallada cada uno en una sección separada. Con las simulaciones se busca tener una predicción teórica del comportamiento de las señales inalámbricas desde que son emitidas por el dispositivo transmisor hasta llegar al receptor. Un valor simulado es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). El valor es 1 W (equivalente a 30 dBm) ajustado al límite exigido por la regulación de las comunicaciones en Colombia para enlaces que trabajen bajo la frecuencia de 5725 MHz valor [28], como es el caso del presente documento.

Con base en los valores de Señal Recibida y Potencia Isotrópica Radiada Equivalente se determina el valor de la Ganancia del Sistema, definido como la diferencia entre la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor [24] como se observa en la Ecuación 2.

$$G_S = P_{Tx} - C_{min} \quad (2)$$

Donde

G_S = Ganancia del sistema

P_{Tx} = Potencia de transmisión

C_{min} = Sensibilidad del receptor

La P_{Tx} se obtiene mediante la Ecuación 3.

$$P_{Tx} = PIRE + L - G_A \quad (3)$$

Donde:

PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

L = Pérdidas

G_A = Ganancia de la antena

El valor de L es un valor estimado y asumido por el software Radio Mobile con base en pérdidas que comúnmente se dan en los cables y conectores, que pueden variar en torno a la calidad de estos; mientras que G_A se toma de la hoja de datos técnicos de la antena a utilizar.

Se presenta para cada enlace: i) distancia y altura de las antenas en transmisión y en la recepción, ii) imagen con el perfil de elevación entre las antenas y línea de vista entre ellas, y finalmente, iii) se presenta el desempeño estimado del comportamiento de las señales simulado en el software Radio Mobile.

4.1. Enlace 1: Chalán – repetidora Cerro Almagra

El primer enlace tiene una distancia de 6,824 km desde la ubicación del nodo en la cabecera municipal del municipio de Chalán hasta la torre repetidora ubicada en el cerro Almagra. Localizado junto al polideportivo de la plaza del municipio de Chalán se ubican el nodo principal WiBACK y la antena de panel, para los que se calculó la elevación del mástil en 9 m sobre el nivel del suelo. Con una elevación de 30 m sobre el nivel del suelo se calculó la elevación de la torre repetidora ubicada en el cerro Almagra; elevación suficiente para instalar la repetidora y hacer posible el enlace hacia los corregimientos de la Peña (Ovejas) y la Ceiba (Chalán), y contemplar además la posibilidad de escalar la red a futuro.

En la Figura 5 se presenta la representación del enlace entre la cabecera municipal del municipio Chalán (triángulo) y la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones.

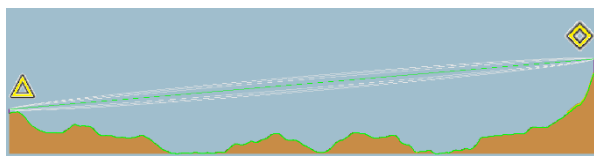


Figura 5. Perfil de elevación y línea de vista Enlace 1: Chalán – repetidora Cerro Almagra. Fuente: imagen generada por Radio Mobile.

El desempeño estimado las señales simulado en el software Radio Mobile para el Enlace 1, indica una transmisión exitosa según los valores teóricos presentados en la Tabla 5. El valor del parámetro de Señal recibida (-81.67 dBm) supera a la sensibilidad de los nodos WiBACK (-96 dBi) [25]. En conjunto, la potencia transmitida y la sensibilidad nominal del receptor son suficientes para una transmisión exitosa, incluso con un Margen de escucha de enlace de 14.33

dBm, que es la diferencia entre estos dos valores. Es decir, que con el nivel de señal que llega al receptor (-81.67 dBm), hay un margen de error para pérdidas no previstas de 14.33 dBm, que es la diferencia para llegar al nivel mínimo que puede detectar el receptor (-96 dBi).

Tabla 5. Valores estimados del comportamiento de la señal del enlace Chalán – Almagra generados por Radio Mobile

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	6.824	km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146.00	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-81.67	dBm
Margen de Escucha	14.33	dB

Fuente: elaboración propia.

