

**Universidad de Oriente**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica**  
**Departamento de Telecomunicaciones**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Diseño y simulación de una red WRAN para  
comunidades rurales en la provincia  
Guantánamo**

**Autora: Milaidis González Guevara**

**Tutora: Ing. Yamilet Pompa Chacón**

**Santiago de Cuba**

**Junio, 2015**

**Universidad de Oriente**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica**  
**Departamento de Telecomunicaciones**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

# **Diseño y simulación de una red WRAN para comunidades rurales en la provincia Guantánamo**

**Autora: Milaidis González Guevara**

milaidis.gonzalez@tle.fie.uo.edu.cu

**Tutora: Ing. Yamilet Pompa Chacón**

Profesora asistente del Departamento de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería  
Eléctrica, ypompa@fie.uo.edu.cu.

**Santiago de Cuba**

**Junio, 2015**



Hago constar que el presente trabajo de diploma es de mi autoría exclusivamente, no constituyendo copia de ningún trabajo realizado anteriormente y las fuentes usadas para la realización del trabajo se encuentran referidas en la bibliografía. Doy mi consentimiento a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización del Tutor o Institución.

---

Firma del Autor

## DEDICATORIA

*A mi madre, que es la luz de mi vida. Todos mis esfuerzos son por ella.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi madre que me ha dado la vida y todo lo bueno que hay en mí.*

*A mi padre por su amor.*

*A mi hermana por soportarme y por traer al mundo a Dainelis.*

*A todos mis familiares por preocuparse por mí, en especial a Yindra, mi otra hermana (los demás no se molesten por no mencionarlos, que igual los quiero).*

*Un agradecimiento especial a Rolando por resistir: por quererme, por ayudarme, por ser una de las mejores personas del mundo, a quien no he de olvidar.*

*A mis compañeros de la universidad que me ayudaron y que me enseñaron algo más, fundamentalmente a "las chicas", mis compañeras de la beca, a las que les debo buenos momentos, a las que culminan sus estudios universitarios conmigo: Ana María, Mairelys, Susana, Idelsa, Liliana, Lisandra (en orden alfabético, por apellidos, para que no hayan problemas) y a las que no culminan ahora también: Anita (Anisley Margarita), Daimelis, Annié, Sindano, Sonia, Lisney.*

*A mi tutora por ampararme.*

*También quiero agradecerles a Jorge, mi hermano, mi socio; a mi amiga Lía y a sus padres; a Marcio.*

*Agradezco a todos los educadores que han contribuido en mi formación.*

*Casi por último, pero no menos importante, quiero agradecer de forma muy especial a mi primo Geordanis: gracias por ayudarme, por preocuparte, por aportarme tus experiencias, por alentarme..., por lo demás; el resultado lo comparto contigo.*

*A todas las personas cuyos nombres no están en esta lista pero que me han ayudado, a todas las personas amables, a todos, muchas gracias.*

## RESUMEN

La técnica de la radio cognitiva y la posibilidad del uso de los espacios en blanco dejados por la transmisión de la televisión (TVWS) son atractivos del estándar IEEE 802.22 (WRAN) que es objeto de estudio del presente trabajo.

Muchas corporaciones relevantes en el mundo de las telecomunicaciones están trabajando en tecnologías que permitan el uso de este estándar capaz de proveer servicios de banda ancha en zonas rurales en las que no sería propicio el uso de otra tecnología de acceso; y es debido a las posibilidades que ofrece este estándar para la comunicación en estos sitios, que en el documento actual se investigaron características básicas del funcionamiento de WRAN: arquitectura, dispositivos, aplicaciones, servicios y su impacto en el mundo. Además, para comprobar la factibilidad de su uso en Cuba, especialmente en la provincia de Guantánamo, donde una gran parte de la población vive en las montañas, se diseñó y simuló una red con la ayuda del software Radio Mobile que permite trabajar con los datos topográficos de la región.

**Palabras clave:** WRAN, Radio Cognitiva, TVWS, Radio Mobile.

## ABSTRACT

The cognitive radio technology and the possible use of the white spaces left by the transmission of television (TVWS) are attractive of IEEE 802.22 (WRAN) standard that is the subject of study of this work.

Many important corporations in the telecommunications world are working on technologies that allow the use of this standard capable of providing broadband services in rural areas where it would be advantageous to use another access technology, and due to possibilities of this standard to establishment communication on this sites, in the current document was investigated basic characteristic of WRAN operation: architecture, devices, applications, services and their impact on the world. Also, to check the feasibility of using WRAN in Cuba, especially in the province of Guantanamo, where much of the population lives in the mountains, it was designed and simulated a network with the help of software Radio Mobile which allows working with data topographic region.

**Keywords:** WRAN, Cognitive Radio, TVWS, Radio Mobile.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1 . Estudio del estándar IEEE 802.22 .....	5
1.1 Proyecto inicial.....	5
1.2 Arquitectura.....	6
1.2.1 Capa física.....	6
1.2.2 Capa MAC .....	8
1.2.3 Radio Cognitiva .....	11
1.3 Modelos de referencia .....	14
1.3.1 Plano de datos .....	15
1.3.2 Plano gestión / control .....	15
1.3.3 Plano cognitivo .....	16
1.4 Sistema WRAN.....	18
1.4.1 Estaciones Base.....	18
1.4.2 Equipos de usuarios .....	19
1.4.3 Topología del sistema .....	20
1.4.4 El problema de la coexistencia .....	21
1.4.5 Servicios.....	22
1.5 Aplicaciones de 802.22 .....	26
1.5.1 Redes WRAN para el mundo. Desarrollo de tecnologías.....	30
1.5.2 Problemas que enfrenta la implementación de comunicaciones a largas distancias de banda ancha en TVWS.....	33
CAPITULO 2 . Diseño y simulación de una red WRAN en la provincia Guantánamo ...	35
2.1 Características de la provincia de Guantánamo .....	35
2.2 Diseño de la red.....	38
2.2.1 Software Radio Mobile .....	38
2.2.2 Arquitectura de la red WRAN .....	41
2.2.3 Distribución de la red.....	43
2.2.4 Red troncal diseñada.....	45
2.2.5 Resultados de la simulación.....	47
2.2.6 Análisis de los resultados.....	57

2.3	Instalación .....	58
2.4	Impacto de la red .....	60
	Conclusiones .....	63
	Recomendaciones .....	64
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
	Glosario de términos .....	67
	ANEXOS .....	69



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay una tendencia al aumento de las redes inalámbricas por las ventajas que estas poseen con respecto a las redes cableadas como son:

- La movilidad.
- La reducción del cableado, que trae como consecuencia que se facilite su instalación.
- La utilización de las radiofrecuencias para la comunicación, permitiendo conectar zonas a las cuales no se pueda llegar utilizando cableado, ya sea por costo o por ubicación.
- La transmisión en tiempo real a usuarios y acceso a otros servicios que se brindan en las redes cableadas.

Pero en las comunicaciones inalámbricas también existen desventajas debido a los muchos problemas relacionados con las particularidades del canal de radio que afectan la calidad de la información que se recibe, como es el caso de las pérdidas o atenuación y el fenómeno de las multitrayectorias. La señal inalámbrica puede verse afectada por las ondas electromagnéticas o aparatos electrónicos cercanos que constituyen fuentes de ruido, incluso pudiera ser interrumpida por objetos como árboles, paredes, espejos y por la influencia del clima. Además está el problema de la seguridad; en este sentido, las redes inalámbricas son más inestables que las redes cableadas, por lo que los organismos de defensa e inteligencia gubernamentales utilizan redes con cables dentro de sus edificios.

Apoyándose en estos inconvenientes, a la hora de diseñar una red inalámbrica es necesario garantizar mecanismos de protección, lo más eficiente posibles para lograr seguridad en la comunicación y seguridad en la transmisión. Es necesario el cálculo de parámetros que demuestren la viabilidad de un enlace, en función de los niveles de recepción o las pérdidas, de modo que se pueda evitar al máximo la influencia negativa del medio ambiente sobre la futura red. Estos cálculos se obtienen con cualquier software que interaccione con las características geográficas reales de la zona de trabajo, como el Radio Mobile, para que la

red se acerque lo más posible a lo que se desea.

Ahora bien, antes del diseño: se deben considerar los servicios que se desean brindar, las características de la zona de trabajo, el número de usuarios, etc. y es por esto que se debe tener bien definido qué estándar para redes inalámbricas cumple con las mejores condiciones para el diseño de la futura red.

Entre los estándares para redes inalámbricas que se pueden escoger están los del proyecto IEEE 802, creado para que tecnologías de redes de diferentes fabricantes pudieran trabajar juntas e integrarse sin problemas. Entre los más conocidos actualmente, se pueden mencionar: el 802.15.1 (Bluetooth), 802.11 (Wi-fi), 802.16 (Wimax), 802.20 (WMAN), cada uno de ellos correspondiente a una topología de red distinta: PAN, LAN, MAN, según el alcance de cada una de las especificaciones.

Uno de los más actuales estándares inalámbricos de la familia es el 802.22 (WRAN), que no es el más popular, pero ofrece ventajas con respecto a los anteriores, ya que fue concebido para la radiocomunicación en zonas rurales, no necesita licencia para operar y entre otras características interesantes, usa la novedosa técnica de radio cognitiva (CR) para permitir el uso compartido del espectro geográfico no utilizado, asignado al servicio de difusión de televisión.

Este estándar está siendo estudiado profundamente por potencias mundiales en el mundo de las telecomunicaciones: EE.UU, Japón, Reino Unido, Canadá, en aras de proveer de la tecnología para lograr la implementación comercial de redes que puedan soportar esta tecnología y así comprobar lo que se ha planteado en múltiples artículos sobre las ventajas que ofrece WRAN, con un alcance increíble de hasta 100km, en el caso más extremo, y que además supone aprovechar los huecos espectrales en la transmisión de la televisión.

Entre las razones fundamentales por las cuales resulta atractivo este estándar para las grandes corporaciones, a pesar del hecho de que contar con una red comercial de este tipo podría tardar algunos años más, se pudiera mencionar: en primer lugar, la utilización de las bandas UHF y VHF que permiten que las señales viajen largas distancias; en segundo lugar, para los que la administren será un negocio viable utilizar el WRAN, ya que el uso de la radio cognitiva, constituirá una gran competencia en el mundo de las redes inalámbricas.

Desde el punto de vista de todos los investigadores, 802.22 merece ser examinado como una alternativa más a la hora del diseño futuro de redes no cableadas, ya que hasta ahora, se alza como una excelente solución para la comunicación en entornos sin línea de vista

que generalmente se produce en localidades de difícil acceso y en las grandes ciudades por causa de los edificios.

En el caso de nuestro país donde existen muchas de estas zonas de difícil acceso, que generalmente están en zonas montañosas y de baja densidad poblacional, también se podría considerar el uso de este estándar para establecer la comunicación por medio inalámbrico en poblados distantes unos de los otros, como en el caso de la provincia de Guantánamo, territorio donde gran parte de la población vive en zonas rurales apartadas, que suelen a su vez, ser localidades intrincadas.

No cabe dudas que para facilitar el acceso a banda ancha a la población de estas comunidades apartadas, lo más ideal sería implementar redes inalámbricas, ya que las redes cableadas son escasas o inexistentes, además de que en algunos lugares donde no existe ninguna tecnología de red de telecomunicaciones, no tendría ningún sentido, implementar una red cableada; pero más que eso, debido a las áreas de cobertura ofrecidas por los estándares inalámbricos vigentes, se debe de hacer una valoración sobre cuál es el más indicado para las radiocomunicaciones en las zonas más desprovistas, un estudio sobre el IEEE 802.22 dirá si es viable su instalación o no en estos sitios.

No caben dudas de que la implementación de redes inalámbricas fortalece el desarrollo de las telecomunicaciones en la sociedad cubana, debido a las ventajas de estas para llegar a cualquier ubicación. Y si bien es cierto que la llegada de internet a los lugares donde todavía no ha llegado no es un hecho tan cercano debido fundamentalmente a factores económicos, esto no quiere decir que no se deban tomar todas las medidas para que cuando se rompan estas brechas económicas, existan proyectos que extiendan el uso de las tecnologías de la informática y las comunicaciones en la sociedad rural.

**Problema:** Las tecnologías de redes existentes en Guantánamo no permiten el acceso de banda ancha a los poblados en zonas rurales de la provincia.

**Objeto de estudio:** Estándar 802.22

**Objetivo general:** Diseñar una red troncal en Guantánamo, basada en las especificaciones del estándar 802.22 de la IEEE.

**Objetivos específicos:**

- Estudiar las características fundamentales del estándar y su aplicación para la comunicación en zonas de difícil acceso.

- Investigar las condiciones favorables que existen en la provincia de Guantánamo para diseñar una red WRAN.
- Simular con el software Radio Mobile.

**Hipótesis:** Si se diseña una red basada en el estándar IEEE 802.22 se podría ofrecer el servicio de banda ancha a los poblados de difícil acceso en la provincia.

## **CAPITULO 1 . Estudio del estándar IEEE 802.22**

Sobre el IEEE 802.22, aunque no es un estándar tan nuevo ya que se lanzó en el año 2011, todavía existe gran desconocimiento en nuestro país sobre sus características y su aplicación en la práctica, y quizás esto se deba a que todavía no se ha logrado comprobar sus potencialidades más allá de las pruebas experimentales.

Es por ello que en este capítulo se hará una descripción sobre 802.22: sus características fundamentales, sus ventajas y desventajas, el significado de los términos más importantes para la comprensión del estándar, y por supuesto, sus aplicaciones.

### **1.1 Proyecto inicial**

El grupo de trabajo del IEEE 802.22 (WG-WRAN), sobre Redes Inalámbricas de Área Regional formado en octubre de 2004 ha desarrollado una amplia variedad de estándares para habilitar el uso del espectro compartido y los proyectos autorizados incluyen al 802.22, 802.22.1, 802.22.2, 802.22a y 802.22b.

El proyecto inicial se basó en las siguientes características:

- Control de acceso al medio(MAC) inalámbrico cognitivo y capa física (PHY)
- Políticas y procedimientos para la operación en las bandas de TV

Se centró además en la construcción de una consistente red multipunto nacional fijo WRAN, que utilizaría UHF / VHF en las bandas de TV entre 54 y 862 MHz, canales específicos de televisión, así como las bandas de guarda de estos canales para la comunicación; otros de los primeros planteamientos fueron:

- Cada estación base se armará con un receptor GPS que permita informar sobre su posición. Esta información será enviada a los servidores centralizados (en los EE.UU. serían administrados por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)), que responderán con la información disponible acerca de los canales de televisión gratuitos y bandas de guarda en el área de la Estación Base. Otras propuestas permitirían únicamente la detección del espectro local, en el que la estación base decidiría cuáles son los canales disponibles para la comunicación.

- Los dispositivos que operan en el espacio en blanco de la banda de TV, TVWS (Television Whitespace) son principalmente de dos tipos: dispositivos fijos y los dispositivos de uso personal o portátil. Los dispositivos fijos tendrán capacidad de geolocalización con GPS(Global Position System) integrado en el dispositivo, estos también se comunicarán con la base de datos central para identificar otros transmisores en la zona de operaciones del espacio blanco de TV. Hay otras medidas sugeridas por la FCC y la IEEE para evitar interferencias, tales como: detección dinámica del espectro y el control dinámico de potencia[1].

El proceso de estandarización para el 802.22 concluyó en el año 2011 y la primera red de este tipo fue probada por primera vez en Houston, en la Universidad de Rice, Texas; luego en el año 2012, se realizó una segunda prueba en Wilmington, Carolina del Norte.

### **Características generales del estándar**

- ◆ El 802.22 se basa en el esquema de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) para la comunicación en ambas direcciones.
- ◆ El estándar puede alcanzar una velocidad media de 18 Mbps en un canal de televisión de 6 MHz de ancho de banda; suponiendo un total de 12 usuarios simultáneos, se consigue 1,5 Mbps de bajada y 384 Kbps de subida, bastante similar al servicio de línea de abonado digital asimétrica (ADSL).
- ◆ La arquitectura del sistema, definida para el uso de la radio cognitiva, permite ofrecer seguridad, calidad de servicios, servicio de geolocalización y otras facilidades.

## **1.2 Arquitectura**

La arquitectura de referencia para los sistemas IEEE 802.22 va dirigida a las capas física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC) que se definen a continuación.

### **1.2.1 Capa física**

La capa física está dividida en dos subcapas, el PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) más cercano al MAC y el PMD (Physical Medium Dependent Layer), que interacciona con el medio inalámbrico (WM).

La capa física debe ser capaz de adaptarse a diferentes condiciones del medio y también debe ser flexible para saltar de canal en canal sin errores de transmisión o pérdida de

clientes (CPE). Esta flexibilidad es también necesaria para proporcionar la capacidad de ajustar dinámicamente el ancho de banda, la modulación y esquemas de codificación.

La Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) en el modo TDD que pudiera ser soportado por el modo FDD, será el esquema de modulación para la transmisión de enlaces o conexiones de subida y bajada, con velocidades de datos desde 4,54 a 22,69Mbps. El OFDM es una técnica de modulación multiportadora, ya que en lugar de transmitir la información en una única portadora, divide el ancho de banda disponible en un conjunto de portadoras, cada una de las cuales transporta un ancho de banda muy pequeño, lo que permite solucionar los problemas ocasionados por la propagación por multitrayectorias, la interferencia intersímbolo, y permite la comunicación en entornos sin línea de vista y con retardos en los enlaces con línea de vista.

Posteriormente, con el OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) será posible lograr la adaptación rápida necesaria para las estaciones base y los CPE. OFDMA es un esquema de acceso múltiple que permite la multiplexación de varios usuarios en un subcanal, es la versión multiusuario de OFDM y se utilizará para resolver el problema de las diferencias de la relación de señal a ruido entre los distintos CPE, debido a las distancias a las que se encuentran situados de la BS; la BS debe ser capaz de ajustar dinámicamente el ancho de banda, la modulación y codificación para mejorar la eficiencia del sistema. Una propuesta actual es dividir el canal del abonado en 48 subcanales [2][3].

Los esquemas de modulación utilizados en la capa física de 802.22 son QPSK, 16-QAM, 64-QAM, con cuatro longitudes diferentes de prefijo cíclico, las cuales son 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 de duración del símbolo para diferentes demoras en el canal, permitiendo la utilización del espectro de manera eficiente. Esto da como resultado una tasa de datos de unos pocos Kbps por subcanal resultando una tasa de bits de hasta 19 Mbps por canal de TV, proporcionando flexibilidad en el sistema[2]. Para las diferentes áreas de cobertura se usará de la zona de mayor cobertura hacia zonas de menor cobertura las modulaciones 64-QAM, 16-QAM y QPSK respectivamente.

En la capa física usando un solo canal de TV con ancho de banda de 6 MHz (7 u 8 MHz en otros países) la tasa de bits máxima aproximada es de 19 Mbps a una distancia de 30 Km; esta velocidad y distancia no son suficientes para cumplir con los requisitos del estándar, lo que se resuelve con la unión de canales, que consiste en utilizar más de un canal para

la transmisión/recepción; permitiendo que el sistema disponga de un ancho de banda mayor y por tanto, obtener un mejor rendimiento.

### **Propagación en el medio físico**

WRAN fue concebido para la operación en entornos de LOS y NLOS, por eso es importante conocer las condiciones de propagación el medio físico.

En VHF y UHF, frecuencias usadas por 802.22, la propagación se realiza por la onda de espacio y la onda troposférica.

La **onda de espacio** está compuesta por dos componentes, la onda directa, la cual se propaga por la vía directa desde el transmisor hasta el receptor y una onda reflejada en la superficie terrestre.

Hay que tener en cuenta que las antenas deben estar elevadas de modo que exista una diferencia de camino recorrido y un índice de refracción que tome valores distintos de - 1, evitando así que la onda reflejada cancele a la onda directa ya que el campo en el receptor va a estar dado por la suma de ambas ondas de radio.

La **onda troposférica** se propaga en rangos de hasta 1000 km por la dispersión troposférica y por los ductos naturales para las ondas menores de 10 m de longitud de onda.

Por la heterogeneidad de la troposfera es necesario destacar los fenómenos que ocurren en ella, tales como la refracción y la dispersión que permite que las señales alcancen distancias más allá del horizonte visible. En la troposfera existen una enorme cantidad de puntos en que la permitividad dieléctrica toma valores muy diferentes al del medio que los rodea y que se comportan como pequeñas discontinuidades que producen infinitas micro reflexiones que van dispersando la energía de las ondas de radio en todas las direcciones según la atraviesan; este fenómeno permite comunicaciones a largas distancias sin la necesidad de que exista visibilidad directa (NLOS) entre el transmisor y el receptor [2].

### **1.2.2 Capa MAC**

Esta capa se basa en la tecnología de radio cognitiva. La MAC necesita ser capaz de adaptarse dinámicamente a los cambios del entorno mediante la detección de espectro. Se divide en dos estructuras: trama (frame) y supertrama (superframe), donde una supertrama estará formado por varias tramas. La supertrama tendrá un control de cabecera SCH (Superframe Control Header) y un preámbulo; estos serán enviados por la estación base



en todos los canales en los que sea posible la transmisión, sin producir interferencia. Cuando un CPE esté activado, ese espectro será detectable, así se podrá saber cuáles son los canales disponibles y se recibirá toda la información necesaria para enlazarse con la estación base. La detección de espectro en el CPE es controlada por mensajes de gestión MAC enviados desde la BS, indicando las listas de prioridades de los canales que son aptos para la transmisión encontrados durante el tiempo de inactividad, la detección se basa en cuatro pilares: la detección canales, los períodos de calma (tiempo durante el cual la BS y todos los CPE temporalmente cesan la transmisión), en la normalización de la presentación de informes, y en la aplicación de la independencia [4][5].

En la Figura1.1 se puede observar la estructura de las tramas y supertramas.

