

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Diseño de un sistema de telefonía IP para implementarse en el cantón Santa Marta municipio de Ciudad Victoria, Cabañas.

PRESENTADO POR:

XAVIER ALEXANDRO TORRES AMAYA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

Diseño de un sistema de telefonía IP para implementarse en el cantón Santa Marta municipio de Ciudad Victoria, Cabañas.

Presentado por :

XAVIER ALEXANDRO TORRES AMAYA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. CARLOS EUGENIO MARTÍNEZ CRUZ

San Salvador, Abril 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. CARLOS EUGENIO MARTÍNEZ CRUZ

AGRADECIMIENTO.

Primeramente a Dios por permitirme llegar hasta este momento de mi vida. Gracias a mi madre por su apoyo incondicional y por brindarme el amor necesario para hacer de mí una persona de bien en esta sociedad. A mi hermano, su esposa y mis sobrinos por estar ahí siempre en los momentos difíciles. Gracias a mis tías por estar siempre pendiente de mí y darme el apoyo necesario. A mi padre, Maritza y Sonia que fueron parte de todo este proceso. A los amigos y compañeros con los cuales compartir momentos de alegría y tristeza durante mi paso por la universidad.

Sin duda alguna, este proyecto tomo vida gracias al esfuerzo de William, Manuel, Walter, Ramón, Juan, Lito, Luis, Tony, Rafa, Santiago y David. Quienes aportaron su tiempo y esfuerzo sin interés alguno. A mi asesor Dr. Carlos Martínez por la orientación y los consejos brindados. Gracias a ADES Santa Marta por brindar el apoyo necesario a este gran equipo de trabajo.

A los amigos Christian y Emerson, este logro también es de ustedes. Y sobre todo a mi amiga quien fue el apoyo en momentos difíciles, sus palabras fueron la motivación adecuada para seguir.

Xavier Alejandro Torres Amaya.

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 4 de marzo de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

Firma: 



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

Firma: 

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Dr. Carlos Eugenio Martínez Cruz

2- MSc. Salvador de Jesús German

3- Ing. Walter Leopoldo Zelaya Chicas

Firma: 

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Diseño de un sistema de telefonía IP para implementarse en el cantón Santa Marta municipio de Ciudad Victoria, Cabañas.

A cargo del Bachiller:

Torres Amaya Xavier Alexandro

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 10.0

(DIEZ PUNTO CERO)

INDICE

| | |
|--|------|
| INDICE DE FIGURAS..... | iv |
| INDICE DE TABLAS..... | vii |
| INDICE DE CUADROS..... | viii |
| ACRONIMOS..... | ix |
| CAPITULO 1: INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1. Aspecto general..... | 1 |
| 1.1.1. Comunicaciones inalámbricas..... | 1 |
| 1.1.2. Software y hardware libre como modelo de vida..... | 2 |
| 1.1.3. OpenWrt..... | 2 |
| 1.2. Motivación..... | 3 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. General..... | 3 |
| 1.3.2. Específicos..... | 4 |
| 1.4. Alcances..... | 4 |
| 1.5. Justificación..... | 4 |
| 1.6. Organización..... | 4 |
| CAPITULO 2: PROYECTO VILLAGE TELCO Y SU INCIDENCIA EN EL SALVADOR..... | 5 |
| 2.1. Proyecto Village Telco..... | 5 |
| 2.1.1. Village Telco..... | 5 |
| 2.1.2. Mesh Potato..... | 6 |
| 2.1.3. Firmware VT-SECN..... | 13 |
| 2.2. Antecedentes previos en El Salvador..... | 14 |
| 2.3. Evolución de los routers usados en la UES..... | 16 |
| CAPITULO 3: ESTUDIO DE COBERTURA USANDO RADIO MOBILE..... | 18 |
| 3.1. Aspectos generales del cantón Santa Marta..... | 18 |
| 3.2. Identificación del problema..... | 19 |
| 3.3. Antecedentes..... | 19 |
| 3.4. Propuesta del proyecto..... | 19 |
| 3.5. Georreferencia usando Google Earth..... | 21 |
| 3.6. Radio Mobile..... | 22 |
| 3.6.1. Caracterización del sistema..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 3.6.2. Mapa de Cobertura. | 24 |
| 3.6.3. Enlace de radio. | 26 |
| CAPITULO 4: PRUEBA PILOTO E INSTALACION FINAL. | 31 |
| 4.1. Prueba piloto. | 31 |
| 4.1.1. Equipos y material utilizado. | 31 |
| 4.1.2. Instalación del nodo WALEJO. | 32 |
| 4.1.3. Instalación del nodo LAINEZ. | 33 |
| 4.1.4. Instalación del nodo TOÑO. | 34 |
| 4.1.5. Instalación del nodo ARGUETA. | 34 |
| 4.1.6. Instalación del nodo BONILLA. | 35 |
| 4.1.7. Instalación del nodo LEIVA. | 36 |
| 4.1.8. Instalación del nodo repetidor CIBER. | 37 |
| 4.1.9. Instalación del nodo TORRES. | 38 |
| 4.1.10. Prueba en nodo adicional MIGUEL. | 39 |
| 4.1.11. Resultados. | 40 |
| 4.2. Ejecución del proyecto. | 43 |
| 4.2.1. Presupuesto real de instalación. | 44 |
| 4.2.2. Instalación de los routers MP02. | 46 |
| 4.3. Instalación del router NS M2 y centro de monitoreo. | 53 |
| 4.4. Monitoreo de la red. | 54 |
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS. | 58 |
| 5.1. Conclusiones. | 58 |
| 5.2. Líneas Futuras. | 59 |
| APENDICE. | 60 |
| CAPITULO 6: RADIO MOBILE. | 60 |
| 6.1. Descarga e instalación de Radio Mobile. | 60 |
| 6.1.1. Cómo descargar la aplicación. | 60 |
| 6.1.2. Cómo instalar y mantener actualizada la aplicación. | 61 |
| 6.2. Configuración básica. | 61 |
| 6.2.1. Configuración del acceso a Internet. | 62 |
| 6.2.2. Configuración de las carpetas de modelos digitales del terreno. | 63 |
| 6.3. Extracción de los datos de elevación. | 64 |
| 6.4. Posicionamiento de los nodos. | 65 |

| | |
|--|----|
| 6.5. Parametrización de la red de estaciones radio..... | 67 |
| 6.5.1. Parámetros globales..... | 67 |
| 6.5.2. Topología de la red..... | 69 |
| 6.5.3. Definición de estaciones..... | 70 |
| 6.5.4. Gestión de la base de datos de equipos radio..... | 71 |
| 6.5.5. Estilo de cálculo..... | 72 |
| CAPITULO 7: INSTALACION Y CONFIGURACION DE RASPBX..... | 74 |
| 7.1. Descarga de RasPBX..... | 74 |
| 7.2. Configuración del RasPBX..... | 75 |
| 7.3. Configuración de extensiones..... | 78 |
| CAPITULO 8: CONFIGURACION DE LOS ROUTERS MP02 Y NS M2..... | 83 |
| 8.1. Router MP02..... | 83 |
| 8.2. Router NS M2..... | 87 |
| CAPITULO 9: REFERENCIA..... | 91 |

INDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| <i>Figura. 2.1 (a) y (b) Fotografías tomadas en el Village Telco Workshop 2008.</i> | 6 |
| <i>Figura. 2.2 (a) Primera idea para el diseño de Mesh Potato. (b) Evolución del primer router Mesh Potato.</i> | 7 |
| <i>Figura. 2.3 Mesh Potato MP02.</i> | 8 |
| <i>Figura. 2.4 Comparación física, MP01 (derecha) y MP02 Phone (izquierda).</i> | 10 |
| <i>Figura. 2.5 MP02 Basic sin antena externa (a), con antena externa (b).</i> | 10 |
| <i>Figura. 2.6 PCB de MP01.</i> | 11 |
| <i>Figura. 2.7 (a) PCB del MP02, (b) Modulo FXS y (c) MP02 con módulo FXS colocado. .</i> .. | 12 |
| <i>Figura. 3.1 Presentación de la red mesh.</i> | 20 |
| <i>Figura. 3.2 Propuesta de red mesh.</i> | 20 |
| <i>Figura. 3.3 Ubicación de los nodos usando Google Earth.</i> | 21 |
| <i>Figura. 3.4 Ubicación de nodos y supernodo.</i> | 22 |
| <i>Figura. 3.5 Configuración nodo (a), Configuración supernodo (b).</i> | 23 |
| <i>Figura. 3.6 Enlaces efectivos de la red.</i> | 23 |
| <i>Figura. 3.7 Mapa de cobertura para el nodo WALEJO.</i> | 24 |
| <i>Figura. 3.8 Mapa de cobertura del nodo LAINEZ.</i> | 25 |
| <i>Figura. 3.9 Mapa de cobertura del nodo TORRES.</i> | 25 |
| <i>Figura. 3.10 Vista de perfil del enlace WALEJO-ESCUELA.</i> | 26 |
| <i>Figura. 3.11 Rango del enlace WALEJO-ESCUELA.</i> | 27 |
| <i>Figura. 3.12 Enlace WALEJO-ESCUELA visto desde Google Earth.</i> | 27 |
| <i>Figura. 3.13 Vista de perfil del enlace WALEJO-TORRES.</i> | 28 |
| <i>Figura. 3.14 Rango de enlace WALEJO-TORRES.</i> | 29 |
| <i>Figura. 3.15 Enlace WALEJO-TORRES visto desde Google Earth.</i> | 29 |
| <i>Figura. 3.16 Enlaces de nodos hacia supernodo.</i> | 30 |
| <i>Figura. 4.1 Instalación del router en nodo WALEJO.</i> | 32 |
| <i>Figura. 4.2 Router instalado en nodo WALEJO.</i> | 32 |
| <i>Figura. 4.3 Instalación del router en nodo LAINEZ.</i> | 33 |
| <i>Figura. 4.4 Router instalado en nodo LAINEZ.</i> | 33 |
| <i>Figura. 4.5 Router NS2 instalado en el nodo TONO.</i> | 34 |
| <i>Figura. 4.6 Instalación del router en nodo ARGUETA.</i> | 35 |
| <i>Figura. 4.7 Router instalado en nodo ARGUETA.</i> | 35 |
| <i>Figura. 4.8 Instalación de router y teléfono analógico en nodo BONILLA.</i> | 36 |
| <i>Figura. 4.9 Configuración y verificación del sistema.</i> | 36 |
| <i>Figura. 4.10 Instalación del router en nodo LEIVA.</i> | 37 |
| <i>Figura. 4.11 Router instalado en nodo LEIVA.</i> | 37 |
| <i>Figura. 4.12 Instalación del router en el nodo repetidor CIBER.</i> | 38 |
| <i>Figura. 4.13 Router instalado en el nodo repetidor CIBER.</i> | 38 |
| <i>Figura. 4.14 Instalación del router en el nodo TORRES.</i> | 39 |
| <i>Figura. 4.15 Router instalado en el nodo TORRES.</i> | 39 |
| <i>Figura. 4.16 Instalación del router en el nodo adicional MIGUEL.</i> | 40 |
| <i>Figura. 4.17 Router instalado en el nodo adicional MIGUEL.</i> | 40 |
| <i>Figura. 4.18 Red mesh de la prueba piloto.</i> | 41 |
| <i>Figura. 4.19 Walter realizando una llamada.</i> | 42 |
| <i>Figura. 4.20 Monitoreo usando el protocolo BATMAN-Adv de los router MP01 desde el punto TORRES.</i> | 42 |
| <i>Figura. 4.21 Monitoreo de líneas activas y llamadas realizadas usando Asterisk.</i> | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura. 4.22 (a) Instalación de router en caja intemperie. (b) Pruebas con router instalado en caja intemperie. | 47 |
| Figura. 4.23 (a) Preparación de caja intemperie. (b) Caja intemperie lista para su instalación. | 48 |
| Figura. 4.24 William instalando el router en el nodo WALEJO. | 49 |
| Figura. 4.25 (a) Instalación del router MP02 en nodo ARGUETA, (b) Comprobación del servidor instalado en la Raspberry. | 49 |
| Figura. 4.26 Instalación del router en nodo CIBER. | 50 |
| Figura. 4.27 (a) Preparación del tuvo para instalación del router MP02, (b) Proceso de instalación. | 50 |
| Figura. 4.28 Router instalado en nodo TORRES. | 51 |
| Figura. 4.29 Interfaz web de Asterisk. | 51 |
| Figura. 4.30 Extensiones activas vistas desde la consola de Asterisk. | 52 |
| Figura. 4.31 Monitoreando routers usando BATMAN-Adv. | 52 |
| Figura. 4.32 (a) Cambio de router MP02 por router NS M2, (b) Instalación de router NS M2 en nodo WALEJO. | 53 |
| Figura. 4.33 Instalación servidor para monitoreo. | 54 |
| Figura. 4.34 Monitoreo de la red mesh usando Nagios. | 54 |
| Figura. 4.35 Retardo del nodo WALEJO usando Smokeping. | 55 |
| Figura. 4.36 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv. | 55 |
| Figura. 4.37 Retardo del nodo TORRES. | 56 |
| Figura. 4.38 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv. | 56 |
| Figura. 4.39 Retardo del nodo repetidor CIBER. | 56 |
| Figura. 4.40 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv. | 57 |
| Figura. 6.1 Configuración de las carpetas de almacenamiento de los MDT. | 62 |
| Figura. 6.2 Configuración del mapa. | 64 |
| Figura. 6.3 Mapa de trabajo de la comunidad Santa Marta. | 65 |
| Figura. 6.4 Ingreso de coordenadas de los nodos. | 66 |
| Figura. 6.5 Coordenadas del supernodo. | 66 |
| Figura. 6.6 Parámetros globales de la red. | 67 |
| Figura. 6.7 Topología de la red. | 69 |
| Figura. 6.8 Elección de miembros que conformaran la red. | 70 |
| Figura. 6.9 Configuración de los transmisores. | 71 |
| Figura. 6.10 Gestión del estilo de cálculo. | 72 |
| Figura. 7.1 Obtención de la dirección IP de la RasPBX. | 76 |
| Figura. 7.2 Configuración de IP estática. | 77 |
| Figura. 7.3 Expansión de archivos en memoria micro SD. | 78 |
| Figura. 7.4 Interfaz Web del FreePBX. | 78 |
| Figura. 7.5 Ingreso de usuario y contraseña. | 79 |
| Figura. 7.6 Menú principal del FreePBX. | 79 |
| Figura. 7.7 Creación de una extensión SIP. | 80 |
| Figura. 7.8 Configuración general. | 80 |
| Figura. 7.9 Configuraciones de la extensión. | 80 |
| Figura. 7.10 Configuración de la cuenta. | 81 |
| Figura. 7.11 Configuración del Voicemail. | 82 |
| Figura. 8.1 Interfaz web del router MP02. | 84 |
| Figura. 8.2 Configuración de la red. | 85 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura. 8.3 Configuración de la parte de radio del router.</i> | 85 |
| <i>Figura. 8.4 Configuración del punto de acceso.</i> | 86 |
| <i>Figura. 8.5 Configuración de la Wi-Fi mesh.</i> | 86 |
| <i>Figura. 8.6 Configuración del Asterisk.</i> | 86 |
| <i>Figura. 8.7 Configuración finalizada en el router.</i> | 87 |
| <i>Figura. 8.8 Interfaz web del router NS M2.</i> | 87 |
| <i>Figura. 8.9 Opciones para actualización de firmware.</i> | 88 |
| <i>Figura. 8.10 Instalación automática del firmware VT-SECN.</i> | 88 |
| <i>Figura. 8.11 Advertencia sobre la actualización del firmware.</i> | 88 |
| <i>Figura. 8.12 Mensaje de confirmación.</i> | 88 |

