

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE TECNOLOGIA

CARRERA: ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES



NIVEL: LICENCIATURA

PROYECTO DE APLICACION

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE INTERNET INALÁMBRICO EN
LA LOCALIDAD DE RURRENABAQUE"**

Postulante: Victor Hugo Llanos Zambrana

La Paz- Bolivia

2013

INDICE

I.	INTRODUCCION	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1	Identificación del problema	2
1.2.2	Formulación del problema	3
1.3	OBJETIVOS	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	JUSTIFICACIÓN	4
1.4.1	Justificación Técnica.....	4
1.4.2	Justificación económica.....	4
1.4.3	Justificación social	4
II.	FUNDAMENTO TEORICO	5
2.1	Redes inalámbricas.....	5
2.1.1	Funcionamiento.....	5
2.1.2	Configuraciones de red para radiofrecuencia.....	6
2.1.3	Asignación de Canales.....	8
2.1.4	Velocidad	8
2.2	Capas del modelo OSI	8
2.3	Redes inalámbricas avanzadas	9
2.3.1	Multiplexación espacial	10
2.3.2	Cuestiones de seguridad.....	11
2.3.3	Modulación OFDM	12
2.4	Servicios de Internet inalámbrico	13
2.5	Plataforma Mikrotik RouterOS.....	15
III.	MARCO PRACTICO DEL PROYECTO DE APLICACION	17
3.1	Parámetros de diseño	17
3.2	Diagrama general del sistema propuesto.....	18
3.3	Sistema de protección y aterramiento	18

3.3.1	Aterramiento.....	20
3.3.2	Instalación de varillas	21
3.3.3	Soldadura exotérmica	22
3.3.4	Protección externa	23
3.3.5	Consideraciones	24
3.4	Sistema de energía	25
3.5	Sistema de distribución de internet hacia los usuarios.....	27
3.5.1	Instalación de las antenas transmisoras	29
3.5.2	Instalación en el lado cliente	33
3.5.3	Adaptadores POE	36
3.5.3.1	Conexión	36
3.5.4	Consideraciones para la instalación correcta de equipos	37
3.5.5	Switch.....	38
3.6	Sistema de gestión y administración	38
3.6.1	Direccionamiento IP	39
3.6.2	Instalación del software Mikrotik RouterOS.....	40
3.6.3	Configuración del Router Mikrotik	42
3.6.4	Configuración de las antenas transmisoras	44
3.6.5	Configuración de las antenas del lado usuario.....	47
3.6.6	Configuraciones de antenas y usuario en el Sistema de gestión	50
IV.	SIMULACIONES	53
4.1	Software Radiomobile	53
4.2	Cobertura Base 1	54
4.3	Cobertura Base 2:	55
4.4	Enlace Torre – Aeropuerto Rurrenabaque	57
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1	CONCLUSIONES.....	64
5.2	RECOMENDACIONES	65
VI.	BIBLIOGRAFIA	66
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estándares de Lan Inalámbricas (fuente Currícula Cisco CCNA3)	5
Figura 2 Modelo OSI (fuente currícula Cisco CCNA1)	9
Figura 3 Señal OFDM	13
Figura 4 Sistema de internet inalámbrico (fuente www.ubnt.com)	15
Figura 5 Hardware Mikrotik RouterBoard: (a) Tarjeta Mikrotik, (b) Routerboard (fuente www.mikrotik.com)	16
Figura 6 Diseño propuesto (fuente Comsatel).....	18
Figura 7 Varilla Copperweld (fuente www.gedisa.com.ve)	20
Figura 8 Red de tierra propuesto (diseño propio).....	21
Figura 9 Instalación de varilla de cobre (diseño propio)	21
Figura 10 Proceso de soldadura exotérmica (fuente www.gedisa.com.ve)	23
Figura 11 Pararrayos tipo franklin	24
Figura 12 Diagrama de bloques de un UPS (fuente diseño propio)	26
Figura 13 Diagrama del sistema eléctrico (fuente diseño propio).....	26
Figura 14 Antena Nanostation M5 (fuente www.inova.com.bo).....	29
Figura 15 Torre de transmisión (fuente elaboración propia).....	30
Figura 16 Estación Base Rocket M5 (fuente www.inova.com.bo)	31
Figura 17 Antena Titanium Sector (fuente www.ubnt.com)	31
Figura 18 Azimuth vertical (fuente www.ubnt.com)	32
Figura 19 Elevación vertical (fuente www.ubnt.com).....	32
Figura 20 Azimuth horizontal (fuente www.ubnt.com)	33
Figura 21 Elevación horizontal (fuente www.ubnt.com)	33
Figura 22 Azimuth Vertical fuente www.ubnt.com).....	34
Figura 23 Elevación vertical (fuente www.ubnt.com).....	35
Figura 24 Azimuth horizontal (fuente www.ubnt.com)	35
Figura 25 Elevación horizontal (fuente www.ubnt.com)	35
Figura 26 Adaptador Poe (fuente www.ubnt.com).....	36
Figura 27 Conexión adaptador-Antena (fuente www.wiki.ubnt.com).....	36
Figura 28 Cable FTP (fuente www.wiki.ubnt.com)	38
Figura 29 Antena con la tapa abierta (fuente www.wiki.ubnt.com).....	38
Figura 30 Selección de paquetes para la instalación (fuente elaboración propia)	40
Figura 31 Conexión mediante winbox (fuente elaboración propia).....	42
Figura 32 Ventana de comandos del mikrotik (fuente elaboración propia).....	42
Figura 33 Pagina principal de la antena Ubiquiti nanostation M5 (fuente www.ubnt.com).....	45
Figura 34 Ventana de configuración en la opción Wireless (fuente www.wiki.ubnt.com).....	45
Figura 35 Ventana de configuración en la opción Network (fuente www.wiki.ubnt.com)	46

Figura 36 Ventana Main (fuente www.wiki.ubnt.com)	47
Figura 37 Venta de configuración Wireless en la estación cliente (fuente www.wiki.ubnt.com).....	48
Figura 38 Ventana de configuración Network en la estación del cliente (fuente www.wiki.ubnt.com).....	49
Figura 39 Ventana de configuración Proxy (fuente www.wiki.ubnt.com)	49
Figura 40 Interfaz gráfica del Router Mikrotik (fuente elaboración propia)	50
Figura 41 Configuraciones de de usuario (fuente elaboración propia)	51
Figura 42 Venta de la lista ARP (fuente elaboración propia).....	51
Figura 43 Cobertura de la base 1 (fuente elaboración propia)	54
Figura 44 Enlace Base1-CPE1 (fuente elaboración propia).....	54
Figura 45 Cobertura base 2 (fuente elaboración propia).....	55
Figura 46 Enlace Base2-CPE2 (fuente elaboración propia).....	56
Figura 47 Perfil del enlace entre la torre y el aeropuerto de rurrenabaque (fuente elaboración propia).....	61
Figura 48 Enlace Torre – Aeropuerto de Rurrenabaque (fuente elaboración propia) 62	
Figura 49 Enlace torre y CPE2 (fuente elaboración propia)	62

RESUMEN

El presente proyecto de aplicación, consiste en el diseño de un Sistema de distribución de internet mediante ondas de radio en la localidad de Rurrenabaque.

El capítulo I contiene todos los antecedentes previos al diseño del proyecto.

El capítulo II comprende todo el fundamento teórico necesario para el diseño propuesto.

El capítulo III comprende el marco práctico, es decir el diseño del proyecto de aplicación. Para el diseño del sistema propuesto la conexión al proveedor de servicios que en este caso es ENTEL, es a través de un Módem ADSL. Dicho equipo estará ubicado en la oficina de la empresa Comsatel en la localidad de Rurrenabaque. Desde dicha oficina se hará un enlace hacia la torre donde se encuentran las antenas de transmisión de señal de Internet.

Para la administración de los usuarios remotos que se conectarán a internet a través de dichas antenas, se hará uso de la plataforma Mikrotik RouterOS.

En el capítulo IV se hacen las simulaciones respectivas para delimitar el rango de cobertura del sistema propuesto.

DEDICATORIA

A mis padres: Victor y Ximena; mis hermanos Janis y Javier, por su constante apoyo en la realización del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Mayor de San Andrés, por haberme albergado en sus aulas.

Al plantel docente por brindarme sus conocimientos de su amplia experiencia y finalmente a todos los que, de una u otra manera, me extendieron su mano fraterna en la culminación de este anhelado trabajo.

I. INTRODUCCION

La globalización mundial de las telecomunicaciones obliga a optar por nuevas alternativas en el acceso a las nuevas tecnologías de comunicación e información (TIC'S), que se constituyen como uno de los elementos clave para el desarrollo de la población en el área rural.

Una de estas alternativas es el acceso a Internet vía ondas de radio el cual permitirá a la población de Rurrenabaque poder estar al día en cuanto a información de toda índole. Por este motivo, el presente proyecto realiza el diseño de un sistema inalámbrico para la distribución de internet en dicho municipio.

Este sistema permitirá acceder a Internet en cualquier momento, con una aceptable velocidad de downlink y uplink. Para ello se dispondrá de un punto de conexión a internet mediante el ISP Entel en una oficina dentro el área urbana de la localidad. Luego se hará un enlace a la torre donde se ubicarán las antenas transmisoras de señal hacia los usuarios remotos.

1.1 ANTECEDENTES

La población de Rurrenabaque se encuentra en el departamento de Beni. Actualmente ENTEL (Empresa Nacional de Telecomunicaciones) y la Red ÚNETE, permiten que Rurrenabaque esté en comunicación con el mundo tanto con telefonía fija y teléfonos celulares, con un servicio permanente de comunicación a nivel provincial, departamental, nacional e internacional, en el radio urbano cuenta con 6 cabinas telefónicas en administración delegada, teléfonos tarjeteros en diferentes puntos de la población y teléfonos en las comunidades de: Nuevos Horizontes, Villa Ingavi, Collana Linares y Carmen Florida. Hay 3 puntos de servicio de Internet con un precio de 2.21 \$US/hora, los cuales se detallan a continuación:

1 Camila's Internet Dir: Av. Santa Cruz

2 Punto ENTEL

Dir: Calle avaroa

3 ÚNETE Calle

Dir: Avaroa

Además se tiene en Rurrenabaque un servicio de radiocomunicación que permiten comunicarse con las ciudades del interior del país y al área rural:

- Radio comunicaciones Serrano
- Radio comunicaciones Guajojó
- Radio comunicaciones La Porteñita
- Radio comunicaciones Ganadera
- Radio comunicaciones 2 hermanos

Como se puede ver el acceso a internet es caro y deficiente. Por tanto la gente del lugar queda marginada y postergada en cuanto a su desarrollo económico, educativo y social. Es por eso que surge la necesidad del diseño de un nuevo servicio de Internet, el cual permita cubrir todo el municipio y parte de las comunidades aledañas. Con el diseño que propone este proyecto de aplicación, se pretende comunicar al municipio con el resto del país y con el mundo a través de una conexión permanente a Internet de banda ancha.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Identificación del problema

La mayoría de la gente del municipio no está al tanto de lo que sucede en el país y el mundo, no tiene acceso a bibliotecas virtuales ni consultas de información en línea, es decir la gente está aislada de las TIC's. Las formas actuales de comunicación del municipio de Rurrenabaque, como la telefonía básica son insuficientes para el desarrollo de su gente. Conforme aparecen nuevos servicios y aplicaciones se

requieren conexiones de banda ancha. Por tanto las ventajas del acceso a varios servicios por red no pueden ser transparentes a su gente.

1.2.2 Formulación del problema

El escenario planteado conlleva a un problema de investigación que debe enfocarse desde un punto de vista técnico, social y económico. En cuanto al aspecto técnico deben contemplarse los avances tecnológicos en cuanto a las tecnologías de acceso inalámbrico y la licencia en cuanto al uso del espectro. En lo que concierne al aspecto económico se debe realizar un estudio de los diferentes proveedores de equipos en cuanto a costos de operación y mantenimiento. En el aspecto social es prudente analizar el impacto que tendría la implantación del sistema en la gente del municipio. Sin embargo, la problemática principal que se constituye en el problema de investigación, se puede formular con la interrogante: ¿Cómo lograr que la gente del municipio de Rurrenabaque tenga acceso a la información a través de una herramienta tan poderosa como es el Internet?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema que permita el acceso inalámbrico a Internet.

1.3.2 Objetivos específicos

- Efectuar un análisis para la selección de equipamiento necesario, identificando las normas y especificaciones técnicas recomendadas para el diseño del sistema.
- Realizar las configuraciones necesarias de todos los equipos que serán parte de la red diseñada.

- Realizar un estudio de cobertura de los dispositivos transmisores de señal de Internet hacia los usuarios remotos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Justificación Técnica

La configuración topológica del lugar hace que los servicios de telecomunicaciones vía terrestre sean muy difíciles y costosos de implantar. En ese sentido, el despliegue de redes de acceso vía cobre o fibra óptica conlleva a un mayor coste, además de que están sujetos a normas municipales. Los últimos avances en cuanto a la tecnología inalámbrica permiten que se disponga de equipos con una buena performance operando en condiciones climáticas adversas.

1.4.2 Justificación económica

Como contraste con los sistemas de telecomunicaciones vía terrestre, es evidente que las tecnologías de radio acceso implican costos menores tanto por la disponibilidad de energía, tiempo de instalación y cobertura, además de los costos de equipos. También se debe mencionar el desarrollo económico que se tendrá con el despliegue de esta tecnología, ya que permitirá nuevas formas de negocio para la región.

1.4.3 Justificación social

El acceso a internet se constituye un pilar fundamental para el desarrollo de la región. Cuando la gente tenga acceso a los recursos de internet, se tendrá una mayor calidad de enseñanza accediendo a bibliotecas virtuales o consultas de información en línea. Los comerciantes podrán acceder a los servicios de banca por internet, en fin el impacto es muy positivo en la gente.

II. FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Redes inalámbricas

Las redes comerciales actuales evolucionan para dar soporte a la gente que está en continuo movimiento. Empleados y empleadores, estudiantes y docentes, agentes del gobierno y aquellos a quienes sirven, aficionados a los deportes y compradores están todos en continuo movimiento y muchos de ellos están "conectados". Hay muchas infraestructuras diferentes (LAN conectada por cable, redes del proveedor de servicios) que permiten que exista este tipo de movilidad, pero en un ambiente de negocios, lo más importante es la WLAN.

Además de la flexibilidad que ofrecen las WLAN, el costo reducido es un beneficio importante. Por ejemplo: con una infraestructura inalámbrica ya ubicada, se ahorra al moverse una persona dentro del lugar de cobertura.