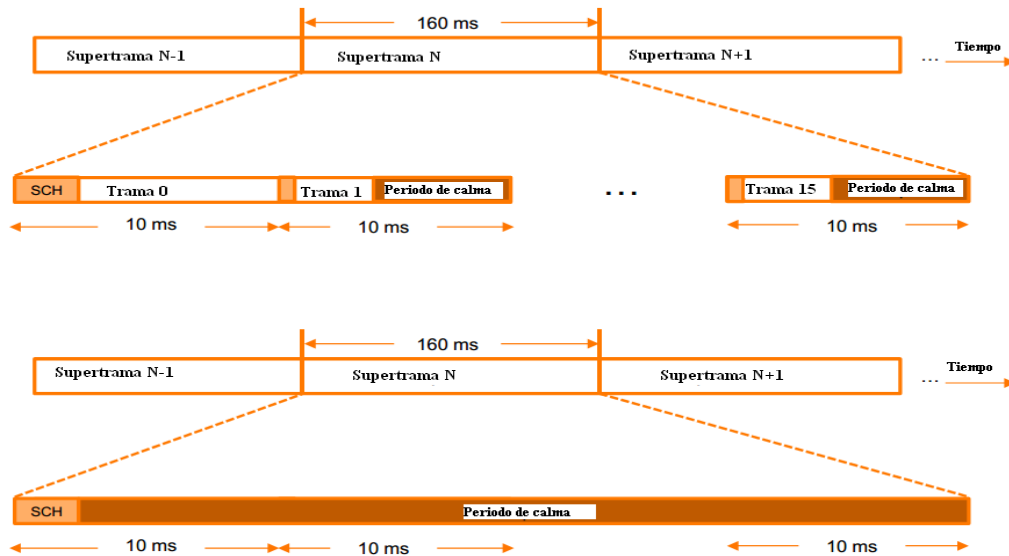


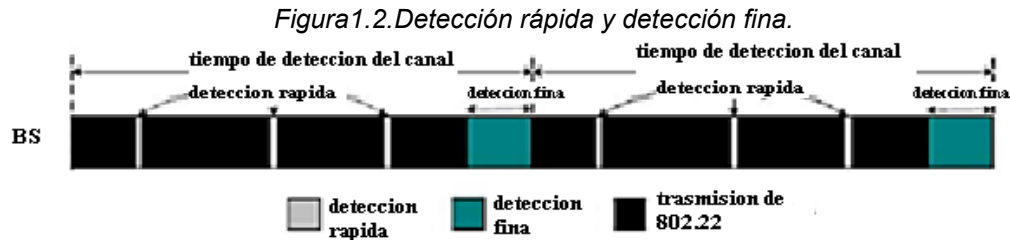
Figura1.1. Supertrama y trama de la capa MAC con los períodos de calma.

### Detección en la capa MAC

La detección de espectro consiste en el procesamiento de las observaciones para determinar si un canal está ocupado por una transmisión con licencia. El tiempo de detección de canales para todos los tipos de señales es de 2seg y la probabilidad de detección es de 0,9; mientras que la probabilidad de falsa alarma es de 0,1 para todos los tipos de señales. Cada canal de televisión se detecta de forma independiente.

Dos tipos diferentes de medición de espectro se llevará a cabo por el CPE: "en banda" y "fuera de banda". La medición "en banda" consiste en captar el canal actual que está siendo usado por la estación base y el CPE. La medición "fuera de banda" es la detección del resto de los canales.

La capa MAC llevará a cabo dos tipos diferentes de detección ya sea "en banda" o "fuera de banda": "detección rápida" y "detección fina" (Figura1.2). La detección rápida consistirá en la detección a velocidad por debajo de 1ms por canal. Esta detección la realizarán el CPE y la estación base, y será la estación base la que decidirá si hay que llevar a cabo alguna acción nueva. La detección fina o profunda se realizará en un tiempo mayor (aproximadamente 25ms o más, por canal), y tiene como base los resultados obtenidos con el mecanismo de detección rápida[6]. Estos mecanismos de detección se utilizan principalmente para evitar las interferencias.



Para llevar a cabo una detección fiable en el modo de funcionamiento básico en una sola banda de frecuencia (modo escuchar antes de hablar) se tiene que asignar una frecuencia de descanso en la que no se permitan la transmisión de datos. Esta interrupción periódica de transmisión de datos podría poner en peligro la calidad de servicio (QoS) de los sistemas cognitivos de radio; pero este problema se resuelve mediante el modo de funcionamiento alternativo propuesto en el estándar IEEE 802.22 llamado frecuencia dinámica de salto o DFH (Dynamic Frequency Hopping) en la que la transmisión de datos de los sistemas WRAN se llevan a cabo en paralelo a la detección sin interrupción.

### 1.2.3 Radio Cognitiva

El desarrollo del estándar IEEE 802.22 WRAN está enfocado al empleo de técnicas de radio cognitiva (CR), para permitir el uso compartido del espectro geográfico no utilizado, asignado al servicio de difusión de televisión. La idea es utilizar ese espectro de frecuencia, en base a la no-interferencia para las operaciones correspondientes a la TV digital, TV analógica de radiodifusión, y dispositivos de baja potencia con licencia, como micrófonos inalámbricos, y al mismo tiempo, ofrecer acceso de banda ancha a zonas en las que difícilmente se podría proporcionar este servicio, como zonas de baja densidad de población, ambientes rurales, etc., por tanto, tiene un gran potencial y una amplia aplicación en todo el mundo. En la figura siguiente se muestra el uso espectral del estándar basado en la técnica de radio cognitiva.

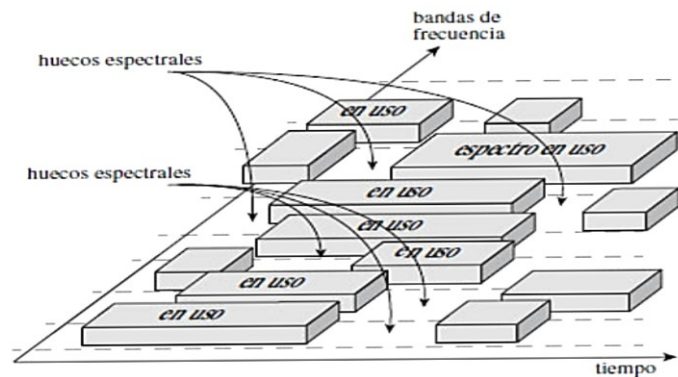


Figura 1.3. Uso espectral del 802.22

¿En qué consiste entonces la radio cognitiva?

La **Radio Cognitiva** es un prototipo de la comunicación inalámbrica en la cual tanto las redes como los mismos nodos inalámbricos cambian los parámetros particulares de transmisión o de recepción para ejecutar su función de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados. Esta alteración de parámetros está basada en la observación de varios factores del entorno interno y externo de la radio cognitiva, tales como el espectro de radiofrecuencia, el comportamiento del usuario o el estado de la red.

Las radios cognitivas, permiten a los terminales detectar si una parte del espectro está siendo utilizada o no, y compartir el espectro entre usuarios vecinos, a diferencia de las antenas inteligentes que emplean una tecnología espacial para cancelar interferencias, pero se necesita de varias antenas cooperando.

### **Funciones principales de la técnica de radio cognitiva:**

**Detección de espectro:** Ha de ser capaz de detectar el espectro desaprovechado y utilizarlo sin provocar interferencias negativas en otros usuarios. Las técnicas para detectar el espectro se pueden dividir en tres categorías:

- *Detección de transmisiones:* Las radios cognitivas deben tener la capacidad de determinar si hay una señal de algún usuario utilizando una parte concreta del espectro.
- *Detección cooperativa:* Diferentes usuarios de radio cognitiva intercambian periódicamente información sobre la detección de usuarios principales.

**Administración del espectro:** Utilizar el ancho de banda que encaje mejor con el nivel de calidad del servicio que necesite el usuario de entre todos los anchos de banda disponibles.

**Movilidad espectral:** El proceso con el que una radio cognitiva cambia su frecuencia de transmisión o de recepción. Las radios cognitivas están ideadas para cambiar de banda constantemente, a otras mejores, de una forma que debe ser imperceptible para el usuario.

**Compartir el espectro:** Encontrar un método esquemático de distribución del espectro que sea equitativo y justo para todos los usuarios de radio cognitiva sin interferir en las transmisiones de los usuarios legítimos. Este es uno de los mayores retos a la hora de diseñar las radios cognitivas.

El aumento de la complejidad en un sistema que implementa CR(radio cognitiva) podría reducir los costos cuando se desee instalar una red con WRAN pues en el sistema sólo sería necesario utilizar procesadores más potentes, y esto a la larga es un gasto menor comparado con las ventajas que ofrece esta novedosa técnica, como es la utilización oportuna del espectro, lo que se traduce en ganancias significativas en términos de capacidad de red, además de la facilidad de operación en bandas sin licencia o poder compartir las que ya tienen.

### **Estándares que usan radio cognitiva**

IEEE 802.11af, IEEE 802.19.1, IEEE 802.22, Zigbee (IEEE 802.15.4) y WiMAX (IEEE 802.16) que ya incluyen cierto grado de tecnología CR.

### **Capacidad cognitiva en los sistema WRAN**

La capacidad de radio cognitiva incluye: el SM (Spectrum Manager) de la estaciones base,

la función SSA (Spectrum Sensing Automaton), el acceso al servicio de base de datos, la gestión de canales disponibles, el registro de CPE, el servicio de detección de espectro y servicio de geolocalización. Esta tecnología cognitiva en los sistemas IEEE802.22 requiere conocer las regulaciones de protección de todos los operadores en el área para lograr una eficiente operación del sistema.

La capacidad de radio cognitiva en dispositivos WRAN le permitirán tomar decisiones acerca del comportamiento de su radio operación a partir de la información obtenida de varias fuentes como: la detección, la geolocalización, el servicio ofrecido por la base de datos. La información puede ser obtenida a través de la comunicación con el servicio de la base de datos, directamente de la detección de los operadores que pudieran tener algún impacto en los dispositivos WRAN, o por ambas vías.

La información que obtienen las radios cognitivas también puede ser el resultado de las reglas del dominio de operación de la zona de trabajo, donde el dispositivo pretende operar, por ejemplo: si el uso de un canal determinado está destinado a cualquier otro uso específico, no estará a la disposición del sistema WRAN. Si un servicio de la base de datos se presenta en el dominio donde el dispositivo operaría, este debe disponer de la información acerca de la disponibilidad del espectro basado en las coordenadas geográficas del lugar donde pretende operar[10].

Un dispositivo 802.22, también debe detectar la presencia de otros operadores en su área de cobertura, previo y durante la operación, esto incluye la detección de canales potenciales de operación y bien otros canales que pueden estar sujetos a interferencias perjudiciales como resultado de la operación de otro dispositivo 802.22. Las señales que se deben detectar son: la difusión de la televisión, la transmisión de micrófonos inalámbricos, emisiones de equipos médicos de telemetría[8].

Resumiendo, la radio cognitiva posee las siguientes características: compartir y aprovechar el espectro frecuencial, evitar las interferencias detectando el espectro. Para el funcionamiento de 802.22 será necesario utilizar en la infraestructura un detector de espectro y tecnología de administración de espectro, utilizar modulación OFDM y también se pudieran usar técnicas de software de radios cognitivas y de ultra banda ancha para la utilización de altas frecuencias.

### 1.3 Modelos de referencia

La arquitectura para las estaciones base y CPE, mostradas en las figuras siguientes, se compone de tres planos diferentes: plano de datos, plano de gestión y control y plano cognitivo, donde cada plano tiene su función particular.

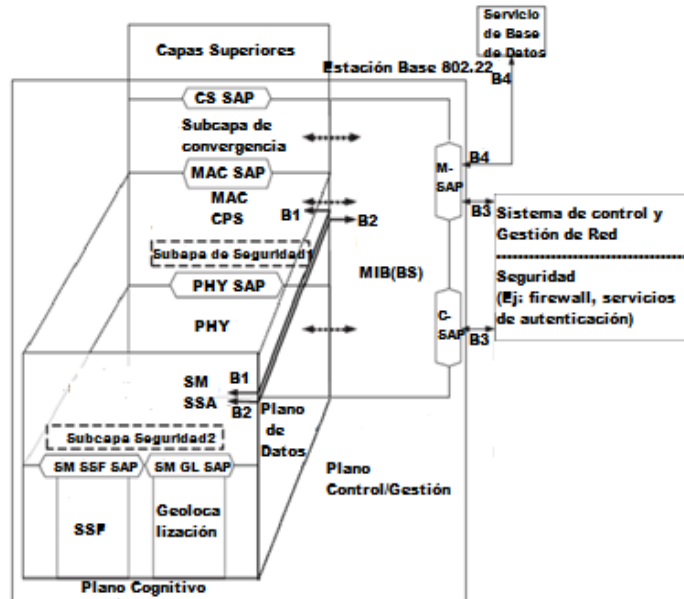


Figura1.4.Arquitectura de referencia para una estación base.

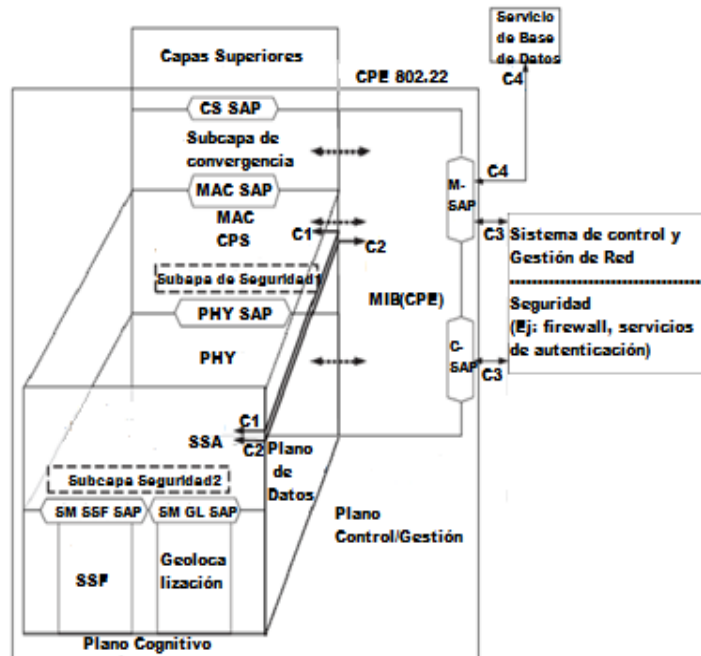


Figura1.5.Arquitectura de referencia para los CPE.

A continuación se explicarán cada una de las partes integrantes de los modelos de referencia representados en las figuras anteriores según el informe [8]:

### **1.3.1 Plano de datos**

Constituido por la capa física (PHY), la capa de control de acceso al medio (MAC), y la subcapa de convergencia (CS). Los puntos de acceso al servicio (SAP) que se encuentran entre estas capas tienen la función de unir las diferentes componentes del sistema que están separadas. Para ser más explícitos, el SAP permite el intercambio de la información, de manera que cada componente distinta pueda comunicarse con la otra.

#### **Plano de datos y control/gestión:**

Forma parte de la capa MAC y consta de tres subcapas: Subcapa de Convergencia (CS), la Subcapa de la Parte Común (CPS) de la MAC, y la capa Seguridad 1.

En la CS, los datos provenientes de la red de datos serán trasladados a través de los CS SAP hacia las unidades de servicios de datos (SDU) de la MAC y estos datos son recibidos en la MAC CPS (parte común de la subcapa) a través de los MAC SAP. La CS también se dedicará al clasificar los SDU de la red externa y los asociará al servicio de identificación de flujo de la propia MAC.

La subcapa MAC Parte Común, deberá proporcionar la funcionalidad básica MAC de acceso al sistema: conexión, establecimiento y mantenimiento de la conexión. La QoS (Quality of Service) se aplica a la transmisión y programación de datos a través de la capa física. La subcapa MAC Seguridad 1, establecerá mecanismos para la autenticación, el intercambio seguro de claves, cifrado, los datos, control de PHY y detección del espectro.

### **1.3.2 Plano gestión / control**

Este plano radica en la Base de Información de Administración (MIB). El protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) es el que se utiliza para la comunicación con la base de datos MIB. El MIB permite gestionar las entidades de red (BS, CPE, conmutadores, enrutadores, etc.) y entre sus funciones están: la configuración del sistema, notificaciones, disparadores, gestión de sesiones, gestión de recursos radio para la comunicación con el servicio de base de datos, detección del espectro y la presentación de informes de geolocalización. Los datos MIB puede obtenerse o bien desde la red, pre-definida dentro del sistema, u obtenido de otro dispositivo (por ejemplo, BS), después de un intercambio de información usando SNMP a través del medio de comunicación.

### 1.3.3 Plano cognitivo

El plano cognitivo estará integrado por la Función Detección de Espectro (SSF), la función Geolocalización (GL), el Administrador de Espectro /Detección Automática Espectral (SM / SSA) y una última función, la subcapa Seguridad 2. La SSF implementa algoritmos de detección de espectro y el módulo GL facilita la información para determinar la ubicación del dispositivo IEEE 802.22 (BS o CPE).

#### **Gestor de Espectro (SM)**

El SM reside en el plano cognitivo de la BS y no en los CPE. El SM deberá mantener la información de disponibilidad de espectro, gestionar listas de canales, gestionar períodos de calma, programar y poner en marcha mecanismos de convivencia. El SM adoptará asimismo las peticiones de las capas MAC / PHY, por ejemplo: si el MAC debe informar a la SM de una situación de interferencia que se ha detectado (con los operadores tradicionales u otras células IEEE 802.22) durante el funcionamiento normal en el canal, el SM debe tomar las acciones adecuadas para resolver el problema, tal como mudarse a otro canal.

Con el fin de resolver los problemas que se puedan presentar, el SM debe primero proporcionar el suficiente tiempo de período calma para que los CPE puedan llevar a cabo la detección en banda (en los canales  $N$  y  $N \pm 1$ ), borrar estos canales dentro del monitoreo del canal especificado, luego, mantener una lista actualizada de los canales de copia de seguridad y los candidatos en orden de prioridad, y asegurarse de que los CPE tienen suficiente tiempo de inactividad para borrar un número suficiente de canales de copia de seguridad.

Si un titular se encuentra desde la detección en banda, el MAC deberá utilizar la respuesta de la SM para llevar a cabo la operación de conmutación. El SM tiene un papel clave en la arquitectura general ya que es el punto central en la BS, donde se reúne toda la información sobre la disponibilidad del espectro, resultante del servicio de base de datos y la detección de la función espectral; basándose en esta información combinada, el SM proporcionará la información de configuración necesaria para la MAC, que deberá configurar de forma remota todos los CPE registrados.

Las conexiones explícitas B1 y B2 que se muestran en la arquitectura de la BS 802.22 (Figura 1.4), son la representación del intercambio de información entre el SM y el MAC y el SM y las MIB. La conexión B2 se utiliza para la configuración de la SM en la BS, la



transmisión de la lista de canales disponibles a la SM, así como para informar del estado del entorno de radiofrecuencias (RF) a través de las MIB. La conexión B1 será utilizada por el SM para iniciar movimiento canal, para configurar la SSA en el CPE (lista de canales, canales específicos para ser detectados), así como para obtener información de los CPE (información de detección, información de geolocalización local).

### **Detección Automática del Espectro (SSA)**

Esta entidad de gestión del espectro más sencilla está presente en la BS y en los CPE; implementa procedimientos para detectar las radiofrecuencias en la inicialización de la BS y antes de la inscripción de un CPE con la BS. La SSA en el CPE, incluye características esenciales para permitir el funcionamiento correcto cuando el CPE no está bajo el control de un BS, tales como el cambio de canal o mientras el CPE está en reposo. La SSA deberá llevar a cabo la detección fuera de banda e informar a la BS, de manera que pueda actualizar el estado de los canales incluidos en la lista de canales a usar. En cualquier otro momento, el SSA en el CPE está bajo el control del SM.

En el caso de las conexiones explícitas C1 y C2 en el CPE que se muestran en la Figura 1.5, la conexión C2 se utilizará para transmitir la información de monitoreo del medio ambiente (por ejemplo, la lista de los proveedores de servicios detectados) a través de las MIB hacia la CPE. La conexión C1 se utiliza para transmitir la información sobre el entorno local, como la de detección y de geolocalización a la BS.

En la BS, la SSA también es activa cuando la BS no está transmitiendo, para llevar a cabo detección de fuera de banda. La SSA ubicada en la BS presenta la detección de salida para borrar los canales cuando la estación base no está transmitiendo.

### **Subcapa de Seguridad 2**

Además de la subcapa de seguridad 1 ubicada en el plano de datos, se contará con la subcapa de seguridad 2, que se introduce en el plano cognitivo; pero en general, las funciones de las subcapas de seguridad 1 y 2 deben garantizar: obtener la información de espectro y la disponibilidad del servicio, proporcionar los datos y la autenticación de la señal, así como garantizar los datos, el control y la integridad del mensaje de gestión, confidencialidad y no rechazo.

Específicamente, el papel de la subcapa de seguridad 2 es proporcionar una mayor protección a los usuarios, así como la protección necesaria a los sistemas de IEEE 802.22.

La Subcapa Seguridad 2 mejora la seguridad para el acceso basado en la radio cognitiva del mismo modo que la subcapa de seguridad 1 se utiliza para autenticar un paquete CBP (Coexistence Beacon Protocol) procedente de un CPE de una célula vecina.

## **1.4 Sistema WRAN**

El estándar 802.22, diseñado bajo una topología punto-multipunto, soporta movilidad de hasta 114 km/h sin hand-off (transferencia de llamadas entre células) y define dos entidades: el equipo de usuario (Customer Premise Equipment - CPE) y las estaciones base (Base Station - BS), donde los CPE se adjuntarán a una estación base por medio de un enlace inalámbrico y la BS controlará el acceso al medio en su celda transmitiendo a varios CPE, los cuales responden a la BS en la dirección de subida[7].