INDICE DE TABLAS.

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1.1 Características del estándar IEEE 802.11.</i> | 1 |
| <i>Tabla 1.2 Versiones estables de OpenWrt.</i> | 3 |
| <i>Tabla 2.1 Participante del Workshop Village Telco junio 2008.</i> | 6 |
| <i>Tabla 2.2 Comparación entre versiones del MP01 y MP02.</i> | 13 |
| <i>Tabla 2.3 Comparación de routers utilizados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.</i> | 16 |
| <i>Tabla 3.1 Coordenadas y altura para cada nodo.</i> | 21 |
| <i>Tabla 4.1 Materiales y equipos utilizados para la prueba piloto.</i> | 31 |
| <i>Tabla 4.2 Configuración de extensiones e IP para los equipos.</i> | 32 |
| <i>Tabla 4.3 Costo para la instalación de un nodo usando un router MP02.</i> | 44 |
| <i>Tabla 4.4 Comparación entre NS2 y NS M2.</i> | 45 |
| <i>Tabla 4.5 Costo unitario para la instalación de un router NS M2.</i> | 45 |
| <i>Tabla 4.6 Costo para servidores de monitoreo y PBX.</i> | 46 |
| <i>Tabla 4.7 Costo final para la red mesh.</i> | 46 |
| <i>Tabla 4.9 Distribución de IP para la red mesh.</i> | 48 |

INDICE DE CUADROS.

| | |
|--|----|
| <i>Cuadro. 7.1 Acceso al directorio.</i> | 74 |
| <i>Cuadro. 7.2 Verificar si la micro SD es detectada.</i> | 74 |
| <i>Cuadro. 7.3 Extracción segura de la micro SD.</i> | 75 |
| <i>Cuadro. 7.4 Instalación de RasPBX.</i> | 75 |
| <i>Cuadro. 7.5 Iniciando sesión usando el protocolo SSH.</i> | 76 |
| <i>Cuadro. 7.6 Configuración de la interfaz de red.</i> | 77 |
| <i>Cuadro. 7.7 Reinicio de la interfaz de red.</i> | 77 |
| <i>Cuadro. 7.8 Comando para la expansión de archivos.</i> | 78 |
| <i>Cuadro. 7.9 Configuración de la hora.</i> | 79 |
| <i>Cuadro. 8.1 Configuración interfaz Eth0.</i> | 83 |
| <i>Cuadro. 8.2 Ingreso usando el comando telnet y configuración de password.</i> | 83 |
| <i>Cuadro. 8.3 Modo consola del router MP02, usando el comando ssh.</i> | 84 |
| <i>Cuadro. 8.4 Modo consola del router NS M2 usando el comando ssh.</i> | 89 |
| <i>Cuadro. 8.5 Configuración a nivel de red.</i> | 90 |
| <i>Cuadro. 8.6 Configuración de la red Wi-Fi interna.</i> | 90 |
| <i>Cuadro. 8.7 Configuración del servidor DHCP.</i> | 90 |

ACRONIMOS.

ACNUR: *Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados.*

ADES: *Asociación de Desarrollo Económico Social.*

ATA: *Analog Telephone Adapter.*

B.A.T.M.A.N: *Better Approach To Mobile Adhoc Networking.*

DIY: *Do It Yourself.*

FXS: *Foreing Exchange Station.*

GPIO: *General Purpose Input/Output.*

GPL: *General Public License.*

GSM: *Global System for Mobile communications.*

IEEE: *The Institute of Electrical and Electronics Engineers.*

IP: *Internet Protocol.*

ISM: *Industrial, Scientific and Medical.*

ITM: *Irregular Terrain Model.*

LAN: *Local Area Network.*

MP01: *Mesh Potato version 1.*

MP02: *Mesh Potato versión 2.*

NVRAM: *Non-volatile random access memory.*

PBX: *Private Branch Exchange.*

PoE: *Power Over Ethernet.*

PoTL: *Power Over Telephone.*

PSTN: *Public Switched Telephone Network.*

SBC: *Session Border Controllers.*

SIP: *Session Initiation Protocol.*

SRTM: *Shuttle Terrain Radar Mapping Mission.*

USB: *Universal Serial Bus.*

UTP: *Unshielded Twister Pair.*

VoIP: *Voice Over Internet Protocol.*

VT-SECN: *Village Telco Small Enterprise Campus Network.*

WAN: *Wide Area Network.*

WI-FI: *Wireless Fidelity.*

CAPITULO 1: INTRODUCCION.

La telefonía IP ha permitido integrar en una misma infraestructura de red las comunicaciones tanto de voz como de datos. Se ha alcanzado el punto en el cual, gracias a los desarrolladores de software y hardware libre se puede implementar una red de telefonía IP de bajo costo. Combinando el software Asterisk¹ con el hardware Raspberry Pi², se puede obtener una central telefónica capaz de administrar extensiones telefónicas bajo el protocolo SIP (del inglés, *Session Initiation Protocol*). El router Mesh Potato MP02 permite conexiones tanto físicas como inalámbricas, además de poseer una tarjeta FXS (del inglés, *Foreign Exchange Station*) integrada, la cual permite conectar un teléfono analógico para realizar llamadas con otro router de la misma clase. Creando una ruta de enlace a nivel de capa dos la Raspberry Pi y el router Mesh Potato crean una red telefónica inalámbrica gestionada por la Raspberry Pi permitiendo integrar equipos como computadoras, teléfonos móviles, Tablet etc. Y de esta forma realizar llamadas entre si utilizando dicha red inalámbrica.

1.1. Aspecto general.

1.1.1. Comunicaciones inalámbricas.

Actualmente las nuevas tecnologías usan el estándar IEEE 802.11 [1] para transmitir datos a corta distancia. El estándar IEEE 802.11 es en sí una familia de estándares que fueron desarrollados por el IEEE en el año 1997, y cuya finalidad primordial es la de garantizar la interoperabilidad entre diferentes fabricantes de hardware, lo cual permite que por ejemplo nuestro teléfono pueda transferir datos con nuestra computadora usando el protocolo Wi-Fi³ (del inglés, *Wireless Fidelity*). A lo largo de aproximadamente 20 años, este estándar ha tenido cambios importantes como se muestra en la Tabla 1.1, el más reconocido de estos cambios es la velocidad máxima en sus enlaces, para 1997 se tenía una velocidad de 2 Mbit/s (802.11) ahora en el año 2015 se puede realizar transferencias de datos a corta distancia con una velocidad hasta 600 Mbit/s (teóricamente para el estándar 802.11n)

| Estándares de la familia IEEE 802.11 (Wi-Fi). | | | |
|---|------|--------------------------------------|------------------|
| Protocolo | Año | Frecuencia de operación | Velocidad máxima |
| 802.11 | 1997 | 2.4-2.5 GHz | 2 Mbit/s |
| 802.11a | 1999 | 5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz | 54 Mbit/s |
| 802.11b | 1999 | 2.4-2.5 GHz | 11 Mbit/s |
| 802.11g | 2003 | 2.4-2.5 GHz | 54 Mbit/s |
| 802.11n | 2008 | 2.4 GHz o 5 GHz | 600 Mbit/s [2] |
| 802.11ac | 2014 | 5 GHz | 1.3 Gbit/s |

Tabla 1.1 Características del estándar IEEE 802.11.

¹ Asterisk es un programa de software libre (bajo licencia GPL) que proporciona funcionalidades de una central telefónica (PBX) a un determinado hardware.

² Raspberry Pi es una microcomputadora (SBC) de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. No se indica expresamente si es hardware libre o con derechos de marca, cuenta con los contratos pertinentes para su distribución.

³ Wi-Fi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos electrónicos con esta funcionalidad pueden conectarse a *inter_net* a través de un punto de acceso de red inalámbrica.

1.1.2. Software y hardware libre como modelo de vida.

Es común escuchar que el mundo de la computación se hace referencia al termino Software Libre. Este término se interpreta como una filosofía, la cual consiste en compartir de manera gratuita aquello que es útil, como por ejemplo un código fuente o bien un programa diseñado con algún fin específico. Del mismo modo el Hardware Libre ha permitido tener acceso a diferentes componentes que posibilitan realizar tareas que hasta hace unos años atrás, solo podrían ser ejecutadas por hardware privativo. El Hardware Libre nació unos cuantos años después que el Software Libre, pero su desarrollo se vio truncado por el hecho de que los componentes e información eran escasos. En el 2005 con la creación de Arduino [3] se consolidó mayoritariamente la accesibilidad al hardware libre. Arduino pertenece a una familia de dispositivos que en la actualidad es líder de la comunidad DIY (del inglés, *Do It Yourself*) [4], la cual se encuentra en constante desarrollo de shields⁴ para aumentar sus capacidades y sobre todo resolver problemas cotidianos. La combinación del Software como del Hardware libre permite crear soluciones sistemáticas a problemas cotidianos tanto de una persona común como de una empresa reconocida. Ahora es normal encontrar en el mercado equipos que por defecto su sistema operativo estaba basado en Software libre tales como: routers outdoor o indoor, centrales telefónicas, routers de capa 3, Smartphone, Smart TV etc. El futuro está grandemente marcado por estas tendencias, ya que el principal objetivo de las comunidades de desarrollo es mejorar sus equipos y sobre todo su software para que puedan proporcionar soluciones cada vez más robustas y que todo esto sea de libre acceso, impulsando de esta forma la educación, la cual es un aspecto importante, ya que para lograr un modo de vida se debe heredar el conocimiento y sobre todo difundir lo que ya está hecho.

1.1.3. OpenWrt.

OpenWrt [5] es una distribución GNU/Linux diseñada bajo la licencia GNU GPL⁵ (del inglés, *General Public License*), usada principalmente para dispositivos embebidos (típicamente routers). A diferencia de muchas otras distribuciones para routers, OpenWrt está construido desde sus cimientos como una plataforma totalmente funcional, permitiendo además su modificación a nivel de aplicaciones según sea la necesidad del usuario. El proyecto OpenWrt nació en enero del 2004 esto a raíz de que se la comunidad de software libre descubrió que Linksys⁶ había usado el kernel de Linux para el router WRT54G [6], incumpliendo así la licencia antes mencionada la cual especifica que todo equipo que use un kernel de Linux debe hacer público su código fuente. En aquella época Linux no era usado en los routers, el sistema operativo que dominaba los sistemas embebidos era VxWorks [7] el cual su código fuente era de carácter privativo. A inicios del año 2005 nuevos desarrolladores se unieron al equipo con el objetivo de darle más estabilidad al sistema. Después de algunos meses de trabajo a puerta cerrada, el equipo decidió publicar la primera versión experimental White Russian 0.9. Desde entonces han trabajado para agregar características que le permitan al router cumplir con funciones como: servidores de archivos, nodo P2P, servidor de WEBcams, firewall, puerta de acceso VPN etc. La primera versión estable fue lanzada en junio de 2007 bajo el nombre de Kamikaze [8], lo más memorable de esta versión es el abandono de la NVRAM (del inglés, *Non-volatile random*

⁴ Un shield es una placa impresa que se pueden conectar en la parte superior de la placa Arduino para ampliar sus capacidades, pudiendo ser apilada una encima de la otra. Suelen ser diseños bastante simples y en general de código abierto.

⁵ GNU General Public License, es la licencia más ampliamente usada en el mundo del software y garantiza a los usuarios finales (personas, organizaciones, compañías) la libertad de usar, estudiar, compartir (copiar) y modificar el software.