4.2. Enlace 2: repetidora Cerro Almagra – La Peña

El segundo enlace está conformado por los nodos de la Repetidora del cerro Almagra y el corregimiento la Peña, ambos pertenecientes al municipio de Ovejas. Se calculó una distancia de 8,315 km entre nodos y finaliza en una estructura elevada de 9 m sobre el nivel del suelo, ubicada en el corregimiento la Peña. El nodo ubicado en el corregimiento soportará el nodo WiBACK y los equipos de acceso a la red por parte de los usuarios, por ejemplo, una antena omnidireccional o varias sectoriales que cubran un radio de 2 km en la banda de 2.4 GHz para facilitar la conexión de todos los dispositivos que cuenten con acceso a WiFi.

En la Figura 6 se presenta el enlace entre la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo) y el corregimiento la Peña (círculo), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones.

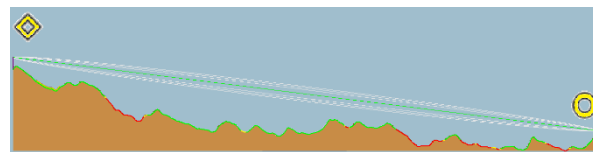


Figura 6. Perfil de elevación y línea de vista Enlace 2: repetidora Cerro Almagra - La Peña. Fuente: imagen generada por Radio Mobile.

En el segundo enlace se prevé una Señal recibida de -78.50 dBm, valor que se encuentra del rango de escucha admisible de los receptores (-96 dBi) [25]; que es lo que

se espera en un enlace inalámbrico. Observando la diferencia de valores entre la Señal recibida y la Sensibilidad del receptor, se determina el Margen de escucha de enlace de 17.50 dB, como se especifica en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores estimados del comportamiento de la señal del enlace Almagra – La Peña generados por Radio Mobile

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	8.315	km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-78.50	dBm
Margen de Escucha	17.50	dB

Fuente: elaboración propia.

El corregimiento la Peña no cuenta con acceso a la red de distribución de energía eléctrica comercial en el punto escogido para la instalación, por lo tanto, se instalará un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para la alimentación de los equipos.

4.3. Enlace 3: repetidora Cerro Almagro – La Ceiba

Por último, el tercer enlace, planeado desde la Repetidora hacia la Ceiba (Corregimiento de Chalán) tiene una longitud calculada de 5.985 km y se tiene previsto que los equipos se instalen en un predio privado. En este sitio se debe concretar un enlace con una antena instalada a 9 m de altura sobre el suelo.

En la Figura 7 se presenta la representación del enlace entre la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo) y el corregimiento La Ceiba (cuadrado), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones.

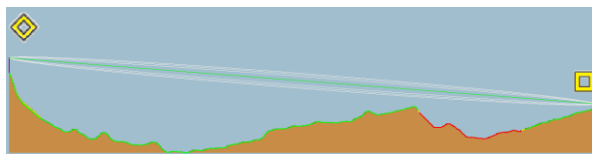


Figura 7. Perfil de elevación y línea de vista Enlace 3: repetidora Cerro Almagro - La Ceiba. Fuente: imagen generada por Radio Mobile.

En esta tercera simulación, el valor de la Señal recibida (-79.99 dBm) es intermedio entre los enlaces 1 y 2, calculados en -81.66 dBm y -78.50 dBm,

respectivamente. Por ende, también lo es el Margen de escucha de enlace (16.01 dB), debido a que el valor de -96 dBi de Sensibilidad del receptor se mantiene al ser la misma referencia del equipo. En la Tabla 7 se presentan los valores calculados.

Tabla 7. Valores estimados del comportamiento de la señal del enlace Almagra – La Ceiba generados por Radio Mobile

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	5.888	km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146.00	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-79.99	dBm
Margen de Escucha	16.01	dB

Fuente: elaboración propia.

La alimentación de los equipos en la Ceiba será tomada de la red de distribución eléctrica comercial, ya que se tiene la posibilidad, al estar la torre ubicada dentro de la población, en donde hay cobertura de la mencionada red.

5. Perspectiva económica de la red backhaul rural WiBACK

El objetivo del diseño de la tecnología WiBACK minimiza los requerimientos de personal técnico especializado para configurar y operar la red, y minimiza el consumo de potencia requerida para la operación de los equipos permitiendo el aprovechamiento del recurso de energía solar fotovoltaica en aquellas zonas donde el servicio prestado por una empresa sea inexistente o falto de continuidad y calidad [29]. Adicionalmente, el Instituto Fraunhofer proyecta que el equipo debe proporcionar un tiempo medio entre fallas de cinco años o más teniendo en cuenta las condiciones ambientales (temperatura, lluvia, polvo), reduciendo significativamente los costos debido a la poca necesidad de mantenimiento [29].