### **1.4.1 Estaciones Base**

Las estaciones base son las encargadas de la detección distribuida, característica necesaria para asegurar el correcto uso del espectro de televisión sin interferir en el espectro ya usado en las emisiones. La detección distribuida consiste en que los CPE estarán escaneando el espectro y enviarán información periódica a las estaciones base informando del resultado de su detección; la estación base, con la información proporcionada por los CPE, evaluará si es necesario un cambio en el canal utilizado, o por el contrario, si deberá quedarse transmitiendo y recibiendo en el mismo. La decisión de los canales y las bandas guardas que se pueden utilizar puede tomarla la BS, sin necesidad de esperar por la información que proporcionen los servidores centralizados.

La BS actúa en correspondencia a lo que reciba de la CPE y puede operar con antenas direccionales u omnidireccionales, además se equipa con un receptor GPS. Una estación base (BS) que cumpla la norma 802.22 deberá ser capaz de proporcionar servicio de internet de alta velocidad a un número límite de 512 equipos de usuario (fijo o portátil) o grupos de equipos dentro de su área de cobertura, asumiendo diferentes calidades de servicio (QoS), además debe controlar las características de radiofrecuencia de los CPE adjuntos.

Como medida de seguridad tanto los CPE como las BS necesitan hacer un proceso de inicialización en la red, el de las estaciones base sigue los siguientes pasos: primero, la estación base obtiene la información sobre la ganancia de la antena y su localización geográfica; si existe un servicio de la base de datos para el área de trabajo de la BS, el SM

en la estación base, recibe la lista inicial de los canales permisibles para adquirir el servicio, si no hay servicio de la base de datos, el SM inicialmente considera todos los canales disponibles; luego se realiza la detección de otros operadores en todos los canales que se pueden utilizar y se hace la sincronización en la red con otras BS vecinas; por último, se presentan los canales válidos de la “lista” a las capas superiores para seleccionar un canal operativo y entonces comienza la operación en el canal escogido[8].

#### **1.4.2 Equipos de usuarios**

Los CPE al igual que las estaciones base poseen un dispositivo GPS que permite informar a la BS correspondiente sobre su ubicación en enlace ascendente. Para que el CPE acceda al sistema se sigue un procedimiento como el que se describe a continuación:

- ◆ El CPE obtiene información de ganancia de la antena.
- ◆ Se realiza la detección y sincronización con los servicios WRAN y luego se presentan los resultados de la detección a las capas superiores, se escoge el servicio WRAN.
- ◆ El CPE adquiere un dato de geolocalización válido proveniente del satélite, si la obtención del dato fracasa, la inicialización no debe continuar.
- ◆ El CPE adquiere los parámetros de subida y bajada del servicio seleccionado. El azimut de la antena direccional del CPE se ajusta.
- ◆ Si los canales  $N$  y  $N\pm 1$  aprueban la detección y los requerimientos de sincronización, se lleva a cabo el intercambio entre la BS y el CPE, el CPE luego transmite sus capacidades básicas, y si todos los requerimientos básicos y capacidades están presentes en el CPE, se lleva a cabo entonces la autenticación y el cambio de clave; en caso contrario, no se debe seguir con el proceso de inicialización.
- ◆ Se hace la configuración de los parámetros de operación del CPE que incluye la configuración de la versión IP usar. Completado el proceso de registro, la BS transmite el conjunto de canales a usar.
- ◆ Se establece la conexión IP, se transfieren los parámetros de operación y el flujo dinámico de servicios. El CPE reporta los resultados de la detección y la muestra de los vecinos en la red [8].

Cada CPE requiere de dos antenas independientes, una directiva, para la transmisión y recepción y una antena omnidireccional que se usa fundamentalmente para la

detección. Los CPE pueden ser fijos o portátiles (tabletas electrónicas, teléfonos móviles, computadoras personales). En la Figura 1.2 se ilustran un par de antenas en un CPE fijo.

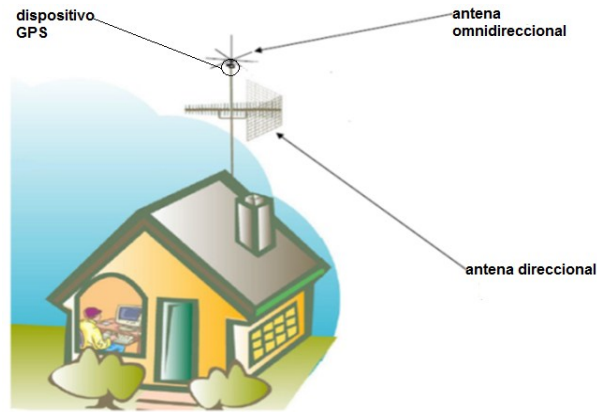


Figura 1.6. Antenas requeridas en el CPE (Fuente: [2]).

### 1.4.3 Topología del sistema

Diseñado para trabajo en entornos de LOS y NLOS, un sistema WRAN puede brindar una cobertura de hasta 100 Km, aunque típicamente es de 30 Km, posee un mayor alcance con respecto a las redes actuales debido, principalmente, a su mayor potencia y a las características favorables de propagación de las frecuencias de las bandas de televisión.

En la figura siguiente (Figura 1.7) se muestra la topología de una red WRAN, donde se distinguen 5 estaciones base, cada una en una célula, que ocupan varios CPE, además representa un satélite, cuya función es brindar servicio de geolocalización a toda la red.

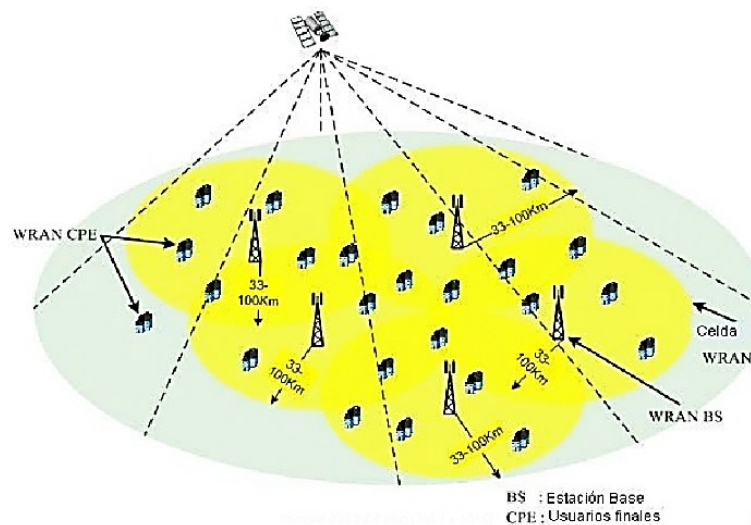


Figura 1.7. Topología de las redes WRAN.

### Capacidad y cobertura del sistema:

- ❖ Eficiencia Espectral: 3bits/s/Hz
- ❖ Capacidad del canal: 18 Mbps
- ❖ Velocidad en el canal de bajada (*forward*): 1.5 Mbps
- ❖ Velocidad en el canal de subida (*return*): 384 kbps
- ❖ Número de suscriptores por canal (*forward*): 600
- ❖ Mínimo número de suscriptores: 90
- ❖ Potenciales suscriptores: 1800
- ❖ Número estimado de personas por hogar: 2.5
- ❖ Número total de personas por área de cobertura: 4500
- ❖ Radio de cobertura: 30.7 km
- ❖ Mínima densidad de población cubierta: 1.5 personas/km<sup>2</sup>[9]

#### 1.4.4 El problema de la coexistencia

Varias células WRAN pueden superponerse en sus contornos de trabajo (Figura1.8), la interferencia resultante entre estas células solapadas conduce a uno de los principales retos en sistemas WRAN, el problema de la coexistencia. Este problema puede degradar el rendimiento del sistema debido al hecho de que el rango de cobertura WRAN puede ir hasta 100 Km, como resultado, el rango de interferencia de esta célula WRAN es mayor que en cualquier tecnología existente sin licencia de operación, por lo tanto, es necesaria la coordinación entre las diferentes estaciones bases.

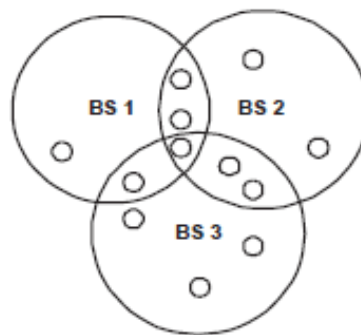


Figura1.8.Solapamiento de células en IEEE 802.22

Los sistemas WRAN se equipan con los medios necesarios para poder coexistir con otros sistemas iguales en una misma área, o sea, que se puede poner en funcionamiento el sistema aunque exista otro sistema WRAN en operación en el área.

En una zona donde operan múltiples sistemas 802.22, la interferencia mutua entre ellos debido a la operación co-canal podría degradar significativamente el rendimiento del sistema. Para hacer frente a este problema, en la capa MAC se especifica un mecanismo de coexistencia, este mecanismo implica que las redes 802.22, situadas al alcance de otras redes 802.22 tienen que ser capaces de sincronizar sus supertramas mutuamente; esta sincronización se consigue transmitiendo “beacons” (bálizas) con anotaciones temporales implícitas en la misma báliza (llamada báliza de coexistencia), de manera que los CPE de una red vecina pueden recibirlos. Cuando una BS recibe la báliza de coexistencia de una red próxima, ajusta el tiempo de inicio de la supertrama [10].

Por otra parte, la capacidad de radio cognitiva que contienen los dispositivos 802.22, que les permite tomar decisiones acerca de su comportamiento operativo de radio es el fundamento de la convivencia de los sistemas 802.22, ya que pueden existir problemas de interferencia con señales que no forman parte de un sistema WRAN como es el caso de la televisión digital, televisión analógica, micrófonos inalámbricos, equipos médicos. Para mitigar la interferencia sobre estas señales, el protocolo 802.22, establece límites sobre la máxima potencia transmitida e interferencias sobre bandas adyacentes[10].

**Umbrales para desocupar un canal ante la presencia de las siguientes señales:**

Televisión Digital: -116 dBm sobre un canal de 6 MHz.

Televisión Analógica: -94 dBm en el pico de la portadora.

Micrófonos inalámbricos: -107 dBm en un ancho de banda de 200 kHz.

### **1.4.5 Servicios**

#### **Servicio de geolocalización**

Los servicios basados en localización en 802.22 son dirigidos a las estaciones base para que estas puedan ser localizadas por los servidores centralizados que contienen la base de datos con los canales de televisión, las bandas guardadas, información del proveedor, etc. y en los CPE fundamentalmente para informar a las BS de su posición. En los Estados Unidos se accedería al servicio mediante el sistema GPS, aunque existen otros sistemas de sistemas de posicionamiento global tales como GLONASS que gestiona la Federación Rusa, Galileo de la Unión Europea y el sistema Beidou que la República Popular China ha desarrollado.

Dos modos de geolocalización pueden ser usadas con 802.22, el primero, satélite basado

en geolocalización (es obligatorio) y el segundo, el modo terrestre basado en geolocalización. La tecnología de geolocalización puede detectar si algún dispositivo en la red se mueve a una distancia que afecte la utilización del canal usado para la transmisión/recepción, en cuyo caso la BS y los CPE pueden obtener una nueva lista de canales permisibles obtenida por el servicio de base de datos basado en la nueva localización del dispositivo[10].

### Servicio de la base de datos

Este es un servicio oficial, que opera bajo las reglas de la autoridad local. Provee una lista de los canales permisibles para la operación en las bandas de la televisión y el máximo nivel de potencia EIRP que se acepta para la comunicación del 802.22 en estos canales, basado en la posibilidad de geolocalización contenida en los dispositivos WRAN.

### Modelo de interface con la base de datos 802.22

El modelo de interface con la base de datos ha sido uno de los aspectos más importantes asumidos en el desarrollo del estándar IEEE802.22. Este es un modelo punto-multipunto para extender el acceso a banda ancha en áreas rurales. En el modelo representado en la Figura 1.9, se asume a la estación base para controlar todos los parámetros de RF (radiofrecuencias) de sus CPE adjuntos: frecuencia, EIRP, modulación... en una relación maestro-esclavo. El grupo de trabajo IEEE 802.22 decidió que esta interface se haga entre el servicio de la base de datos y la BS y no sobre los CPE individuales, por lo que entre la BS y la base de datos se produce el intercambio de mensajes propios del estándar, que permiten a la estación base recibir el servicio directamente.

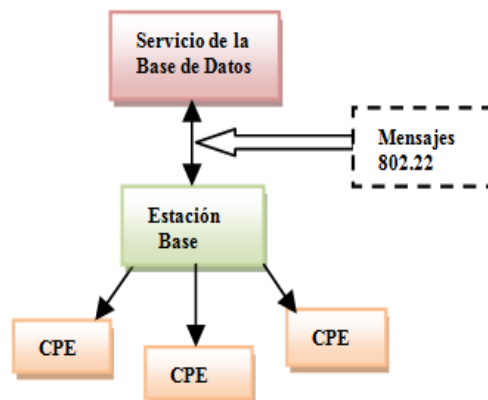


Figura 1.9. Esquema que representa el acceso al servicio de la base de datos.

Antes de iniciar la operación, el operador de la BS debe asegurarse de que la BS tiene acceso a la emisión del servicio de base de datos. Una conexión con el servicio de base de datos se identifica mediante el Recurso de Ubicación Universal (URL) que se utiliza para acceder al servicio de base de datos a través de Internet. La URL del servicio de base de datos debe ser una dirección URL completa que comienza con http: // o https: //.

La conexión al servicio de base de datos tendrá que ser segura; y esta seguridad puede garantizarse a través de una credencial de seguridad cuando se realiza la conexión con el servicio de base de datos, a través de su URL. Si se utiliza una dupla ID (identificación) de usuario || contraseña, entonces el usuario ID y contraseña deben cumplir con los requisitos de identificación y contraseña de usuario que determine el servicio de base de datos del proveedor (por ejemplo, número mínimo de caracteres en total, proscribir uso de ciertos números de letras / números / caracteres especiales)[10].

#### **Acceso de banda ancha:**

El término banda ancha normalmente se refiere al acceso a Internet de alta velocidad. También se define como la transmisión de datos en la cual se envían simultáneamente varios paquetes de información, con el objetivo de incrementar la velocidad de transmisión efectiva.

Según la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) el servicio de banda ancha es la transmisión de datos a una velocidad mayor de 200 Kbps, en por lo menos una dirección: transmisión de bajada (del Internet al equipo del usuario) o de subida (del equipo del usuario al Internet), el estándar WRAN viene definido para las prestaciones de banda ancha ya que las velocidades en la subida y bajada alcanzan los 1,5 Mbps y 384kbps respectivamente.

La banda ancha permite acceder a la información vía Internet usando alguna de las técnicas de transmisión de alta velocidad existentes; como la transmisión es digital, el texto, las imágenes y el sonido son todos transmitidos como bits de datos. Las tecnologías de transmisión hacen posible el acceso a la banda ancha con velocidades mayores que las conexiones tradicionales de teléfono o inalámbricas. Una vez que se tiene disponibilidad de una conexión de banda ancha, los dispositivos como las computadoras, teléfonos, tabletas electrónicas (tablets), pueden anexarse a esta conexión mediante fibra óptica, receptor satelital, BPL (banda ancha por línea eléctrica), módem de cable, línea digital de abonado (DSL), antena inalámbrica.



En el estándar 802.22, la conexión de los equipos de usuario a la banda ancha será por medio de antena inalámbrica directiva y externa.

### **¿Por qué es importante el servicio de banda ancha?**

El servicio de banda ancha permite la transmisión de datos a una mayor velocidad, el flujo de un mayor contenido a través de las "líneas" de transmisión, lo que se traduce en acceso a internet con más alta calidad; servicios de medios de comunicación audiovisual, VoIP (Voice over IP), juegos y servicios interactivos, que requieren la transferencia de grandes cantidades de datos. La banda ancha siempre está activa no bloquea las líneas telefónicas, y en el caso particular de WRAN, no interfiere a la señal de la televisión, no necesita reconectarse a la red, y una vez que se desconecta, posee menor retraso en la transmisión de datos. El acceso a banda ancha ofrece oportunidades y recursos en el ámbito educacional, cultural, recreativo; permite acceso a tecnologías como VoIP o la televisión digital.

### **QoS en 802.22**

Varios tipos de servicios son soportados: ARQ, unidifusión (unicast), multidifusión (multicast) y servicios de difusión (broadcast).

La multidifusión IP se usa generalmente para ofrecer streaming<sup>1</sup> de vídeo y audio a alta velocidad a un gran grupo de receptores. El método unicast se aplica tanto para transmisiones en vivo como bajo demanda y el multicast se aplica para transmisiones en vivo. La difusión se usa cuando el nodo emisor necesita enviar la misma información a múltiples receptores, es el caso de la videoconferencia y el streaming. El método de control de errores ARQ, es un mecanismo de la capa MAC, que posee control de flujo mediante parada y espera, o/y ventana deslizante.

En la siguiente tabla (Tabla 1.1) se muestran los tipos de calidad de servicios que se ofrecen en el 802.22 y sus aplicaciones fundamentales:

---

<sup>1</sup>El *streaming* es la distribución de multimedia a través de una red de computadoras de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga.

Tabla 1.1. Servicios de QoS en 802.22 y aplicaciones.

Servicios deQoS	Aplicación
UGS	VoIP, T1/E1
rtPS	MPEG video streaming
nrtPS	FTP
BE	E-mail
Contención	Solicitud de ancho de banda

UGS (Unsolicited Grant Service): El servicio UGS ofrece oportunidades para la conexión en tiempo real, permitiendo eliminar latencia en las solicitudes del CPE y asegurando satisfacer las necesidades del flujo en tiempo real.

rtPS (Real-time Polling Service): Este servicio ofrece servicios en tiempo real tales como lectura de periódicos y oportunidades de petición de unidifusión, y permite al CPE decidir el nivel de calidad que desea en el servicio.

nrtPS (Non-real-time Polling Service): El nrtPS ofrece encuestas unicast, que asegura que el flujo de servicio recibe la solicitud de calidad, incluso durante la congestión de la red, lo que permite al CPE utilizar la contención.

BE (best effort): La intención del servicio mejor esfuerzo es brindar un servicio eficiente al mejor esfuerzo de tráfico.

Las solicitudes de ancho de banda (o simplemente, solicitudes) se refieren al mecanismo que los CPE utilizan para indicar a la BS que necesitan la asignación de ancho de banda en el enlace ascendente. Dos tipos de solicitudes de ancho de banda están disponibles en la capa MAC: solicitud basada en contención, solicitud CDMA[10].

## 1.5 Aplicaciones de 802.22

La aplicación más importante de IEEE 802.22 es dotar a las regiones rurales y remotas con acceso a banda ancha inalámbrica. La importancia de la aplicación viene por el hecho de que aproximadamente la mitad de la población de EE.UU vive en las zonas rurales y remotas, ya que el estándar surge en este país y la misma situación se aplica a otras regiones como África, Asia, América Latina. Sin embargo no se espera que cuando la red WRAN salga al mercado supere el uso de Wi-fi o de la telefonía móvil; su objetivo principal

serán las áreas rurales y fuera de servicio, lugares donde hay un gran número de canales de TV libre, y la densidad de población es menor que 60 personas por km<sup>2</sup>, sitios en los que los medios de comunicación, tales como cableados de línea de abonado digitales (DSL) y las tecnologías de cable coaxial no tienen sentido económico. Se pretende que WRAN se convierta en una solución para llevar el Internet a zonas donde no llegan otras tecnologías.

Aunque WRAN está enfocado a desarrollar redes en zonas de difícil acceso o zonas rurales, esto no significa que no sea aplicable en zonas urbanas, ya que 802.22 posee ventajas con respecto a otros estándares inalámbricos implementados. No obstante, implementar en las ciudades será muy difícil pues habrá menos espacio en blanco en las zonas urbanas más densas, ya que hay más canales de televisión en las ciudades (no siendo el caso de Cuba). Las mismas condiciones que hacen posible que la cobertura sea buena, también hacen que las interferencias se propaguen más lejos cuando existen más canales de televisión en uso.

Durante el transcurso de la investigación todavía no se tenían noticias de la implementación de ninguna red comercial WRAN, sin embargo a partir de las primeras pruebas realizadas en Estados Unidos se propusieron algunos esquemas de redes WRAN para múltiples aplicaciones, comprobándose que la aplicabilidad de 802.22 no es restringido sólo a regiones rurales. WRAN puede destinarse para el uso en unidades de viviendas residenciales, pequeñas empresas, edificios, campus públicos y privados con los servicios de datos, voz, y el tráfico de video con calidad de servicio adecuado. A continuación se muestran otras aplicaciones del estándar.

**Aplicación 1: Uso simultáneo de tres servicios (video, voz y datos) a partir de la difusión de la televisión.**

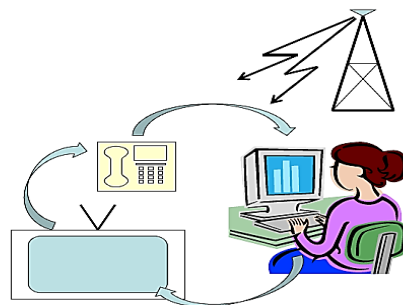


Figura 1.10. Uso simultáneo de varias aplicaciones (Fuente: [2]).