⁶ Linksys, es una marca de productos para redes domésticas y de pequeñas empresas]. Antes de ser adquirida por Cisco en 2003, era una empresa independiente fundada en 1995.

access memory) para poder extender el uso de OpenWrt a la mayor parte de dispositivos, posteriormente esta versión tuvo seis mejoras las cuales ayudaron a que el sistema fuera más estable. Actualmente cuenta con doce versiones estables las cuales se enumeran a continuación en orden cronológico.

| Versión estable. | Fecha de liberación. |
|---------------------------|-----------------------------|
| White Russian 0.9 | 2007, Enero |
| Kamikaze 7.06 | 2007, Junio |
| Kamikaze 7.07 | 2007, Julio |
| Kamikaze 7.09 | 2007, Septiembre |
| Kamikaze 8.09 | 2008, Septiembre |
| Kamikaze 8.09.1 | 2009, Junio |
| Kamikaze 8.09.2 | 2010, Enero |
| Backfire 10.03 | 2010, Abril |
| Backfire 10.03.1 | 2011, Diciembre |
| Attitude Adjustment 12.09 | 2013, Abril |
| Barrier Breaker 14.07 | 2014, Octubre |
| Chaos Clamer 15.05 | 2015, Septiembre |
| Trunk snapshots | Actualmente en desarrollo. |

Tabla 1.2 Versiones estables de OpenWrt.

Desde el lanzamiento de la versión Kamikaze 7.06 algunos fabricantes adoptaron la filosofía de OpenWrt, pero este experimento fue fallido ya que empeoraron sus productos debido a que usaron la versión White Russian 0.9 la cual había sido descartada por sus constantes fallas. Ese mismo año (2007) OpenWrt recibió apoyo de varios fabricantes de circuitos integrados entre los cuales se pueden mencionar: Atheros, Broadcom, Lantiq, Mediatek y Ralink. Era un problema para entenderse con todos los tipos de procesadores ya que cada uno tenía sus características. En ese momento OpenWrt tiene mucho énfasis en estabilidad y calidad del código, mientras que los fabricantes estaban enfocados en producir nuevos equipos lo más rápidamente posible a un costo menor, lo que les dejó poco tiempo para enfocarse en el largo plazo.

1.2. Motivación.

En la actualidad los avances tecnológicos han permitido que los estudiantes de la Universidad de El Salvador tengan acceso a tecnologías que eran inaccesibles en años anteriores. Tanto el software como hardware libre han permitido desarrollar soluciones efectivas a problemas cotidianos como lo es el de la comunicación entre dos puntos. Muchas de estas soluciones no han pasado de ser simples pruebas de laboratorio, es aquí donde la principal motivación de este proyecto es diseñar e implementar la primera red de comunicación rural usando software y hardware libre y con ello aportar al desarrollo social del lugar.

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

- Diseñar e implementar un sistema de telefonía IP basado en protocolo SIP usando software y hardware libre.

1.3.2. Específicos.

- Realizar las configuraciones necesarias para que el software Asterisk se ejecute correctamente en la Raspberry PI.
- Usar en cada punto un router Mesh Potato MP02 permitiendo realizar llamadas entre ellos de forma inalámbrica gestionadas por la Raspberry PI.
- Proponer un diseño tomando en cuenta la geografía del lugar.
- Realizar una prueba de campo para posteriormente presentar resultados y realizar recomendaciones para la corrección de fallas.

1.4. Alcances.

- Gestionar llamadas entre cada router por medio del uso de Raspberry PI, esto llevando un registro usando FreePbx como interfaz web.
- Obtener la mejor calidad en la llamada ubicando de manera eficaz los routers al realizar la prueba de campo.
- Presentar en el reporte escrito la información necesaria y solución a posibles fallas para que sea de utilidad a las personas del lugar para futuras modificaciones y sobre todo que permitan aumentar los puntos para realizar llamadas.

1.5. Justificación.

Actualmente en el cantón Santa Marta la mayoría de sus habitantes tienen acceso un teléfono celular, pero esto implica costos altos al momento de realizar una llamada ya sea para coordinar una reunión o hacer una alerta preventiva. Es aquí donde la telefonía IP será de gran ayuda gracias a su versatilidad y bajo costo al usar software y hardware libre. El hecho de que toda la comunicación sea de manera inalámbrica beneficia grandemente ya que no se necesita realizar cableado ni colocar postes extras. Además, será una gran experiencia para las personas de la comunidad que participarán en las pruebas de campo ya que como finalidad primordial estas personas podrán ser capaz de corregir problemas y las configuraciones necesarias para aumentar el número de puntos en un futuro.

1.6. Organización.

En el capítulo I se describen aspectos generalizados sobre el origen de la comunicación, el aporte tecnológico del código abierto y aspectos que enmarcan el rumbo de este proyecto. El capítulo II muestra el resumen de cómo surgió el proyecto Village Telco, dándole énfasis a la comparación de sus equipos para mostrar sus mejoras y deficiencias, finalizando con una breve revisión bibliográfica de los trabajos de graduaciones previos a este los cuales fueron enfocados en el tema de las comunicaciones IP. En el capítulo III se presenta información general sobre la comunidad Santa Marta, la identificación del problema y el estudio de propagación usando herramientas como Google Earth y Radio Mobile. El capítulo IV da a conocer el proceso de instalación y resultados tanto de la prueba piloto como de la instalación final de los equipos. Y finalizando con el capítulo V dando a conocer las conclusiones y líneas futuras del proyecto.

CAPITULO 2: PROYECTO VILLAGE TELCO Y SU INCIDENCIA EN EL SALVADOR.

En la actualidad las redes inalámbricas forman parte de nuestro diario vivir, en los últimos años ha tenido un gran desarrollo con el objetivo de explotar su capacidad. Las grandes empresas que manufacturan equipos inalámbricos (en este caso router) proporcionan a los usuarios sus equipos los cuales no pueden ser modificados ya que esto comprometería la garantía de él. Es aquí donde la comunidad de software y hardware libre emprendió una lucha incansable para brindar las mismas soluciones a un bajo costo y sobre todo teniendo la característica de poder instalar funcionalidades que se acoplen a las necesidades de los usuarios. A continuación, se presenta un resumen de cómo surgió el proyecto Village Telco [9], siendo este uno de los más reconocidos a nivel mundial en el tema de telefonía IP comunitaria de bajo costo.

2.1. Proyecto Village Telco.

2.1.1. Village Telco.

Village Telco es un proyecto en el cual desarrollan herramientas de telefonía inalámbrica a precios asequibles, dichas herramientas son fáciles de administrar, escalables, basadas en estándares como el 802.11, sobre todo usando la filosofía DIY (como se explicó en el capítulo anterior). En junio de 2008 se realizó el primer workshop de Village Telco en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, en esta reunión se buscaba diseñar un prototipo que permitiera la combinación de un adaptador ATA (del inglés, *Analog Telephone Adapter*) y un router inalámbrico OpenMesh⁷. La idea principal era utilizar dicho prototipo para construir una red telefónica local y hacer negocio sostenible mediante el cobro de una tarifa mínima para las llamadas realizadas hacia la PSTN (del inglés, *Public Switched Telephone Network*) a través de troncales SIP⁸ (del inglés, *Session Initiation Protocol*) bajo el protocolo VoIP (del inglés, *Voice Over Internet Protocol*). En el primer workshop estuvo integrado por las siguientes personas (Tabla 2.1):

| Nombre. | Fundación o Empresa. |
|--|-------------------------|
| Corinna "Elektra" Aichele ⁹ | Freifunk |
| Alberto Escudero-Pascual | IT46 |
| Jeff Fletcher | Internet Solutions |
| Jason Hudson | Shuttleworth Foundation |
| Johann Hugo | Meraka |
| Mike Jensen | Independent Consultant |
| Alan Levin | Vanilla |
| Rael Lissoos ¹⁰ | Dabba |
| Kobus Roux | Meraka |
| David Rowe | Free Telephony Project |

⁷ OpenMesh es una empresa fundada en 2005, en la cual se diseñan y manufacturan routers inalámbricos de bajo costo usando como sistema base OpenWrt y el protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N.

⁸ Es un protocolo desarrollado con la intención de ser el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual.

⁹ Creadora del protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N (del inglés Better Approach To Mobile Adhoc Networking), el cual en la actualidad es parte fundamental de OpenWrt ya que permite la comunicación entre router con el mismo firmware instalado.

¹⁰ Rael Lissoos es fundador de la compañía sudafricana Dabba la cual es pionera en el establecimiento de Village Telco. Utiliza la tecnología inalámbrica para proporcionar servicios de voz y datos a las zonas de difícil acceso. Utiliza tanto Software como Hardware libre para el diseño y construcción de redes malla.

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Steve Song ¹¹ | Shuttleworth Foundation |
| Jeff Wishnie | Inveneo |

Tabla 2.1 Participante del Workshop Village Telco junio 2008.



Figura. 2.1 (a) y (b) Fotografías tomadas en el Village Telco Workshop 2008.

En la Figura 2.1 (a) se muestran a los integrantes del Workshop, en pie de izquierda a derecha: Jason Hudson, Jeff Fletcher, Johann Hugo, Alberto Escudero-Pascual, Steve Song, Jeff Wishnie y Alan Levin. Sentados en el mismo orden: David Rowe, Elektra, Rael Lissoos. El apoyo por parte de los integrantes de este Workshop permitió elaborar el primer diseño del router Mesh Potato [10], de este modo se dio por iniciada la fabricación de los primeros prototipos de dicho router.

2.1.2. Mesh Potato.

La idea surge cuando Rael Lissoos propone (en la Village Telco Workshop 2008) combinar un adaptador ATA y un router inalámbrico (Figura 2.2 a). En ese momento muchos usuarios de OpenWrt hacían públicas en la web sus experiencias utilizando los routers Dir-300 y WRT54G para la transmisión de paquetes usando el modelo TCP/IP, claro está que la principal limitante era el corto alcance de dichos routers.

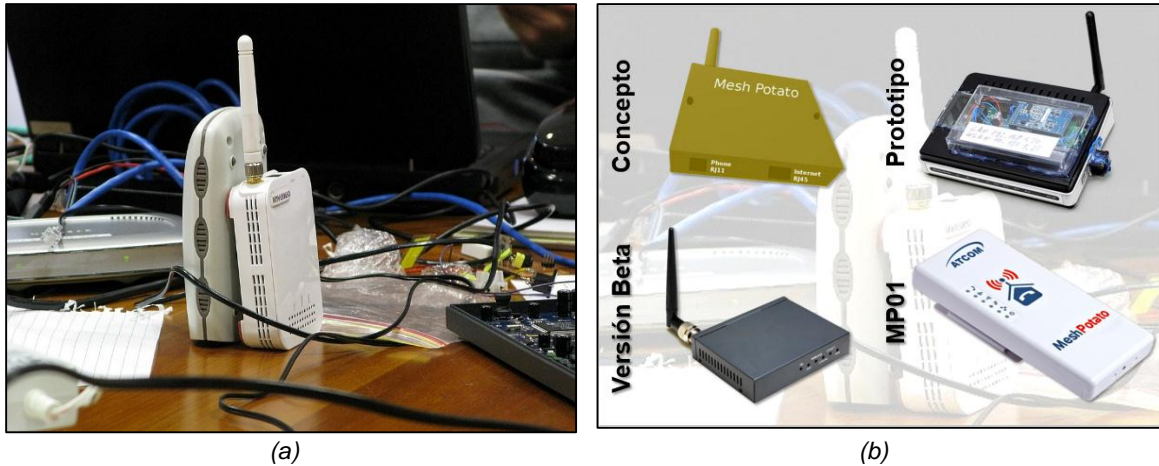
Todos los asistentes a esta reunión acordaron que el eje fundamental de este diseño giraría en torno a la integración de estos aparatos. Transcurrieron alrededor de dos años para construir una versión estable de hardware que permitiera intercomunicar dos puntos de manera inalámbrica utilizando el protocolo SIP para la transmisión de llamadas telefónicas análogas. Desde el inicio dicho dispositivo recibió el nombre de Mesh Potato, el cual no es más que un router Wi-Fi que operan en la frecuencia de 2.4 GHz de la banda ISM¹² (del inglés, Industrial, Scientific and Medical), al cual se le integró un convertidor ATA que su principal característica es la de contar con un puerto FXS para la conexión de teléfonos analógicos.

¹¹ Steve Song es el fundador del proyecto Village Telco además de participar activamente en Shuttleworth Foundation como experto en telecomunicaciones. Trabajo durante 10 años en el IDRC (del inglés, *International Development Research Centre*) dirigiendo en África los centros de Tecnología de la Información y Comunicación para el Desarrollo (ICT4D).

¹² Bandas ISM, son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN (como por ejemplo Wi-Fi) o WPAN (mejor conocido como Bluetooth).

2.1.2.1. Mesh Potato MP01.

Mesh Potato MP01 es la primera versión estable del router, diseñado para llevar telefonía e internet de forma inalámbrica entre dos puntos, su costo económico es relativamente bajo comparado con otros router, esto se debe a que está construido usando software y hardware libre. Este equipo es adecuado para instalar en zonas rurales de difícil acceso ya que permite la interconectividad con otros routers de la misma clase.



En la Figura 2.2 (b) se observa la evolución de este router partiendo de un concepto definido en agosto de 2008, pasando por un prototipo el cual era un router Dir-300 [11] al cual se le incorporo una tarjeta ATA para integrar las llamadas telefónicas bajo el protocolo SIP. Luego en junio de 2009 se fabrica versión beta, esta versión fue distribuida en 20 ciudades para realizar pruebas y comprobar su buen funcionamiento y se concluye el ciclo de pruebas en septiembre de 2010 con el surgimiento del Mesh Potato MP01. Antes de que el MP01 fuera comercializado Village Telco distribuyo 100 unidades a diferentes partes del mundo de los cuales dos unidades fueron enviadas a la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador [12], con el objetivo de comprobar su funcionamiento y a su vez colaborar en el desarrollo de posibles mejoras del mismo.