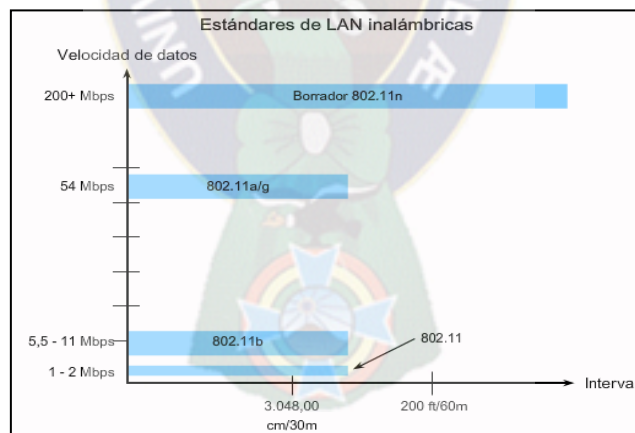


Figura 1 Estándares de Lan Inalámbricas (fuente Currícula Cisco CCNA3)

2.1.1 Funcionamiento

Se utilizan ondas de radio para llevar la información de un punto a otro sin necesidad de un medio físico guiado. Al hablar de ondas de radio nos referimos normalmente a

portadoras de radio, sobre las que va la información, ya que realizan la función de llevar la energía a un receptor remoto. Los datos a transmitir se superponen a la portadora de radio y de este modo pueden ser extraídos exactamente en el receptor final. A este proceso se le llama modulación de la portadora por la información que está siendo transmitida. Si las ondas son transmitidas a distintas frecuencias de radio, varias portadoras pueden existir en igual tiempo y espacio sin interferir entre ellas. Para extraer los datos el receptor se sitúa en una determinada frecuencia, frecuencia portadora, ignorando el resto. En una configuración típica de LAN sin cable los puntos de acceso (transceiver) conectan la red cableada de un lugar fijo mediante cableado normalizado. El punto de acceso recibe la información, la almacena y la transmite entre la WLAN y la LAN cableada. Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios cientos. El punto de acceso (o la antena conectada al punto de acceso) es normalmente colocado en alto pero podría colocarse en cualquier lugar en que se obtenga la cobertura de radio deseada. El usuario final accede a la red WLAN a través de adaptadores. Estos proporcionan una interfaz entre el sistema de operación de red del cliente (NOS: Network Operating System) y las ondas, mediante una antena. La naturaleza de la conexión sin cable es transparente a la capa del cliente.

2.1.2 Configuraciones de red para radiofrecuencia

Pueden ser de muy diversos tipos y tan simples o complejas como sea necesario. La más básica se da entre dos ordenadores equipados con tarjetas adaptadoras para WLAN, de modo que pueden poner en funcionamiento una red independiente siempre que estén dentro del área que cubre cada uno. Esto es llamado red de igual a igual (peer to peer). Cada cliente tendría únicamente acceso a los recursos del otro cliente pero no a un servidor central. Este tipo de redes no requiere administración o preconfiguración.

Instalando un Punto de Acceso se puede doblar la distancia a la cual los dispositivos pueden comunicarse, ya que estos actúan como repetidores. Desde que el punto de acceso se conecta a la red cableada cualquier cliente tiene acceso a los recursos del servidor y además gestionan el tráfico de la red entre los terminales más próximos. Cada punto de acceso puede servir a varias máquinas, según el tipo y el número de transmisiones que tienen lugar. Existen muchas aplicaciones en el mundo real con un rango de 15 a 50 dispositivos cliente con un solo punto de acceso.

Los puntos de acceso tienen un alcance finito, del orden de 150 m en lugares u zonas abiertas. En zonas grandes como por ejemplo un campus universitario o un edificio es probablemente necesario más de un punto de acceso. La meta es cubrir el área con células que solapen sus áreas de modo que los clientes puedan moverse sin cortes entre un grupo de puntos de acceso. Esto es llamado roaming, el diseñador de la red puede elegir usar un Punto de Extensión (EPs) para aumentar el número de puntos de acceso a la red, de modo que funcionan como tales pero no están enganchados a la red cableada como los puntos de acceso. Los puntos de extensión funcionan como su nombre indica: extienden el alcance de la red retransmitiendo las señales de un cliente a un punto de acceso o a otro punto de extensión. Los puntos de extensión pueden encadenarse para pasar mensajes entre un punto de acceso y clientes lejanos de modo que se construye un puente entre ambos.

Uno de los últimos componentes a considerar en el equipo de una WLAN es la antena direccional. Por ejemplo: si se quiere una Lan sin cable a otro edificio a 1 km de distancia. Una solución puede ser instalar una antena en cada edificio con línea de visión directa. La antena del primer edificio está conectada a la red cableada mediante un punto de acceso. Igualmente en el segundo edificio se conecta un punto de acceso, lo cual permite una conexión sin cable en esta aplicación.

2.1.3 Asignación de Canales

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan la banda de 2.4 – 2.5 Ghz. En esta banda, se definieron 11 canales utilizables por equipos WIFI, los que pueden configurarse de acuerdo a necesidades particulares. Sin embargo, los 11 canales no son completamente independientes (canales contiguos se superponen y se producen interferencias) y en la práctica sólo se pueden utilizar 3 canales en forma simultánea (1, 6 y 11). Esto es correcto para USA y muchos países de América Latina, pues en Europa, el ETSI ha definido 13 canales. En este caso, por ejemplo en España, se pueden utilizar 4 canales no-adyacentes (1, 5, 9 y 13). Esta asignación de canales usualmente se hace sólo en el Punto de Acceso, pues los “clientes” automáticamente detectan el canal, salvo en los casos en que se forma una red ad hoc o punto a punto cuando no existe Punto de acceso.

2.1.4 Velocidad

Otro de los problemas que presenta este tipo de redes es que actualmente (a nivel de red local) no alcanzan la velocidad que obtienen las redes de datos cableadas. Además, en relación con el apartado de seguridad, el tener que cifrar toda la información, supone que gran parte de la información que se transmite, sea de control y no de información útil para los usuarios, por lo que incluso se reduce la velocidad de transmisión de datos útiles.

2.2 Capas del modelo OSI

Para poder simplificar el estudio y la implementación de la arquitectura necesaria, la ISO divide el modelo de referencia OSI en capas, entendiéndose por "capa" una entidad que realiza de por sí una función específica. Cada capa define los procedimientos y las reglas (protocolos normalizados) que los subsistemas de comunicaciones deben seguir, para poder comunicarse con sus procesos correspondientes de los otros sistemas. Esto permite que un proceso que se ejecuta

en una computadora, pueda comunicarse con un proceso similar en otra computadora, si tienen implementados los mismos protocolos de comunicaciones de capas OSI. Este modelo considera 7 capas:



Figura 2 Modelo OSI (fuente currícula Cisco CCNA1)

La división de la red en siete capas presenta las siguientes ventajas:

- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas y sencillas.
- Normaliza los componentes de red para permitir el desarrollo y el soporte de los productos de diferentes fabricantes.
- Permite a los distintos tipos de hardware y software de red comunicarse entre sí de una forma totalmente definida.
- Impide que los cambios en una capa puedan afectar las demás capas, de manera que se puedan desarrollar con más rapidez.
- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas para simplificar el aprendizaje.

2.3 Redes inalámbricas avanzadas

El estándar 802.11n utiliza algunas nuevas tecnologías y toma algunas características de otras ya existentes para dotar a Wi-Fi de mayor velocidad y alcance. Las más destacables entre las primeras es MIMO. Se basa en la utilización de varias antenas para transportar múltiples flujos de datos de un lugar a otro. Se consigue así transmitir un volumen mayor de datos en el mismo período de tiempo.

MIMO también constituye la clave para el aumento de cobertura que ofrece la nueva generación de productos WLAN.

También directamente ligada al aumento del rendimiento, Channel bonding es otra de las novedades introducidas en 11n. Se trata de una técnica que permite utilizar simultáneamente dos canales no superpuestos como si se tratara de uno solo para conseguir aumentar la velocidad. Tales canales deben ser adyacentes o contiguos. Utilizando esta tecnología es posible sumar el ancho de banda de dos canales de 20 MHz para conseguir un enlace wireless de 40 MHz. Payload optimization es otra técnica de optimización del nuevo estándar Wi-Fi, cuya ventaja es, en términos sencillos, la posibilidad de introducir más datos en cada paquete transmitido.

En realidad, 802.11n introduce una nueva nomenclatura un tanto oscura que, pese a sus evidentes ventajas, ha tardado en calar masivamente. MIMO es el mejor ejemplo. Pero ¿qué significan realmente estas nuevas especificaciones en el contexto del entorno de networking wireless que aporta 11n? De forma simplificada se podría decir que MIMO opera con diferentes flujos de datos para potenciar la capacidad de proceso. Por lo general, el mayor número de antenas receptoras aumenta la distancia a la que se puede mantener una determinada velocidad de datos. Pero como es habitual en el mundo inalámbrico, la capacidad de proceso real y las velocidades potenciales se encuentra en función de múltiples factores, como los materiales de paredes y ventanas, y la configuración de los dispositivos clientes implicados en la transmisión.

2.3.1 Multiplexación espacial

En concreto, MIMO refiere el número de antenas de transmisión y recepción implicadas en el intercambio de señales wireless a través del canal de propagación o ruta wireless. Así, por ejemplo, 2x2 MIMO indica la disponibilidad de dos antenas emisoras y otras dos en el extremo receptor, el mínimo requerido por el draft 2.0 del

estándar 802.11n. Del mismo modo, 2x3 MIMO indica dos antenas de transmisión y tres de recepción, y así sucesivamente.

La multiplexación espacial es un componente fundamental de 11n. Por multiplexación espacial se entiende la emisión a través de múltiples antenas de flujos diferentes de señales codificadas individualmente (lo que se conoce como “corriente espacial”) en paralelo; en esencia, esta técnica permite multiplexar las señales para conseguir transportar más datos en un canal determinado. En el extremo receptor, cada antena decodifica cada corriente de señales haciendo la operación inversa a la que se efectúa en la transmisión (demultiplexación).

Hay que advertir que el número de corrientes espaciales que pueden ser multiplexadas en el aire depende del número de antenas emisoras. Así, aunque 2x3 MIMO ofrece una antena de recepción más que 2x2 MIMO, sólo dos corrientes espaciales pueden ser soportadas en ambas configuraciones.

2.3.2 Cuestiones de seguridad

Aunque Wi-Fi fue en un determinado momento considerada una tecnología insegura, los productos de las generaciones más recientes soportan ya Wi-Fi Protected Access (WPA) y WPA 2 para la encriptación del tráfico y la autenticación de los usuarios. En cualquier caso, Wi-Fi Alliance está promoviendo una especificación que pretende facilitar el despliegue de la seguridad WLAN a los usuarios particulares. El programa creado a tal fin, denominado Wi-Fi Protected Setup, permite desplegar WPA o WPA 2 simplemente pulsando determinados botones de los equipos o introduciendo números de identificación personal. Este programa no forma parte del estándar 802.11n, pero los fabricantes están aprovechando para introducirlo como una característica común en sus productos 11n basados en el draft 2.

2.3.3 Modulación OFDM

La modulación por división ortogonal de frecuencia, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), también llamada modulación por multitono discreto, en inglés Discrete Multitone Modulation (DMT), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia.

Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT respectivamente.

Lo que diferencia al OFDM de otros procedimientos de multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, pues el “espaciamiento adecuado” entre portadoras es un espaciamiento óptimo. Este espaciamiento consiste en que la separación espectral entre portadoras consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo

En la figura 3 se muestra una representación de tres portadoras ortogonales. Viendo una señal OFDM en el tiempo se aprecia que en el periodo de la portadora más baja caben varios periodos de las otras portadoras, alineadas todas en fase, mientras que en la representación espectral el máximo de cada portadora coincide con un nulo de las demás.

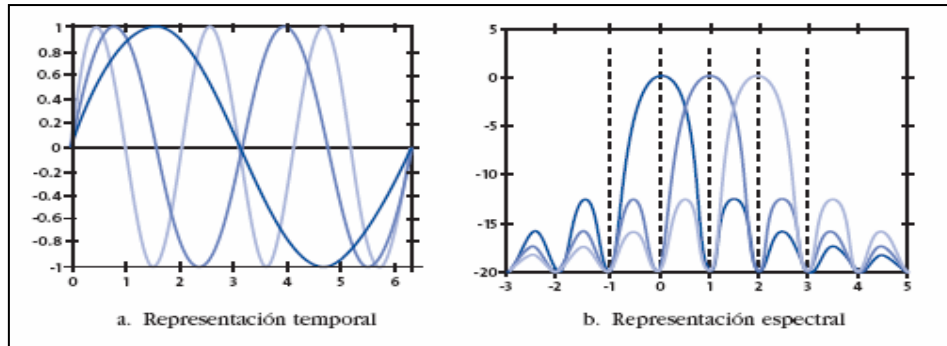


Figura 3 Señal OFDM

2.4 Servicios de Internet inalámbrico

El Proveedor de servicios Internet inalámbrico (WISP) es un sistema de red de área metropolitana (MAN) integrado para conectar clientes a la Internet. Las conexiones inalámbricas de alta velocidad se usan para proveer acceso a Internet punto a punto ó punto multipunto en compañías, organizaciones gubernamentales, colegios, universidades y otras instituciones que tienen Redes de Área Locales (LAN).

Los requisitos básicos para usar los enlaces de datos inalámbricos son:

- Que los clientes se localicen en un radio de 12km alrededor del sitio central
- Una línea de Vista directa entre el sitio del cliente y la antena central.
- El uso de las frecuencias 2.4GHz ó 5.7GHz según las regulaciones locales.

Beneficios de la conexión Inalámbrica:

- Alta Velocidad en enlace de Datos (660-5,600 kbps)
- Instalación rápida de la Estación Base (uno a dos días)
- Instalación rápida para los clientes (2 a 6 horas por sitio)
- Accesos eficaces en costos para usos prolongados y usuarios múltiples.

El sistema opera en bases punto a multi-punto, y consiste en una estación base y varios nodos clientes en un radio de entre 10 a 12 km alrededor de él. Los nodos

cliente se conectan a la unidad base sobre enlaces inalámbricos. Por consiguiente, se requiere una línea de vista directa entre la antena del cliente y la antena de la estación base para establecer la conexión inalámbrica.

Un WISP es un servicio inalámbrico fijo entre el nodo central y el cliente. No es un servicio móvil, por lo menos en la mayoría de los casos, porque: se requiere una línea de vista directa entre el nodo central y el cliente, y se usan radios de bajo poder y antenas de alta ganancia para los enlaces inalámbricos. El Sistema de ISP Inalámbrico opera bandas ISM de 2.4 GHz o 5.7 GHz . No opera a 900MHz debido a la interferencia con las redes de teléfono GSM.

La Línea de Vista Directa entre dos puntos es la posibilidad de ver desde un punto al otro punto sin ningún obstáculo físico, como árboles, hojas o ramas de árboles, edificios, paredes, construcciones, colinas o bosques. Para mayores distancias, puede haber problemas para asegurar la línea de vista debido a la curvatura de la Tierra. Por ejemplo, la línea de vista directa entre dos puntos localizados a una distancia de 30km puede asegurarse, si éstos se elevan a 17m de altura.

El Sistema de ISP Inalámbrico es un servicio terrestre operando como una Red del Área Metropolitana con células de 10-12 km de radio. No es un Sistema ISP satelital. El Sistema de ISP Inalámbrico es un servicio bidireccional, dónde ambos, el cliente y el nodo central envían y reciben datos. No es un sistema transmisor -receptor, pues cada nodo hace ambas tareas.

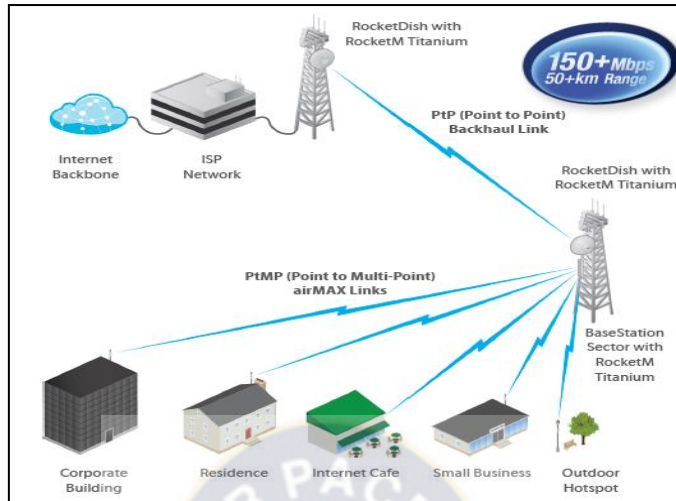


Figura 4 Sistema de internet inalámbrico (fuente www.ubnt.com)

2.5 Plataforma Mikrotik RouterOS

El RouterOS es un sistema operativo basado en GNU/Linux y software que convierte a una PC en un ruteador dedicado, bridge, firewall, controlador de ancho de banda, punto de acceso inalámbrico, por lo tanto puede hacer casi cualquier cosa que tenga que ver con las necesidades de red, además de ciertas funcionalidad como servidor. También soporta funcionalidades que los ISP tienden a implementar, como por ejemplo BGP, IPv6, OSPF o MPLS.