**Aplicación 2: Red de monitorización en la agricultura.**

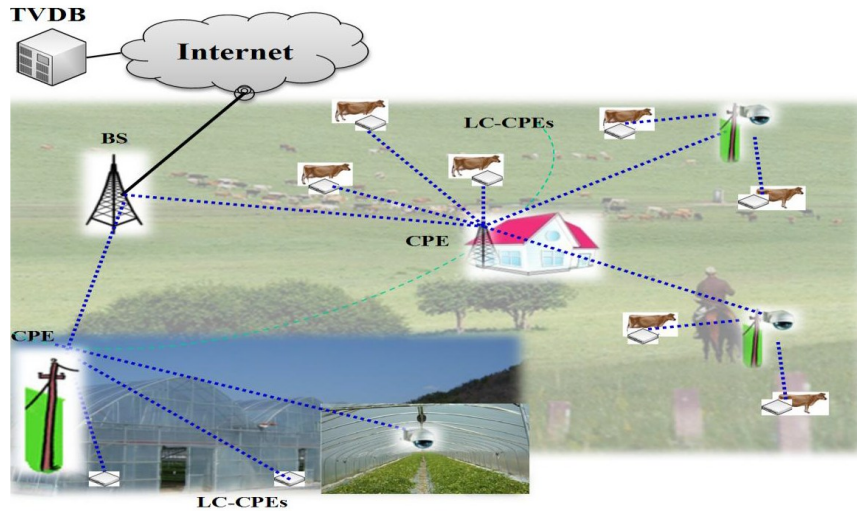


Figura1.11. Aplicación para monitorización en la agricultura. (Fuente: [2]).

**Aplicación 3: Red de datos para casos de desastre.**

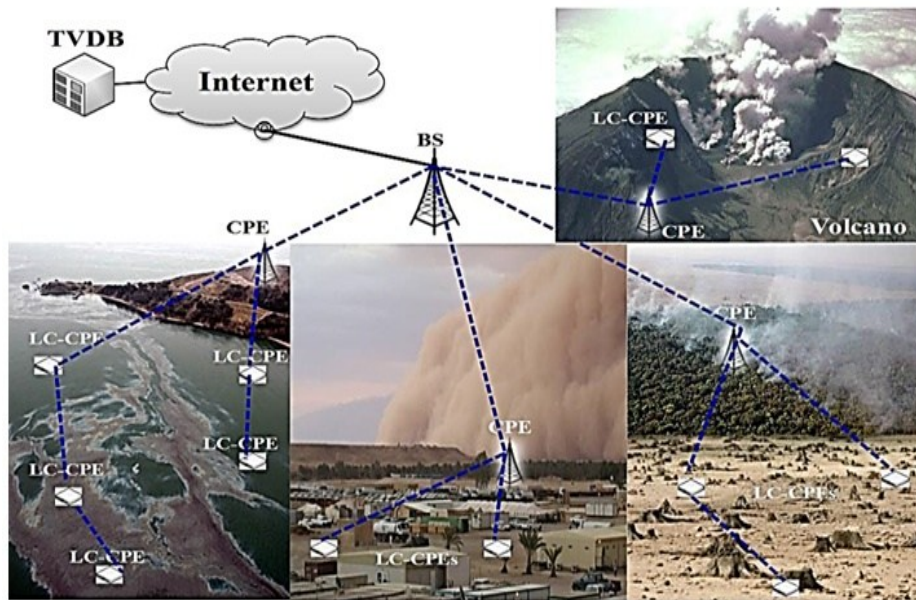


Figura1.12. Red de aviso en casos de desastres (Fuente: [2]).

**Aplicación 4: Red de servicio de banda ancha que unifica la comunicación entre distintos cayos.**

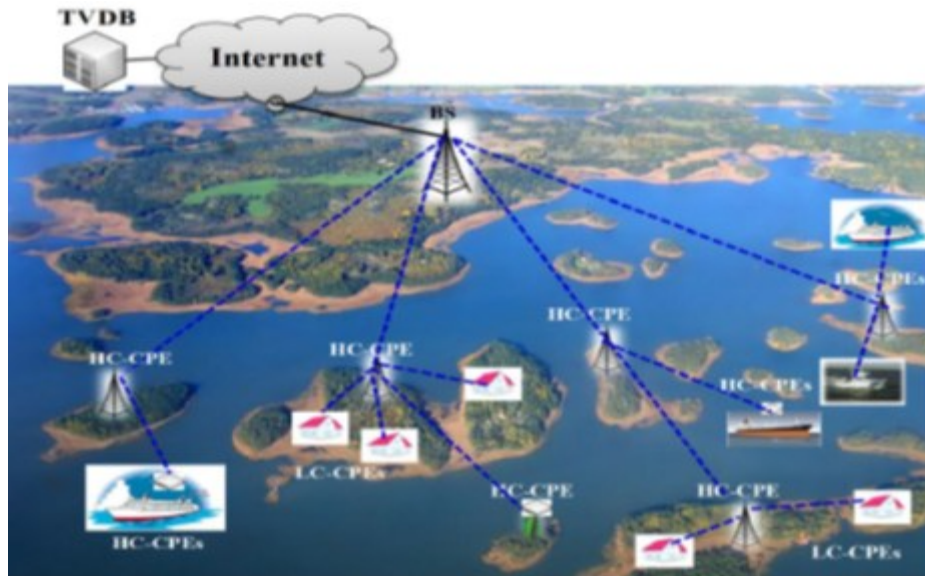


Figura 1.13. Comunicación en condiciones geográficas difíciles (Fuente: [2]).

**Aplicación 5: Red de monitorización de tráfico.**

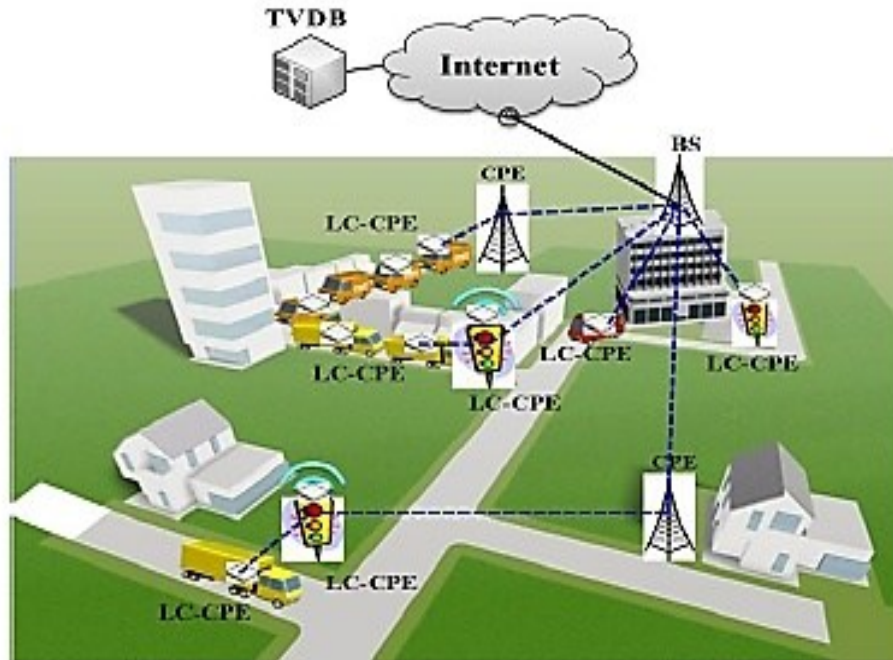


Figura 1.14. Aplicación para monitorizar la red de tráfico (Fuente: [2]).

### **1.5.1 Redes WRAN para el mundo. Desarrollo de tecnologías**

El IEEE creó este estándar, basado en la novedosa técnica de radio cognitiva, para la comunicación con acceso inalámbrico a la banda ancha en zona rurales o de difícil acceso, y esto instantáneamente se convirtió en motivo de interés para muchos en el mundo, en especial para grandes potencias en las telecomunicaciones, con el fin de concretar el uso de una red que tiene 10 veces más alcance que las redes Wi-fi, y que constituye un significativo exponente del uso de TVWS o espacios en blancos de la televisión, atractivos difíciles de pasar por alto.

Es de destacar que, conjunto se desarrollaba el estándar, se crearon también especificaciones o variantes de este según la zona de operación; se incluyen en el informe[10] tres zonas geográficas de desarrollo: la de Estados Unidos (US) autorizado por la FCC, en Canadá (CAN) autorizada por la IC (Industry Canada) y Reino Unido o UK, autorizado por la OFCOM (Office of Communications). Sin embargo esto no quiere decir que el progreso para de la implementación de una red comercial se realice solamente en estas tres zonas.

#### **Estados Unidos**

Se realizaron las primeras pruebas satisfactoriamente para comprobar el funcionamiento del estándar.

Se destaca también el trabajo de la empresa Carlson, que diseña productos para dispositivos fijos 802.22.

En este país radica el grupo de trabajo del IEEE 802.22 que trabaja en nuevas revisiones del estándar.

#### **Canadá**

El Communications Research Centre en Canadá (CRC), proveniente de Industry Canada, tiene el programa Rural and Remote Broadband Access (RRBA) que lleva a cabo investigaciones, pruebas de tecnologías y sistemas de acceso de banda ancha, innovadores y rentables con los cuales el sector privado podría elaborar modelos de actividad comercial, viables para la prestación de servicios de banda ancha en las zonas insuficientemente atendidas de Canadá.

#### **Reino Unido**

Mostrando avances de la utilización de los TVWS, en el reino Unido, en colaboración con

la NICT (National Institute of Information and Communications) se realizó a mediados del año 2014, una prueba de comunicación en el espacio en blanco de la televisión a 40Mbps. Las sedes fueron los campus Denmark Hill y el Guy's del King's College London, donde se estableció satisfactoriamente la comunicación entre la estación base y un equipo terminal, separados a 3,7km. Se implementó una base de datos que de acuerdo con las regulaciones de la OFCOM, aportó información acerca del uso espectral de otros operadores. Este sistema fue basado en el sistema LTE pero, constituye un avance de las comunicaciones en TVWS para el mundo, y además sirve de apoyo para otros estándares como WRAN[11].

### **Japón**

Después de las primeras pruebas realizadas en Estados Unidos con el estándar, el NICT, la compañía Hitachi Kokusai Electric Inc. y la ISB Corporation, desarrollaron el primer prototipo para estación base y CPE en el año 2012.

La parte de la capa física, desarrollada por Hitachi Kokusai Electric Inc., permite a los dispositivos el uso de las bandas de televisión en el rango desde los 470 MHz hasta los 710 MHz. La capa de acceso al medio o MAC fue desarrollada por NICT, y provee un mecanismo de acceso al medio punto a multipunto, pudiendo soportar los diferentes niveles de QoS y la capacidad cognitiva de estimación de interferencias, geolocalización, y acceso sobre IP a la base de datos. La base de datos proporcionada por ISB Corporation, protege la difusión de la televisión, mediante la selección automática de bandas para garantizar la no interferencia, demostrando que el prototipo cumple con los requisitos fundamentales de la IEEE. El dispositivo es mostrado a continuación:



*Figura 1.15. Prototipo japonés basado en 802.22. (Fuente[12]).*

Otro aporte importante al desarrollo de redes WRAN fue la prueba de campo hecha a principios de 2014, donde el uso de la banda ancha de largo alcance para las comunicaciones en el espacio en blanco de televisión fue confirmada mediante el uso de una red híbrida IEEE 802.22 e IEEE802.11af.

En esta prueba, la NTIC e Hitachi Kokusai Electric Inc., observaron la transmisión de datos de subida y bajada, lograda con éxito a 12.7 km de distancia entre una de las estaciones base, basadas en IEEE 802.22 y el equipo local del cliente, a una velocidad de 5,2 Mbps y 4.5Mbps, respectivamente. Además, NTIC y Hitachi Kokusai construyeron una red de salto múltiple mediante el uso de IEEE 802.22 como un enlace troncal y IEEE 802.11af, conectado a ella, para ampliar su área de conexión.

En este ensayo, se demostraron algunas aplicaciones como la monitorización de vídeo de caminos y acantilados y el uso del teléfono con vídeo en zonas de montaña, donde no hay conexiones cableadas o inalámbricas de Internet disponibles. Estos logros demostraron la viabilidad de la prestación de servicios de banda ancha en las zonas rurales y el apoyo a las comunicaciones por radio durante las actividades de socorro de desastres. La figura siguiente muestra la red:

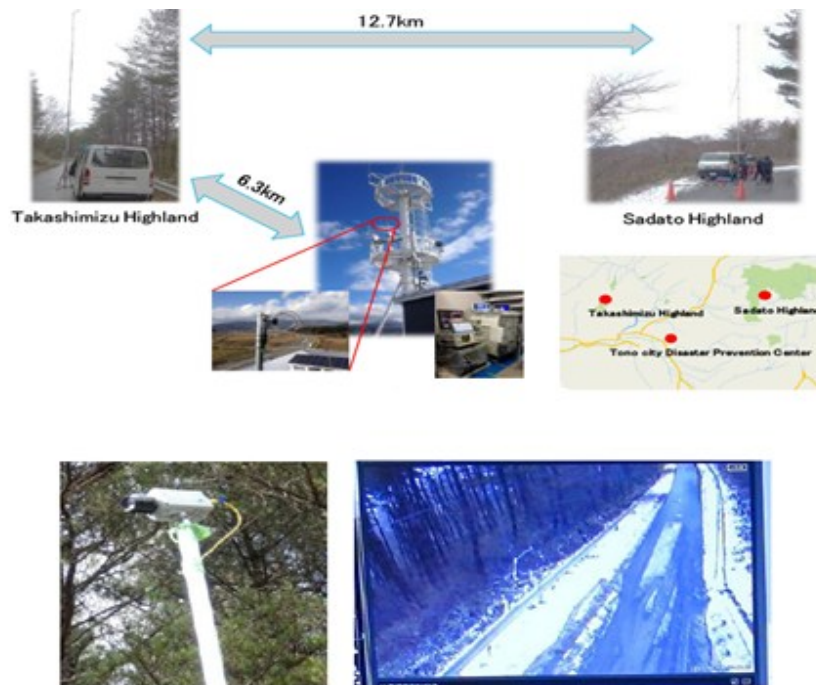


Figura 1.16. Imágenes de la red de la prueba de campo.



### **1.5.2 Problemas que enfrenta la implementación de comunicaciones a largas distancias con servicios de banda ancha en TVWS.**

Nadie debiera hacer caso omiso a la posibilidad de utilización del espacio en blanco dejado por transmisores con licencia para transmitir señales de banda ancha de forma más barata y sencilla en todas partes del mundo, sobre todo en zonas donde el acceso a Internet no es disponible, o pocamente disponible (Ver Anexol), lugares poco poblados que cuentan con un menor número de estaciones de televisión en funcionamiento.

Uno de los primeros proyectos interesados en el tema, fue el proyecto AIR.U patrocinado por Google y Microsoft para el desarrollo del estándar 802.22, y luego se creó una sociedad más amplia entre GoogleInc., MicrosoftInc., Intel Corp., Dell Inc. y Hewlett-Packardm para el uso de la TVWS. Pero a pesar de la campaña llevada a cabo por la sociedad antes mencionada para lograr la autorización del uso de los espacios en blanco dejados por la transmisión de la televisión, la oposición ha sido fuerte.

Los dueños de licenciasde espectro como3G, 4Gy las emisorasde televisiónhandetenidooatrasadoenormementelosprocesos regulatoriosen decenas depaíses de Europa,Asia y África, que a su vezha desalentado a muchos fabricantespara construir nuevos dispositivos de espacios en blanco, chipsetse infraestructura[13]. Los reguladores y los operadores tradicionales no están completamente satisfechos de que los espacios blancos vayan a trabajar, puesto que plantean que no es justo que ellos hayan pagados sumas millonarias en licencias, para que otros accedan a las mismas frecuencias de radio de forma gratuita.

Desde el momento en que Google presionó a la FCC para dejar los espacios en blanco de televisión para su uso sin licencia, las aerolíneas estadounidenses tambiénprotestaron. La idea de Google de un costo menor del servicio de Internet a alta velocidad, basándose en el espectro libre, significa un duro golpe para la competencia en el sector inalámbrico. Facebook, Microsoft, Amazon y Google quieren más acceso a los consumidores que utilizan la banda ancha para hacer más búsquedas y compras en línea, lo que constituye una amenaza para la competencia[13].

### **Otros inconvenientes para el despliegue de redes WRAN**

Como el IEEE 802.22 no es un estándar de mercado implica que los dispositivos usados actualmente para el acceso a las redes informáticas tales como computadoras personales tablets y smartphones (teléfonos inteligentes) no soporten esta tecnología por lo que si se quisiera acceder a estas redes con ellos, habría que recurrir a soluciones intermedias como, por ejemplo, un dispositivo que haga de puente entre Wi-Fi y WRAN.

El acceso a la base de datos que concede información de las frecuencias en TVWS que se pueden usar en una zona geográfica determinada, es un proceso complicado, que utiliza la técnica de radio cognitiva, y aún se encuentra en fase experimental.

Otro problema, surge con el desarrollo del mercado y los atractivos de las nuevas propuestas como la tecnología 4G, que puede frenar la disposición de las grandes corporaciones que apoyan la idea del despliegue de WRAN, y por tanto se frene el desarrollo de las tecnologías.

Todas estas dificultades hacen ver el uso del espectro inutilizado en la transmisión de la televisión como un éxito futuro y lejano, para algunos, imposible, pero a pesar de todo, los espacios en blanco están encontrando un lugar en la política del espectro de las economías desarrolladas y emergentes, por igual. Aunque lentamente, los reguladores en un número creciente de países están sentando las bases para dejar al menos un poco de espacio en blanco sin licencia y utilizable para la banda ancha[13]; están surgiendo variantes en los estándares tales como Wi-Max o Wi-fi para la utilización de este espectro, y existen compañías importantes se dedican a crear dispositivos que usan la técnica de radio cognitiva (Ver Anexoll), aún con la fuerte oposición; a la larga, nada puede frenar la evolución de las comunicaciones inalámbricas hacia el uso óptimo del espectro radioeléctrico.

## **CAPITULO 2 . Diseño y simulación de una red WRAN en la provincia Guantánamo**

Para cumplir con el objetivo fundamental de este trabajo, después de una investigación sobre las características fundamentales del estándar IEEE 802.22, en el siguiente capítulo se hace un estudio acerca de las condiciones existentes en la provincia para lograr el diseño de la red WRAN que se desea para comunidades rurales, se describen las características del software usado, se diseña la red y se analizan los resultados de los radioenlaces, obtenidos con la simulación en el Radio Mobile.

### **2.1 Características de la provincia de Guantánamo**

#### **Situación geográfica**

La provincia Guantánamo está localizada en el extremo más oriental de la Isla de Cuba, posee una extensión superficial de 6 186,2 km<sup>2</sup>, lo que representa el 5,58 % de la superficie de todo el país. Presenta los más variados escenarios naturales: desde zonas semidesérticas hasta frondosos bosques.

Limita hacia el norte con la provincia Holguín y el océano Atlántico, al sur con el Mar Caribe, al este con el Paso de los Vientos que separa la Isla de Cuba con la República de Haití, y al Oeste con la provincia Santiago de Cuba.

La provincia está formada por dos grandes regiones naturales:

- El Valle de Guantánamo, con relieve llano y una extensa Bahía de Bolsa catalogada como la tercera en superficie a nivel mundial. Los suelos más productivos son dedicados a la actividad agropecuaria: caña de azúcar, café cultivos varios, zonas para el desarrollo ganadero y forestal.
- La zona montañosa abarca el 75 % del territorio, donde se localiza el Macizo Sagua - Baracoa, uno de los más extensos del país. Al Norte se localiza una franja costera estrecha con extensos cocales cortada por la desembocadura de numerosos ríos.

### Estructura político-administrativa

Municipios: Guantánamo, Baracoa, El Salvador, Yateras, Imías, San Antonio del Sur, Manuel Tames, Caimanera, Niceto Pérez (Figura 2.1).

En total existen 83 Consejos Populares y 819 Circunscripciones.



Figura 2.1. Mapa de la provincia con la división político-administrativa.

### Clima

La temperatura media anual fluctúa entre los 25 °C y los 26,8 °C en la zona llana, y entre 20 °C y 24 °C en la parte montañosa, y la humedad relativa oscila del 70 al 86 %.

### Industria

La actividad industrial se caracteriza por el limitado desarrollo en relación con otras provincias del país, por poseer por lo general una tecnología atrasada.

La provincia cuenta con fábricas de herramientas de mano, muebles, producciones textiles, bombas y válvulas, cinco centrales azucareros( en funcionamiento, solo el central Argeo Martínez del municipio Manuel Tames), y otras de la rama alimentaria como son los combinados Cárnico, Pesquero, Lácteos, de Bebidas y Licores, la fábrica de Chocolate, una planta de beneficio de café, la mayor planta para la producción de sal común en el país en Caimanera (se produce el 75 % de la demanda nacional), y una serie de pequeñas industrias locales, fundamentalmente en las ciudades de Guantánamo y Baracoa. También se cuenta con industrias de materiales de construcción atendiendo a la existencia de yacimientos no metálicos de piedra, arena y arcilla para la cerámica roja.

El nivel de electrificación del territorio alcanza el 86,4 % de la población, existiendo amplias posibilidades de empleo de tecnologías alternativas para la generación de electricidad,

mediante la utilización de las energías hidráulica, es la provincia con mejores condiciones naturales en la nación para el aprovechamiento hidroenergético, solar y eólica. En tal sentido cabe destacar la existencia, de 69 estaciones hidroeléctricas y la generación solar fotovoltaica en consultorios médicos, escuelas y otras instalaciones sociales en zonas montañosas apartadas del Sistema Electroenergético Nacional.

### **Estado de las comunicaciones**

De forma general, las zonas más perjudicadas en cuanto al uso de las tecnologías de redes son las zonas montañosas de la provincia, en especial las que están más lejanas de capital provincial. El municipio Guantánamo y el municipio Baracoa son los más beneficiados, incluso son los únicos municipios que cuentan con transmisores para la televisión digital, mientras que San Antonio del Sur es el que presenta más problemas en el tema de las comunicaciones. En total existen 23 asentamientos poblacionales sin acceso telefónico total, distribuidos por toda la región y las redes inalámbricas existentes solo brindan un 48% de cobertura en la región. El hecho de que exista un 13% de la población rural sin servicio eléctrico y que todavía haya muchas zonas de bajo voltaje frena aún más el desarrollo de las telecomunicaciones en la provincia.