Entre las características más destacables se encuentran:

1. Cuenta un puerto LAN, con traducción de direcciones de red (NAT).
2. El puerto LAN Ethernet está conectado al puerto LAN del router.
3. El punto de acceso Wi-Fi está conectado a la LAN del router, permitiendo realizar reconfiguraciones de manera remota al utilizar una misma IP para ambos.
4. La malla opera en la capa 2, por lo que puede transportar tráfico para muchas subredes IPv4 que operen en la capa 3.
5. Usa el protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N-Adv versión 0.3 puede gestionar un máximo de 200 nodos, a partir de este número la red malla presentara problemas en la transferencia de datos.
6. Soporta estándar 802.11b/g permitiendo una velocidad máxima de 54 Mbit/s.
7. Asterisk 1.4.11.
8. Firmware versión de VT-SECN 1.1 (para información sobre este firmware leer el apartado 2.2.3).

2.1.2.2. Mesh Potato MP02.

Mesh Potato MP02 (Figura 2.3) es una versión mejorada del MP01, puesta al mercado en agosto del 2013. Su diseño fue desarrollado de forma paralela al del router Draguino MS14-P [13] el cual representa la segunda generación de estos routers. Presenta un gran poder por su versatilidad al configurarse como un simple punto de acceso Wi-Fi hasta fungir como una pequeña planta telefónica, permitiendo la integración de dispositivos inalámbricos como laptop, Tablet y Smartphone mediante el uso de una aplicación softphone¹³.



Figura. 2.3 Mesh Potato MP02.

Luego del lanzamiento del MP01 muchas personas se fueron sumando a este proyecto aportando mejoras a nivel de software y hardware para agregar funcionalidades y mejorar el rendimiento del mismo. En noviembre del 2012 el fundador del proyecto Steve Song apertura una lista de correos [14] en la cual los diferentes usuarios pudieran exponer fallas encontradas en su predecesor o simplemente opinar respecto a posibles mejoras de esta nueva versión.

En este grupo se trataron temas relevantes como los enumerados a continuación:

1. La utilización de un solo cable UTP cat5 el cual transmitiera datos, voz y energía. Esto con el objetivo de evitar el uso de dos cables (datos y teléfono), a simple vista resultaba beneficioso para su instalación en exteriores, pero conllevaba la utilización de otro modulo que permitiera integrar datos, voz y energía a lo cual muchos usuarios se mostraron en desacuerdo.
2. La integración de un puerto USB el cual permitiera la conexión de un dispositivo de almacenamiento para aumentar la memoria interna o conectar una USB Dongle¹⁴ ya sea Wi-Fi o GSM.
3. Compatibilidad a nivel de Software. Unos de los principales problemas fue que B.A.T.M.A.N-Adv no era compatible con su versión anterior B.A.T.M.A.N.

¹³ Un *softphone* (en inglés combinación de *software* y de *telephone*) es un software que es utilizado para realizar llamadas a otros softphones o a otros teléfonos convencionales una central telefónica de VoIP (Voz sobre IP) o ToIP (Telefonía sobre IP).

¹⁴ Un USB Dongle es un dispositivo USB que permite añadir características a nuestra computadora, las cuales no fueron contempladas cuando se diseñó o construyó. Entre estas características se cuentan la posibilidad de añadir conexión inalámbrica, tanto por Wi-Fi o Bluetooth, adaptadores de audio y video, adaptador de red, receptores de radio frecuencia o hasta incluso candados digitales que impedirán el uso por parte de terceros de nuestra PC o aplicaciones.

4. La opción de conectar una antena externa. En la versión anterior contaba con una antena integrada tipo parche, esto limitaba su alcance ya que para poner integrar una antena externa se requería realizar una soldadura en la placa madre.

La participación de los usuarios fue importante ya que las mejoras tanto en software como hardware fueron sustentadas por la experiencia al usar el MP01. Bastaron alrededor de 6 meses para tener la primera beta de esta versión el cual presentaba mejoras destacables a nivel de software. Entre estas mejoras se puede mencionar:

1. Cuenta con dos puertos LAN y WAN, con traducción de direcciones de red (NAT) y firewall para protegerse de ataques cibernéticos externos.
2. El puerto LAN Ethernet está conectado al puerto LAN del router.
3. Puerto WAN configurable para funcionar como puerto LAN.
4. El punto de acceso Wi-Fi está conectado a la LAN del router, permitiendo realizar reconfiguraciones de manera remota.
5. Permite la administración de 99 extensiones usando softphone.
6. La malla opera en la capa 2, por lo que puede transportar tráfico para muchas subredes IPv4 que operen en la capa 3.
7. B.A.T.M.A.N-Adv puede gestionar un máximo de 200 nodos, a partir de este número la red malla presentara problemas en la transferencia de datos.
8. Soporta estándar 802.11b/g/n permitiendo una velocidad máxima de 150 Mbit/s.
9. USB 2.0, puede ser utilizado para conectar una Dongle GSM y tener un Gateway o conectar una simple USB para que funcione como almacenador de archivos o hotspot.
10. Protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N-Adv Versión 14.
11. Asterisk 1.8.
12. Firmware versión de VT-SECN 2.0.

2.1.2.3. Comparación a nivel de hardware entre MP01 y MP02.

Ambas versiones de la Mesh Potato (Figura 2.4) han tenido la misma metodología de diseño y posterior construcción, pero el avance tecnológico ha permitido ir mejorando el proceso de manufactura a tal punto de minimizar su costo además de su tamaño.

Actualmente el MP02 cuenta con dos modelos los cuales son: MP02 Basic (sin puerto FXS, su característica principal es que puede ser configurado como nodo repetidor en un lugar donde no se requiera la instalación de un teléfono analógico) y MP02 Phone (incluye puerto FXS, puede ser configurado como nodo en el cual se necesite la instalación de un teléfono analógico). Otra de la característica física de ambos modelos es la de poder adquirirlos ya sea con o sin antena externa (Figura 2.5).



Figura. 2.4 Comparación física, MP01 (derecha) y MP02 Phone (izquierda).



(a)

(b)

Figura. 2.5 MP02 Basic sin antena externa (a), con antena externa (b).

Ambos modelos del MP02 cuentan con el mismo firmware instalado de fábrica (VT-SECN 2.0) el cual integra (como se mencionó en el apartado anterior) servicios como Asterisk y Batmand-adv. Esto permite tanto la gestión de llamadas telefónicas como el enrutamiento de datos. Además, existe un tercer modelo de este router, lleva por nombre MP02 AWD el cual aún está en etapa de desarrollo ya que pretende incluir todas las bondades de este router con la diferencia de ser exclusivamente para exteriores, esto es una de las principales debilidades de los dos modelos (Basic y Phone) ya que su uso es exclusivamente para interior. A continuación, se realiza una comparación (de aspectos generales a nivel de hardware) entre el MP01 y el MP02 Phone el cual fue utilizado en este trabajo de graduación.

Placa de Circuito Impreso (PCB¹⁵).

¹⁵ PCB (del inglés: Printed Circuit Board), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.

En la Figura 2.6 se muestra la PCB del router MP01. En el recuadro rojo se observa la antena omnidireccional tipo parche de 10 dBi, cuenta con un conector U.FL¹⁶ superficial para adicionarle una antena externa para mejorar la cobertura de la señal. En el recuadro naranja se encuentra el microprocesador Atheros 2317 cubierto por un blindaje para evitar las interferencias externas. Los puertos GPIO se muestran en el recuadro amarillo, pueden ser utilizados para reinstalar el firmware en caso de fallar el flasheo por Ethernet. En el recuadro verde se muestra el puerto Ethernet y en el recuadro gris el puerto FXS, ambos cuentan con la característica de alimentar al router a través de sus terminales.

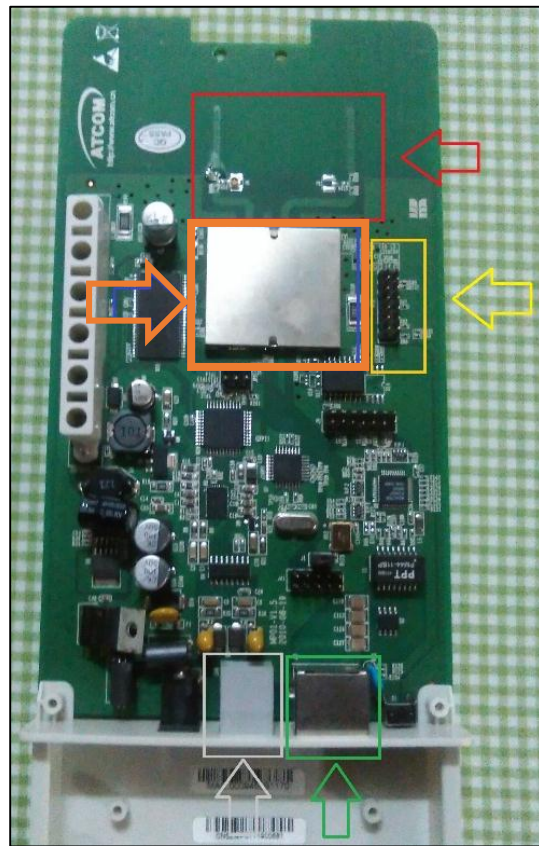
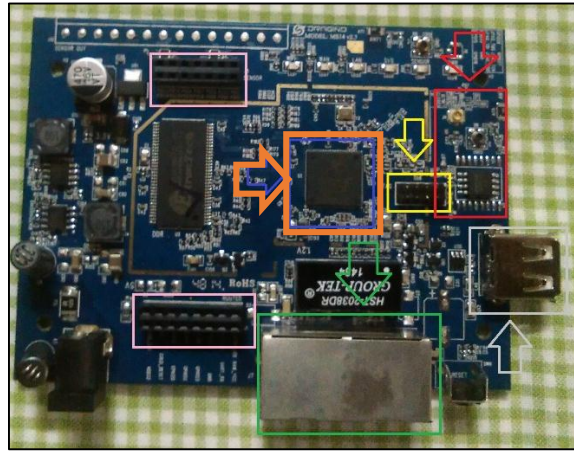


Figura. 2.6 PCB de MP01.

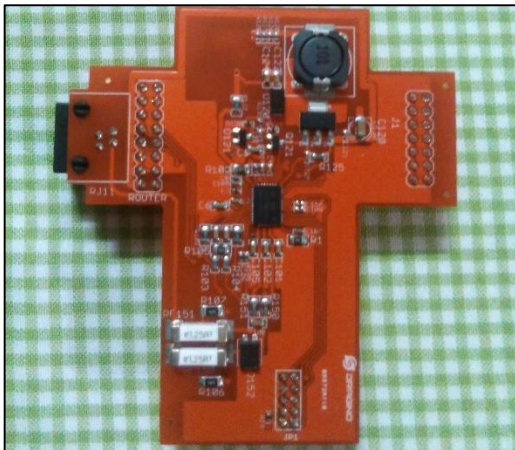
Al observar la PCB del MP02 (Figura 2.7 a) se comprueba el avance que el proyecto ha tenido tanto en diseño como en el uso de componentes de mayor precisión. En el recuadro rojo se observa el puerto U.FL para la antena Wi-Fi, este modelo cuenta con una antena de 5 dBi externa, pero puede ser reemplazada por una de mayor ganancia. El puerto GPIO (recuadro amarillo) es el que controla el módulo FXS (Figura 2.7 b). En el recuadro verde están los puertos WAN y LAN del router, una de las mejoras sustanciales ya que nos permite tener ya sea dos puntos de acceso para la red física. El puerto USB 2.0 (recuadro gris) nos permite crear un hotspot o usarlo con un almacenamiento externo. El chip Atheros 9331 (recuadro naranja) proporciona mayor velocidad de procesamiento (400 MHz) lo cual se traduce en mejor calidad de llamada. En los recuadros color rosa se encuentra los

¹⁶ Conector U. FL se utilizan comúnmente en aplicaciones donde el espacio es una preocupación fundamental, lo más a menudo mini tarjetas PCI para ordenadores portátiles, además usado comúnmente para la conexión de antenas GPS.

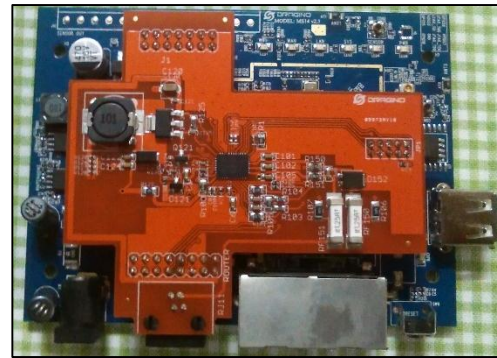
puertos de conexión para el módulo FXS el cual no viene integrado a la PCB como en el MP01. En la Figura 2.7 (c) se observa el módulo FXS acoplado a la PCB del MP02.



(a)



(b)



(c)

Figura. 2.7 (a) PCB del MP02, (b) Modulo FXS y (c) MP02 con módulo FXS colocado.

Consumo de energía.

El router MP01 mantiene un consumo de 3W, la energía es proporcionada por una fuente de 24 V DC a 300 mA. Puede ser energizado utilizando PoE¹⁷ y PoTL¹⁸ esto para facilitar la instalación en exteriores. Comparando con el MP02 esta es una de las desventajas ya que por ser diseñado para interiores no cuenta con alimentación PoE y PoTL. Su consumo de energía es de 1W usando una fuente de 12V DC a 500 mA.

Tabla comparativa.