El software RouterOS puede ejecutarse desde un disco IDE memoria tipo FLASH. Este dispositivo se conecta como un disco rígido común y permite acceder a las avanzadas características de este sistema operativo.

MikroTik RouterBOARD, está enfocada a los pequeños y medianos proveedores de acceso a Internet, que normalmente proporcionan acceso de banda ancha en áreas remotas. Se tienen las siguientes versiones:

- v6 - Mayo de 2013
- v5 - Marzo de 2010
- v4 - Octubre de 2009
- v3 - Enero de 2008



(a)



(b)

Figura 5 Hardware Mikrotik RouterBoard: (a) Tarjeta Mikrotik, (b) Routerboard (fuente www.mikrotik.com)



III. MARCO PRÁCTICO DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

3.1 Parámetros de diseño

Para la realización del diseño se han tomado en cuenta ciertos factores que servirán como criterios base que se deben tomar en cuenta los cuales son:

- La instalación de todo el sistema para el servicio de Internet en la localidad de Rurrenabaque, se debe realizar dentro del área urbana de la misma población. La empresa COMSATEL tiene licencia de transmisión de datos a nivel nacional y cuenta con un punto de conexión a internet mediante el ISP Entel con una velocidad de 2048 Kbps. El lugar de la ubicación del punto de conexión a internet se encuentra en la calle Vaca Diez s/n, desde donde se hará un enlace hacia la torre de transmisión ubicada en el cerro Camuy, dicha infraestructura de la torre pertenece a Entel.
- Se debe realizar un estudio del suelo en el sitio elegido para el sistema de puesta a tierra.
- Para los equipos exteriores se deben tomar en cuenta normas técnicas para la instalación de antenas, apuntamiento, manipulación correcta de equipos de RF y líneas de transmisión con sus respectivos conectores.
- También se debe considerar las herramientas, accesorios y material necesario para cada uno de los componentes del sistema propuesto. Las herramientas que no pueden faltar serán pues: destornilladores planos y estrella, juego de llaves fijas, llave inglesa, alicates de fuerza y de corte, cinta vulcanizante, taladro, tester Lan, preparador de cables. En cada componente del sistema se irá especificando las herramientas requeridas.

3.2 Diagrama general del sistema propuesto

El diseño propuesto para la distribución de internet en la localidad de Rurrenabaque se muestra en el siguiente gráfico:

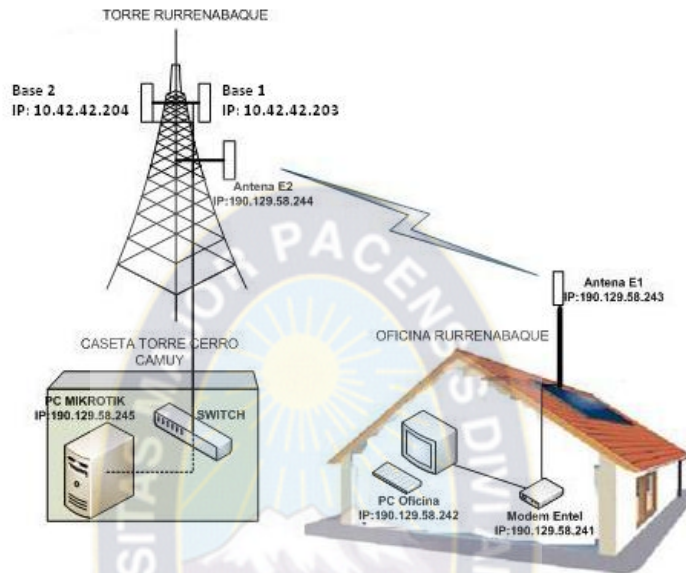


Figura 6 Diseño propuesto (fuente Comsatel)

Según el esquema propuesto, se tienen los siguientes componentes:

- Sistema de protección y aterramiento
- Sistema de energía
- Sistema de gestión y administración
- Sistema de distribución de Internet hacia los usuarios

3.3 Sistema de protección y aterramiento

Los objetivos principales de un sistema de puesta a tierra son las de proveer seguridad al personal y protección de equipo mediante un trayecto de baja resistencia para disipar de manera segura cualquier carga o potencial no deseado, y

un “punto de referencia” aproximadamente igual al potencial de la tierra para equipo sensitivos como los de telecomunicaciones.

Para ser efectivo, un sistema de puesta a tierra debe ser estable y confiable en todas las condiciones ambientales adversas, debe ser libre de mantenimiento, y tener una esperanza de vida larga sin costos recurrentes. Para sistemas de telecomunicaciones, el valor de resistencia a tierra debe ser 5Ω.

Existen diferentes métodos de puesta a tierra para llegar a dicho valor, en este proyecto se empleará varillas verticales de cobre. La resistencia de una varilla se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right)$$

Donde: R_v : Resistencia de una varilla en Ω
ρ : Resistividad del terreno (Ω·m)
L : Longitud de la varilla (m)
r : radio de la varilla en m

Para el aterramiento de nuestro sistema se tiene un tipo de suelo arcilloso, humus con arena y grava, por tanto la resistividad típica del terreno es de 500Ω·m. cada varilla tendrá un diámetro de 5/8 pulgadas y una longitud de 2.4 m, reemplazando en la anterior ecuación tenemos:

$$R_v = \frac{500}{2\pi \cdot 2.4} \left(\ln \left(\frac{4 \cdot 2.4}{7.9375 \cdot 10^{-3}} \right) - 1 \right) = 202.2 \Omega$$

Según la ecuación de sumatoria de resistencias en paralelo, al aumentar un electrodo (el segundo) obtendríamos aproximadamente 101 Ω al aumentar un tercero 67.3 y para llegar a 5 Ω tendríamos que enterrar o clavar 40 electrodos.

$$5\Omega \approx \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_{40}}}$$

Por tanto utilizar este número de electrodos no es factible, entonces se hace necesario utilizar tratamiento químico para llegar a dicho valor de resistencia a tierra.

3.3.1 Aterramiento

El sistema de aterramiento consistirá en instalar un sistema de 3 electrodos o varillas para aterrizar la torre del tipo copperweld, tendrá forma de red rodeará la torre en radio de aproximadamente 1.5 metros y formará un triángulo con los 3 electrodos de cobre de 2,40 metros de longitud, tendrá uno en cada lado, será acoplado a la red de tierra con soldadura exotérmica.



Figura 7 Varilla Copperweld (fuente www.gedisa.com.ve)

Estos electrodos son los elementos que están en íntimo contacto con el suelo (enterrados) y de conductores, utilizados para enlazar a las varillas entre si y a éstos al rack de equipos (caseta de equipos) y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas, manteniendo al mismo tiempo, una superficie equipotencial a su alrededor. La protección externa a través del pararrayos también se unirá a la misma red de tierra. La figura siguiente muestra un esquema del método implementado de tierra para la torre

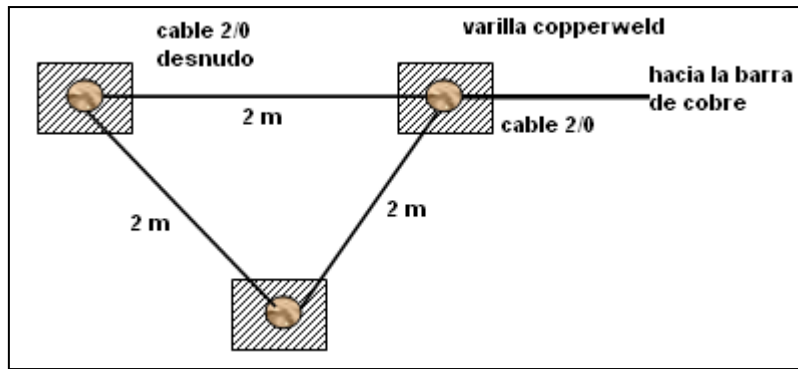


Figura 8 Red de tierra propuesta (diseño propio)

Una vez instalado la red, o anillo así también puede llamarse, se debe conectar a un cable de calibre no mayor al diámetro 6 AWG en cobre en nuestro caso es de 6 AWG el conductor que se suelda al sistema de tierra. Cuando se concluya con el aterrizaje de la torre se procede a conectar en ella el pararrayo.

3.3.2 Instalación de varillas

Para la instalación de las varillas se deberá hacer un foso de suelo artificial cónico de las siguientes características:

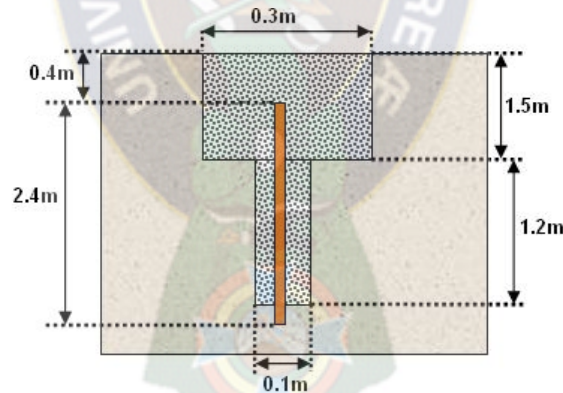


Figura 9 Instalación de varilla de cobre (diseño propio)

- Se deberá abrir una perforación de 0.3 m de diámetro y 1.5 m de profundidad, después una perforación de 0.1 m de diámetro con una profundidad a partir del punto anterior de 1.2 m, como se muestra en la figura. Luego se colocará la varilla enterrándola únicamente los 10 centímetros finales, luego el pozo debe ser relleno con 1 dosis de suelo artificial Hidrosolta en su parte más profunda después de esto el debe ser hidratado suficientemente, en seguida

se adicionará tierra negra comprimiéndola hasta llegar a 0.6 m por debajo de la superficie exterior y se adicionará 1 dosis adicional de suelo artificial Hidrosolta hasta llegar a 0.4 m por debajo de la superficie exterior.

- Las varillas se hincarán en toda su longitud en forma tal que el extremo superior de la varilla quede a 40 cm de profundidad. Los cables de puesta a tierra y los conectores serán limpiados cuidadosamente con cepillo de alambre de acero en sus puntas. No se recomienda limpieza con ácido.

3.3.3 Soldadura exotérmica

Para unir los 3 electrodos a la red se aplicará el proceso de la soldadura exotérmica, es un método de hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre a acero sin requerir ninguna fuente exterior de calor o de energía. En este proceso, se enciende el polvo granular metálico en un molde de alta temperatura. Este proceso de ignición de las partículas (reacción exotérmica) produce una temperatura superior a 1.400 grados centígrados y en consecuencia la liberación de humo localizado.

El metal líquido de cobre fluye en la cavidad de la soldadura, llenando cualquier espacio disponible. Puesta en marcha la ignición el proceso se completa en torno de 30 segundos. La soldadura deberá entonces enfriar y solidificar. Se retira el molde y estará listo para la siguiente soldadura. Las conexiones de soldadura exotérmica producen una unión permanente (o conexión) superior en funcionamiento comparado con cualquier conector mecánico o conector tipo presión superficie-con-superficie. Conexiones de soldadura exotérmicas no liberalizarán ni aumentarán en resistencia sobre la vida de la instalación.



Figura 10 Proceso de soldadura exotérmica (fuente www.gedisa.com.ve)

El conductor de las varillas o electrodos para el sistema de puesta a tierra del proyecto puede llevarse sin ningún empalme y es dimensionado según el mayor calibre requerido para todas las varillas. Este cable es de 2/0 AWG de cobre y será soldado exotérmicamente para poder asegurar su contacto y continuidad en el sistema de conexión. Se debe procurar usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra.

Los conectores de los conductores de la puesta a tierra con las varillas serán del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas y otros medios aprobados, puesto que no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.). Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben ser compatibles con los materiales de los conductores y con las varillas de puesta a tierra, porque deben ser las apropiadas cuando vayan a ser enterradas.

3.3.4 Protección externa

La protección externa de la torre estará compuesta por un pararrayos tipo franklin, el cual deberá ser conectado sólidamente a la estructura de la torre mediante una conexión exotérmica o una conexión electromecánica capaz de soportar los esfuerzos mecánicos y eléctricos de una posible descarga directa a la torre. Deberá soldarse al cable del pararrayos mediante soldadura Cadweld (1 Punto unión simple), se usará cable 1/0 AWG. Dicho cable irá por el interior de los tubos del

soporte. Se debe garantizar que el pararrayos quede ubicado mínimo 3 m arriba de la estructura metálica más alta.



Figura 11 Pararrayos tipo franklin

Según normas todos los cables de comunicaciones deberán estar sólidamente conectados a la estructura de la torre en al menos tres puntos equidistantes durante el recorrido de la torre, sin embargo dado que para este proyecto se usará cable FTP, este tipo de cable incluye protección contra descargas a través de sus conectores RJ-45 blindados y la pantalla del cable, además el adaptador PoE se encuentra conectado a una línea debidamente aterrada.

3.3.5 Consideraciones

En la construcción del sistema de puesta a tierra, debe estar considerada la construcción de las respectivas cámaras de inspección de 30*30*30 cm (ancho, alto, profundidad) con material de concreto, tapa adecuada y con paredes de 2.5 cm de grosor. El número de cámaras dependerá del número de tomas que se realizaran a la malla. En cuanto al tema de mantenimiento, se recomienda instalar una toma de agua potable (válvula terminal) en la o las cámaras de inspección, o de otro modo llegar con algún desagüe, por ejemplo el de un lavamanos, para que en época seca se pueda proporcionar de agua al terreno de la puesta a tierra y se mantengan las buenas características conductivas. Debe tomarse en cuenta que la cámara de inspección tiene como finalidad brindar un punto de acceso a la red de puesta a tierra con tres propósitos:

- Mantener húmedo el terreno donde se ubica la red de tierra: muy importante sobre todo si se ubica debajo de un empedrado, asfaltado, y más importante para la época seca, etc.
- Realizar mediciones de resistencia de tierra: labor que se debe ejecutar al menos 1 o 2 veces al año, de tal modo que, de acuerdo a los resultados se asuma acciones correctivas para lograr el valor de resistencia de tierra deseado.
- Permitir la distribución, para la interconexión del Sistema de Tierra y los equipos a ser protegidos mediante conductores de cobre previstos y otros adicionales en el transcurso del tiempo.

3.4 Sistema de energía

El servicio de energía eléctrica en la región, es suministrado a partir de dos grupos generadores a diesel que proveen de energía al servicio de alumbrado público y domiciliario por 13 horas a partir de las 7 de mañana, la administración esta regentada por la cooperativa SESSA Ltda.