### **Posibilidades del uso del estándar 802.22 en la provincia:**

- Existencia de la televisión abierta, un requisito fundamental para usar WRAN sin las restricciones de la televisión privada.
- Con la transición a la televisión digital quedarán aún más canales libres en el espectro televisivo y por consiguiente habrá más espacios en blanco para transmitir.
- Este estándar surge con alternativa para poder comunicar esas zonas rurales en donde no ha llegado ninguna otra tecnología.

### **Dificultades**

- Compatibilidad del sistema con otros equipos ya existentes (equipos de usuario).
- Problema de seguridad por el largo alcance.
- Desconocimiento de costos iniciales.

## **2.2 Diseño de la red**

### **2.2.1 Software Radio Mobile**

Con este software de libre distribución se decidió realizar la simulación de la red pues es ideal para el trabajo con WRAN, ya que utiliza el modelo Longley-Rice que es un modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance, con un rango de frecuencia de trabajo entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

Radio Mobile permite utilizar perfiles geográficos combinados con la información de los equipos: potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc. Posee múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones, entre las que se pueden mencionar la combinación de mapas, coberturas de radio, grilla de altitud, reporte de red, conversión métrica [14].

Radio Mobile utiliza para el cálculo más exacto de los enlaces, las características geográficas de las zonas de trabajo, esto es posible gracias a los mapas que con una opción del software se pueden descargar desde Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED, para la simulación se usaron todos estos, por lo que se logra una imagen del mapa con buena definición. La base de datos SRMT acumula datos topográficos de casi el ochenta por ciento de la superficie terrestre, mientras que los datos del GTOPO30 son usados para corrección geométrica y atmosférica del medio, esta base de datos se usa como complemento de la SRMT para rellenar los huecos en el mapa que pudieran aparecer usando solo esta base de datos.

#### **Parámetros**

##### **Acimut o azimut**

Es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico, o sea, en el sentido Norte-Este-Sur-Oeste. El acimut de un punto hacia el este es de 90 grados y hacia el oeste de 270 grados sexagesimales. El término acimut sólo se usa cuando se trata del norte geográfico. Cuando se empieza a contar a partir del norte magnético, se suele denominar rumbo o acimut magnético.

##### **Pérdidas**

La potencia de la señal se reduce por el ensanchamiento del frente de onda en lo que se conoce como Pérdida en el Espacio Libre. Entre más lejos se esté del transmisor, la

potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor, por lo que la densidad de potencia disminuye.

A parte de la distancia, existen otros factores que pueden incrementar significativamente las pérdidas en la trayectoria, tales como las reflexiones y la absorción por la atmósfera o por objetos en el camino. Las pérdidas también son conocidas con el nombre de atenuación[15].

### **Peor Fresnel**

La primera Zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista). Esta primera zona es importante, porque define un volumen alrededor de la Línea de Vista (LOS -Line of Sight-) que debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza a la antena receptora sea máxima. Objetos en la zona de Fresnel como árboles, colinas y edificios pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aun cuando la línea entre el TX y el RX no esté bloqueada.

Los cálculos de la primera zona de Fresnel, son independientes de las pérdidas de espacio libre. Un enlace con la zona de Fresnel bloqueada puede tener problemas e inclusive puede ser inviable. La existencia de línea de vista no garantiza despeje de la Zona de Fresnel. En las radiocomunicaciones el despeje de la primera zona de Fresnel depende del factor  $k$  (curvatura de la tierra).

Hay un infinito número de zonas de Fresnel alrededor de la primera, como las capas de una cebolla, pero en el software solo se analiza la primera que es la más importante, en el Radio Mobile se refieren al peor Fresnel, como el peor valor de la primera zona de Fresnel que se obtiene en el trayecto del radioenlace.

Típicamente cuando se obtiene un despeje del 55% ó 60% con el software, este es un buen indicador. En la práctica es suficiente despejar el 60% ó 70% de la primera zona de Fresnel para un enlace aceptable. Las pérdidas respecto a un despeje del 100% son despreciables.

### **Sensibilidad**

La sensibilidad del receptor determina su capacidad para responder a señales débiles, donde la mínima potencia de la señal deseada que el receptor puede detectar se

define como la sensibilidad. La mínima potencia de recepción está relacionada con el ruido en el canal.

### **Despeje**

Es donde la superficie terrestre obstruye por primera vez la primera zona de Fresnel.

### **Ángulo de elevación**

Indica el ángulo con el cual debe estar inclinada la antena con respecto al plano horizontal, en las condiciones en las que se hace el radioenlace. Si el ángulo es negativo, la antena va inclinada hacia abajo con el respectivo ángulo.

### **Nivel de recepción relativo**

Es lo mismo que el margen de desvanecimiento sobre el nivel mínimo de la sensibilidad del receptor o margen del enlace, que no es más que la diferencia entre el nivel de la señal recibida y el nivel mínimo de señal (sensibilidad). Este margen de recepción generalmente debe estar por encima de 10dB para un enlace viable, pero en los enlaces en condiciones críticas es mejor que esté por encima de los 20dB.

### **Clasificación**

**Excelente:** El nivel del Margen de Desvanecimiento es mayor que 22dB. El enlace debería funcionar con alta fiabilidad, ideal para aplicaciones que necesitan una alta calidad de enlace, como streaming de video, juegos online sin interrupciones, etc.

**Bueno:** El nivel de Margen de Desvanecimiento es de 14~22dB. El enlace debería posibilitarle una buena navegación, satisfaciendo la mayoría de necesidades online.

**Normal:** El nivel del Margen de Desvanecimiento es 14dB o menor. El enlace no será estable continuamente, pero debería funcionar adecuadamente.

### **Diferencia entre dB, dBm, dBi**

**dB:** el decibelio es una unidad adimensional, que se utiliza para la cuantificación de la relación entre dos valores, tales como la relación señal-ruido.

**dBi:** o decibelio isótropico, es una unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica. El valor de dBi corresponde a la ganancia de una antena ideal (teórica) que irradia la potencia recibida de un dispositivo al que está conectado, y al cual también transmite las señales recibidas desde el espacio, sin considerar ni pérdidas ni ganancias externas o adicionales de potencias.



**dBm:** También puede ser expresado **dBmW** es una unidad de medida de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un miliwatt (mW). Es una unidad absoluta, que se utiliza en la medición de potencia absoluta. En audio y telefonía, el dBm típicamente está referenciado con una impedancia de 600 ohmios, mientras que en radio frecuencia, el dBm normalmente se asocia a una impedancia de 50 ohmios.

**dBW:** hace referencia a un watt (1000 mW), es distinto de dBm.

### 2.2.2 Arquitectura de la red WRAN

Como bien se explicó en el Capítulo 1, WRAN es uno de los estándares más recientes que ha propuesto el IEEE y es parte de la familia de estándares 802. Está diseñado para soportar movilidad y portabilidad bajo una topología punto-multipunto, al ser tan reciente, en la actualidad no sigue una arquitectura compleja de implementación, únicamente se plantea la existencia de dos entidades: el equipo de usuario (Customer Premise Equipment - CPE) y las estaciones base (Base Station – BS).

En el diseño elaborado solo se tienen en cuenta los dispositivos fundamentales, pero además de estaciones base y equipos de clientes es necesario recordar la participación de otros componentes importantes de la red tales como la base de datos de la televisión. El esquema siguiente muestra la relación entre todos los componentes que integran la red:



Figura 2.2. Componentes de la red WRAN y su interacción.

#### Datos usados para la simulación de la red con el software Radio Mobile.

Para la simulación de la red se decidió usar los datos que proponen el modelo para redes WRAN en Estados Unidos ya que de ellos heredamos el sistema de televisión NTSC con el ancho de banda del canal de 6 MHz. Estos datos se pueden encontrar en los informes bibliográficos [8][10].

Tabla 2.1. Modelo típico de la red WRAN (USA)

Ancho de banda del canal	6 MHz
Eficiencia	3 bit/(s*Hz)
Capacidad del canal	18 Mbps
Capacidad por usuario (bajada de la BS al CPE)	1,5 Mbit/s
Capacidad por usuario (subida, del CPE a la BS)	384 Kbit/s
PIRE límite de la Estación Base WRAN	4 Watts
Radio de cobertura	30 km
Ganancia de la antena	19 dBi
Umbral del receptor	-107 dBm

Tabla 2.2. Características de implementación del estándar (USA)

Áreageográfica	Estados Unidos
Dominioregulatorio	EUA
Autoridadqueaprueba	FCC
Tipo de terminal	BS y CPE
Máximo EIRP y altura de antena(BS)	4 W / 30 m AGL, 76 m GHAAT, en los fijos. Personal 100 mW
Máximo EIRP y altura de antena(CPE)	4 W / 10 m AGL Personal 100 mW
Polarización	Cualquiera

AGL: Por encima del nivel del suelo.

GHAAT: Altura del suelo por encima del promedio del terreno

En la simulación, además se introdujeron los siguientes datos:

- Antenas omnidireccionales con polarización vertical para ambas entidades (BS y CPE).
- Clima ecuatorial.
- Topología de red: master-esclavo.

Es necesario señalar que a pesar de que el rango de frecuencia de operación de WRAN es bastante amplio (54-862MHz) no se trabajó en los radioenlaces con todas estas frecuencias, sino que para tener mejores resultados se utilizaron frecuencias más bajas del rango, ya que cuanto menor es la frecuencia, menor es la atenuación de la señal, por tanto, más inmune es a obstáculos y más distancia se puede cubrir (ampliando el rango de cobertura), pues las zonas escogidas para el diseño se encuentran en la región montañosa de la provincia.

### 2.2.3 Distribución de la red

Requerimientos para escoger las localidades

1. Se trató de que la red abarcara gran parte de la provincia, llegando a zonas rurales que se clasifican como poblados o caseríos.
2. No se escogió ninguna localidad que comprometiera la seguridad de la red debido a la cercanía con la base naval que radica ilegalmente en el municipio Caimanera.
3. Se escogieron las localidades dentro del municipio donde no exista actualmente una tecnología de acceso a banda ancha y que presentan mayor importancia económica.
4. Las localidades están electrificadas.

Los sitios escogidos para las entidades que conforman la red se relacionan en la tabla siguiente:

Tabla 2.3. Ubicación de las Estaciones Base 802.22 y CPE 802.22

Municipio	Tipo de entidad	Asentamiento poblacional	Ubicación en coordenadas
Baracoa(Bcoa)	BS	Boma	20°18'07"N,74°24'20"W
	CPE	Los Mangos	20°16'58"N,74°25'44"W
	CPE	Cagüinas	20°18'13"N,74°27'26"W
Maisí	BS	Vertientes	20°12'02"N,74°16'55"W
	CPE	Pueblo Viejo	20°13'53"N,74°13'21"W
	CPE	Sabana	20°16'56"N,75°20'00"W
	CPE	Los Gallegos	20°09'00"N,74°25'00"W
Imías	BS	San Ignacio	20°06'13"N,74°37'20"W

	CPE	Yacabo Abajo	20°03'41"N,74°41'26"W
San Antonio del Sur(SAS)	BS	Los Asientos	20°10'23"N,74°47'19"W
	CPE	El Mije	20°12'23"N,74°47'05"W
	CPE	Mameyal	20°13'40"N,74°50'37"W
	CPE	Lajas del Caujerí	20°08'57"N,74°47'56"W
	CPE	Mariana	20°07'37"N,74°48'04"W
Yateras(Yat)	BS	Las Carolinas	20°22'00,75°01'00"W
	CPE	La Cuabita	20°22'58"N,74°59'28"W
	CPE	Baldor	20°21'00"N,75°02'00"W
Manuel Tames(MT)	BS	San Rafael	20°08'49"N,75°04'09"W
	CPE	Alto del Mango	20°19'00N,75°08'00W
	CPE	Casisey Arriba	20°09'26"N,75°08'15"W
El Salvador(ES)	BS	Limonar	20°21'00"N,75°19'00"W
	CPE	Gran Tierra	20°11'30"N,74°13'32"W
	CPE	Santo Domingo	20°24'00"N,75°22'00"W
	CPE	Quemado de Cuneira	20°14'00"N,75°23'00"W

Para realizar los enlaces, se tuvo en cuenta que este estándar fue concebido fundamentalmente como alternativa debido a sus prestaciones como red de acceso de banda ancha y a las grandes áreas de cobertura que brinda, ideal en casos de tener una población muy dispersa o de difícil acceso, como es el caso de la zonas escogidas.

Para el análisis de la red troncal, se establece la comunicación entre las estaciones base, ubicadas en lugares estratégicos para lograr una comunicación viable, y de las estaciones base, a su vez, con los equipos terminales (CPE) asociadas a cada una. Las zonas resaltadas en rojo de las Figura2.3 y Figura2.4 son zonas bien afectadas en cuanto al uso de los recursos de redes debido a su ubicación geográfica.

Toda la red está compuesta estrictamente por tecnología WRAN, tanto las estaciones base como los equipos terminales, comprobando que el servicio llegue a estos lugares y a los sitios más perjudicados por la ausencia de infraestructura de redes de telecomunicaciones.

#### 2.2.4 Red troncal diseñada.

Las figuras siguientes, Figura 2.3 y Figura 2.4, muestran la estructura de la red WRAN propuesta para la provincia de Guantánamo (Cuba) que abarca los municipios Baracoa, Maisí, Imías, San Antonio del Sur, Manuel Tames, Yateras, El Salvador, en ese orden, según se colocaron las estaciones base, de derecha a izquierda. La red sigue una estructura sencilla, donde a cada estación base se le atribuye un número determinado de CPE fijos en su célula, correspondiente a una región en el municipio correspondiente.

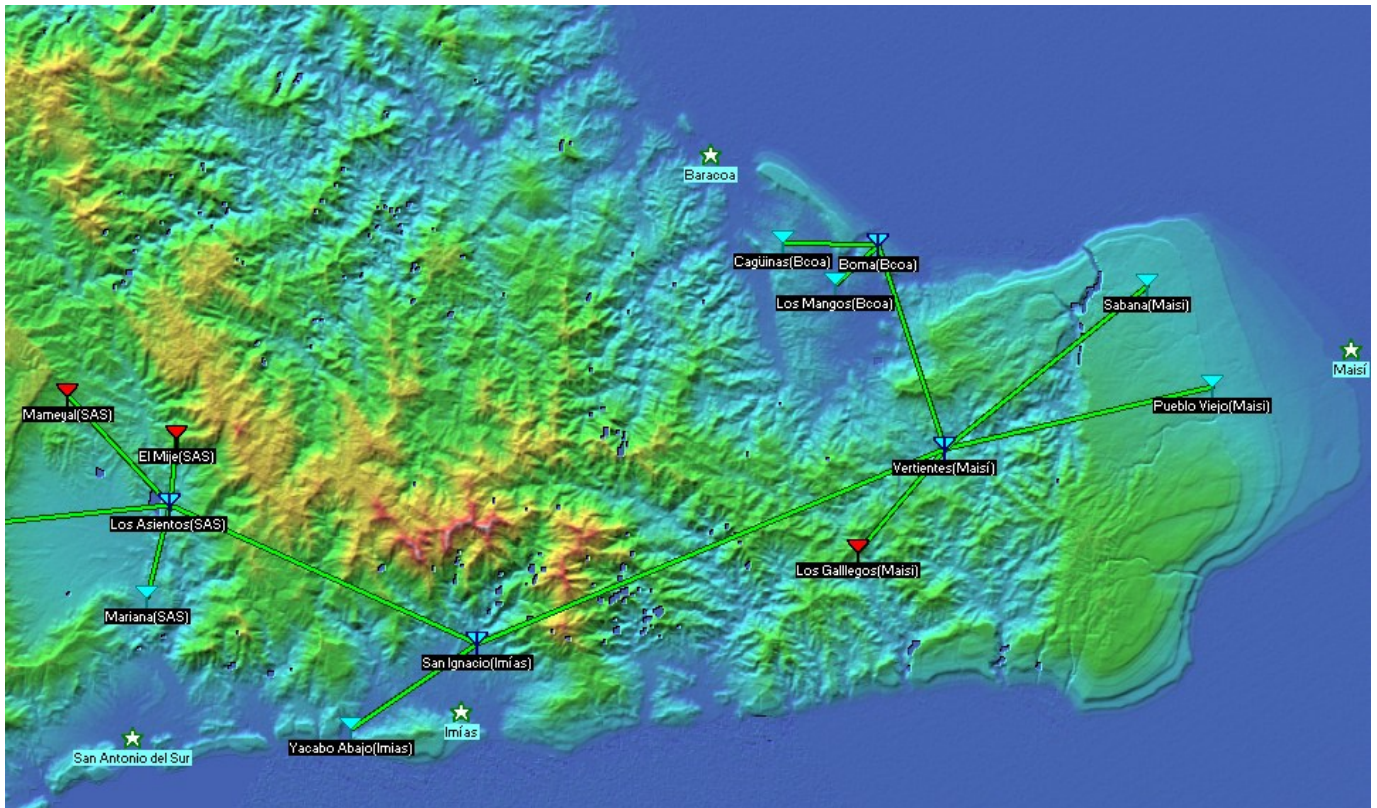


Figura 2.3. Porción de la red troncal que abarca los municipios Baracoa, Maisí, Imías San Antonio del Sur.

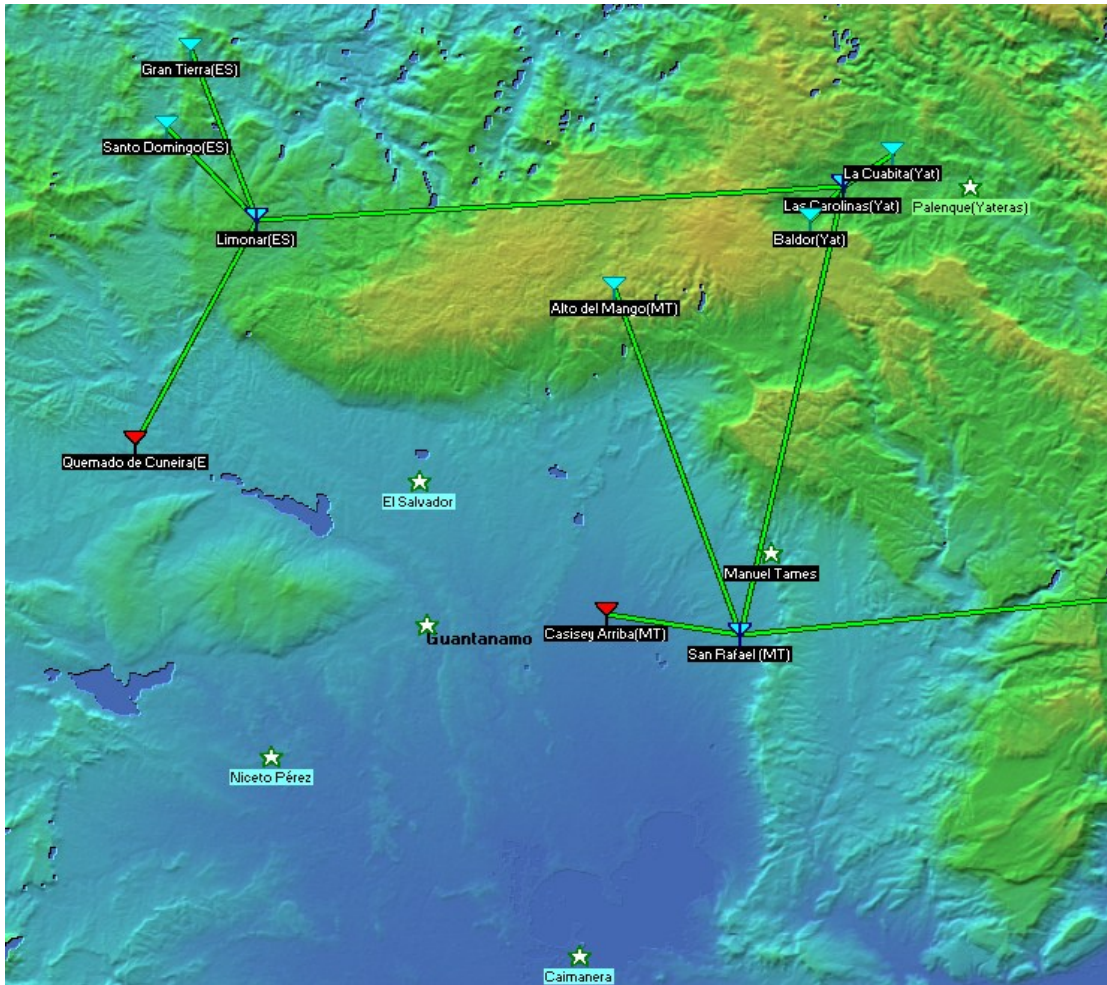






Figura 2.4. Porción de la red troncal que abarca los municipios Manuel Tames, Yateras, El Salvador.

**Leyenda**

-  Equipo terminal o CPE (fijo).
-  Estación Base.
-  Cabecera municipal.
-  Localidad con mayores problemas de comunicación.

## 2.2.5 Resultados de la simulación

### Enlaces Troncales

#### 1- Boma (Baracoa) – Vertientes (Maisí)

La distancia es 17,1 km (10,6 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 131,14°, azimut norte magnético = 139,96°, ángulo de elevación de 1,0488°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción de 1,0F1 a 6,5km. La pérdida de propagación total es 110,8 dB. La ganancia del sistema es de 180,0 dB. Peor recepción: 69,3 dB sobre la señal requerida; en la Figura 2.5, se observan los datos de este radioenlace.