En la Tabla 2.2 se engloba las características antes mencionadas sobre ambos routers e información adicional para mostrar las mejoras del MP02 en sus tres versiones. Aclarando

¹⁷ Permite que la alimentación eléctrica se suministre a un dispositivo de red (switch, punto de acceso, router, teléfono o cámara IP, etc) usando el mismo cable que se utiliza para la conexión de red (Ethernet).

¹⁸ Al igual que el PoE, permite suministrar energía a un dispositivo utilizando un par de terminales en el conector RJ-11.

que la versión AWD aún sigue en proceso de diseño, pero por el momento la página oficial de Village Telco ofrece información básica sobre sus componentes.

| | MP1 | MP2 Basic | MP2 Phone | MP2 AWD |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Fecha de liberación | Septiembre 2010 | Agosto 2013 | Noviembre 2014 | No definido |
| Procesador | Atheros AR2317 180MHz | Atheros AR9331 400MHz | Atheros AR9331 400MHz | Atheros AR9331 400MHz |
| Wi-Fi | 802.11g | 802.11n | 802.11n | 802.11n |
| Antena | Integrated omni | Chip Omni | Chip Omni | No definido |
| Puerto FXS | Si | No | Si | Si |
| Memoria Flash/RAM MB | 4/16 | 16/64 | 16/64 | 16/64 |
| Ethernet | Single | Dual | Dual | Dual |
| USB | No | USB 2.0 | USB 2.0 | USB 2.0 |
| Puerto Ethernet | 10/100 Mbit | 10/100 Mbit | 10/100 Mbit | 10/100 Mbit |
| Acceso GPIO | Mínimo | Máximo | Máximo | Máximo |
| Consumo de energía | 3W | 1W | 1W | 1W |
| Outdoor | Si | No | No | Si |
| Fabricante | ATCOM | Draguino | Draguino | No definido |
| Rango de alcance | 150 m - 350 m | 300 m – 450 m | 300 m – 450 m | No definido |

Tabla 2.2 Comparación entre versiones del MP01 y MP02.

2.1.3. Firmware VT-SECN.

Desde sus inicios en el router MP01 venía instalado el firmware VT-r233 (el cual estaba basado en el firmware OpenWrt Kamikaze). Una de las principales debilidades de este firmware era el de no poder transmitir de manera simultánea tanto datos como voz (como se expondrá en el siguiente apartado). Es aquí donde el afán de mejorar el MP01 dio paso al nacimiento del firmware VT-SECN [15] (del inglés *Village Telco Small Enterprise Campus Network*) el cual está diseñado para permitir la comunicación entre dispositivos Mesh Potato y dispositivos similares (por ejemplo, TP-Link y Ubiquity) con firmware basado en OpenWrt para proporcionar una red de datos y telefonía en pequeñas mallas de manera simultánea.

Este firmware nació en el año 2011 con la incorporación de Terry Gillett¹⁹ al proyecto Village Telco. Gillett en ese momento adquirió un par de routers Mesh Potato MP01, para ese entonces el firmware (OpenWrt Kamikaze r233) instalado en ellas estaba centrado en la transmisión de la voz para un ambiente rural. Fue ahí donde él vio la oportunidad de realizar una red pequeña la cual se enfocará en la transferencia simultánea de voz y datos si ningún retardo o pérdida de paquetes. En ese entonces los routers MP01 usaban el protocolo B.A.T.M.A.N el cual se ejecutaba en la capa tres del modelo OSI [16]. Al realizar sus pruebas optó por instalar el protocolo B.A.T.M.A.N-Adv el cual se ejecutaba en la capa dos del modelo OSI. Este protocolo permitió al MP01 comportarse como parte de un conmutador lo que significaba que el direccionamiento IP y enrutamiento para la red se simplifica notablemente, así eliminando la interrogación entre routers para averiguar el

¹⁹ Terry Gillett ha trabajado durante más de veinte años en el área de electrónica y tecnología de la información de diseño de ingeniería en telecomunicaciones, servicios financieros y servicios de investigación aplicado a la industria. Durante gran parte de este tiempo ha operado equipos de diseño y desarrollo centrados en la innovación tecnológica para proporcionar retorno real de la inversión en tecnología. Posee B.E. (Elec) y M. Ing. Sc. las cuales son titulaciones de la Universidad de Queensland, Australia.

direccionamiento de la red y traducción de direcciones para todas las MP01 que conformen la red.

Las modificaciones realizadas a la versión de firmware anterior permitieron mejorar en aspectos como:

- El punto de acceso Wi-Fi en cada nodo de la malla está cifrado con WPA por defecto con el fin de proporcionar cierta protección, siempre y cuando la clave de acceso se mantenga confidencial.
- Cada nodo puede proporcionar un punto de acceso Wi-Fi con una SSID y contraseña predeterminada, o proporcionar un punto de acceso WI-Fi configurando el mismo SSID y contraseña en todos los nodos.
- Si uno de los nodos de la malla está conectado a través de su puerto Ethernet a un servidor DHCP que además proporcione acceso a internet, los demás nodos conectados (ya sea por el Ethernet o por Wi-Fi) a este serán capaz de acceder a internet a través del router que proporcione el servicio DHCP.
- Puede proveer servicio de VOIP para teléfonos locales marcando el último octeto de la dirección IP además de poder registrarse en plantas telefónicas externas al router.
- Es posible realizar la gestión y configuración de un nodo a través de comandos de IVR (esto solamente para routers Mesh Potato), usando el navegador web o usando la terminal de un sistema operativo Linux o OpenWrt.

En la actualidad el firmware VT-SECN cuenta con tres versiones 1.1, 2.0 y 3.0, la última versión permite la comunicación entre dispositivos TP-LINK y Ubiquiti con el router MP01. Esto ha permitido que en la actualidad los routers Mesh Potato puedan competir en el mercado contra marcas reconocidas como CISCO y MIKROTIK ya que su sistema base (OpenWrt) permite configurar funcionalidades para el enrutamiento de datos.

2.2. Antecedentes previos en El Salvador.

En el año 2008 la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador daba sus primeros pasos en el tema de telefonía IP usando software y hardware libre. Gracias a materias como “Redes Inalámbricas de Voz sobre IP” y “Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas”. Dichas materias permiten actualmente que los estudiantes se inicien en el mundo de las comunicaciones de VoIP usando el medio inalámbrico para el transporte de sus datos. Es así como en ese año se realizó la primera red tipo malla, la cual consistía en enlazar tres nodos. Cada nodo estaba compuesto con un router Dir-300 al cual se le reemplazo el firmware original por firmware DD-WRT [17].

En diciembre del 2008, Roberto Carlos Romero Castro presentó el primer trabajo de graduación titulado “Laboratorio de comunicaciones de voz sobre protocolo de Internet y redes inalámbricas” [18]. El objetivo de dicho trabajo era la elaboración de guías de laboratorio en las cuales involucraran a los routers Dir-300 y WRT54G (ambos usando el firmware DD-WRT) para usarlos en una red malla y de esta forma poder transmitir datos entre los nodos que integren la malla.

Paralelamente William Ovidio Reyes Medrano presentó su trabajo de graduación titulado “Implementación de una herramienta software para la gestión de una central telefónica

basada en una computadora personal” [19], en este trabajo se implementó el software Asterisk en una computadora personal, permitiendo que esta se convirtiera en una central telefónica usando el protocolo SIP para la realización de llamada entre distintas extensiones.

Tres años después en abril del 2011 se realizó la defensa pública del trabajo de graduación titulado “Propuesta de un sistema de comunicaciones de voz y de acceso a Internet para las escuelas del Municipio de Berlín, Usulután” [20], en el cual sus autores Erick Campos y Edmond Romero daban a conocer los resultados de la primera prueba de campo de una red malla usando routers Dir-300 y MP01²⁰. Esta prueba como lo menciona el título del trabajo fue realizada en Berlín, Usulután dando resultados satisfactorios y sobre todo demostrando el buen funcionamiento de los router MP01.

En septiembre de ese año Luis Colocho y Román Tobías presentaban los resultados de su trabajo de graduación titulado “Telefonía inalámbrica y red de acceso a Internet para los Municipios de Salcoatitán, Juayúa, Apaneca y Ataco” [21]. La característica principal de dicho trabajo era la integración de un Nano Station NS2 [22] y un Bullet2 [23], ambos distribuidos por la empresa Ubiquiti Networks²¹. Gracias a su alcance (15 km y 50 km respectivamente) el cual permite interconectar nodos lejanos en donde se utilizaron los routers MP01 mejorando así la calidad de la llamada y transferencia de datos.

Los routers distribuidos por Village Telco han permitido implementar soluciones inalámbricas a problemas cotidianos como lo es la transmisión de datos de un punto a otro. A finales del año 2013 Juan José Bonilla Perla presentó su trabajo de graduación titulado “Diseño, configuración y supervisión de la red de medidores de energía eléctrica del campus central de la Universidad de El Salvador” [24]. En el cual se utilizaron los router MP01 y NS2 para crear una red inalámbrica la cual permitirá concentrar en un servidor los datos obtenidos de los medidores instalados. En el 2014 Alexander Omar Duque Alas presenta su trabajo de graduación titulado “Optimización del sistema de monitorización remota de medidores de energía eléctrica” [25], este trabajo representa la continuación de su predecesor permitiendo observar en tiempo real (con un intervalo de 15 minutos) los datos tomados de los medidores.

Además del sistema de monitoreo la Universidad de El Salvador cuenta con un proyecto paralelo el cual está basado en una pequeña red de comunicación inalámbrica desarrollada en la facultad de ingeniería y arquitectura, en ambos proyectos la comunicación se realiza usando routers MP01 y NS 2. A partir del año 2014 se han realizado innumerables estudios para el mejoramiento de dichas redes las cuales hasta el año pasado funcionaban de manera separada, esto debido a que cada router MP01 tenía instalado la primera versión de firmware. En el año 2015 se actualizó el firmware de todos los routers instalados dentro del campus universitario esto con el objetivo de unificar ambas redes. La actualización representó un problema un tanto complejo debido a que la actualización se realizaba de manera inalámbrica, el nuevo firmware (VT-SECN 1.1) permite la transferencia simultánea de datos y voz. Los trabajos de antes citados han permitido tener las bases teóricas necesarias para la implementación de diversos proyectos diseñados y ejecutados por

²⁰ Para este trabajo de graduación el router MP01 usaba el firmware VT-r233 basado en el firmware OpenWrt Kamikaze el cual era compatible con el firmware instalado en el router Dir-300 gracias al protocolo B.A.T.M.A.N.

²¹ Ubiquiti Networks se dedica principalmente al diseño de hardware de redes inalámbricas, tanto para la comunicación a largas distancias, como para el despliegue de pequeñas redes WI-FI, priorizando la innovación y el alto rendimiento a bajo costo.

alumnos de dicha universidad, además de servir de motivación para la realización de este proyecto.

2.3. Evolución de los routers usados en la UES.

A lo largo de este capítulo se ha tratado de llevar un orden cronológico del desarrollo de los routers embebidos basados en software y hardware libre. Ahora dichos routers pueden competir y ganarle fácilmente a un router fabricado por alguna empresa reconocida, esto por el simple hecho de que su firmware puede ser modificado según sea el gusto del usuario.

Como se expuso en el apartado anterior, la Escuela de Ingeniería Eléctrica siempre ha tratado de incentivar a sus alumnos al uso de Software y Hardware libre para el diseño de soluciones a distintos problemas que pasan en nuestro diario vivir. Desde el año 2008 hasta la fecha se ha tratado de estar a la vanguardia de estas tecnologías, siempre tratando de usarlas para el beneficio de la sociedad misma. Es por eso que la Tabla 2.3 se presentan a manera de comparación los distintos router utilizados a lo largo de tiempo ya sea en el área de laboratorios como en trabajos de graduación.

| Año de prueba documentado | 2008 | | 2011 | | | 2015 | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Descripción | Dir-300 | WRT54G | MP01 | NS2 | BULLET2 | MP02 Phone | NS M2 |
| Microprocesador | Atheros 2317 MIPS 4kEc 180 MHz | Broadcom BCM5352 EKPBG 200MHz | Atheros 2317 MIPS 4kEc 180 MHz | Atheros 2315 MIPS 4kc 180 MHz | Atheros MIPS 4kc 180 MHz | Atheros AR9331 400 MHz | Atheros MIPS 24KC 400MHz |
| Memoria Flash | 4 MB | 4 MB | 8 MB | 4 MB | 4 MB | 16 MB | 8 MB |
| Memoria RAM | 16 MB | 16 MB | 16 MB | 16 MB | 16 MB | 64 MB | 32 MB |
| Puertos | RJ45: 1WAN 4LAN | RJ45: 1WAN 4LAN | RJ45: 1LAN RJ11: 1FXS | RJ45: 1LAN | RJ45: 1LAN | RJ45: 1WAN 1LAN RJ11:1FXS | RJ45: 1LAN 1Secundary |
| Opciones de Alimentación (DC) | 5V @ 1.2 A | 5V @ 2 A | 24V @ 300 mA PoE, PoTL | 12V @ 1 A PoE | 12V @ 1 A PoE | 12V @ 1 A | 12V @ 1 A PoE |
| Potencia Tx (dBm) | Min:13 Max:17 | Min:12 Max:15 | Min:17 Max:20 | Min:22 Max:26 | Min:15 Max:22 | Min:17 Max:30 | Min:17 Max:30 |
| Sensibilidad Rx (dBm) | Min: -68 Max: -89 | Min: -70 Max: -84 | Min: -68 Max: -89 | Min: -74 Max: -97 | Min: -72 Max: -95 | Min: -75 Max: -95 | Min: -75 Max: -95 |
| Antena | Omni. 2dBi | Omni. 2dBi x 2 | Omni. 8dBi | Sect. 60 10dBi | No dispone | Omni. 8dBi | Omni. 11dBi |
| Versión 802.11 | b/g | b/g | b/g | b/g | b/g | b/g/n | b/g/n |
| Firmware | Backfire 10.03.1 | Backfire 10.03.1 | OpenWrt Kamikaze (r233) | VT-SECN 1.1 (Blackfire 10.03.1) | VT-SECN 1.1 ubnt ns2 (Blackfire 10.03.1) | VT-SECN 1.1 ubnt b2 (Blackfire 10.03.1) | VT-SECN 3.0 (Barrier Breaker 14.07) |
| | | | | | | | VT-SECN 3.0 ubnt m2 (Barrier Breaker 14.07) |

Tabla 2.3 Comparación de routers utilizados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

En este trabajo de graduación está enfocado en como los routers de Village Telco han representado una solución rápida y económica para resolver las necesidades básicas como lo es comunicación entre dos personas. Pero, vale la pena reconocer que los routers

comercializados por la empresa Ubiquiti han representado además un papel importante en estos últimos años, ya que permiten cambiar el firmware original por una versión genérica del VT-SECN y de esta forma aumentar la robustez de las mallas. Es de carácter impórtate seguir apoyando el desarrollo tanto de software como hardware libre, porque (como se demostrará en capítulos posteriores) pueden ser parte de soluciones a problemas sociales.