Por tanto la disponibilidad de energía es un factor clave para el correcto funcionamiento del proyecto propuesto. En este sentido se opta por utilizar un sistema UPS (sistema de energía ininterrumpible) entre el sistema de la red pública de distribución de energía y las cargas críticas (equipos de telecomunicaciones). Dicho sistema estará compuesto por un solo módulo UPS cuya capacidad será igual a la proyección de la carga crítica (sistema N)

Para el dimensionamiento de nuestro sistema UPS, tomaremos como datos un tensión de línea de 220 Vac y un factor de potencia $\phi = 0.85$. Las cargas eléctricas son:

EQUIPO	TENSION	CANTIDAD	POTENCIA P/U	TOTAL (W)
Computadora	220	1	300	300
Mikrotik	220	1	300	300
Switch	220	1	120	13.4
RocketM5	220	2	8	16
NanostationM5	220	1	8	8
Aire acondicionado	220	1	2*5HP	7460
Focos ahorradores	220	6	18	108
				8205.4

Tabla 1 Cargas eléctricas del sistema (fuente diseño propio)

Determinamos la capacidad del sistema UPS en KVA's:

$$KVA = P_T / \cos \phi = 8.312KW / \cos 0.85 = 8.31KVA$$

Diagrama de bloques de un UPS:



Figura 12 Diagrama de bloques de un UPS (fuente diseño propio)

Diagrama del sistema eléctrico:

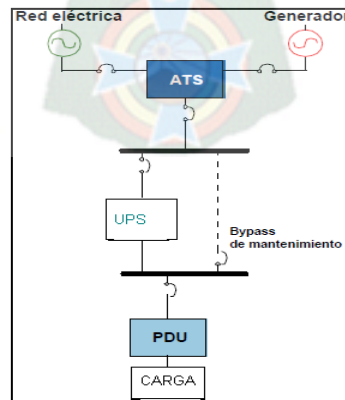


Figura 13 Diagrama del sistema eléctrico (fuente diseño propio)

Donde PDU: Unidad de distribución de energía

STS: Interruptor estático de transferencia

ATS: Interruptor automático de transferencia

La PDU se divide en tres subcomponentes básicos: disyuntores, transformador reductor y terminaciones. El subpanel se evalúa en base a un interruptor principal, un disyuntor para el circuito derivado y terminaciones, todos en serie. El bypass estático permite que la carga se transfiera en forma segura a la red eléctrica si el módulo UPS tiene problemas internos, generalmente se usa cuando se supera la capacidad monofásica (aprox 20 KW), en nuestro caso no será necesario una UPS con esas capacidades.

3.5 Sistema de distribución de internet hacia los usuarios

Según la nota de la ATT BOL24: “La bandas de 5.150 a 5.250 MHz; 5.350 a 5.460 MHz están destinadas a servicios de telecomunicaciones al público en áreas de servicio urbanas o rurales, la banda de 5.470 a 5.725 MHz para aplicaciones de redes privadas cuyo requerimiento de espectro radioeléctrico sea menor o igual a 5 MHz. Distribuidas de la siguiente manera:

Banda de 5.150 a 5.250 Mhz		
Sub Banda	Banda (MHz)	
A	5.150	5.160
B	5.160	5.170
C	5.170	5.180
D	5.180	5.190
E	5.190	5.200
F	5.200	5.210
G	5.210	5.220
H	5.220	5.230
I	5.230	5.240
J	5.240	5.250

Banda de 5.350 a 5.460 MHz		
Sub Banda	Banda (MHz)	
L	5350	5360
M	5360	5370
N	5370	5380
O	5380	5390
P	5390	5400
Q	5400	5410
R	5410	5420
S	5420	5430
T	5430	5440
U	5440	5450
W	5450	5460

Tabla 2 Canalización de frecuencias en las bandas 5.150MHz-5.250MHz y 5.350MHz-5.460MHz (fuente www.att.gob.bo)

Entonces, para el sistema propuesto de distribución de internet inalámbrico se tendrá un ancho de banda de 20 MHz usando las sub-bandas F y G. Dichas sub-bandas deberán ser licitadas según el marco normativo de la ATT. El enlace entre la antena ubicada en el techo de la oficina en rurrenabaque (antena E1) y la antena ubicada en la torre (antena E2) usará la sub-banda S y T. Ambas antenas E1 y E2 son del modelo NanostationM5 del fabricante Ubiquiti Networks, las características de estas antenas son:

Procesador	Atheros MIPS 24KC, 400MHz
Memoria	32MB SDRAM, 8MB Flash
Interface de Red	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet
Aprobaciones Inalámbricas	FCC Part 15.247, IC RS210, CE
Certificación RoHS	Si
TX 11 ^a	Hasta 27 dBm +/-2dB
TX 11n/AirMax	Hasta 27 dBm +/-2dB
RX 11 ^a	Desde -94 dBm +/-2dB
RX 11n/AirMax	Desde -96 dBm +/-2dB
Frecuencia de Operación	5470-5825 MHz
Throughput Máximo	300Mbps
Tecnologías	AIRMAX, TDMA, MIMO 2x2, QoS, VLAN(802.1Q)
Rango máximo de Alcance	Hasta 4km en enlace PtMP
Tamaño de la equipo	29.4cm alto, 3.1cm ancho y 8cm profundidad
Ganancia de antena	16 dBi de doble polaridad
Angulo de Apertura	50°V, 50°H
Peso del equipo	0.4 kg
Características del Case	Para exteriores y Protección UV de Plástico estabilizado
Consumo Máximo	8 Watts
Kit Montaje	Incluye Precinto para Mástil o Torre
Tipo de Energización	Via Power over Ethernet Pasivo (par 4,5+; 7,8-)
Temperatura de Operación	-30C a 75C
Operatividad en Humedad	5 a 95% Sin Condensación

Shock y Vibración	ETSI300-019-1.4
Fuente de Poder	24V, 0.5A POE Fuente incluida
Protección Eléctrica	Tipo ESD, a través de Conector Metálico y cable de descarga

Tabla 3 Características de la antena Nanostation M5 (fuente www.inova.com.bo)

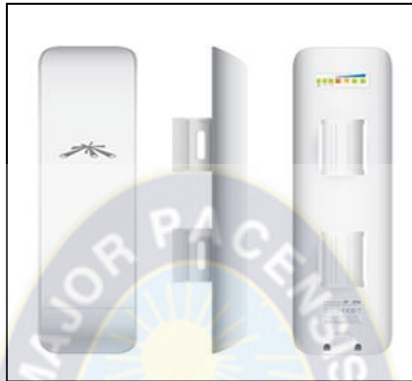


Figura 14 Antena Nanostation M5 (fuente www.inova.com.bo)

Para este enlace punto a punto, las antenas se configurarán de acuerdo a las IP's definidas en la tabla 4.

Según datos del fabricante de las antenas, con un ancho de canal de 20 MHz, es posible transmitir hasta 150 Mbps, que es una velocidad aceptable para nuestro enlace troncal.

3.5.1 Instalación de las antenas transmisoras

Todo el sistema de transmisión hacia el cliente, es instalado en la torre ubicada en el cerro Camuy. Los equipos de recepción se encontrarán en un lugar que provea el cliente cercano a sus equipos de trabajo y con línea de vista directa a la torre donde se encuentran las antenas de Transmisión de la señal de internet.

Para este diseño, tanto los dispositivos de Tx/Rx como de Rx/Tx son las rocket M5 de UBIQUITI NETWORKS, estos dispositivos también son de la línea AirMax y necesitan ser montados junto a una antena sectorial o parabólica, para este caso se hará uso de las antenas Titanium Sector de la línea Airmax, también del fabricante

Ubiquiti. Los equipos rocketM5 se deben conectar a un switch mediante cable FTP para exteriores, este switch se encontrará dentro de la caseta en la torre. El siguiente gráfico muestra el diagrama de la torre donde se instalarán los Rocket M5 y sus antenas respectivas.

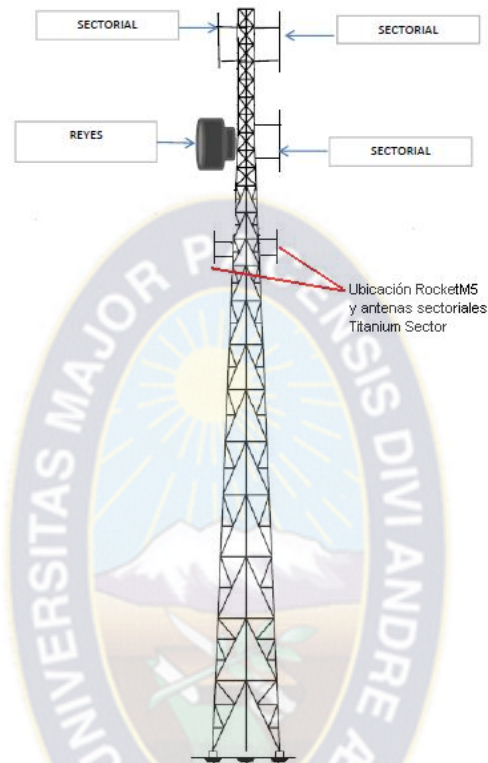


Figura 15 Torre de transmisión (fuente elaboración propia)

Se ha elegido el modelo RocketM5 por sus buenas capacidades en cuanto a cobertura, las características del equipo rocketM5 son:

Sistema

Procesador Atheros MIPS 24KC, 400MHz

Memoria 64MB SDRAM, 8MB Flash

Interface de Red 1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Interface Ethernet

Certificación y conformidad

Certificación: FCC Part 15.247, IC RS210, CE

Conformidad RoHS: SI

Características físicas / eléctricas / ambientales

Tamaño de la Caja: 16cm largo x 8cm ancho x 3cm alto

Peso: 0.5 kg

Conector RF: 2x RPSMA (Resistentes a la Intemperie)

Características de la Caja: Exterior, Plástico UV Estabilizado

Kit de Montaje: Kit de Montaje para mástil incluido

Consumo máximo: 8 Watos, Fuente de Alimentación PoE de 24V, 1A Incluida

Alimentación: Passive Power over Ethernet, PoE Pasivo (pares 4,5+; 7,8 retorno)

Temperatura de funcionamiento: De -30C a 75C

Humedad de funcionamiento: Condensación de 5 a95%

Shock y Vibración: ETSI300-019-1.4



Figura 16 Estación Base Rocket M5 (fuente www.inova.com.bo)

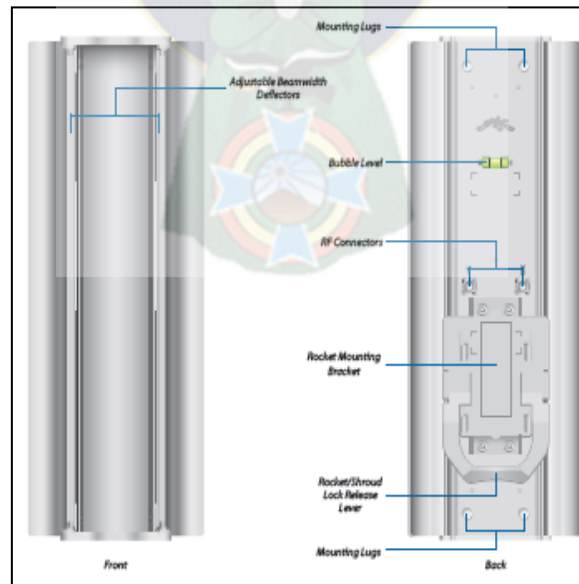


Figura 17 Antena Titanium Sector (fuente www.ubnt.com)

En primera instancia, solo se ve necesario proveer cobertura a ciertas áreas importantes de la región de Rurrenabaque por lo que se montan en la torre 2 antenas a aproximadamente 28[m] de altura apuntando a las regiones donde exista mayor potencialidad de clientes. Estas antenas deben ser separadas angularmente por lo menos 90 grados una de la otra para tener un mejor aprovechamiento de su cobertura. El diagrama de radiación de las antenas Titanium Sector se muestran en los siguientes gráficos.

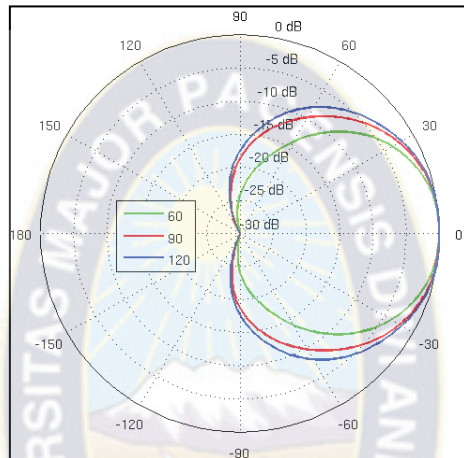


Figura 18 Azimuth vertical (fuente www.ubnt.com)

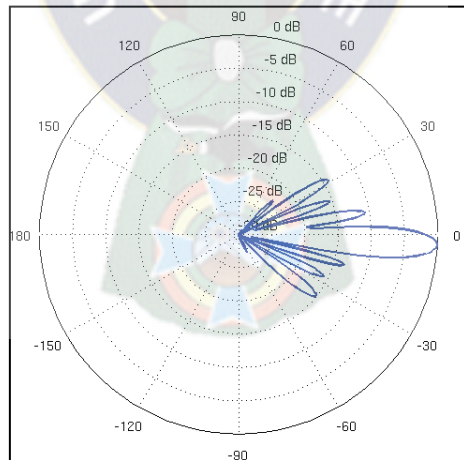


Figura 19 Elevación vertical (fuente www.ubnt.com)

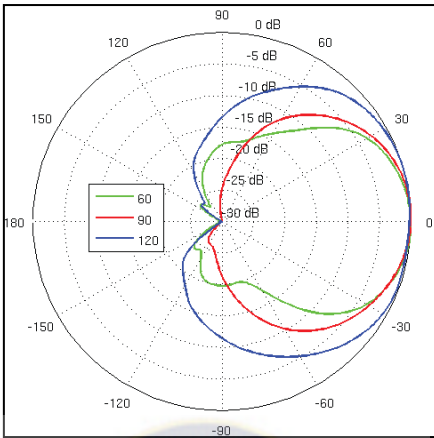


Figura 20 Azimuth horizontal (fuente www.ubnt.com)

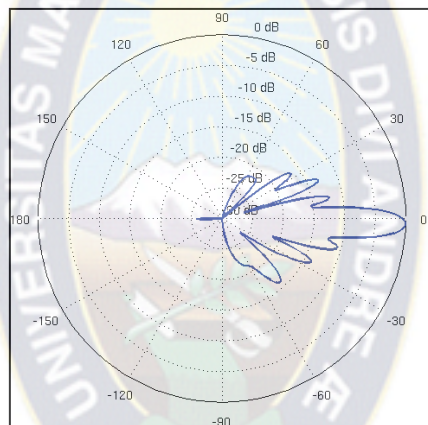


Figura 21 Elevación horizontal (fuente www.ubnt.com)

Para la simulación de la cobertura se utilizará el programa Radiomobile, dado que es un programa de simulación de radiopropagación gratuito para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones, los aspectos más importantes de este programa se muestran en la sección de simulaciones del proyecto.

3.5.2 Instalación en el lado cliente

Según las características del radio, se pueden usar dispositivos dependiendo de su potencia y de su ganancia de antena. Para zonas cercanas e intermedias a las

estaciones transmisoras, podemos optar por las antenas Nanostation M5 de Ubiquiti Networks. Para zonas alejadas se utilizarán antenas Rocket M5, también de Ubiquiti.

Sin embargo podemos optar por usar solamente antenas Nanostation M5, esto dependerá del estudio de cobertura que se realizará través de simulaciones. Además se hace hincapié en los dispositivos M5 (Rocket y Nanostation) ya que estos trabajan en la banda de 5 GHz, esto debido a que la banda de 2,4 GHz se encuentra bastante saturada por la existencia de dispositivos portátiles, smartphones, bluetooth). Los dispositivos M2 trabajan en la banda de 2,4 GHz.