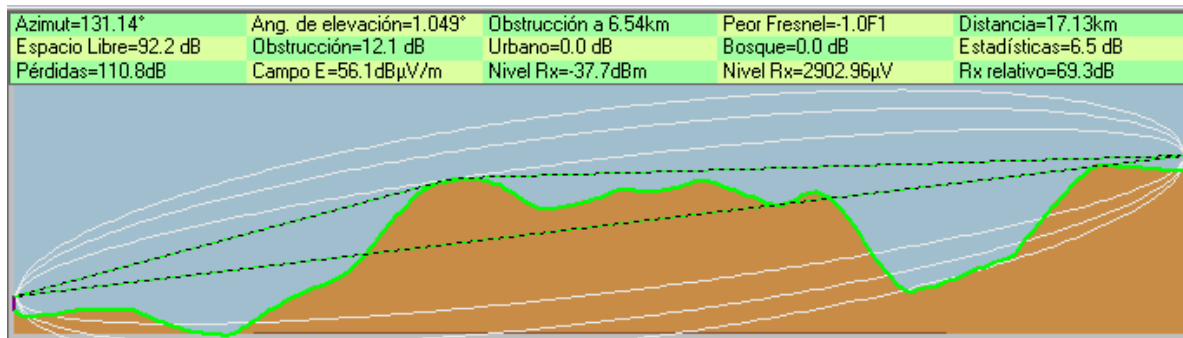


Figura 2.5. Enlace Boma-Vertientes

#### 2- Vertientes (Maisí) - San Ignacio (Imías)

Para todas las estaciones base de la red se usaron antenas de 30m, pero como no se lograba un enlace por encima de los 22dB deseados, en esta porción de la red, se decidió aumentar la altura de la antena ubicada en Vertientes en 15 metros y así los cambios en la red son mínimos para lograr un mejor resultado. Para que se pueda apreciar la diferencia se muestran continuación los resultados utilizando 30m o 45m de altura en la BS Vertientes.

La distancia entre estaciones base es de 37,1 km (23,1 millas).

Con 30m

Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 253,18°, azimut norte magnético = 262,05°, ángulo de elevación de -0,5497°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción de 4,8F1 a 31,9km. La pérdida de propagación total es 158,2 dB y la ganancia del sistema es de 180,0 dB. Peor recepción: 21,8 dB sobre la señal requerida.

Con 45m, Figura 2.6.

Orientación de la antena: azimut norte verdadero =  $253,18^\circ$ , azimut norte magnético =  $262,05^\circ$ , el ángulo de elevación es de  $-0,5266^\circ$ . El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 4,7F1 a 31,9km. La pérdida de propagación total es 154,9 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. La peor recepción es de 25,2 dB sobre la señal requerida.

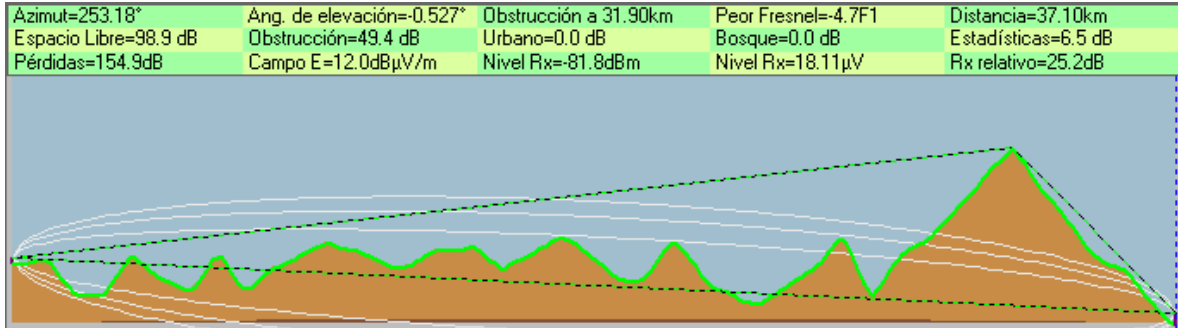


Figura2.6.Enlace Vertientes-San Ignacio.

### 3- San Ignacio (Imías) y Los Asientos (San Antonio del Sur)

La distancia es 19,0 km (11,8 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero =  $294,00^\circ$ , azimut norte magnético =  $302,66^\circ$ , ángulo de elevación =  $0,1036^\circ$ . El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 3,5F1 a 14,6km. La pérdida de propagación total es 139,8 dB y la ganancia del sistema es 180,0 dB. La peor recepción es 40,2 dB sobre la señal requerida; estos datos se observan en laFigura2.7.

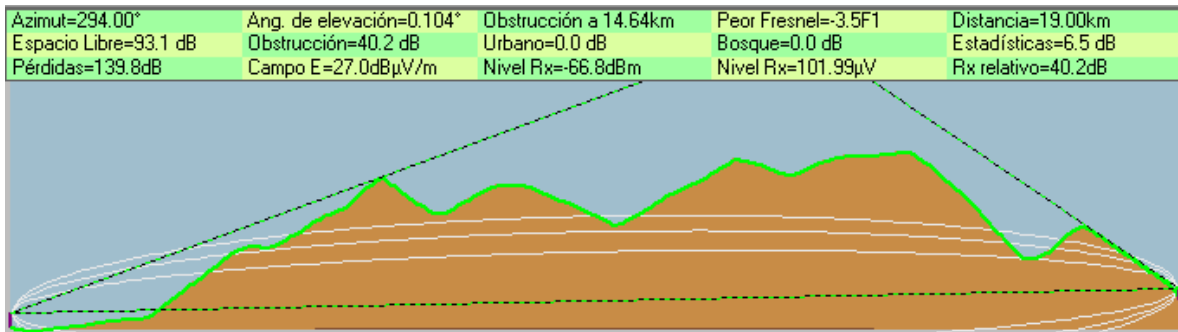


Figura2.7.Enlace San Ignacio-Los Asientos



#### 4- Los Asientos (San Antonio del Sur)- San Rafael (Manuel Tames)

La distancia es 29,4 km (18,3 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 264,39°, azimut norte magnético = 272,96°, ángulo de elevación = -0,3128°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 2,2F1 a 10,9km. La pérdida de propagación total es 131,3 dB. La ganancia del sistema es de 180,0 dB. La peor recepción es 48,8 dB sobre la señal requerida; los datos de este enlace se muestran en la Figura 2.8.

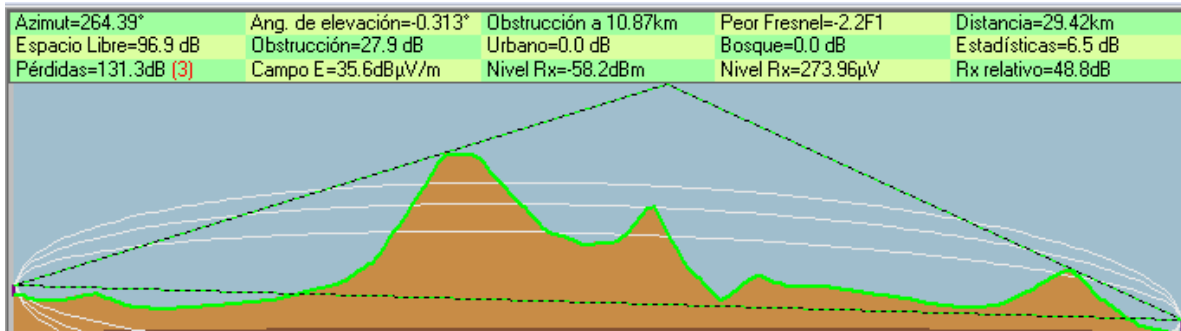


Figura 2.8. Enlace Los asientos-San Rafael

#### 5- San Rafael (Manuel Tames)- Las Carolinas (Yateras)

La distancia es 25 km (15,5 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 12,62°, azimut norte magnético = 21,04°, ángulo de elevación = 0,5549°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 2,5F1 a 22,0km. La pérdida de propagación total es 132,9. La ganancia del sistema es de 180,0 dB. Peor recepción: 47,1 dB sobre la señal requerida a encontrar; los datos del enlace de radio se muestran en la Figura 2.9.

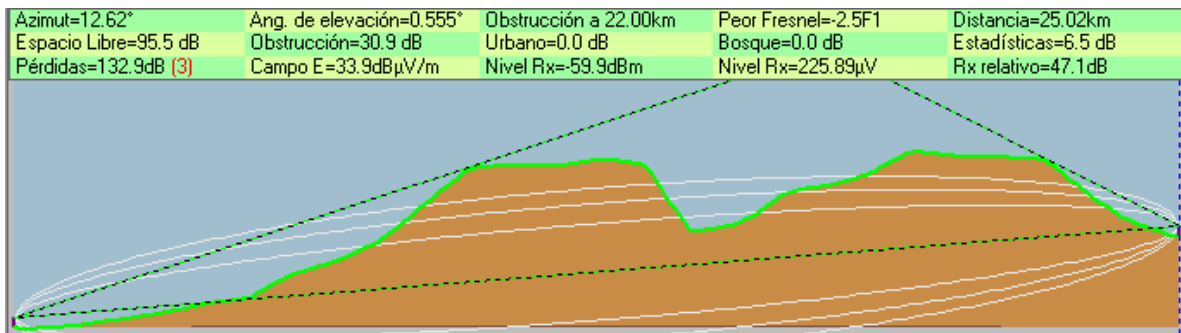
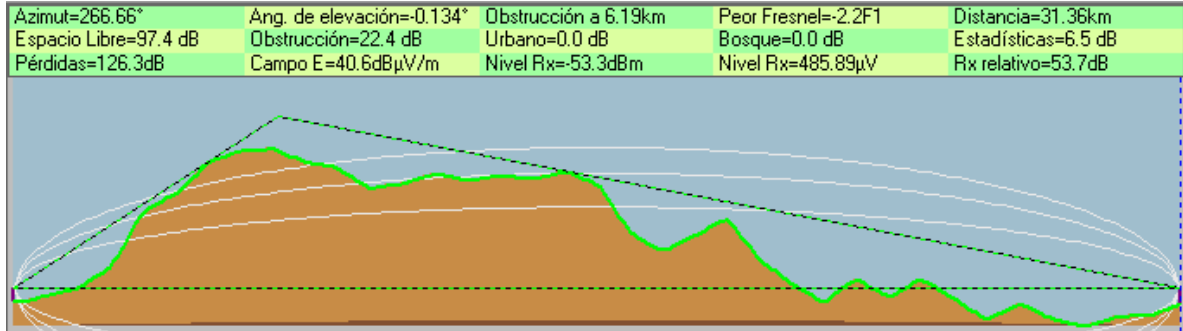


Figura 2.9. Enlace San Rafael-Las Carolinas

### 6- Las Carolinas (Yateras)-Limonar (El Salvador)

La distancia es 31,4 km (19,5 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 266,66°, azimut norte magnético = 275,14°, ángulo de elevación = -0,1338°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 2,2F1 a 6,2km. La pérdida de propagación total es 126,3 dB con ganancia del sistema de 180,0 dB. La peor recepción es 53,7 dB sobre la señal requerida. Los datos de este enlace se muestran en la Figura2.10.

Figura2.10. Enlace Las Carolinas-Limonar



#### Enlaces BS-CPE

##### Red Baracoa

Para la red de este municipio se escogió el territorio rural del consejo popular de estructura mixta El Jamal cuya base económica se sustenta en la producción de cacao y coco, pues aquí en esta zona se encuentra el principal macizo cacaotalero del país. Para colocar la estación base se eligió uno de los principales asentamientos poblacionales: Boma. Las estaciones terminales se ubicaron en Los Mangos, caserío perteneciente al plan Turquino y en el caserío Cagüinas donde radica la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Ernesto Che Guevara.

La distancia entre **Boma y Los Mangos** es 3,2 km (2,0 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 228,79°, azimut norte magnético = 237,61°, con ángulo de elevación de -1,1°. La propagación es por difracción, con única obstrucción, 0,1F1 a 1,6km. La pérdida de propagación total es 92,8 dB. Ganancia del sistema: 180,0 dB. Peor recepción es 87,2 dB sobre la señal requerida (Ver Anexolll).

La distancia entre **Boma y Cagüinas** es 5.4 km (3.4 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 271.98°, azimut norte magnético = 280.80°, ángulo de elevación = -0.0753°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0.5F1 a 2.0km. La pérdida de propagación total es 97.1 dB. Ganancia del sistema de 180.0 dB. La peor

recepción es 82.9 dB sobre la señal requerida. Los datos de este enlace se muestran en la Figura 2.11.

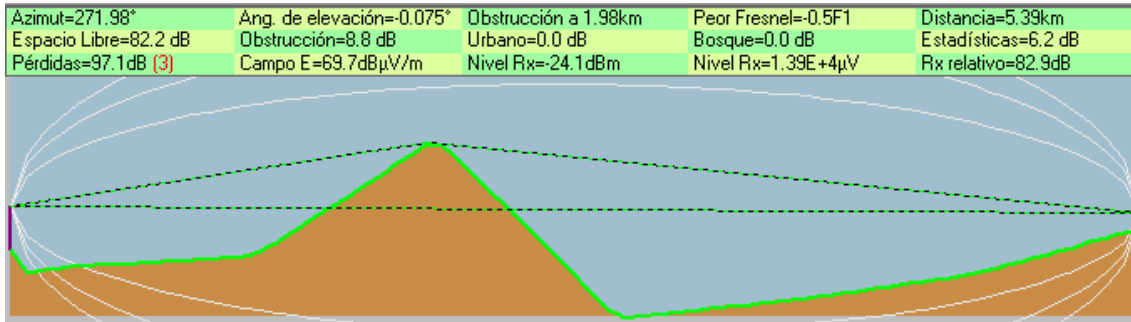


Figura 2.11. Enlace Boma y Cagüinas.

### Red Maisí

Maisí, el municipio más oriental de Cuba es el municipio con más variedad de relieve y clima. Para la ubicación de las entidades de la red en este municipio se eligió como sede de la BS, el centro del consejo popular Vertientes que se comunica con los CPE localizados en los poblados: Pueblo Viejo, antiguamente asentamiento aborigen; Sabana y Los Gallegos. En la región el principal cultivo es el café; pero también se obtiene buen rendimiento en la siembra de hortalizas y viandas.

La distancia entre **Vertientes y Pueblo Viejo** es 6,9 km (4,3 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 60,01°, azimut norte magnético = 68,89°, ángulo de elevación = -1,7492°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 0,3F1 a 5,0km. La pérdida de propagación total es 111,4 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. Peor recepción es 68,6 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoIV).

La distancia entre **Vertientes y Sabana** es 9,3 km (5,8 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 13,80°, azimut norte magnético = 22,68°, ángulo de elevación = -1,3286°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,1F1 a 7,4km. La pérdida de propagación total es 111,6 dB. La ganancia del sistema es de 180,0 dB. La peor recepción es 68,4 dB sobre la señal requerida. Ver Figura 2.12.

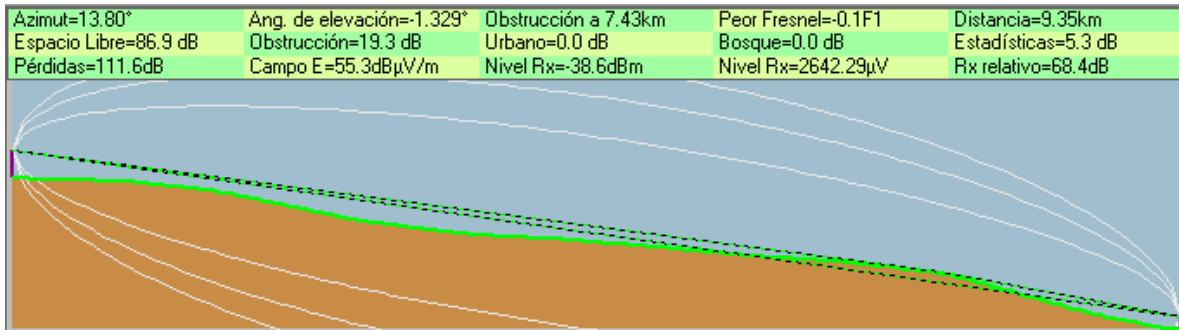


Figura 2.12. Enlace Vertientes y Sabana.

La distancia entre **Vertientes y Los Gallegos** es 15,1 km (9,4 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 248,23°, azimut norte magnético = 257,11°, ángulo de elevación = 0,2539°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,2F1 a 12,4km. La pérdida de propagación total es 103,2 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB Peor recepción es 76,8 dB sobre la señal requerida a encontrar (Ver AnexoV).

### Red Imías

Para la estación base se escoge la comunidad de San Ignacio ya que en esta locación es donde se logró mejor comunicación con la estación base de Maisí, y en este caso, como se expuso antes, fue necesario aumentar el tamaño de la antena BS en 15m pues no se lograba el nivel de recepción óptimo requerido en el enlace troncal. En el poblado Yacabo Abajo fue donde se colocó la estación terminal, ya que está entre los mejores productores de plátano fruta del territorio y además es uno de los mayores productores de café ecológico del municipio Imías.

Con 30m en la estación base se logra un radioenlace con línea de vista entre BS y CPE, con mínimo despeje 0,4F1 a 5,6km y la peor recepción es 85,0 dB sobre la señal requerida, este resultado no se diferencia mucho al resultado obtenido con una antena de 45m para el caso de este enlace BS-CPE, pero sí fue necesario este cambio para en el enlace troncal.

Con 45m, Figura 2.13:

La distancia entre **San Ignacio y Yacabo Abajo** es 8,0 km (5,0 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 236,24°, azimut norte magnético = 244,91°, ángulo de elevación = -0,5780°. El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,4F1 a 5,6km. La pérdida de propagación total es 93,5 dB y la ganancia del sistema es de 180dB. La peor recepción es 86,5 dB sobre la señal requerida.

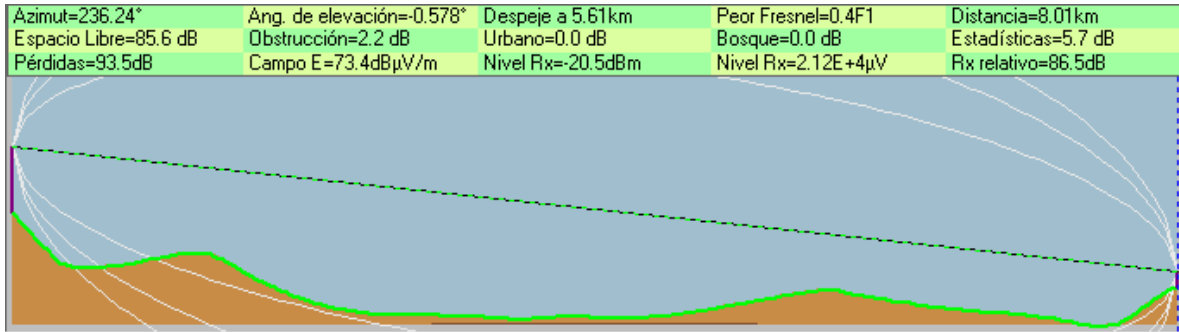


Figura 2.13. Enlace San Ignacio y Yacabo Abajo.

### Red San Antonio del Sur

Para esta red se consideró colocar CPE fijos en los caseríos El Mije y Mameyal ya que presentan serios problemas de comunicación debido a su intrincada locación dentro del sistema montañoso Sagua-Baracoa y la Sierra del Purial, también se ubicó un CPE en el caserío Mariana, una zona de tierra negra, muy fértil y productiva. La ubicación de la estación base se escogió en términos de la mejor propagación, su centro está en la localidad Los Asientos.

La distancia entre **Los Asientos y Mariana** es 5,3 km (3,3 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 194,29°, azimut norte magnético = 202,86°, ángulo de elevación = -0,7144°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 0,3F1 a 0,7km. La pérdida de propagación total es 116,9 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. Peor recepción es de 63,1 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoV).

La distancia entre **Los Asientos y El Mije** es 3,7 km (2,3 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 6,25°, azimut norte magnético = 14,83°, ángulo de elevación = 4,6604°. El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,6F1 a 0,1km. La pérdida de propagación total es 85,3 dB. Ganancia del sistema 180,0 dB. Peor recepción: 94,7 dB sobre la señal requerida. Los datos de este enlace de radio se pueden observar en la Figura 2.14.

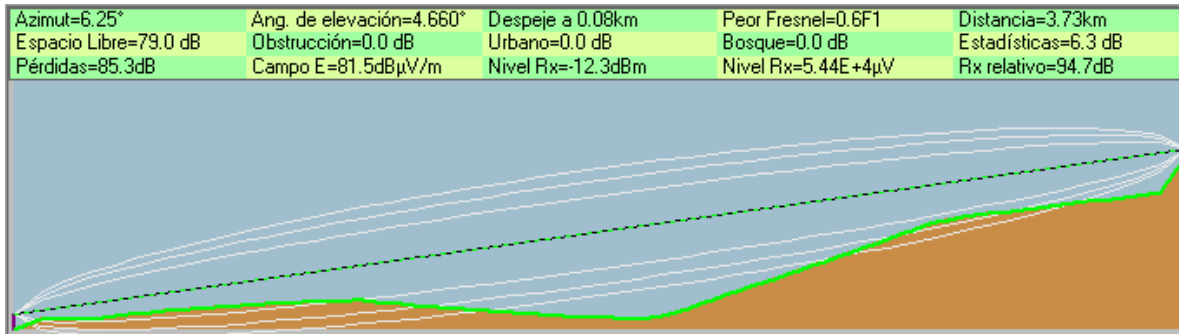


Figura 2.14. Enlace Los Asientos-El Mije

La distancia entre **Los Asientos y Mameyal** es 8,4 km (5,2 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 316,68°, azimut norte magnético = 325,26°, ángulo de elevación = 1,2285°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,3F1 a 3,0km. La pérdida de propagación total es 104,4 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. Peor recepción es 75,6 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoVI).