CAPITULO 3: ESTUDIO DE COBERTURA USANDO RADIO MOBILE.

3.1. Aspectos generales del cantón Santa Marta.

Santa Marta es una comunidad situada a 113.2 kilómetros de San Salvador, en el municipio de Victoria departamento de Cabañas. Esta comunidad está marcada por la vivencia y participación que tuvo en el pasado conflicto armado; el 18 de marzo de 1981 tras una fuerte ofensiva lanzada por parte de las fuerzas militares de ese entonces la comunidad fue expulsada hacia la republica de Honduras [26] exactamente al campamento Mesa Grande²².

El 10 de octubre de 1987, mediante el apoyo de ACNUR²³ (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados) retornaron a esta comunidad 1008 personas con el objetivo de asentarse nuevamente. ADES (Asociación de Desarrollo Económico Social) nació en el año 1981 con la finalidad de apoyar a la comunidad mientras permanecía en su exilio. A partir 1987 se encargó de realizar programas de beneficio social para los pobladores de esta comunidad. Luego de casi treinta años, ADES tiene el apoyo de un gran número de organizaciones internacionales que proporcionan los fondos para la realización de proyectos como:

- a) Educación popular: fomenta la participación de la misma comunidad para la erradicación del analfabetismo. A demás apoya a los estudiantes destacados con becas nacionales e internacionales.
- b) Economía local: brinda capacitaciones constantes para la enseñanza de oficios y tecnificaciones de procesos agrícolas y ganaderos.
- c) Organización comunitaria: incorporan a los habitantes en diversos comités con el fin de que tengan participación activa en temas como salud, seguridad, educación etc.
- d) Defensoría del pueblo: apoyo constante en materia legal a los habitantes.
- e) Comunicación popular: brinda los medios necesarios para que la comunidad se mantenga informada del acontecer local.
- f) Tecnología: apoya todo proyecto tecnológico que aporte un beneficio social a la comunidad.

El nivel de organización de la comunidad Santa Marta ha hecho posible el contar con servicios básicos como agua potable y luz eléctrica, esto debido al menosprecio recibido por gobiernos locales desde su retorno en 1987. Además de contar con un complejo educativo el cual imparte clases de primer grado hasta bachillerato, una clínica comunal, una casa comunal para usos múltiples en donde está instalado el centro de radio comunal, un taller de carpintería, un centro de reciclaje para desechos sólidos, un vivero para el cultivo de hortalizas, un salón de usos múltiples en donde se imparten los diferentes talleres,

²² Mesa Grande ubicado en San Marcos, Honduras, a 45 Kilómetros de la frontera el Poy en El Salvador, se convirtió en refugio para más de 11.000 salvadoreños que fueron desplazados por la cruenta guerra civil que aquejó durante doce años a El Salvador.

²³ ACNUR surgió al término de la segunda guerra mundial para ayudar a los europeos desplazados por ese conflicto. Muy optimista, la Asamblea General de Naciones Unidas creó el 14 de diciembre de 1950 al Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados con un mandato de tres años para completar sus labores y luego disolverse. Al año siguiente, el 28 de julio de 1951, fue adoptada la Convención de Naciones Unidas sobre el Estatuto de los Refugiados, el fundamento legal para ayudar a los refugiados y el estatuto básico que rige el trabajo del ACNUR.

etc. La comunidad carece de servicio de telefonía ya que los operadores no ven viable la instalación de dicho servicio, esto ha obligado a la comunidad a la adquisición de teléfonos celulares para mantener una pequeña red de comunicación local que permita la comunicación eficaz ante una emergencia. Actualmente en el cantón Santa Marta la mayoría de sus habitantes tienen acceso un teléfono celular, pero esto implica costos altos al momento de realizar una llamada ya sea para coordinar una reunión o hacer una alerta preventiva. Es aquí donde la telefonía IP es de gran ayuda gracias a su versatilidad y bajo costo. El hecho de que toda la comunicación sea de manera inalámbrica beneficia grandemente ya que no se necesita realizar cableado ni colocar postes extras. Además, es una gran experiencia para las personas de la comunidad que participarán en las pruebas de campo ya que como finalidad primordial estas personas podrán ser capaz de corregir problemas y las configuraciones necesarias para aumentar el número de puntos en un futuro.

3.2. Identificación del problema.

En la actualidad nuestro país destaca como uno de los más violentos de la región, esto debido al crecimiento desmesurado de los grupos delictivos (pandillas), los cuales han optado por expandirse a las zonas rurales del país. Santa Marta experimenta esta problemática, por ello surge la necesidad de tener un mecanismo el cual permita a sus habitantes mantener comunicación constante sin necesidad de salir de sus hogares, esto con el objetivo de prevenir o denunciar alguna acción de violencia que se de en la zona.

3.3. Antecedentes.

Como se mencionó anteriormente el cantón Santa Marta pertenece al municipio de Ciudad Victoria departamento de Cabañas, este por mucho tiempo ha tenido los apoyos de distintas ONG tanto nacionales como internacionales que brindan ayuda para el desarrollo económico y social de la zona. Cuenta con el “Complejo Educativo 10 de octubre de 1987”, este actualmente cuenta con dos aulas de informática las cuales disponen de servicio de acceso al internet. A finales del 2014, con ayuda de ONG, se estableció un radio enlace en la frecuencia de 5 GHz desde Sensuntepeque Cabañas hasta dicho complejo educativo. Ahora con el crecimiento población que se ha tenido en esta zona se tiene la necesidad de implementar un sistema de telefonía IP que permita realizar llamadas entre puntos estratégico como PNC, ONG (ubicadas en la zona), complejo educativo y casas de dirigentes comunales esto con el fin de tener un sistema de alerta temprana en caso de desastres naturales o para prevenir situaciones de violencia.

3.4. Propuesta del proyecto.

El 13 de agosto de 2015, en el laboratorio de VoIP se realizó una pequeña reunión con representantes de la comunidad Santa Marta y ADES. Esto con el objetivo de mostrarle el funcionamiento de una pequeña red mesh. Dicha red sería una solución al problema de comunicación que presentan la comunidad, como lo muestra la Figura 3.2 el sistema consistía en tener una planta PBX instalada en una Raspberry Pi, esta gestionaría el tráfico de llamadas entre extensiones previamente configuradas. Cada nodo estaba integrado por un router MP01 y un teléfono analógico, el router funcionaba como un punto de acceso para

dispositivos portátiles como laptop, celulares y Tablet los cuales utilizarían una aplicación softphone para poder integrarse a la red gestionada por la PBX. Además de funcionar como un convertidor ATA para el teléfono analógico. La comunicación entre los nodos era de forma inalámbrica prevista para una distancia máxima de 300 metros entre nodos.



Figura. 3.1 Presentación de la red mesh.

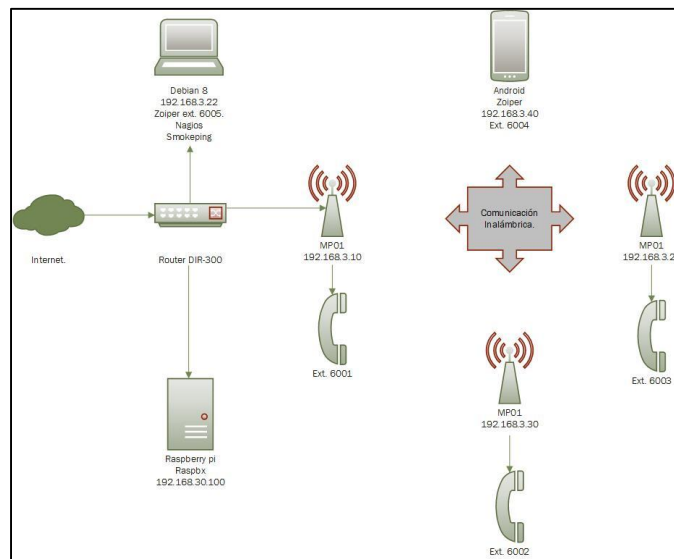


Figura. 3.2 Propuesta de red mesh.

Al finalizar la reunión se establecieron los siguientes compromisos:

- a) La realización de una prueba piloto por lo menos con cinco nodos para establecer los lugares idóneos para la posterior instalación.
- b) Compromiso de ADES para la compra de equipos y materiales.
- c) Logística necesaria para el transporte de equipos.
- d) Apoyo logístico por parte de la comunidad para el desarrollo de actividades concernientes al proyecto.

Con lo anterior se daba por iniciado el proyecto el cual se presupuestaba concluir en el mes de noviembre del mismo año.

3.5. Georreferencia usando Google Earth.

Se planteó la instalación de nueve nodos. Con la ayuda de los representantes de la comunidad se tomaron sus respectivas coordenadas GPS. Con el software Google Earth se obtuvo una perspectiva más real de la ubicación de dichos nodos y sobre todo las distancias correspondientes que cada enlace debe de cubrir. En la Tabla 3.1 se presentan las coordenadas y altura para cada nodo, seguidamente (Figura 3.3) se puede apreciar cada uno de los nodos ubicados en el mapa de Google Earth.

| Nodo | Latitud | Longitud | Altura |
|---------|----------|-----------|--------|
| WALEJO | 13.94804 | -88.67398 | 568.5 |
| ESCUELA | 13.95309 | -88.67348 | 543.2 |
| LAINÉZ | 13.9483 | -88.67636 | 575.3 |
| LEIVA2 | 13.95105 | -88.67613 | 564.7 |
| ARGUETA | 13.95072 | -88.67206 | 573.5 |
| BONILLA | 13.95008 | -88.67554 | 563.9 |
| LEIVA | 13.95157 | -88.67576 | 566.1 |
| TORRES | 13.94591 | -88.68056 | 586.9 |
| CIBER | 13.95127 | -88.6748 | 557 |

Tabla 3.1 Coordenadas y altura para cada nodo.



Figura. 3.3 Ubicación de los nodos usando Google Earth.

Como se observa en la Figura 3.3 el nodo TORRES representó el reto a vencer. Por su distancia no se podía asegurar a ciencia cierta si sería posible integrarlo a la red mesh.

3.6. Radio Mobile.

Radio Mobile es un programa de simulación de radioenlace gratuito desarrollado por Roger Coudé en el año 1998. Permite predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (del inglés *Irregular Terrain Model*) o modelo Longley-Rice. 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 NASA SRTM (del inglés *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión*) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos (100m).

3.6.1. Caracterización del sistema.

Se configura cada nodo con sus respectivas coordenadas (ver apéndice A). En la Figura 3.4 se observa como el sistema quedo compuesto por nueve nodos (para los cuales se usarán router MP02) y un supernodo (para el cual se usará un router NS M2).