Las antenas Nanostation M5 son de fácil manejo, IP por default, frecuencia de operación entre 5170 – 5875 MHz y tienen una interfaz web de control y protegido por contraseña. Las características se muestran en la tabla 3. La antena del usuario debe instalarse estratégicamente de tal modo que tenga línea de vista directa con la torre y que se encuentre cerca de la terminal a la que se desea dar el servicio. Se recomienda no exceder los 50[m] entre la antena y la terminal. Los diagramas de radiación se muestran en las siguientes gráficas.

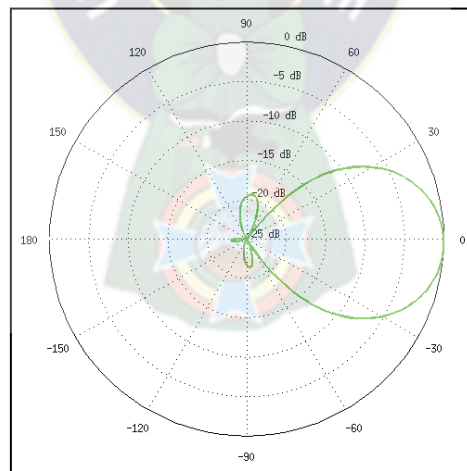


Figura 22 Azimuth Vertical fuente www.ubnt.com)

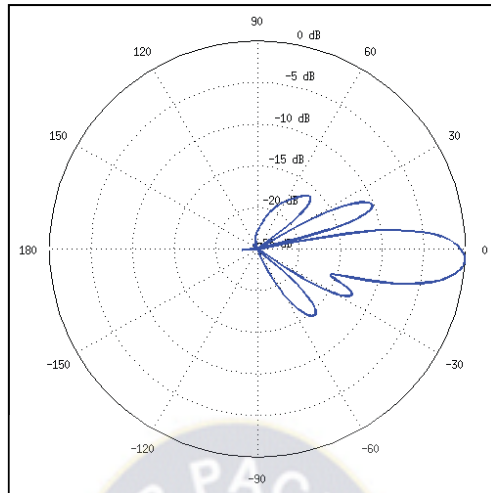


Figura 23 Elevación vertical (fuente www.ubnt.com)

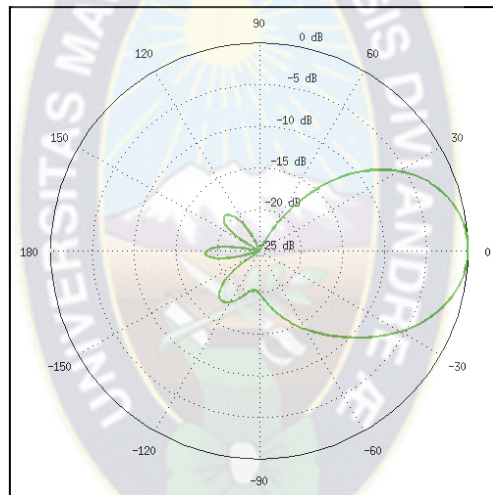


Figura 24 Azimuth horizontal (fuente www.ubnt.com)

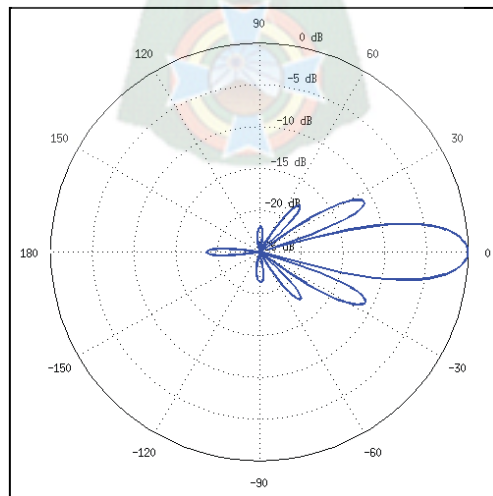


Figura 25 Elevación horizontal (fuente www.ubnt.com)

3.5.3 Adaptadores POE

Los adaptadores POE de las antenas de transmisión y de cliente, son dispositivos que además de alimentarlas, las conectan con los equipos terminales mediante su puerto LAN, deben encontrarse cerca de un tomacorriente. El inyector PoE debe ser tal que provea toma a tierra/protección contra ESD, como los PoE-15 y PoE-24 de Ubiquiti.



Figura 26 Adaptador Poe (fuente www.ubnt.com)

3.5.3.1 Conexión

Las antenas ubicadas en la torre deben estar conectadas desde su salida “MAIN” a la entrada “PoE” del adaptador de la antena que se encuentra dentro de la planta, dicha conexión deberá realizarse con cable FTP con sus respectivos conectores RJ45 en configuración directa. Del mismo adaptador la salida “LAN” debe conectarse mediante cable UTP directo a un puerto del Switch. Estos adaptadores deben estar conectados a una toma de corriente preferentemente regulada.

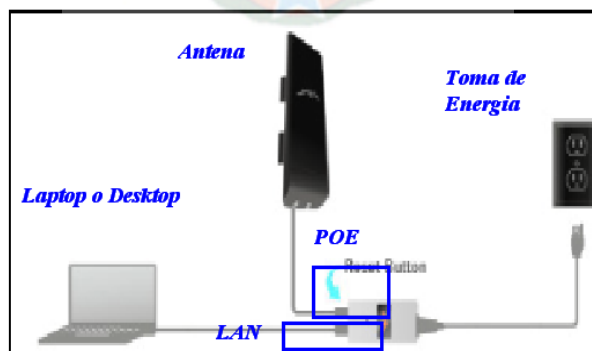


Figura 27 Conexión adaptador-Antena (fuente www.wiki.ubnt.com)

3.5.4 Consideraciones para la instalación correcta de equipos

Cable FTP o STP para exterior (para menos de 30 metros de longitud se puede utilizar el adaptador PoE-15 incluido, cuando la longitud del cable sea mayor a la señalada, deberá utilizar el adaptador PoE-24) con conectores de fábrica. Nunca se debe usar cable UTP para instalaciones de exterior, porque en este caso los dispositivos no estarán protegidos contra ESD). Al instalar los conectores del cable por cuenta propia, entonces necesitaremos lo siguiente:

- Al menos dos conectores RJ45 blindados
- Una herramienta para "crimpar" los conectores RJ45

Cuando se utiliza cable ftp/stp pre-fabricado con conectores rj45 blindados, se deberán seguir los siguientes pasos:

- Instalar el dispositivo (Rocket o Nano M5) en un mástil o torre, usando las amarras plásticas incluidas en la caja. Asegurase que tenga una LOS (línea de visión) perfecta entre los dispositivos que conectará. Esto es válido tanto para enlaces punto a punto, como para enlaces multipunto a punto, ya que es un requisito clave para un enlace inalámbrico sólido y estable.
- Conectar el conector RJ45 blindado al Nano M5 (o al dispositivo respectivo) en el puerto LAN (hembra) del dispositivo. Luego cierre la tapa del Nano.
- Afirme el cable al mástil usando las amarras plásticas, usando una amarra cada 60-90cms.
- Conecte el otro lado del cable (también usando el conector RJ45 blindado) al adaptador PoE en el puerto etiquetado como "POE".
- Conecte un cable UTP o FTP estándar entre su enrutador o switch (conmutador) y el adaptador PoE en el puerto etiquetado como "LAN".
- Finalmente, conecte el cable de poder al adaptador PoE.

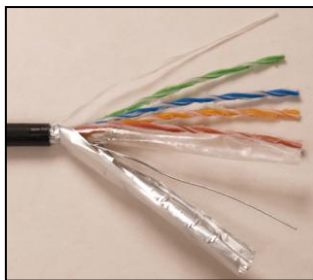


Figura 28 Cable FTP (fuente www.wiki.ubnt.com)



Figura 29 Antena con la tapa abierta (fuente www.wiki.ubnt.com)

3.5.5 Switch

Tanto las antenas transmisoras, el servidor y la PC de la oficina se conectarán a un switch D-Link de 8 puertos 10/100 Base T.

3.6 Sistema de gestión y administración

Esta sección es la encargada de administración y gestión de los usuarios. Para ello el sistema se compone de un Router que también realiza funciones de servidor Firewall. Para los requerimientos del diseño, el Router se basa en la plataforma Router OS v4.17 que será instalada en una PC convencional que mínimamente deberá tener 512 MB de Ram, disco duro de 80 GB, 2 tarjetas Ethernet 10/100 BaseT. Dado la gran robustez que presenta RouterOS v4.17, para los requerimientos del diseño el sistema de gestión y administración nos permitirá realizar las siguientes tareas:

- Habilitación o deshabilitación de usuarios
- Agregar usuarios
- Administración de conexiones
- Administración de ancho de banda por usuario
- Filtrado de tráfico
- NAT
- Firewall
- Estadísticas de tráfico
- Seguridad de las conexiones

3.6.1 Direccionamiento IP

El rango de IP's públicos asignados por ENTEL es de 190.129.58.241/29 a 190.129.58.246/29. La asignación es como se muestra a continuación:

IP	Máscara	Gateway	DNS Principal	Descripción
190.129.58.241	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Modem Entel
190.129.58.242	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Computadora Oficina
190.129.58.243	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Antena E1 Ubicada en el techo
190.129.58.244	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Antena E2 Ubicada en Torre
190.129.58.245	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Router mikrotik
190.129.58.246	255.255.255.248	190.129.58.241	200.87.100.10	Libre

Tabla 4 Direcciones IP públicas (fuente elaboración propia)

Para la distribución de la señal de internet, tanto las antenas transmisoras como las antenas de usuarios se encuentran en la misma red local, para este diseño se considera la red 10.42.42.0/24 tal como se muestra en la siguiente tabla.

IP	Máscara	Gateway	DNS Principal	Descripción
10.42.42.203	255.255.255.0	10.42.42.1	10.42.42.1	Base 1 Rurrenabaque
10.42.42.204	255.255.255.0	10.42.42.1	10.42.42.1	Base 2 Rurrenabaque
10.42.42.253	255.255.255.0	10.42.42.1	10.42.42.1	Enlace Rurrenabaque

Tabla 5 Direccionamiento local (fuente elaboración propia)

3.6.2 Instalación del software Mikrotik RouterOS

En primer lugar, es necesario descargar el ISO de MikroTik, en este caso será la versión 4.17 que se la puede descargar directamente desde mikrotik.com. Una vez que se tenga el ISO hay grabarlo en un CD, el programa para hacerlo puede ser el Nero. El paso siguiente es configurar el PC para que inicie del CD, si es que no está configurado así. Una vez que el CD inicie mostrará una pantalla para elegir qué paquetes instalar.

```

Welcome to MikroTik Router Software installation

Move around menu using 'p' and 'n' or arrow keys, select with 'spacebar'.
Select all with 'a', minimum with 'm'. Press 'i' to install locally or 'q' to
cancel and reboot.

[X] system          [ ] ip06           [ ] routerboard
[X] ppp             [ ] isdn          [X] routing
[X] dhcp           [ ] kvm           [X] security
[X] advanced-tools [ ] lcd           [ ] synchronous
[ ] arlan          [ ] mpls          [ ] ups
[ ] calea          [ ] multicast     [ ] user-manager
[ ] gps            [ ] ntp           [X] wireless
[X] hotspot        [ ] radiolan     [ ] wireless-nv2

system (depends on nothing):
Main package with basic services and drivers

```

Figura 30 Selección de paquetes para la instalación (fuente elaboración propia)

Con las teclas direccionales nos colocaremos encima del paquete que queremos instalar, y con ayuda de la barra espaciadora los seleccionaremos. Los paquetes que

se instalarán son system, ppp, dhcp, advanced-tools, hotspot, multicast, ntp, radiolan, router board, routing, security, user-manager y wireless. Una vez que los paquetes estén seleccionados, presionaremos la tecla 'i' para empezar con la instalación de MikroTik RouterOS en el disco duro. En el proceso nos aparecerán los siguientes mensajes:

Warning: all data in the disk will be erased! Continue? [y/n]:

Presionamos la tecla 'y' para que empiece a particionar y formatear el disco o unidad de almacenamiento. Una vez que el disco duro esté particionado y formateado, los paquetes seleccionados se instalarán automáticamente y al finalizar tendremos el mensaje:

Software installed

Press ENTER to reboot

Ya en este punto hay que retirar el CD de instalación y presionar la tecla 'enter' para que el PC reinicie y el sistema cargue directamente del disco duro. Tendremos los siguiente:

*It is recommended to check your disk drive for errors,
but it may take a while (~1min for 1Gb).*

It can be done later with "/system check-disk".

Do you want to do it now? [y/N]

Presionaremos la tecla 'n' para evitar la comprobación de disco. Una vez hecho esto tendremos la pantalla de login de MikroTik, donde el usuario ó login y password por defecto son:

Login: admin

Password:

En este momento no se tiene aún el password configurado.

3.6.3 Configuración del Router Mikrotik

Para configurar el Router debemos conectarnos a él a través del programa cliente Winbox o mediante Telnet.

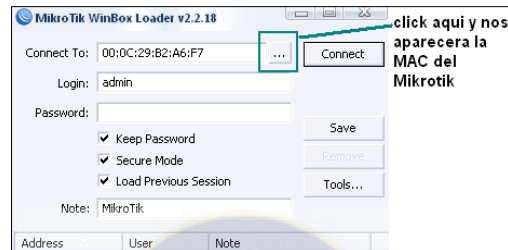


Figura 31 Conexión mediante winbox (fuente elaboración propia)

Sin embargo para la configuración del Router se hará mediante comandos. Una vez logueados en el sistema nos saldrá una ventana como esta:

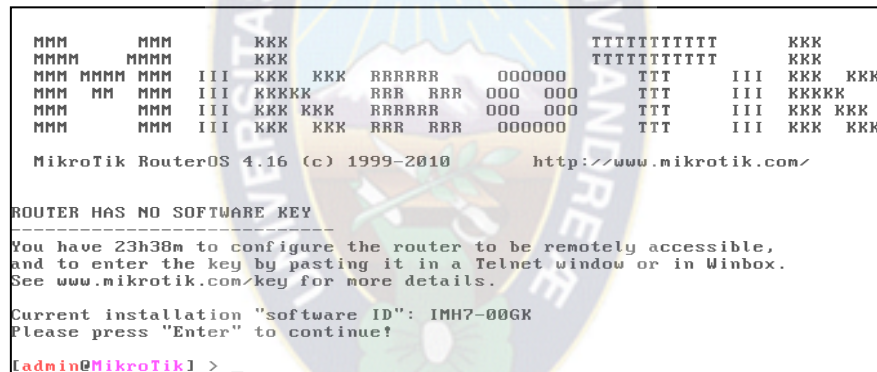


Figura 32 Ventana de comandos del mikrotik (fuente elaboración propia)

Los comandos necesarios para la configuración de nuestro Router se detallan a continuación. Como primera medida, se tiene que ver en qué estado están las interfaces, pues pueden estar deshabilitadas:

```
[admin@MikroTik] > int
```

```
[admin@MikroTik] interface> pr
```

Flags: X - disabled, D - dynamic, R - running

#	NAME	TYPE	RX-RATE	TX-RATE	MTU
0	R ether1	ether	0	0	1500
1	X ether2	ether	0	0	1500

```
[admin@MikroTik] interface>
```

Debemos asignar las Ip a cada interface:

```
[admin@MikroTik] > ip
[admin@MikroTik] ip> add
[admin@MikroTik] ip address> add address 10.42.42.1/24 interface ether2
[admin@MikroTik] ip address> add address 190.129.58.242/24 interface ether1
```

Creamos el default Gateway:

```
[admin@MikroTik] > ip
[admin@MikroTik] ip> route
[admin@MikroTik] ip route> add dst-address 0.0.0.0/0 gateway 190.129.58.241
```

Una vez realizado esto, ya deberiamos poder hacer un ping desde el router a cualquier Ip de internet.