### Red Manuel Tames

Para la red Manuel Tames se ubicó la BS en la localidad San Rafael, que ofrece óptimas condiciones para lograr estos buenos resultados en los radioenlaces, con los CPE localizados en Casisey Arriba, que aunque se encuentra relativamente cerca de la cabecera municipal, presenta graves problemas en cuanto a estructura de comunicaciones y Alto del Mangodonde abundan los bosques de árboles frutales y maderables.

La distancia entre **San Rafael y Casisey Arriba** es 7,2 km (4,5 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 279,12°, acimut norte magnético = 287,53°, ángulo de elevación = -0,6070°. El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,3F1 a 5,9km. La pérdida de propagación total es 101,5 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. Peor recepción es 78,6 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoVII).

La distancia entre **San Rafael y Alto del Mango** es 20,0 km (12,4 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 340,48°, azimut norte magnético = 348,89°, ángulo de elevación = 1,7181°. El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,4F1 a 18,0km. La pérdida de propagación total es 100,1 dB y la ganancia del sistema es de 180,0 dB. La peor recepción es 80,0 dB sobre la señal requerida; como se observa en la Figura 2.15.

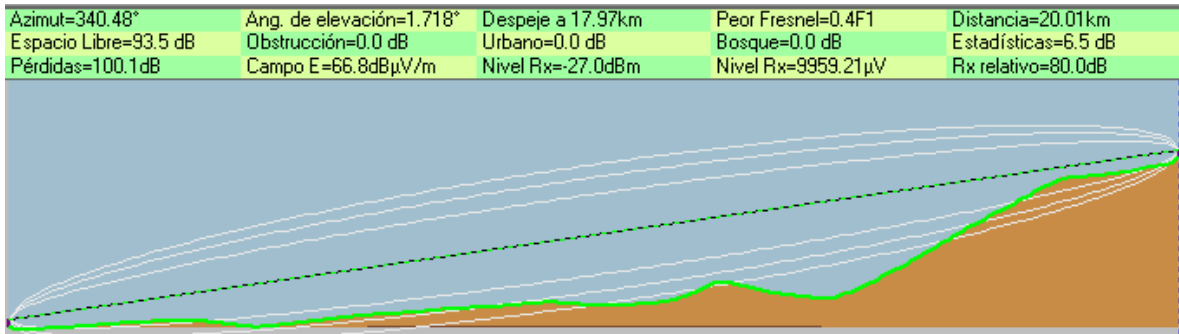


Figura2.15.Enlace San Rafael y Alto del Mango.

### Red Yateras

En el consejo popular de difícil acceso Las Carolinas situado cercano al macizo montañoso Sagua-Baracoa, se ubicaron todas las entidades que conforman la red en el municipio Yateras, en el caserío del mismo nombre se colocó la BS, para ofrecer mejores condiciones de propagación, los CPE están situados en el caserío Baldor y el poblado La Cuabita. La actividad económica fundamental en esta zona es el cultivo del café.

La distancia entre **Las Carolinas y La Cuabita** es 3,2 km (2,0 millas). Orientación de la antena: acimut norte verdadero = 56,08°, acimut norte magnético = 64,56°, ángulo de elevación = -0,6659°. El modo de propagación es difracción, horizonte doble, 0,5F1 a 2,0km. La pérdida de propagación total es 101,4 dB. La ganancia del sistema es de 180,0 dB. La peor recepción: 78,6 dB sobre la señal requerida, como se observa en la Figura2.16.

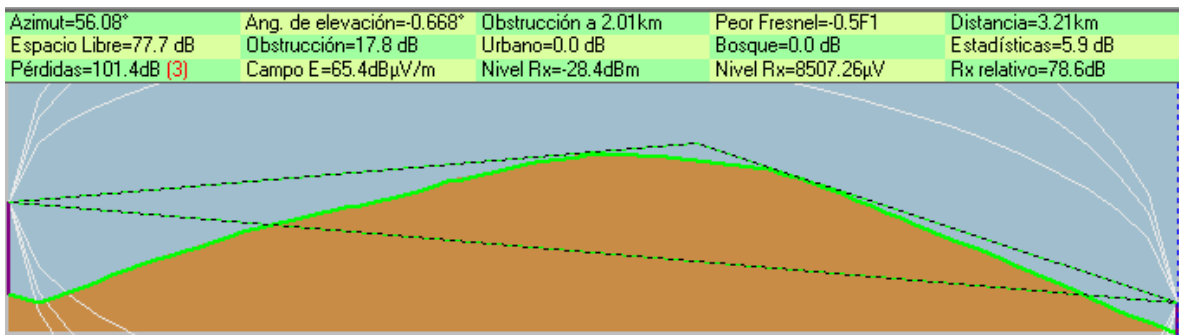


Figura2.16.Enlace Las Carolinas-La Cuabita.

La distancia entre **Las Carolinas y Baldor** es 2,5 km (1,6 millas). Orientación de la antena: acimut norte verdadero = 223,15°, acimut norte magnético = 231,63°, el ángulo de elevación es de 2,4050°. El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,3F1 a 2,1km. La pérdida de propagación total es 86,0 dB. Ganancia del sistema: 180,0 dB. Peor recepción es 94,0 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoVIII).

### Red El Salvador

En este municipio, donde existen en la montañas, ruinas de los cafetales franceses declarados patrimonio de la humanidad, se centró la estación base en el poblado Limonar, colocando las estaciones terminales en el poblado Gran Tierra y el caserío Santo Domingo, ubicados en la parte montañosa del municipio, además del asentamiento de Quemados de Cuneira, que necesita de una tecnología que resuelva los graves problemas que presenta esta comunidad en cuanto a las comunicaciones.

La distancia entre **Limonar y Gran Tierra** es 9,9 km (6,1 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 339,45°, azimut norte magnético = 347,75°, ángulo de elevación = -0,9822°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,2F1 a 8,9km. La pérdida de propagación total es 110,9 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. La peor recepción es 69,1 dB sobre la señal requerida a encontrar; los datos anteriores se observan la Figura2.17.

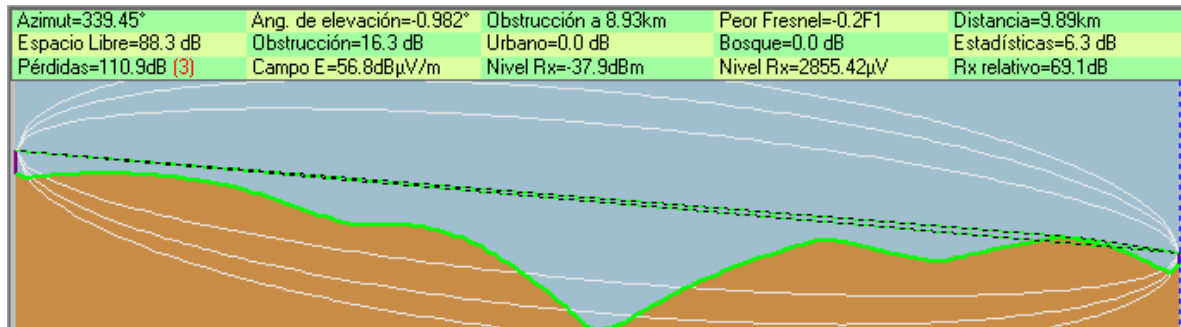


Figura2.17. Enlace Limonar y Gran Tierra.

La distancia entre **Limonar y Quemado de Cuneira** es 13,7 km (8,5 millas). Orientación de la antena: azimut norte verdadero = 208,02°, azimut norte magnético = 216,32°, ángulo de elevación = -1,1117°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,3F1 a 4,2km. La pérdida de propagación total es 110,3 dB. Ganancia del sistema de 180,0 dB. Peor recepción: 69,7 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoIX).

La distancia entre **Limonar y Santo Domingo** es 6,9 km (4,3 miles). Orientación de la antena azimut norte verdadero = 316,62°, azimut norte magnético = 324,91°, ángulo de elevación = -1,5945°. El modo de propagación es difracción, única obstrucción, 0,3F1 a 2,5km. La pérdida de propagación total es 104,7 dB y la ganancia del sistema es de 180,0 dB. La peor recepción es de 75,3 dB sobre la señal requerida (Ver AnexoX).



### 2.2.6 Análisis de los resultados

Antes de presentar los resultados se ha de hablar del fenómeno de la difracción, por el cual se comunican muchos de los enlaces. La difracción es el proceso por el cual una onda puede bordear un obstáculo en su propagación, alejándose del comportamiento de rayos rectilíneos, en el caso de los radioenlaces presentados, la difracción es una alternativa para la propagación de las ondas de radio sin que estas sean absorbidas por los objetos que están en el trayecto del enlace, generalmente montañas o árboles.

También se ha de resaltar que en los resultados de la simulación influyen las pérdidas por obstrucción y las pérdidas en el espacio libre, que se presentan como una sumatoria en el dato de la pérdida total de propagación.

De los resultados obtenidos se pueden sacar las siguientes afirmaciones:

1. Se comprueba que se pueden lograr enlaces viables con niveles de recepción por encima de los 22dB deseados para la transferencia de datos en la red WRAN sin que sea necesario la línea de vista directa entre transmisor y receptor, tal es el caso de los enlaces troncales y en la mayoría de los enlaces BS-CPE. Solo se logra línea de vista directa logrando despejar la primera zona de Fresnel en los radioenlaces Las Carolinas-Baldor, San Rafael-Casisey Arriba, San Rafael-Alto del Mango, Los Asientos- El Mije, San Ignacio-Yacabo Abajo.
2. Se logró establecer un nivel de recepción aceptable entre estaciones base más allá de los 30 km en el enlace troncal Vertientes-San Ignacio, demostrando que es posible extender la célula WRAN.
3. En los enlaces BS-CPE se logran los mejores resultados en cuanto a:
  - Niveles de recepción, que rondan entre los 63dB (Los Asientos-Mariana) y 94dB (Las Carolinas-Baldor).
  - Despeje de la primera zona de Fresnel, donde al menos se logra un resultado de despeje del 60% en estos enlaces, excepto en los enlaces Boma-Cagüinas y en Las Carolinas-La Cuabita, donde solo se despeja un 50%, que no quiere decir que sea un mal resultado.
4. No fue necesario en la red el uso de estaciones repetidoras, y el único cambio que se hizo según los parámetros por los cuales se rige el estándar WRAN fue el aumento de la altura de la antena en la estación base de San Ignacio.

### **2.3 Instalación**

En el diseño que se propone en este capítulo, como se escogieron las características de implementación de Estados Unidos, para la instalación de las entidades principales que conforman el sistema WRAN se siguen las recomendaciones siguientes dadas en el informe del IEEE[10]:

#### **Sistema**

Los equipos de transmisión deben ser instalados por un instalador profesional, de acuerdo con las regulaciones locales. Un instalador profesional es un individuo o conjunto de individuos que tienen experiencia en la instalación de equipos de radio.

El instalador usará solo equipos con tecnología 802.22, que se compone de las estaciones base y los equipos locales de clientes, estos equipos no deben presentar daños físicos o pérdidas en los conectores. Una cinta antiadherente debe ser aplicada a cada conector expuesto a las condiciones del medio ambiente; los equipos de transmisión deben de ser colocados alrededor de los 8m, lejos del cable de cualquier equipo electrónico. Debe chequearse que exista buena recepción de la televisión cerca de la instalación, para confirmar que el sistema WRAN no causa interferencia en el servicio. Es necesario que la instalación de las antenas se haga en lugares en los que no la obstruyan objetos metálicos o reflectores.

#### **Estaciones base**

Se instalarán en posiciones fijas, en el exterior, lo más despejado posible. La altura de la antena debe de satisfacer las regulaciones locales, se configurará con direcciones de red que certifica la base de datos. La antena trasmisora/receptora en la BS, que pueden ser dos: una trasmisora y otra receptora, se orientará en asociación con la del CPE; esta orientación debe aumentar la efectividad del enlace RF con los CPE e incrementar la región hacia los receptores de TV cercanos. La antena detectora debe montarse encima de la antena trasmisora si no están integradas. La antena detectora debe obtener ganancia constante en todas las direcciones azimutales. La unidad GPS se localizará en el exterior y puede o no estar integrada en la antena trasmisora/receptora, si está integrada, el mismo cable se puede usar para alimentar con DC a la unidad y se lleva la salida del GPS al receptor de la BS; en caso contrario, si no están integrados, un cable GPS con interface especial se necesitará en la estación base.

## CPE

Los terminales personales o portables no necesitarán instalación profesional, estos equipos, estarán ubicados a 1.5m sobre tierra cuando operan en el exterior.

En el caso de las antenas fijas trasmisoras/receptoras, estarán despejadas, permanentemente en el exterior, en un soporte fijo y propiamente alineadas, de acuerdo con el tipo de CPE, se separan de las antenas. La antena trasmisora/receptora debe de estar orientada de forma que la antena receptora de la televisión apunta hacia esta, de forma que no esté obstruido el camino entre el CPE y la BS. No debe haber roturas entre la antena trasmisora/receptora y el receptor CPE. En caso de que el CPE esté formado de antena trasmisora/receptora y unidad de antena separadas, deberán conectarse con una interface coaxial de 50 ohmios que transportará las señales de radio al igual que las señales auxiliares que portarán la información de la ganancia de la antena para cada canal que se pueda usar.

La antena CPE se instala con una altura nominal de 10m AGL en coordinación con la antena detectora, la antena trasmisora/receptora se orienta hacia la BS del proveedor de servicios seleccionado, la antena trasmisora/receptora adicionará ajustes para minimizar la ganancia en direcciones hacia fuentes interferentes, mientras mantiene la ganancia hacia la BS a 2db del máximo. La antena CPE trasmisora/receptora debe ser montada a la misma altura que la antena receptora de TV cercana, para maximizar la discriminación del cruzamiento polar.

La antena detectora debe ser instalada en el exterior con una altura nominal de 10m AGL ubicada en coordinación y por encima de la antena trasmisora/receptora CPE si no está integradas; será omnidireccional, habilitada para recibir en todas las orientaciones de habilitación y de forma que no afecte el patrón de la antena trasmisora/receptora del sistema, las obstrucciones que existan no deben tener impacto negativo en la antena. El dispositivo GPS es externo, la unidad puede estar integrada o no, al igual que en la BS.

## 2.4 Impacto de la red

### Impacto social:

El diseño de la red WRAN para las localidades apartadas de la provincia de Guantánamo deviene en solución a los problemas de comunicación existentes en la provincia en cuanto al uso de los recursos de las tecnologías de la informática y las comunicaciones. Una red de este tipo facilitaría el acceso de los pobladores de las zonas intrincadas al Internet, extendiendo los beneficios en la educación y en la comunicación con otras partes del país y del mundo. Esta tecnología también se pudiera usar como medio alternativo de comunicación en casos de emergencia médica, debido a la lejanía con los centros hospitalarios, en caso de ocurrencia de desastres naturales, y con una red WRAN de menor alcance se pudiera monitorizar el ganado.

### Impacto económico:

Para el país el uso de las redes WRAN es un medio para llevar el Internet a zonas rurales, con un costo menor que si se usara por ejemplo una red cableada, coaxial o de fibra óptica. Con esta red se conseguirían velocidades similares a redes con tecnología xDSL y no tendríamos problemas en cuanto al uso del espectro de la televisión ya que existe televisión abierta: analógica y digital, además de que con el apagón analógico, entonces se podrá aprovechar aún más el espectro en las bandas estandarizadas para el uso de esta tecnología. La estructura sencilla por la cual se rige el 802.22 (Estación Base-Equipo Local de Cliente) brinda comodidad y gastos mínimos en infraestructura: ya no será preciso el uso de puntos de acceso, y con una buena distribución de la red el uso de los repetidores tampoco será necesario. Otra ventaja grande que ofrece la WRAN es que no necesita licencia de operación por lo que solo se necesitaría comprar el equipamiento.

Puede este estándar convertirse en la mejor solución para la comunicación en los campos de Cuba ya que ofrece mejores condiciones para la comunicación en zonas rurales que cualquier estándar existente: con mayor área de cobertura y con una política basada en la no interferencia, por lo que puede coexistir con otras tecnologías inalámbricas ya existentes.

### Dificultades económicas

Las redes WRAN, todavía no son redes comerciales por lo que el precio del equipamiento se desconoce aún. Esto es un punto desfavorable para el diseño, ya que el precio de estos dispositivos depende de las reglas del mercado.

A pesar de su sencilla estructura, se ha de tener en cuenta de que la red necesita una base de datos que gestione los canales vacíos y bandas guarda de la televisión, algo que se añade a la estructura de la red y que según su complejidad no debe de ser una tecnología barata.

Los equipamientos que están actualmente en uso no son compatibles con esta tecnología, lo que significa tener que comprar dispositivos nuevos (teléfonos móviles, tablets, PC's) diseñados para el uso de WRAN, o de otro modo se tendría que usar una tarjeta de acceso adicional en las computadoras personales. En otro caso más extremo habría que usar redes híbridas usando backbone WRAN combinadas con otras redes en las que los dispositivos en uso tienen acceso, redes Wi-fi, por ejemplo.

En dependencia, de cómo se impongan los precios de la tecnología, habrá que hacer un análisis de si estos gastos para hacer posible el uso de WRAN son aceptables de acuerdo a los beneficios, en caso de que pueda pagar por la tecnología. Si no es conveniente la inversión, habrá que seguir usando las tecnologías anteriores hasta que sean asequibles los precios, o hasta que otra tecnología ofrezca mejores condiciones de acceso en entornos rurales.

### **Impacto medioambiental**

Debido al gran despliegue de las redes inalámbricas alrededor del mundo ha habido muchos estudios sobre el impacto de estas redes desde el punto de vista ambiental, pero todavía no hay estudios concluyentes sobre el grado de peligrosidad de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana, sin embargo, la mayoría de los estudios apuntan a que son inofensivas. No obstante, se ha de tener presente que el desarrollo de cualquier tecnología trae consigo otros problemas como la generación de basura y la modificación de entornos naturales que son los más comunes.

Es por ello, que antes de desplegar una red se debe tener en cuenta que no se pueden colocar las estaciones bases en sitios que puedan afectar la vida de las especies animal o vegetal, pero además se han de proteger las reservas patrimoniales que en el caso de la provincia son los asentamientos aborígenes, las ruinas de los ingenios cafetaleros de la época colonial y algunas especies en peligro de extinción como la polimita o el almiquí.

Es difícil que se pueda frenar el avance de las redes inalámbricas, ya que estas a pesar de todas las desventajas que puedan tener con respecto a las redes cableadas se han desarrollado de forma que ya pasan a ser una solución, y esto se evidencia en la

popularidad que poseen las redes de telefonía móvil. Es por esto que hay que seguir indagando sobre el impacto que puedan tener estas redes en la salud humana y tener presente que la protección del medio ambiente es una cuestión fundamental, que no debe posponerse.

## CONCLUSIONES

Después de un estudio del estándar IEEE 802.22 (WRAN), se puede concluir que es el estándar que ofrece las mejores características de propagación por radio para entornos rurales y de difícil acceso, con aprovechamiento espectral de las bandas de la televisión.

WRAN no presenta inconvenientes para las comunicaciones en la provincia y en el país en general, ya que hay muchos canales vacíos en la transmisión de la televisión, y además son escasas las redes inalámbricas que ofrecen servicios de banda ancha, sobre todo en zonas de difícil acceso.

Se logró demostrar el funcionamiento de una red WRAN en condiciones de propagación adversas, a través de la simulación hecha con el software Radio Mobile de la red en la provincia Guantánamo, donde la mayoría de los enlaces están en zona montañosa.

Atendiendo a los resultados de la simulación se puede afirmar que sí es posible, teóricamente, obtener buenos niveles de recepción que permitan la transmisión de datos a distancias mayores que 30 Km, en ausencia de línea de vista y sin necesidad de usar repetidores.

La implementación de una red comercial con tecnología 802.22 puede durar varios años más debido al fuerte rechazo que han hecho operadores con licencia (3G, 4G). Puede suceder que no se alcance con este estándar el nivel de popularidad que se desea si los precios para acceder a la tecnología son demasiado altos, por lo que no será posible, para muchas economías como la nuestra, sustentar una red de este tipo.

## RECOMENDACIONES

El desarrollo de redes que empleen los espacios en blanco de la televisión para la transmisión de datos de forma segura a velocidades por encima de los 100kbps, son el futuro de las comunicaciones inalámbricas, es por ello que recomiendo a otros investigadores que defiendan los estudios sobre el uso de estas redes, que se actualicen sobre el tema de la radio cognitiva y sobre el desarrollo de tecnologías, porque el empleo de TVWS podría disminuir los problemas tecnológicos del acceso a Internet en las zonas del mundo donde no es rentable por otras vías ofrecer este servicio.

El trabajo anterior se enriquecería si se abundara en otras características para comprobar el funcionamiento de redes WRAN en las zonas rurales, haciendo un análisis del tráfico en la red, para ver si es posible aproximarse a los valores de las velocidades de subida y bajada que plantea el estándar. También exhorto a evaluar el funcionamiento de las antenas detectoras y el funcionamiento de una base de datos para gestionar los canales de televisión.

Cuando salga al mercado la tecnología invito a otros estudiosos del tema a hacer una valoración inversión-resultados para ver si es posible contar con una red de este tipo en los países subdesarrollados con escaso desarrollo en las telecomunicaciones.