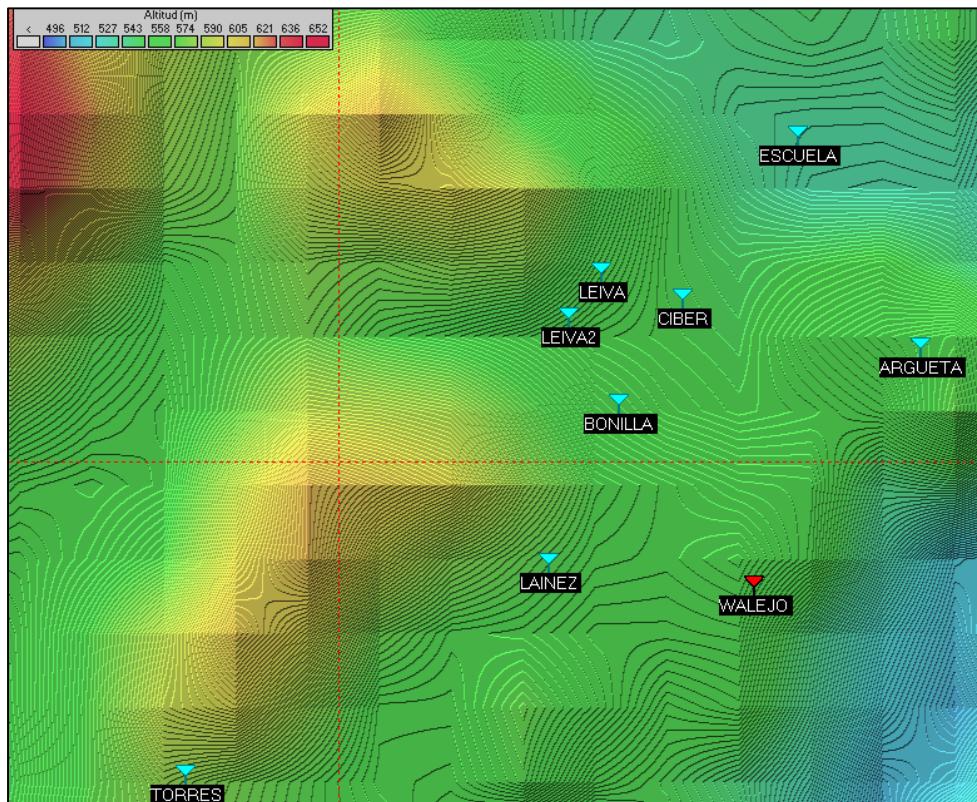
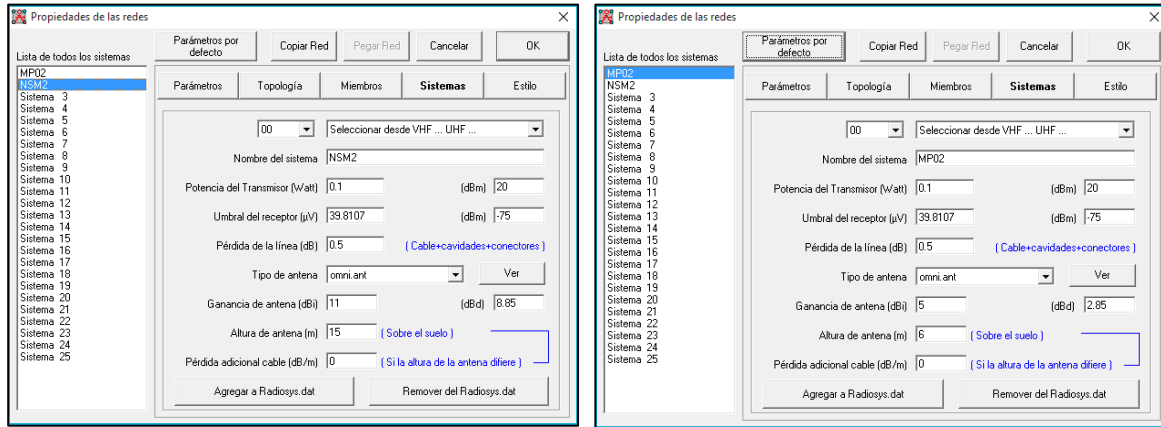


Figura. 3.4 Ubicación de nodos y supernodo.

En el mapa el nodo WALEJO está marcado de color rojo, esto debido a que desempeña la función de supernodo²⁴. Se encarga de brindar el servicio de DHCP a los dispositivos

²⁴ En esta configuración el nodo central se encarga de distribuir servicios como DHCP, autenticación en PBX, acceso a internet etc. Todos los demás nodos se conectarán a este para pedir algún servicio de los antes mencionados.

móviles que estén previamente configurados con las credenciales de la planta PBX. La configuración mostrada en la Figura 3.3 (a) corresponde al equipo (router NS M2) instalado en el supernodo. En la Figura 3.3 (b) muestra la configuración al router MP01 instalado en cada nodo.



(a) Configuración nodo (a), Configuración supernodo (b).

En la siguiente Figura 3.6 se observa la simulación de la red, la línea verde representa los enlaces efectivos y la línea verde intermitente demuestra los enlaces débiles.

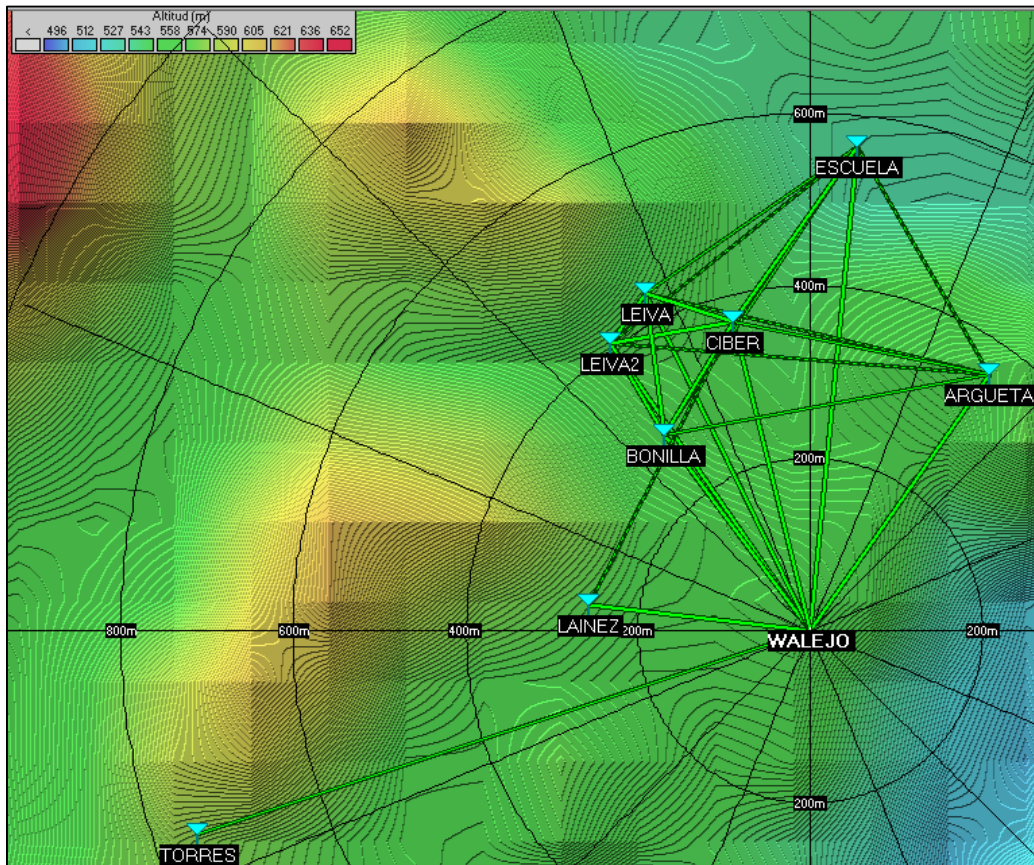


Figura. 3.6 Enlaces efectivos de la red.

3.6.2. Mapa de Cobertura.

Radio Mobile nos permite realizar un estudio aproximado del área de cobertura de una antena. Utilizando la opción “Cobertura de radio polar” se puede realizar un estudio para el repetidor NSM2 (supernodo WALEJO) y así determinar el nivel de señal recibida en dBm. Dicho nivel se cuantifica gracias al rango de colores proporcionado por el programa, en el cual el color azul representa un pésimo nivel de señal y el color rojo representa un nivel excelente de señal; el color verde representaría un nivel aceptable de señal. En la Figura 3.7 se observa el mapa de cobertura antes mencionado. Comprobando (de manera aproximada) que el supernodo WALEJO tiene una cobertura aceptable (color verde) de 400 metros. Los nodos que estén fuera del rango de 400 metros reciben una señal débil (color aqua). Sin embargo, esto se soluciona gracias a que cada nodo tiene la capacidad transmitir la señal enviada por el supernodo a un rango de 300 a 450 metros.

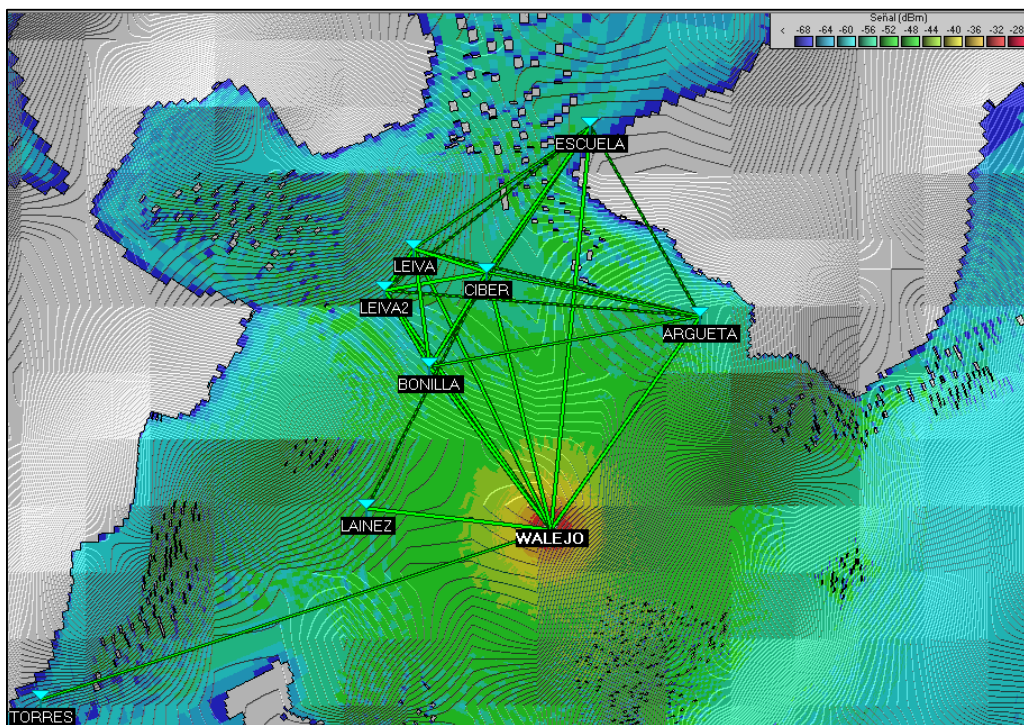


Figura. 3.7 Mapa de cobertura para el nodo WALEJO.

La distancia del nodo TORRES con respecto al supernodo WALEJO es aproximadamente 750 metros (según Radio Mobile). En principio esto representa un problema ya que se encuentra fuera del rango de los 400 metros de cobertura aceptable del supernodo. El mapa de cobertura del nodo LAINAZ (Figura 3.8) proporciona un rango de cobertura aceptable de 200 metros permitiendo de igual forma comunicarse con el nodo TORRES para poder transmitir la información desde el supernodo.

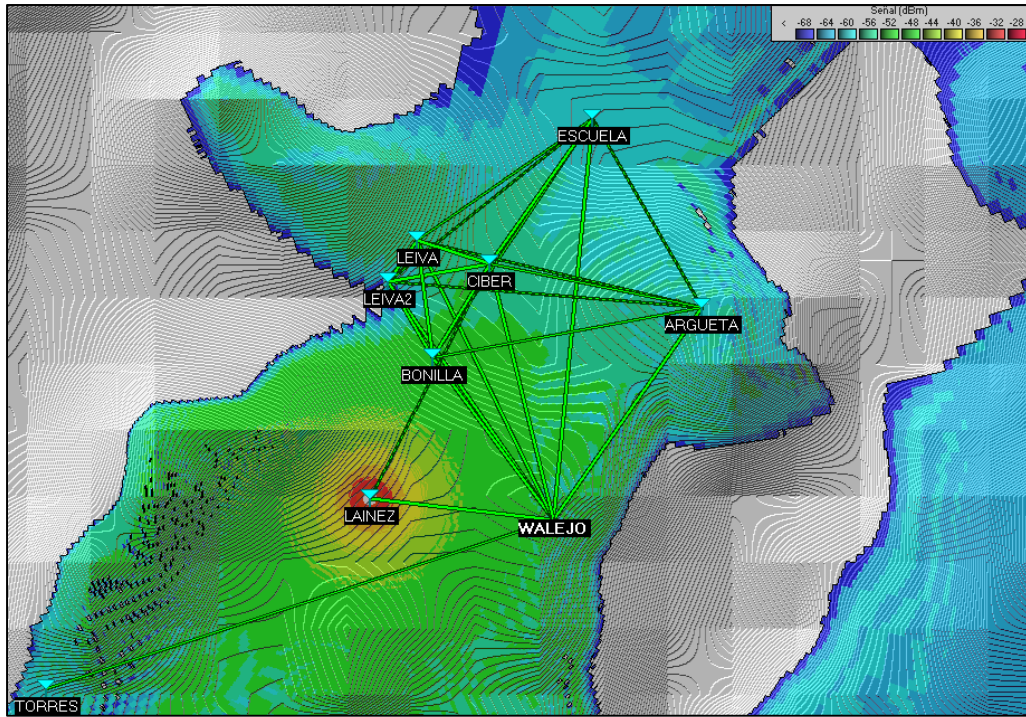


Figura. 3.8 Mapa de cobertura del nodo LAINEZ.