También tenemos que crear el NAT para poder compartir internet en la red interna y que las mismas puedan navegar.

```
[admin@MikroTik] > ip
[admin@MikroTik] ip> fir
[admin@MikroTik] ip firewall> nat
[admin@MikroTik] ip firewall nat>
[admin@MikroTik] ip firewall nat> add chain=srcnat out-interf=ether2 action=masquerade
[admin@MikroTik] ip firewall nat> pr
Flags: X - disabled, I - invalid, D - dynamic
0 chain=srcnat out-interface=ether2 action=masquerade
[admin@MikroTik] ip firewall nat>
```

Configuramos el servicio de cache DNS:

```
[admin@MikroTik] ip> ..
[admin@MikroTik] > ip
[admin@MikroTik] ip> dns
[admin@MikroTik] ip dns> pr
```

```
primary-dns: 0.0.0.0
secondary-dns: 0.0.0.0
allow-remote-requests: no
  cache-size: 2048KiB
cache-max-ttl: 1w
  cache-used: 16KiB
```

Ahora debemos colocar las ip de nuestro proveedor

```
[admin@MikroTik] ip dns> set primary-dns=200.87.100.10 secondary-dns=200.87.100.40 allow-remote=yes
```

```
[admin@MikroTik] ip dns> pr
  primary-dns: 200.87.100.10
  secondary-dns: 200.87.100.40
allow-remote-requests: yes
  cache-size: 2048KiB
  cache-max-ttl: 1w
  cache-used: 16KiB
```

```
[admin@MikroTik] ip dns>
```

3.6.4 Configuración de las antenas transmisoras

Primeramente antes de comenzar las configuraciones respectivas, se debe deben realizar las conexiones descritas en la figura 21 (adaptador POE-conexión). Una vez hechas estas conexiones, se procede a conectar una PC o Laptop mediante cable UTP al puerto con el nombre LAN de la fuente de la antena (PoE), luego conectamos la antena mediante el puerto Main al puerto con el nombre POE en la fuente de la antena y finalmente conectamos la fuente de la antena a la toma de energía. Luego procedemos a ingresar a la antena. Abrimos un navegador en la PC o Laptop que puede ser Internet Explorer, Google Chrome, en sección correspondiente a la URL escribimos 192.168.1.2, que es la dirección IP de configuración de fábrica por defecto de la antena. Luego nos aparecerá una ventana más pequeña pidiéndonos un USER y un PASSWORD, que son los siguientes por defecto:

USER o LOGIN: ubnt PASSWORD: ubnt

Enseguida aparece una interfaz Web que presenta la siguiente apariencia:

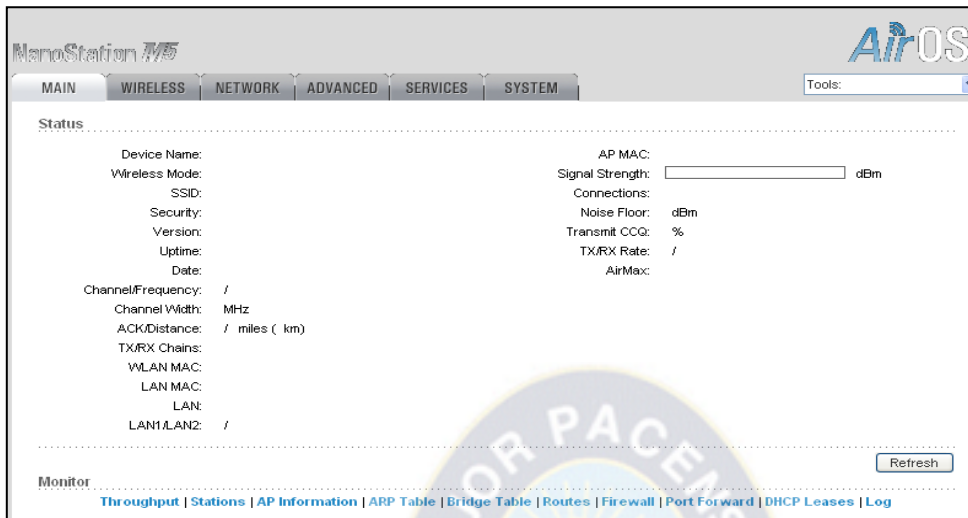


Figura 33 Pagina principal de la antena Ubiquiti nanostation M5 (fuente www.ubnt.com)

Para efectos de configuración del sistema propuesto, sólo nos interesan las pestañas Main, Wireless y Network. Las antenas de transmisión se configurarán en modo Access Point, para lo cual ingresamos a Wireless, donde realizamos lo siguiente:

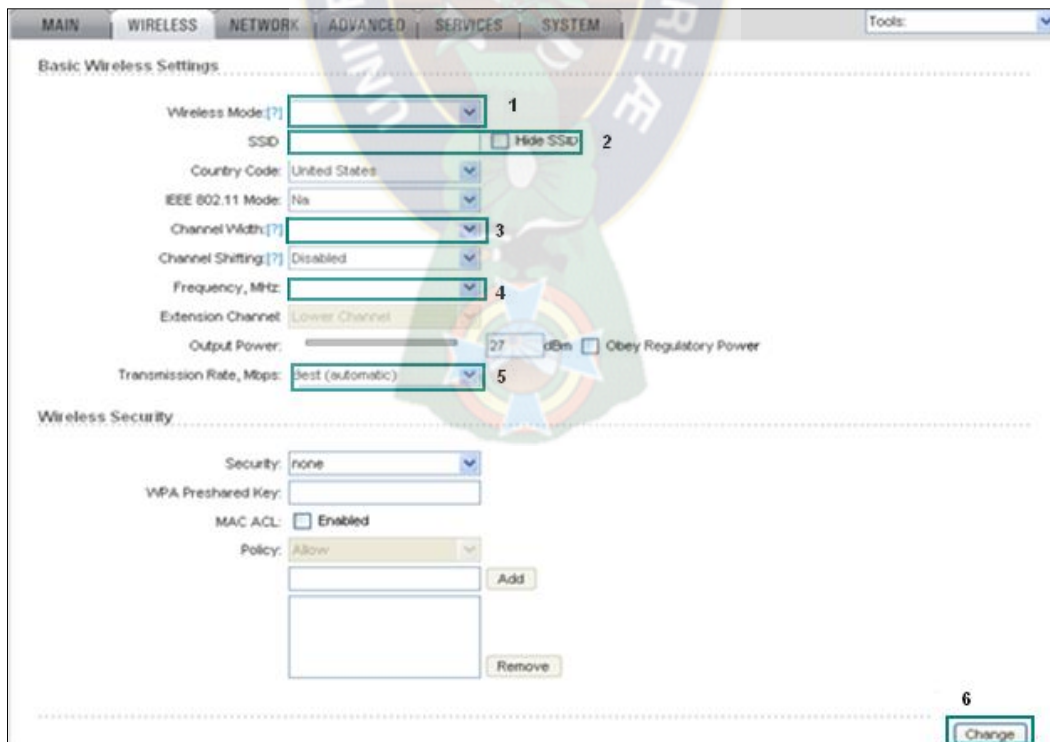


Figura 34 Ventana de configuración en la opción Wireless (fuente www.wiki.ubnt.com)

(1) Wireless mode: Escogiendo mediante la pestaña la opción access point, al escoger este modo la antena funciona como un emisor de señal hacia las estaciones cliente.

(2) SSID: en este campo llenamos el nombre que le vamos a dar a nuestro access point (Base 1 y Base 2).

(3) Channel width: en este campo seleccionamos el canal adecuado para nuestro Access Point.

(4) Frequency, MHz: seleccionamos la frecuencia adecuada de trabajo de nuestro Access Point.

(5) Transmission rate Mbps: seleccionamos por defecto "Best (automatic)".

(6) Change: Finalmente para guardar la configuración presionamos y aceptamos el cambio de configuración.

Seguidamente vamos a la pestaña Network donde realizamos la configuración de red para nuestra antena Access Point:

(1) Network mode: en esta opción escogemos la opción Bridge

(2) Bridge ip address: escogemos la opción Static

(3) Ip address, netmask, gateway Ip y primary dns Ip: llenamos estos campos con los IP's correspondientes a nuestra red que tengamos configurada previamente.

(4) Change: Click y aceptamos el cambio de configuración.

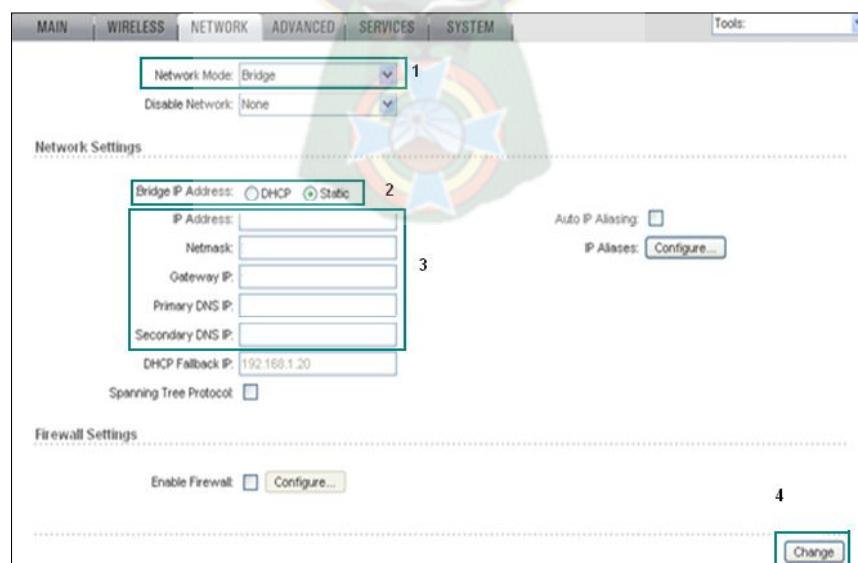


Figura 35 Ventana de configuración en la opción Network (fuente www.wiki.ubnt.com)

Finalmente para verificar si nuestra configuración está funcionando nos vamos a la pestaña Main, donde se describe y aparecen todos los cambios realizados en la antena Nanostation M5 en resumen.



Figura 36 Ventana Main (fuente www.wiki.ubnt.com)

Cabe notar que el número MAC tanto de las antenas transmisoras como de usuario se deben ingresar previamente a la tabla ARP en el Router Mikrotik para que la antena pueda ser activada y aceptada dentro del sistema de internet.

3.6.5 Configuración de las antenas del lado usuario

Para la configuración de las antenas de usuario, se la realiza en modo Station, para ello nos vamos a la pestaña Wireless y realizamos lo siguiente:

- (1) **Wireless Mode:** escogiendo mediante la pestaña la opción STATION (al escoger este modo la antena funciona como un receptor de señal; es decir recibe la señal de internet que proviene del Access Point correspondiente).
- (2) **ESSID:** en este campo seleccionamos mediante Select la base de la torre a la cual nos vamos a conectar, es decir nos “engancharemos” a la base que tenga la mejor señal en el lugar del usuario.
- (3) **Channel width:** en este campo seleccionamos el canal adecuado para nuestra conexión.
- (4) **Transmission rate Mbps:** seleccionamos por defecto Best (automatic).

(5) Change: para guardar la configuración y aceptamos el cambio de configuración.

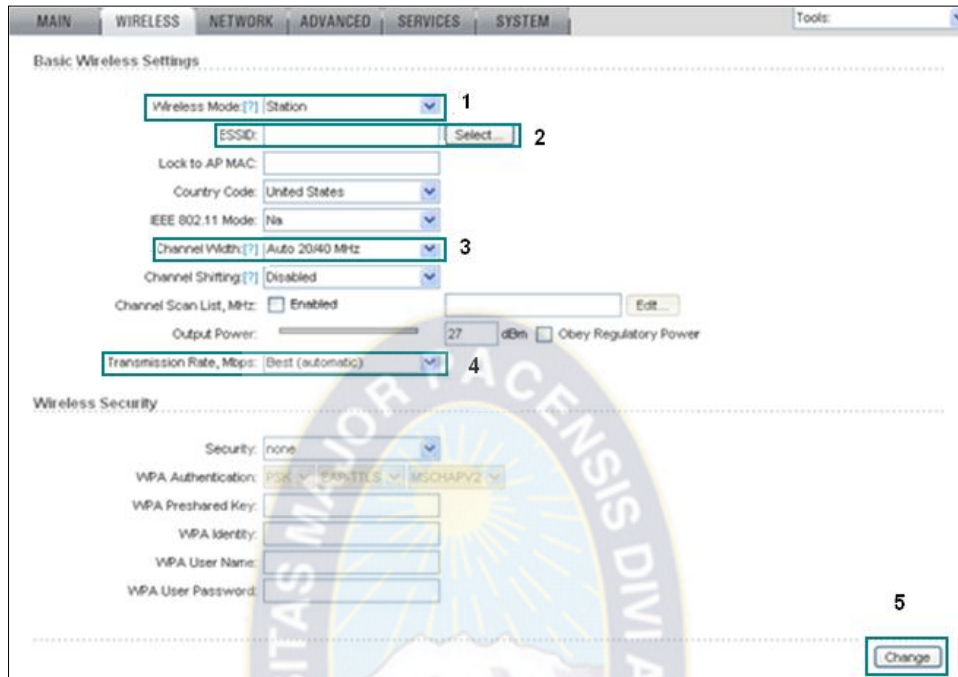


Figura 37 Vista de configuración Wireless en la estación cliente (fuente www.wiki.ubnt.com)

Luego procedemos con la configuración en la pestaña Network, para lo cual realizamos lo siguiente:

- (1) Network mode: escogemos la opción Router para poder realizar una configuración similar a la de un Proxy en la CPU del cliente.
- (2) Wlan Ip address: escogemos la opción Static para poner en funcionamiento nuestro servicio Proxy.
- (3) Ip address, netmask, gateway Ip y primary dns Ip: llenamos estos campos de acuerdo a los parámetros asignados a nuestra antena por el Mikrotik previamente.

Ahora completamos la configuración proxy colocando:

- (4) Ip address, netmask
- (5) Enable NAT y Enable DHCP Server

(6) Colocamos el rango de IP tanto inicial como final además de la máscara correspondiente que nosotros escojamos.

(7) Ahora activamos nuestro servicio proxy, haciendo click en el cuadro de Enable DNS Proxy.

(8) Finalmente presionamos Change y damos click en el botón Aceptar los cambios de configuración.