La recopilación de los comentarios y las lecciones aprendidas de despliegues iniciales como es el caso de Tanzania, Colombia, Alemania e Italia señalan que la red backhaul rural WiBACK permite ofrecer servicios de voz y datos a un OPEX significativamente menor comparado con otras tecnologías disponibles en el mercado para brindar acceso de banda ancha a usuarios dispersos en un territorio amplio [30].

6. Conclusiones

En geografías diversas como la de Colombia, donde se necesita llevar conectividad, WiBACK es una herramienta que puede ser aprovechada gracias las características que ofrece, como la capacidad de autoajustar su frecuencia y el bajo consumo de energía. Se destaca en esta última característica, que los nodos WiBACK son eficientes en el consumo de energía porque autorregulan la potencia de transmisión, lo que hace a esta tecnología ideal para funcionar con fuentes de energía no convencional como la energía solar fotovoltaica [31]. El uso de energía no convencional hace de esta tecnología el candidato para instalaciones rurales, en zonas donde no hay acceso a la red de distribución de energía eléctrica comercial o la prestación del servicio es inestable. La alimentación de los equipos de la torre repetidora en el cerro Almagra y los ubicados en la Peña, se planea obtener mediante energía solar, ya que están ubicados en cerros y el acceso a la red comercial se hace más difícil. Mientras que los equipos ubicados en Chalán y la Ceiba sí se alimentarán de la red comercial, al estar éstos en ubicaciones de fácil acceso dentro de áreas pobladas.

Todas éstas características, sumadas a la condición de territorios como los municipios de Ovejas y Chalán, que han sido zonas afectadas por el conflicto armado en Colombia por años, hacen que la implementación de una red backhaul, sea una oportunidad para que estas poblaciones den un paso hacia adelante para aminorar la brecha digital a la que se han visto relegados debido al poco alcance de la cobertura de conectividad por parte de operadores comerciales; alejados por el dominio de grupos armados al margen de la ley.

Adicional a las capacidades técnicas de esta tecnología, como la opción de poder usar bandas de frecuencia de uso libre, otra ventaja de WiBACK es la capacidad de reducir costos de instalación gracias a la versatilidad que tienen los nodos para ser instalados, no sólo en torres, sino también en otros tipos de estructuras como mástiles, edificios o estructuras elevadas y, si a esto se le suma un adecuado trabajo de campo para visitar los sitios candidatos y un estudio de previsión teórica, ayudado por software de uso libre; se pueden reducir aún más los costos de implementación, ahorrándose pagos de licencias de los mismos; reducción en la cantidad de desplazamientos en zonas rurales, que pueden llegar a ser elevados dependiendo de la dificultad de acceso en las zonas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto “Modelo ecosistémico de mejoramiento rural y construcción de paz. Instalación de capacidades locales” del Programa Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia. Financiado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Fondo Francisco José de Caldas, contrato n.º 213-2018, código 58960.

Referencias

- [1] F. Musumeci, et al., “An Overview on Application of Machine Learning Techniques in Optical Networks”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1383-1408, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2880039
- [2] D. Rafique, L. Velasco, “Machine Learning for Network Automation: Overview, Architecture and Application [Invited Tutorial]”, *Journal of Optical Communication Network*, vol. 10, no. 10, pp. D126-D143, 2018, doi: 10.1364/JOCN.10.00D126
- [3] A. Caballero Jambrina, et al., “Cognitive, Heterogeneous and Reconfigurable Optical Networks: The CHRON Project”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 13, pp. 2308-2323, 2014, doi: 10.1109/JLT.2014.2318994
- [4] C. Niephaus, et al., “WiBACK: A Back-haul network architecture for 5G networks”, en *Int. Conf. on Front. of Commun. Net. and Appl. (ICFCNA 2014 - Malaysia)*, Kuala Lumpur, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1049/cp.2014.1403
- [5] A. Serrano Santoyo, E. Martínez Martínez, *La brecha digital: mitos y realidades*. Mexicali, Mexico: Editorial Universitaria Universidad Autónoma de Baja California, 2003.
- [6] *Declaración del Milenio*, Naciones Unidas A/RES/55/2, 2000.
- [7] *CONPES Social 91 - Metas y Estrategias de Colombia para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio*, Departamento Nacional de Planeación, 14 de junio de 2005.
- [8] R. M. Tiwari, “Study on Google’s Loon Project”, *Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 5, pp. 2278-1323, 2016.
- [9] OneWeb, “Bridging The Digital Divide”, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.oneweb.world/our-company>