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. G. Apurva N. Mody, «“IEEE 802.22 Wireless Regional AreaNetwork”,» 2011.
- [2] G. Chouinard, «“The IEEE 802.22 WRAN Standard and its interface to the White Space Database”» Canadá, 2011.
- [3] M. Z. M. Raed Al-Zubi, «“CoexistenceProblem in IEEE 802.22 Wireless regional Area Network”» Tucson, 2011.
- [4] P. Jelinek, «“Estándar 802.22 Wireless Regional AreaNetwork”» Universidad Politénica de Valencia, 2011.
- [5] M. Autin, M. Biey. M. Hasler « “Order of discrete time nonlinear systems determined from input-output signals”,» San Diego, 1992.
- [6] Romaguera Vázquez, Liset «“Simulación de la capa física del estándar 802.22”,» Santiago de Cuba, 2012.
- [7] Pradilla Cerón, Juan Vicente «“Tecnología del canal de retorno para el estándar DVB-T mediante el uso de WRAN”,» Santiago de Cali, 2012.
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, «IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and information exchange between systems Wireless Regional Area Networks (WRAN)» New York, junio de 2011.
- [9] Pomares del Valle, Raúl «“Diseño y simulación de una red troncal de banda ancha para la comunicación de poblados intrincados del municipio de Palma Soriano”» Santiago de Cuba, 2013.
- [10] The Institute of Electrical and Electronics Engineers «Wireless Regional Area Networks (WRAN)—Specific requirements Part 22.2: Installation and Deployment of IEEE 802.22™» New York, aprobado en el año 2012.
- [11] OFCOM «Sitio sobre el desarrollo de base de datos TVWS» Disponible en: <https://tvws-databases.ofcom.org.uk/>. [Último acceso: 2014].
- [12] «Sitio web del NICT,» Disponible en : <http://www.nict.go>. [Último acceso: 2014].
- [13] Barbagallo, Paul «For TV ‘White Spaces, the Global Outlook Is Hopeful but Cautious» 2015.

- 
- [14] «Sitio web del software Radio Mobile,» Disponible en: [www.cplus.org/rmw/](http://www.cplus.org/rmw/).
- [15] International Center for Theoretical Physics, « “Cálculo del presupuesto de potencia”, Material de apoyo para entrenadores de redes inalámbricas» 9 de octubre de 2011.
- [16] «Sitio web del grupo de trabajo del IEEE 802.22» Disponible en: [www.ieee802.org/22/](http://www.ieee802.org/22/).
- [17] «IEEE standards association,» Disponible en: <http://odysseus.ieee.org/about/sasb/index.html>.

---

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado Asimétrica)

ARQ Automatic Repeat Request (Repetición automática de solicitud)

ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asíncrono)

BS: Base Station (Estación Base)

CPE: Customer Premises Equipment (Equipo terminal de usuario)

CR: Cognitive radio (Radio Cognitiva)

DSL: Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado)

EIRP o PIRE: Potencia Isotrópica Irradiada Equivalente

FCC: Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)

FDD: Frequency Division Duplex (Dúplex por División en Frecuencia)

GPS: Global Position System (Sistema de posicionamiento global)

HDSL: High Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado de Alta velocidad)

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

IP: Internet Protocol (Protocolo de Internet)

LOS: Line of Sight (Línea de vista)

MAC: Medium Access Control (Capa de control de acceso al medio)

NLOS: Non Line of Sight (Sin línea de vista)

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal)

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)

OSI: Open System Interconnection (modelo de red de Interconexión de Sistemas Abiertos)

PHY: Physical layer (Capa Física)

---

PLCP: Physical Layer Convergence Procedure (Procedimiento de Convergencia de la Capa Física)

PSK: Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase)

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación Digital de Amplitud en Cuadratura)

QoS: Quality of Service (Calidad de Servicio)

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria)

SDR: Software-Defined Radio (Radio definido por software)

SDSL: Symmetric Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado Simétrica)

SCH: Superframe Control Header (Cabecera de control de la supertrama MAC)

SNMP: Simple Network Management Protocol (Protocolo Simple de Administración de Red)

SNR: Signal to Noise Ratio (Relación señal a ruido)

TDD: Time Division Duplex (Dúplex por División en Tiempo)

TV: Televisión

TVBD: TV band database (Base de datos de la banda de la televisión)

UHF: Ultra High Frequency (Ultra Alta Frecuencia)

VDSL: Very High Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado de Muy alta velocidad)

VHF: Very High Frequency (Muy Alta Frecuencia)

VoIP: VoiceOver IP (Voz sobre IP)

WiFi: WirelessFidelity (fidelidad inalámbrica)

WiMAX: World Wide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)

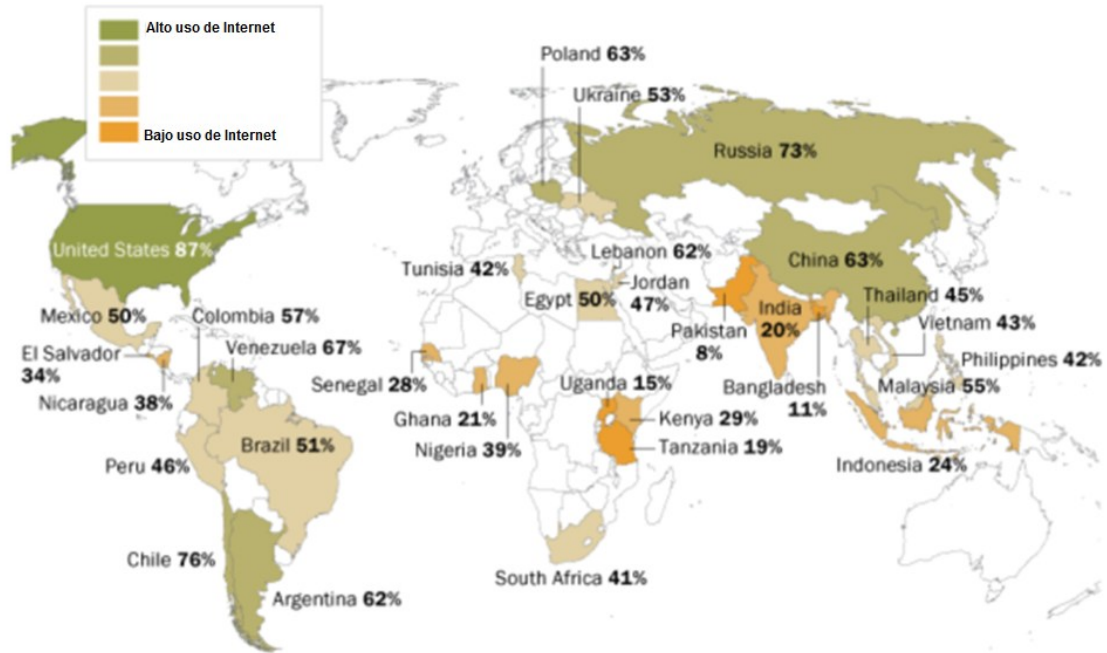
WLAN: Wireless Local Area Network (Red de Área Local Inalámbrica)

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Red de Área Metropolitana Inalámbrica)

WRAN: Wireless Regional Area Network (Red de Área Regional Inalámbrica)

# ANEXOS

## Anexo1 Distribución del uso de Internet en el mundo



**Anexoll** Tecnologías NICT para TVWS



Teléfono inteligente con capacidad del uso de TVWS con única antena UHF



Router cognitivo



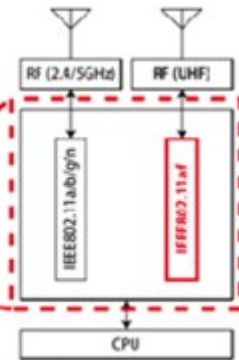
Tablet(izquierda) y estación base TVWS(derecha) para redes WLAN



Por fuera



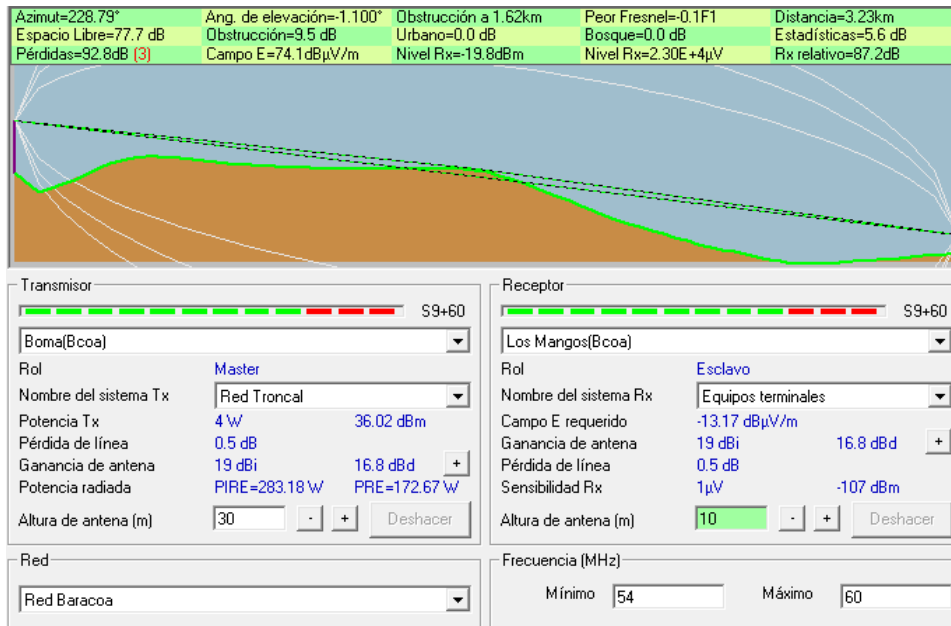
Vista Interior



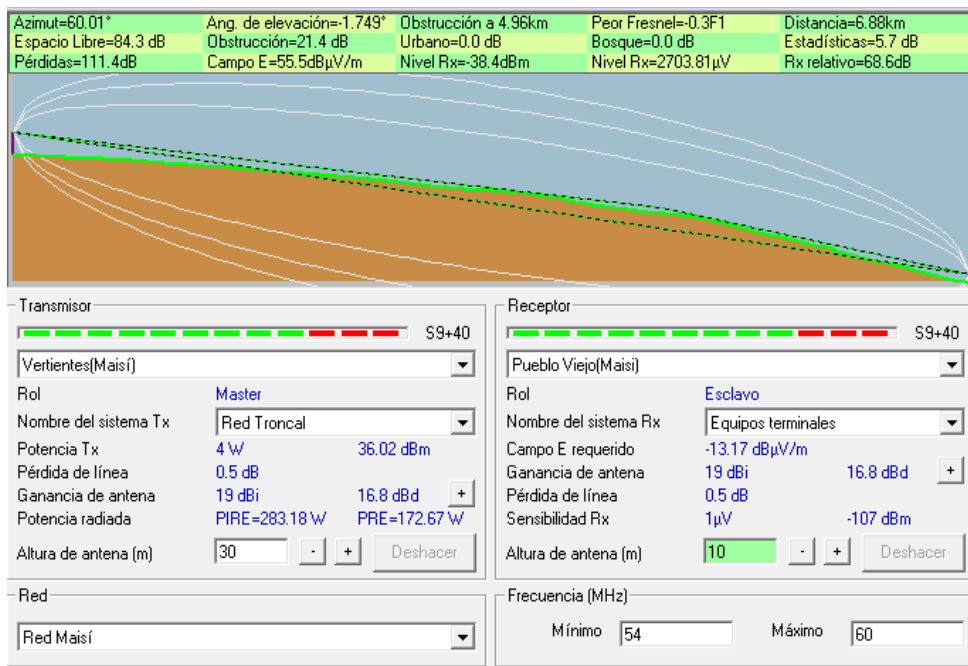
©NICT

Punto de acceso para 802.11af con interfaces multibanda

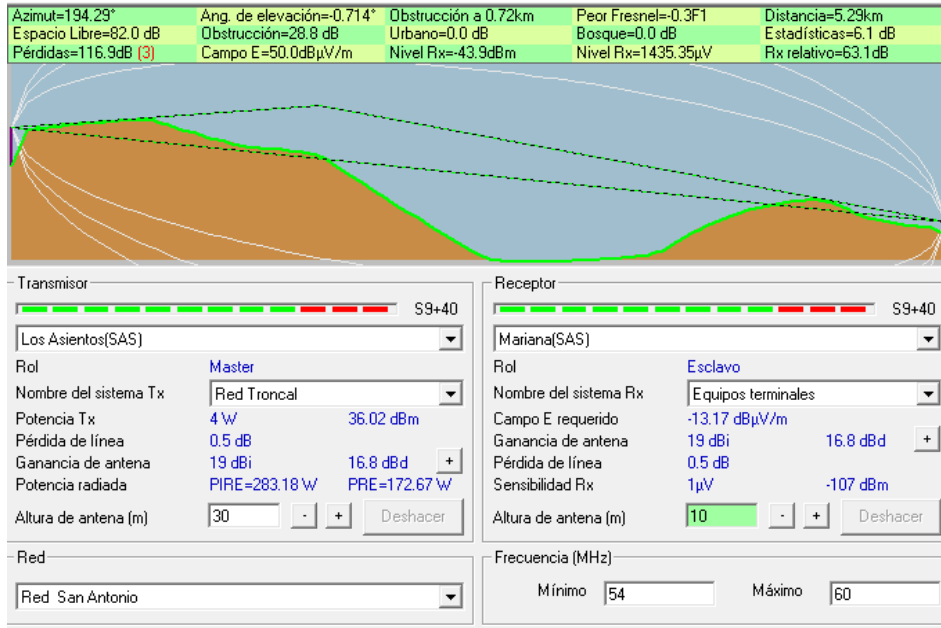
### AnexoIII Datos del enlace de radio Boma-Los mangos



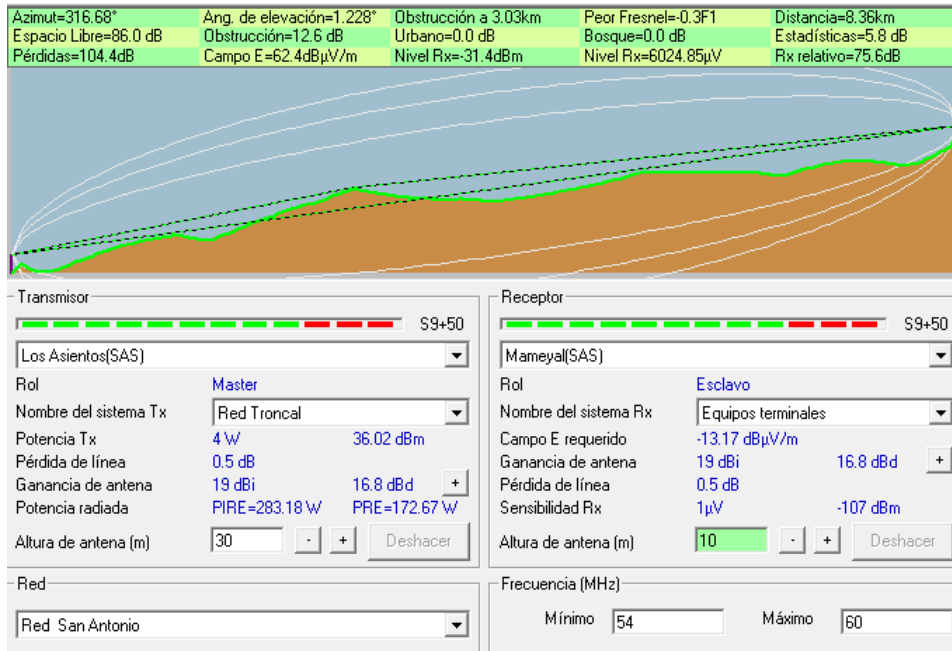
### AnexoIV Datos del enlace de radio Vertientes-Pueblo Viejo



## AnexoV Datos del enlace de radio Los Asientos-Mariana

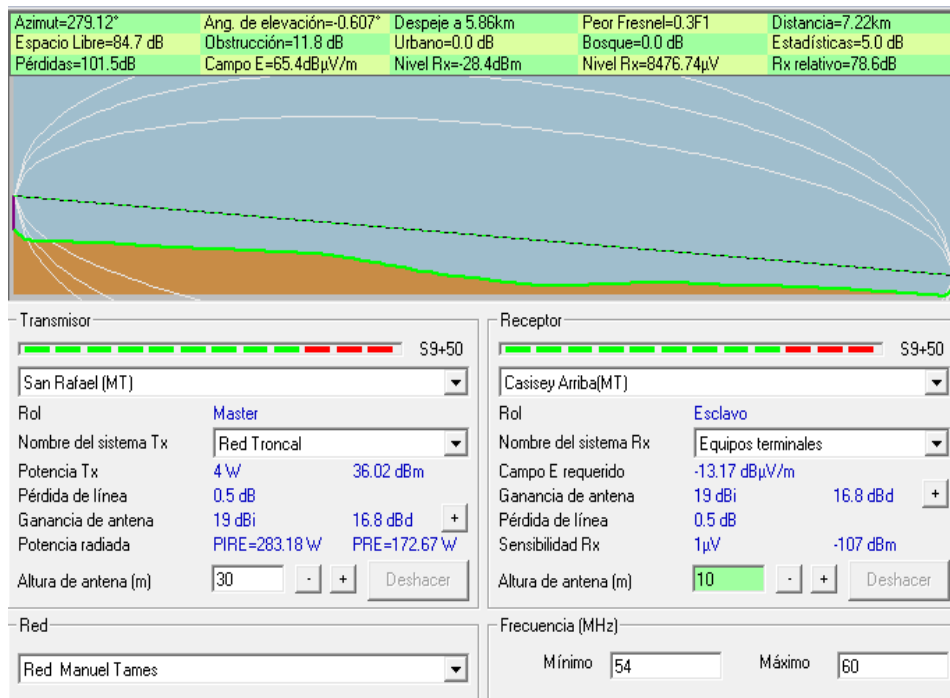


## AnexoVI Datos del enlace de radio Los Asientos-Mameyal

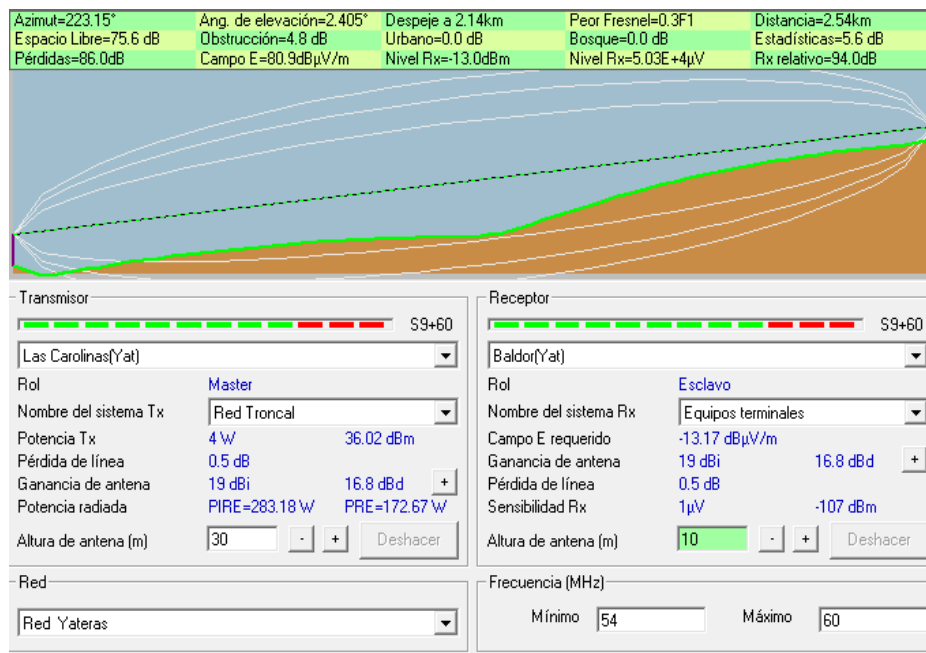




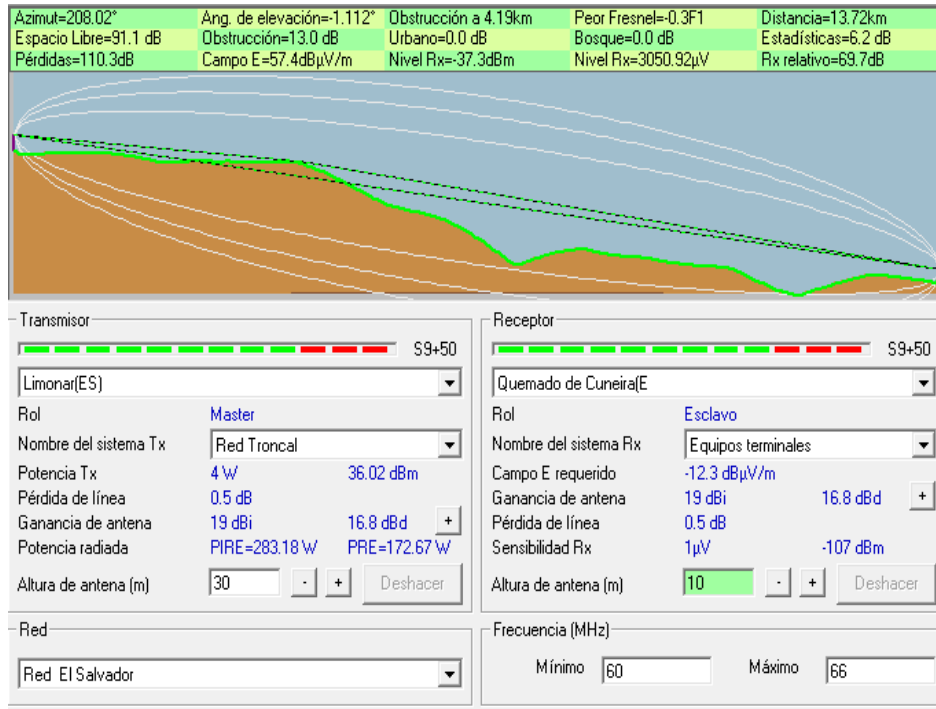
## AnexoVII Datos del enlace de radio San Rafael-Casisey Arriba



## AnexoVIII Datos del enlace de radio Las Carolinas-Baldor



### AnexoIX Datos del enlace de radio Limonar -Quemado de Cuneira.



### AnexoX Datos del enlace de radio Limonar-Santo Domingo