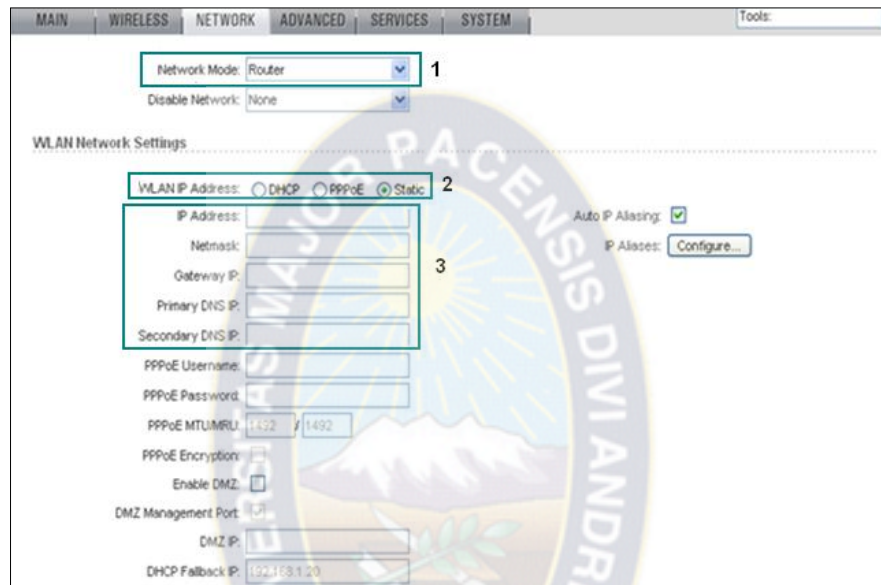


Figura 38 Ventana de configuración Network en la estación del cliente (fuente www.wiki.ubnt.com)

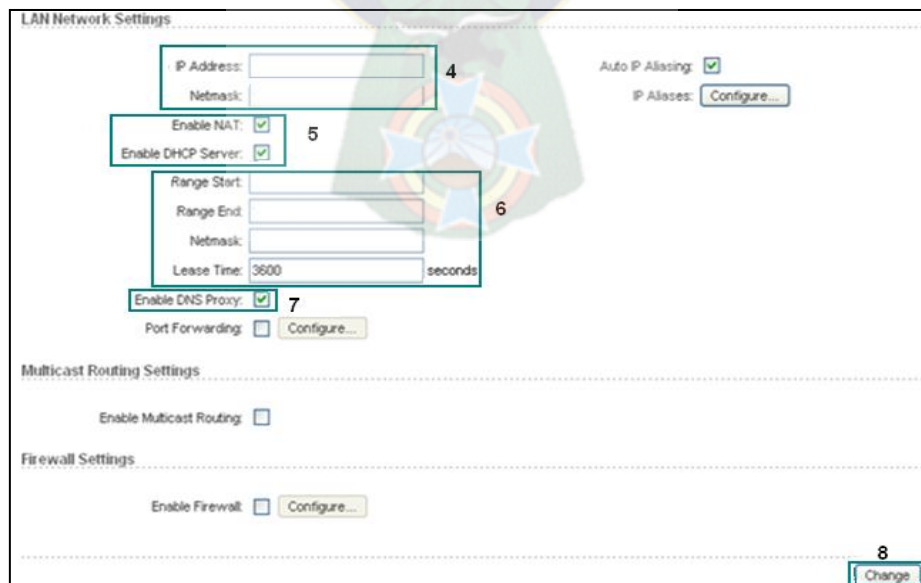


Figura 39 Ventana de configuración Proxy (fuente www.wiki.ubnt.com)

Finalmente para verificar si nuestra configuración está funcionando nos vamos a la pestaña Main, en esta ventana se describe y detallan todos los cambios realizados en la antena Nanostation M5 y la respuesta de señal en las opciones de AIRMAX QUALITY y AIRMAX CAPACITY con el porcentaje respectivo en el lado derecho de las gráficas.

3.6.6 Configuraciones de antenas y usuario en el Sistema de gestión

Para las configuraciones de las antenas y de usuarios, se utilizará la interfaz gráfica a la cual accedemos a través del programa Winbox. Una vez logueados correctamente y tengamos acceso al MIKROTIK, debe aparecer una ventana como la que se muestra:



Figura 40 Interfaz gráfica del Router Mikrotik (fuente elaboración propia)

Inicialmente se utiliza la opción de **Queues** en la parte izquierda de la ventana principal, para poder administrar tanto las interfaces del router como a los usuarios dentro del sistema de internet, luego se selecciona el icono “+” icono para agregar a nuevo usuario, deberá aparecer algo así:

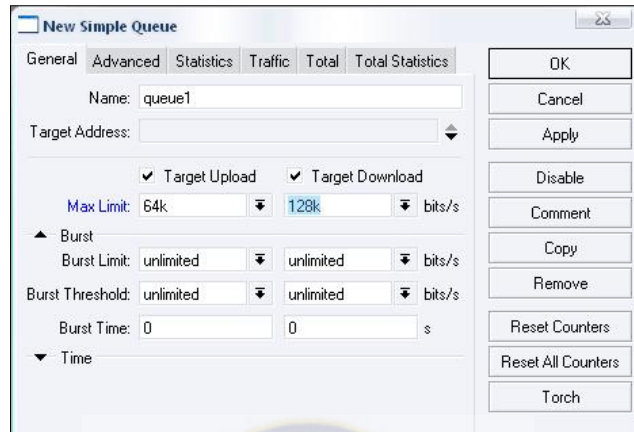


Figura 41 Configuraciones de usuario (fuente elaboración propia)

Donde debemos realizar lo siguiente:

En **Name** se llena el nombre que se le va a dar al cliente o a la antena. En **Target Address** se llena el numero IP que se va a designar al cliente. Para las antenas se debe colocar la IP correspondiente según el direccionamiento local mostrado en la tabla 3

En **Target Upload** se llena la velocidad máxima de subida en orden de (Kbps). En **Target Download** se llena la velocidad máxima de bajada en orden de (Kbps). Y finalmente **Apply** y **OK**, y el nuevo usuario estará incluido en el **QUEUES LIST**. Ahora se debe habilitar la **MAC** en la tabla **ARP** para la activación respectiva de la antena.

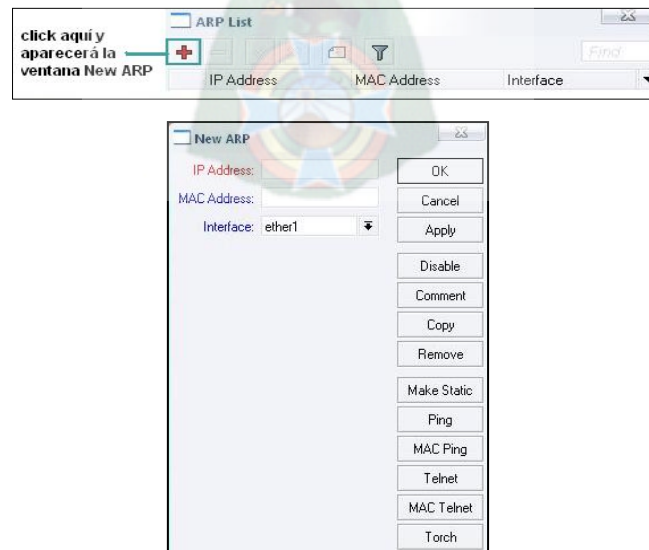


Figura 42 Venta de la lista ARP (fuente elaboración propia)

Donde debemos realizar lo siguiente:

Hacemos click en el símbolo “+” y nos aparecerá la ventana **New ARP** en donde se debe llenar los datos de la antena que se va activar: **IP Address** donde colocamos el numero IP correspondiente, en **MAC Address** colocamos la MAC y en **Interface** escogemos la interface del Mikrotik correspondiente a la red interna.

En la barra del Queue List existen 2 iconos:

- Este icono se denomina **ENABLE**, y cuando se lo presiona habilita al usuario seleccionado.
- Este icono se denomina **DISABLE**, y cuando se lo presiona deshabilita al usuario seleccionado.



4.1 Software Radiomobile

Para la simulación de la cobertura de las antenas transmisoras se utiliza el software radiomobile. Este programa trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice. Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo. Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

Para la simulación se han descargado los ficheros SRTM de la región de interés, también se ha descargado el mapa de la localidad de Rurrenabaque, el cual puede combinarse con el mapa de elevaciones para poder tener una mejor vista de la cobertura de nuestra simulación.

Para obtener la cobertura de las bases transmisoras, se tienen enlaces hacia tres usuarios remotos denominados CPE1, CPE2 y CPE3.

El usuario CPE1 se encuentra con su antena apuntando hacia la antena Base 1. El usuario CPE2 se encuentra con su antena apuntado hacia la antena Base 2 y el usuario CPE3 se encuentra en el aeropuerto de Rurrenabaque, donde se podrá verificar en las simulaciones respectivas que no existe cobertura hacia este lugar.

4.2 Cobertura Base 1



Figura 43 Cobertura de la base 1 (fuente elaboración propia)

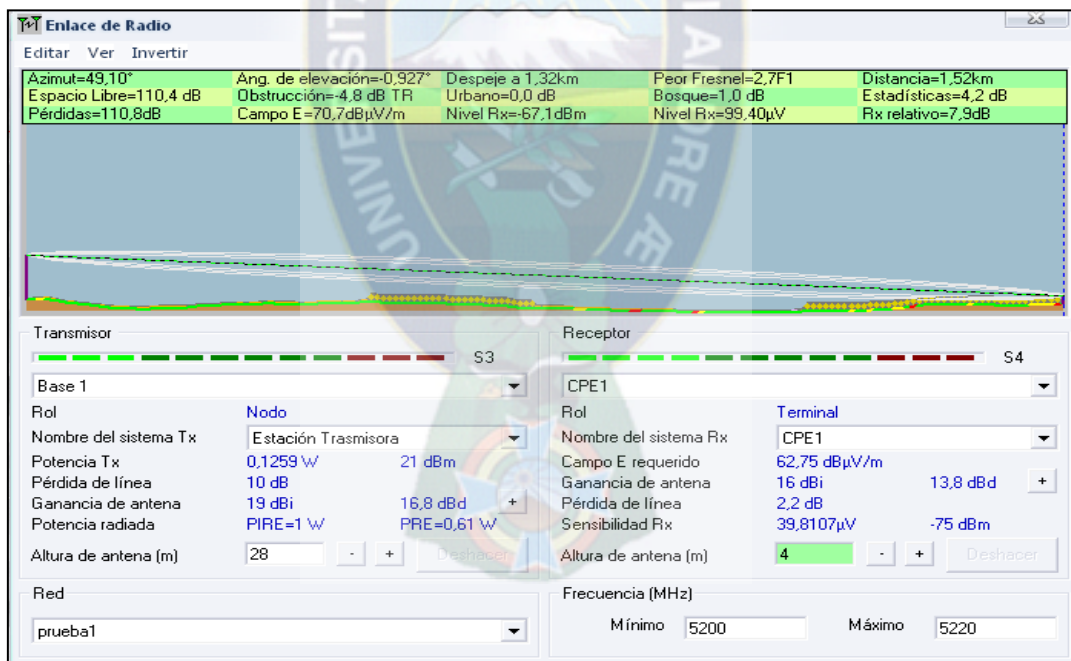


Figura 44 Enlace Base1-CPE1 (fuente elaboración propia)

Resultados:

La distancia entre Base 1 y CPE1 es 1,5 km (0,9 miles)

Azimet norte verdadero = 49,10°, Azimet Norte Magnético = 57,16°,

Angulo de elevación = -0,9265°

Variación de altitud de 12,0 m

El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,7F1 a 1,3km

La frecuencia promedio es 5210,000 MHz

Espacio Libre = 110,4 dB, Obstrucción = -4,8 dB TR, Urbano = 0,0 dB,

Bosque = 1,0 dB, Estadísticas = 4,2 dB

La pérdida de propagación total es 110,8 dB

Ganancia del sistema de Base 1 a CPE1 es de 118,8 dB (ant a 49,1° ganancia = 19,0 dB)

Ganancia del sistema de CPE1 a Base 1 es de 117,8 dB (ant a 229,1° ganancia = 16,0 dB)

Peor recepción es 7,0 dB sobre el señal requerida a encontrar

50,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Con los resultados de las simulaciones se puede ver que la antena Base1 no tiene cobertura para el usuario CPE2 ni para el usuario CPE3, por tanto se hace necesario ubicar la antena Base 2 para que dé cobertura hacia la zona donde se encuentra la Iglesia.

4.3 Cobertura Base 2:

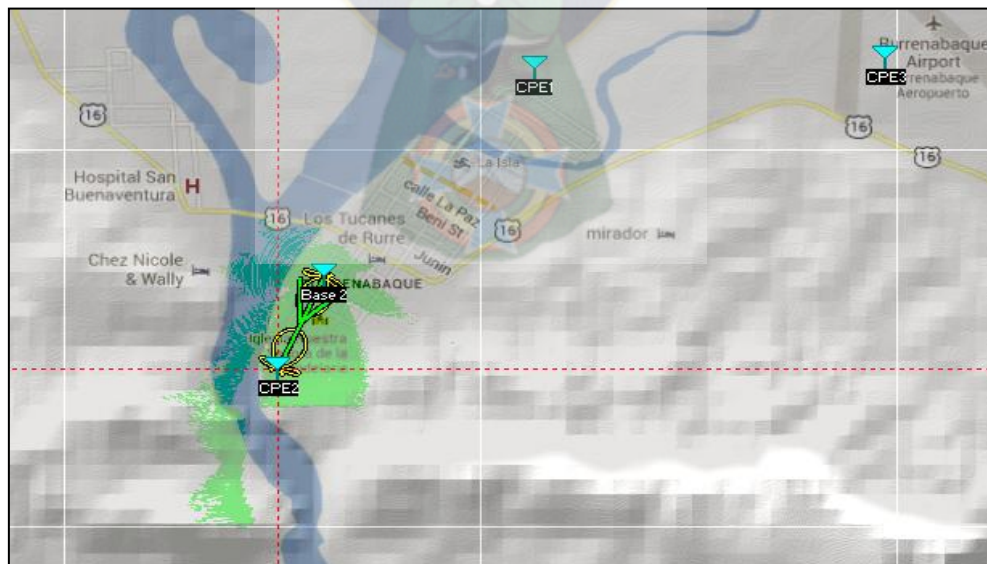


Figura 45 Cobertura base 2 (fuente elaboración propia)

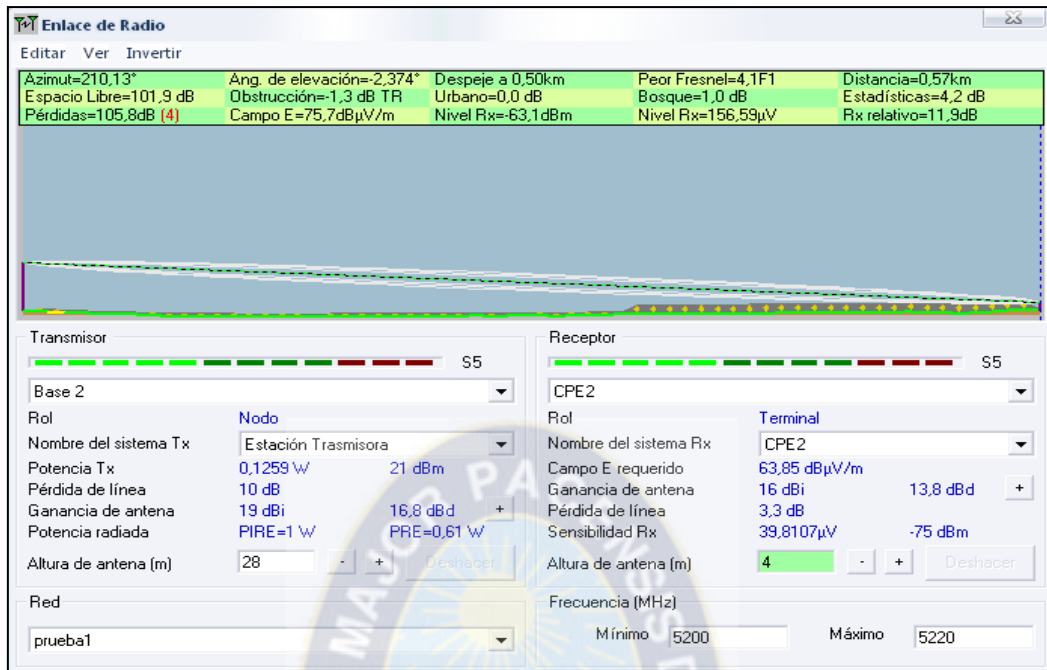


Figura 46 Enlace Base2-CPE2 (fuente elaboración propia)

Resultados:

La distancia entre Base 2 y CPE2 es 0,6 km (0,4 miles)

Azimut norte verdadero = 210,13°, Azimut Norte Magnético = 218,19°, Angulo de elevación = -2,3738°

Variación de altitud de 9,4 m

El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 4,1F1 a 0,5km

La frecuencia promedio es 5210,000 MHz

Espacio Libre = 101,9 dB, Obstrucción = -1,3 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 1,0 dB, Estadísticas = 4,2 dB

La pérdida de propagación total es 105,8 dB

Ganancia del sistema de Base 2 a CPE2 es de 117,7 dB (ant a 210,1° ganancia = 19,0 dB)

Ganancia del sistema de CPE2 a Base 2 es de 116,7 dB (ant a 30,1° ganancia = 16,0 dB)

Peor recepción es 10,9 dB sobre el señal requerida a encontrar

50,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

4.4 Enlace Torre – Aeropuerto Rurrenabaque

Analizando las simulaciones se puede ver que no existe cobertura hacia el aeropuerto de Rurrenabaque, por tanto se hace la simulación de un enlace punto a punto para poder dar cobertura a este lugar.