- [10] Blazing Soft, “WiBACK”, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://blazingsoft.com/wiback/>
- [11] Red Nacional de Información, “Registro Único de Víctimas - Unidad de víctimas”, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>
- [12] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), “Proyecciones nacionales y Departamentales de población 2005-2020”, 2009 [En línea]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf
- [13] Consejo Municipal de Planeación, “Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 Chalán somos todos. Acuerdo social para la generación de oportunidades”, 2016 [En línea]. Disponible en: https://chalansucre.micolombiadigital.gov.co/sites/chalansucre/content/files/000082/4077_plan-de-desarrollo-municipal-20162019.pdf
- [14] Consejo Municipal de Planeación, “Plan de Desarrollo Municipal de Ovejas 2016 – 2019. Oportunidades para la Paz y el Buen Vivir”, 2016 [En línea]. Disponible en: http://ovejassucre.micolombiadigital.gov.co/sites/ovejassucre/content/files/000022/1087_plandesarrollodeovejas.pdf
- [15] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), “Boletín Técnico Pobreza Multidimensional en Colombia Año 2018”, 2019 [En línea]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2018/bt_pobreza_multidimensional_18.pdf
- [16] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), “Censo General 2005”, 2007 [En línea]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1#proyecciones-de-poblacion-linea-base-2005>
- [17] Plan de Ordenamiento Social de la Propiedad Rural POSPR Municipio de Ovejas, 2018 [En línea]. Disponible en: https://www.agenciadetierras.gov.co/wp-content/uploads/2018/07/20180528_Plan_Ordenamiento_Ovejas_VF.pdf
- [18] *Por el cual se reglamenta la Ley 1448 de 2011*, Decreto 4800 de 2011, Artículo 222 Reparación Colectiva, 20 de Diciembre de 2011.
- [19] *Por el cual se crean los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial - PDET*, Decreto 893 de 2017, 28 de Mayo de 2017.
- [20] *Plan de Acción para la Transformación Regional - PATR Subregión Montes de María*, Agencia de Renovación del Territorio, 4 de Septiembre de 2018.
- [21] Google LLC, “Google Earth: El globo más completo”, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/earth/>
- [22] R. Coudé, “Página de información de Radio Mobile Online”, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.ve2dbe.com/rmonlineinfospa.html>
- [23] D. Pareek, *The business of WiMax*. Nueva York, USA: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [24] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas 4th ed.* Phoenix, Arizona, USA: Pearson Education, 2003.
- [25] Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, “WiBACK Node-2-Connect II Datasheet”, 2017 [En línea]. Disponible en: https://www.wiback.org/content/dam/wiback/en/documents/WiBACK_EN_N2C2_11-2017.pdf
- [26] MARS Antennas & RF Systems LTD, “MARS 5GHz Dual Polarized Antenna: Features and Specifications”, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://mars-antennas.com/wp-content/uploads/2018/04/MA-WA56-DP23.pdf>
- [27] Fraunhofer Fokus, “Introducing Fraunhofer’s Wireless Backhaul Technology”, 2014 [En línea]. Disponible en: https://www.wiback.org/content/dam/wiback/en/documents/Whitepaper_Introducing_WiBACK.pdf
- [28] Por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, Resolución 2544 de 2009 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 6 de octubre de 2009.
- [29] J. Garzón Álvarez, “Análisis de Viabilidad de Implementación de la Tecnología WiBACK en Zonas Rurales Colombianas”, *Ing. USBMed*, vol. 5, no. 1, pp. 53-60, 2014, doi: 10.21500/20275846.300
- [30] Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, “Connecting the Unconnected –Tackling

the Challenge of Cost-Effective Broadband Internet in Rural Areas”, 2019 [En línea]. Disponible en: https://www.wiback.org/content/dam/wiback/en/documents/Study_Connect%20the%20Unconnected_2019.pdf.

[31] Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, “WiBACK Solar”, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.wiback.org/en/wiback-technology/wiback-solar.html>