Se utilizan los mismos equipos Rocket M5 de las bases 1 y 2, pero a diferencia de estos se coloca junto a una antena parabólica RocketDish de 648 mm de diámetro. Para los cálculos se hará uso del modelo de propagación de espacio libre. El enlace trabaja a la frecuencia de 5235 MHz en la banda de 5150 a 5250 MHz (sub-banda I)

Coordenadas geográficas:

Sitio 1 (Torre cerro camuy)

Latitud: 14°26'30.3" S Longitud: 67°31'48.6" O

Sitio 2 (Aeropuerto Rurrenabaque)

Latitud: 14°25'46.3" S Longitud: 67°30'2.1" O

Distancia del enlace

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_T}{360^\circ} \cdot \cos^{-1} \left\{ \sin \phi_1 \cdot \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \cos |\theta_1 - \theta_2| \right\}$$

En donde: d = Distancia entre el sitio 1 y sitio 2

R_T = 6378.16 Km. (Radio de la tierra)

ϕ_1 y ϕ_2 = Latitudes de cada estación

θ_1 y θ_2 = Longitudes de cada estación

$$d(Km) = \frac{2\pi * 6378.16}{360} \cos^{-1} \{ \sin(-14.442) \sin(-14.429) \\ + \cos(-14.442) \cos(-14.429) \cos|-67.53 + 67.5| \}$$

$$d = 3.47 Km$$

Atenuación de trayectoria

$$L_p = 92.4 + 20 \log d + 20 \log f$$

Donde:

L_p = Pérdida de trayectoria de espacio libre (dB)

d = Distancia en kilómetros

f = Frecuencia en GHz

$$L_p (dB) = 92.4 + 20 \log 3.47 + 20 \log 5.235$$

$$L_p (dB) = 117.58 \text{ dB}$$

Ganancia de una antena (parabólica)

$$G_A = 10 * \log \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

Para $\eta=55\%$, $D=648\text{mm}$ y $f=5.235\text{GHz}$ tenemos:

$$G_A (dBi) = 10 * \log 0.55 \left(\frac{3.1416 * 0.648}{\frac{3 * 10^8}{5.235 * 10^9}} \right)^2$$

$$G_A = 28.4 \text{ dBi}$$

Atenuación en la línea de transmisión (Feeder)

A_f = Estación central L_{tx} + estación periférica L_{rx}

$$A_f = 11 \text{ dB} + 4.4 \text{ dB} = 15.4 \text{ dB}$$

Pérdida neta del trayecto

$$P_n = L_p + A_f + A_v - G_A$$

P_n = Pérdida neta del trayecto (dB)

L_p = Pérdida de trayectoria de espacio libre (dB)

A_f = Pérdida total en las líneas de transmisión (dB)

A_v = Atenuación de varios (dB)

G_A = Ganancia total de las antena (dB)

$$P_n = 117.58 + 15.4 + 2 - 28.4 - 28.4 = 78.18 \text{ dB}$$

Margen de desvanecimiento

$$F_m = 30 \log_{10} d + 10 \log_{10} (6 \cdot a \cdot b \cdot f) - \log_{10}(1 - R_n) - 70$$

Para una confiabilidad de 99.9%, $a=1$ (terreno con irregularidades) y $b= \frac{1}{2}$ (zonas calurosas y húmedas) tenemos:

$$F_m = 30 \log 3.47 + 10 \log(6 * 1 * 0.5 * 5.235) - \log(1 - 0.999) - 70$$

$$F_m = -38.83 \text{ dB}$$

Ganancia del sistema

$$G_s = F_m + P_n$$

$$G_s = -38.83 + 78.18 = 39.35 \text{ dB}$$

Potencia de recepción

$$P_{rx} = P_{tx} - P_n$$

P_{rx} = Intensidad de señal en el receptor (dBm)

P_{tx} = Intensidad de señal del transmisor (dBm)

P_n = Pérdida neta del trayecto (dB)

$$P_{rx} = 21 - 78.18 = -57.18 \text{ dBm}$$

Potencia mínima de recepción (Umbral del receptor)

$$C_{min} = P_{tx} - G_s = 21 \text{ dBm} - 39.35 \text{ dB} = -18.35 \text{ dBm}$$

Factor K

Factor de corrección de la curvatura de la tierra: $K=4/3$

Zonas de Fresnel

La primera zona de fresnel es un elipsoide de revolución entre el Tx y Rx , en la cual una reflexión puede producir una señal de adición.

$$F_1(m) = 17.35 \sqrt{\frac{d_1(Km) * d_2(Km)}{f(GHz) * D(Km)}}$$

Donde: F_1 = radio de la primera zona de Fresnel (en metros)
 d_1 = distancia desde la antena al punto de reflexión (en Km.)
 D = distancia desde la antena 1 a la antena 2 (en Km.)
 $d_2 = D - d_1$
 f = frecuencia en GHz

$$F_1 = 17.35 \sqrt{\frac{2.7 * 0.77}{5.230 * 3.47}} = 5.87 \text{ m}$$

$$F_n = F_1 \sqrt{n}$$

Donde: $F_n = n^{\text{ésimo}}$ radio de la zona de Fresnel
 $F_1 = 1^{\text{er}}$ radio de la zona de Fresnel
 n = número de zona de Fresnel

Nota: n impar => adición
 n par => cancelación

No confiabilidad del trayecto

$$U_n = 1 - R_n$$

$$U_n = 1 - 0.999 = 0.001 = 0.1\%$$

Cálculo del Ángulo Azimutal

$$\alpha_1 = \alpha_0 - \alpha_s$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 + \alpha_s + 180$$

Donde:

$$\alpha_o = \text{tg}^{-1} \left[\cos \left(\frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \right) \cdot \frac{\text{tg} \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right)}{\text{sen} \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right)} \right]$$

$$\alpha_o = \tan^{-1} \left[\cos \left(\frac{-14.429 - 14.442}{2} \right) * \frac{\tan \left(\frac{-67.5 + 67.53}{2} \right)}{\sin \left(\frac{-14.429 + 14.442}{2} \right)} \right] = 65.89^\circ$$

$$\alpha_s = \operatorname{tg}^{-1} \left[\operatorname{sen} \left(\frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right)}{\operatorname{cos} \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right)} \right]$$

$$\alpha_s = \tan^{-1} \left[\sin \left(\frac{-14.429 - 14.442}{2} \right) * \frac{\tan \left(\frac{-67.5 + 67.53}{2} \right)}{\operatorname{cos} \left(\frac{-14.429 + 14.442}{2} \right)} \right] = (-3.74 * 10^{-3})^\circ$$

Por tanto:

$$\alpha_1 = \alpha_0 - \alpha_s = 65.89^\circ - (-3.74 * 10^{-3})^\circ = 65.894^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 + \alpha_s + 180^\circ = 65.89^\circ - 3.74 * 10^{-3} + 180^\circ = 245.88^\circ$$

Cálculo del Ángulo de Elevación

Se refiere al ángulo de la dirección en la vertical, con el cual deben ser orientadas las antenas.

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{28(m) - 12(m)}{3.47(Km)}$$

$$\varphi = 0.264^\circ$$

Perfil del enlace:

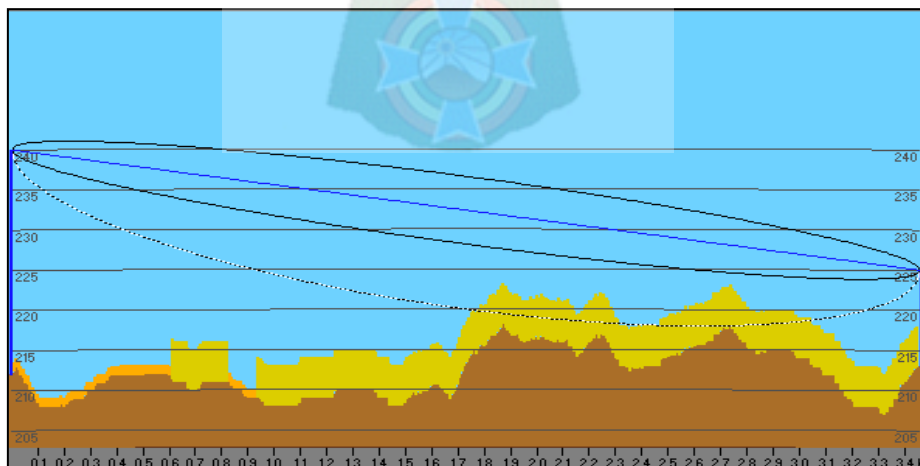


Figura 47 Perfil del enlace entre la torre y el aeropuerto de rurrenabaque (fuente elaboración propia)

Resultados:

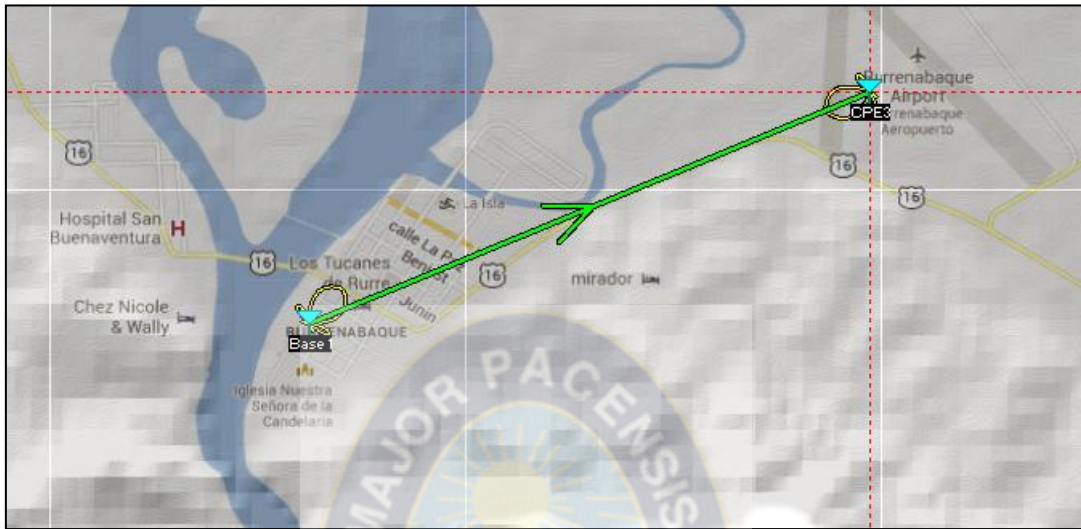


Figura 48 Enlace Torre – Aeropuerto de Rurrenabaque (fuente elaboración propia)



Figura 49 Enlace torre y CPE3 (fuente elaboración propia)

La distancia entre Base 1 y CPE3 es 3,5 km (2,2 miles)

Azimut norte verdadero = 66,90°, Azimut Norte Magnético = 74,97°, Angulo de elevación = -0,2268°

Variación de altitud de 16,2 m

El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,8F1 a 2,7km

La frecuencia promedio es 5235,000 MHz

Espacio Libre = 117,6 dB, Obstrucción = -3,9 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 4,1 dB

La pérdida de propagación total es 117,7 dB

Ganancia del sistema de Base 1 a CPE3 es de 132,8 dB (ant a 66,9° ganancia= 23,2 dB)

Ganancia del sistema de CPE3 a Base 1 es de 131,8 dB (ant a 246,9° ganancia = 28,0 dB)

Peor recepción es 14,2 dB sobre el señal requerida a encontrar

50,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones



V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha podido definir el equipamiento necesario para la implementación a corto plazo del sistema.
- Dado que el diseño del sistema propone utilizar la infraestructura de la torre de Entel, esta se encuentra debidamente aterrada por lo cual se garantiza que el equipo que se instalará en la torre no sufrirá daños debido a descargas eléctricas.
- El uso del software Mikrotik RouterOS se debe a que tiene un costo menor en cuanto al uso de un router dedicado, ya que solo se requiere pagar el uso de la licencia.
- Se ha podido realizar las configuraciones básicas del Router Mikrotik, para proveer el acceso a internet, en un futuro se deberán realizar configuraciones más avanzadas según el crecimiento del tráfico, para garantizar la QoS.
- Se ha podido explicar las configuraciones necesarias de todos los componentes del sistema.
- Se ha podido realizar las simulaciones respectivas mediante el software Radiomobile.

5.2 RECOMENDACIONES

- La oficina donde se ubicará el sistema de gestión y el modem entel debe tener un adecuado sistema de tierra para evitar cualquier percance futuro.
- Se recomienda en lo posible utilizar cable FTP para exteriores en las conexiones de las antenas trasmisoras al switch ubicado en la caseta, de no ser posible adquirir este tipo de cable se recomienda utilizar cable UTP para exteriores.
- La antena del cliente deberá tener una línea de vista hacia la torre y debe encontrarse lo más cerca posible de la terminal a la que se desea dar el servicio



VI. BIBLIOGRAFÍA

General Distribuidora, SA. (s.f.). Recuperado el 10 de noviembre de 2013, de www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20GEDIWLD%202007%20COMPLETO%20B.pdf

inova. (s.f.). Recuperado el 4 de noviembre de 2013, de www.inova.com.bo

Mikrotik. (s.f.). Recuperado el 11 de noviembre de 2013, de www.mikrotik.com

Ubiquiti Networks. (s.f.). Recuperado el 4 de noviembre de 2013, de www.ubnt.com

Ubiquiti Networks Wiki. (s.f.). Recuperado el 4 de noviembre de 2013, de www.wiki.ubnt.com/AirOS_User_Guides

Yujra, J. (2008). Apuntes de la materia Propagación Electromagnética. La Paz, Bolivia.



GLOSARIO DE TERMINOS

ARP: Protocolo de resolución de direcciones

BGP: Protocolo de Gateway de borde

CPE: Equipo local del cliente

ESD: Descarga electroestática

ESS: Conjunto de servicios extendidos

IP: Protocolo de Internet

ISP: Proveedor de servicio de Internet

MAC: Control de acceso al medio

MIMO: Múltiples entradas Múltiples salidas

MPLS: Conmutación de etiquetas de multiprotocolo

ODFM: Multiplexación por división ortogonal de frecuencias

OSI: Interconexión de estándares abiertos

POE: Power Over Ethernet

QOS: Calidad de servicio

TIC's: Tecnologías de la información y comunicación

UPS: Fuente de alimentación ininterrumpida

UTP: Par trenzado no blindado

WiFi: Wireless Fidelity

WISP: Proveedor de servicio de internet inalámbrico

WLAN: Red de área local inalámbrica

WPA: Acceso protegido WiFi