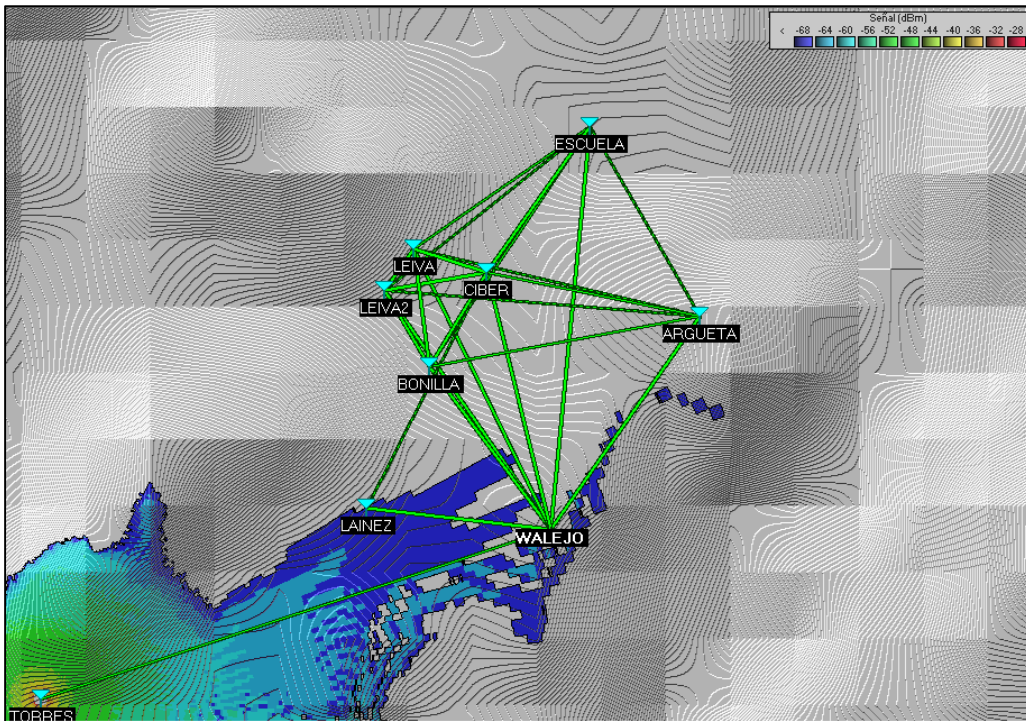


Figura. 3.9 Mapa de cobertura del nodo TORRES.

3.6.3. Enlace de radio.

El centro del sistema es el supernodo, este debe tener la ubicación idónea para que proporcione el mayor alcance posible. En este apartado se mostrará distintas herramientas que permiten tener una aproximación del comportamiento del enlace, para esto se mostrara los dos enlaces más representativos del sistema.

- **Enlace WALEJO-ESCUELA.**

En la siguiente imagen se observa que la distancia del enlace es de 560 metros, se obtiene un nivel de RX de -56.2 dBm lo cual es un poco ajustado cumple con el margen de sensibilidad (-68 dBm según datos técnicos del equipo).

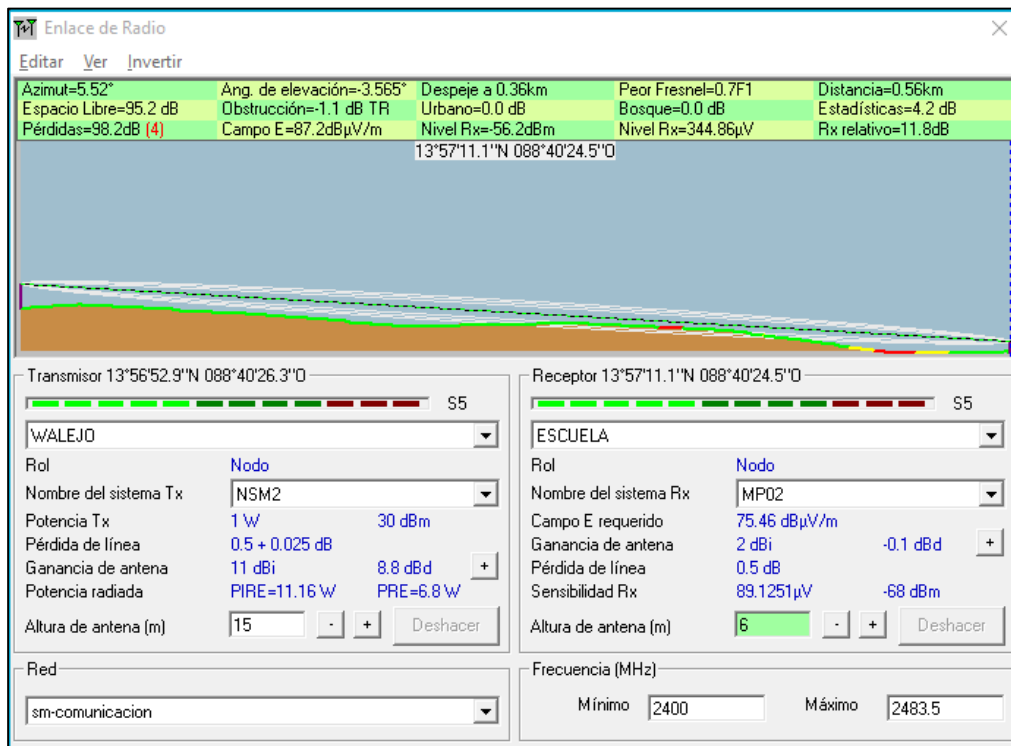


Figura. 3.10 Vista de perfil del enlace WALEJO-ESCUELA.

En la Figura 3.11 se observa el rango del enlace donde se denotan dos perturbaciones que obligan a que el nivel de la señal recibida caiga por debajo del umbral definido (sensibilidad). Estas pérdidas se le pueden atribuir a la topología del lugar además de la mala calidad del mapa. Representando en enlace en Google Earth (Figura 3.12) se comprueba la colocación de los nodos y las posibles obstrucciones.

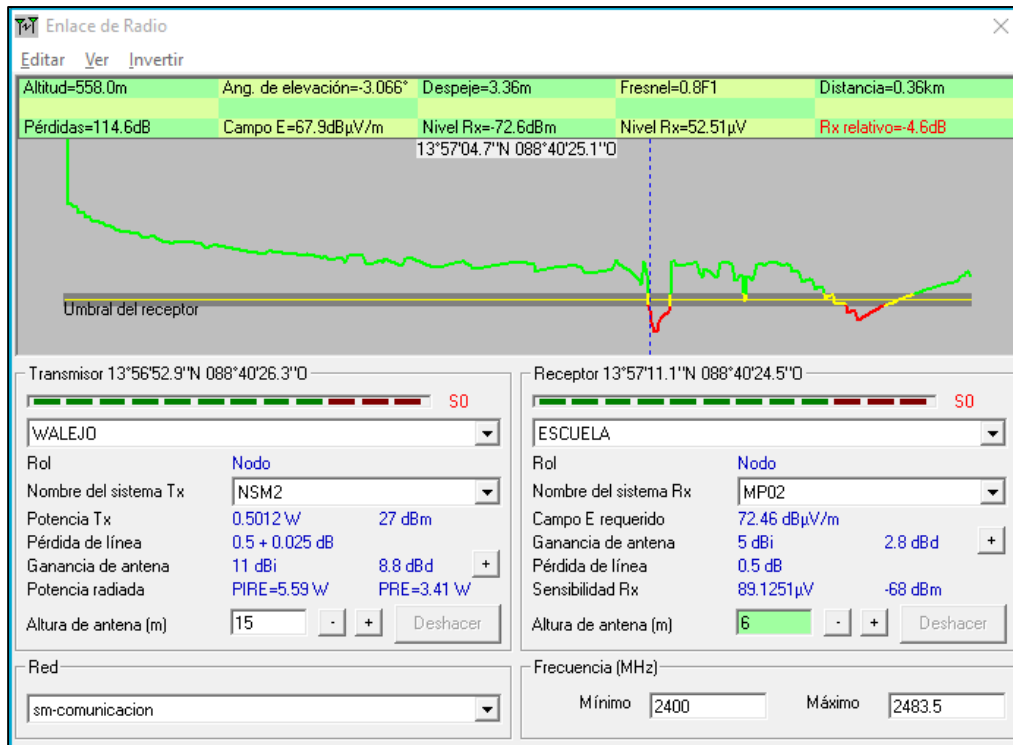


Figura. 3.11 Rango del enlace WALEJO-ESCUELA.

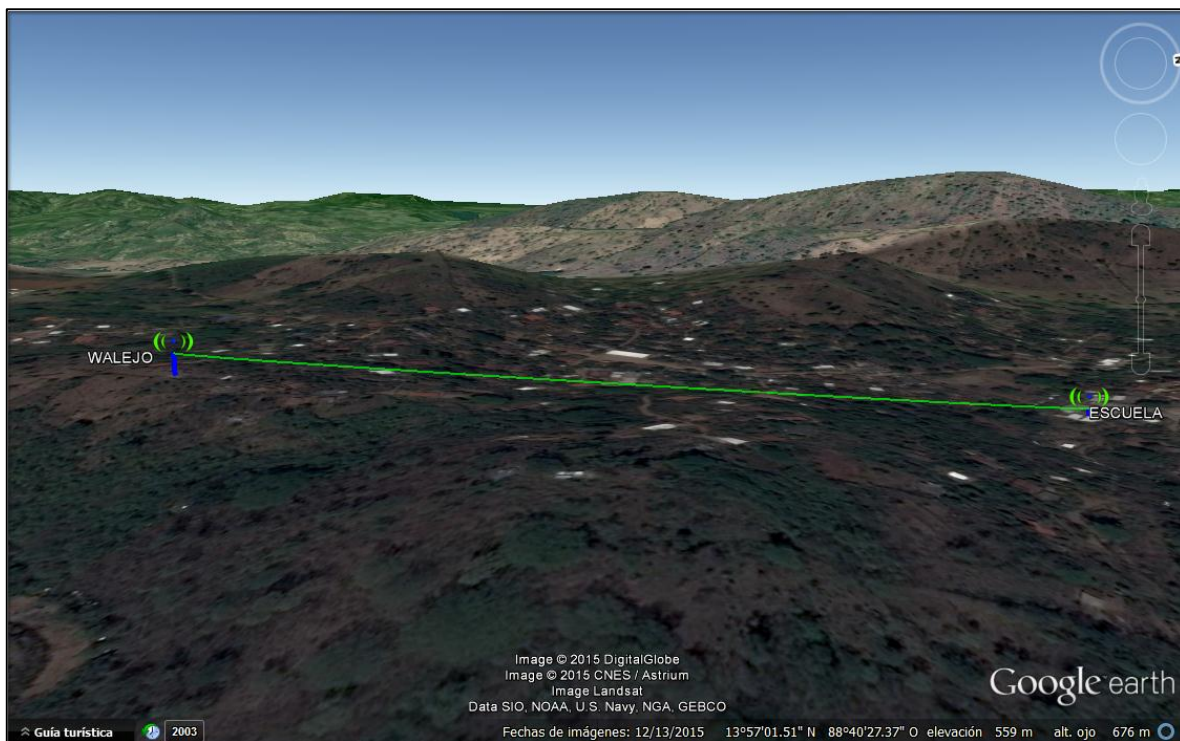


Figura. 3.12 Enlace WALEJO-ESCUELA visto desde Google Earth.

- **Enlace WALEJO-TORRES.**

Este representa el enlace con más distancia (762 metros), como se mencionó anteriormente el nodo LAINEZ sirve de apoyo para que este nodo se comunice con el resto de la malla.

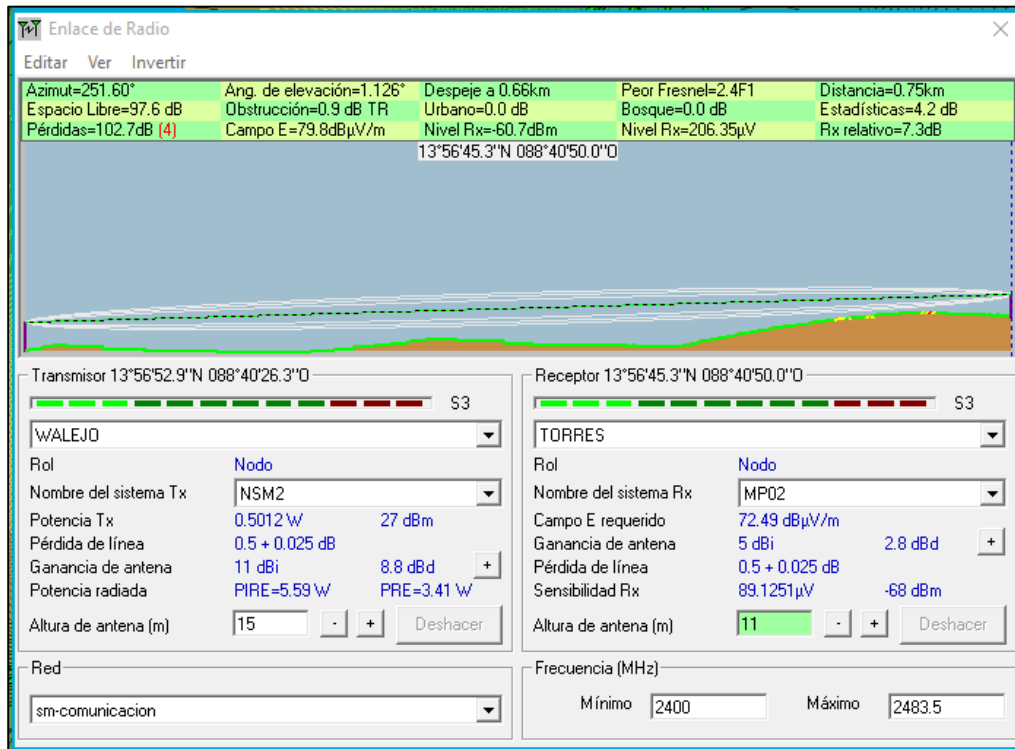


Figura. 3.13 Vista de perfil del enlace WALEJO-TORRES.

En la Figura 3.13 se muestra la vista de perfil del enlace WALEJO-TORRES. Este enlace cumple los niveles de potencia recibida mayores que los valores de sensibilidad del receptor. Pero cerca del nodo TORRES (Figura 3.14) se encuentra una pequeña pérdida que obliga a decaer al enlace por debajo del umbral. Esta pérdida puede ser atribuida a la distancia y la topografía del lugar.

La perspectiva del enlace vista en la Figura 3.15 demuestra como la vegetación afecta grandemente al enlace. Y finalmente en la Figura 3.15 se pueden apreciar todos los nodos comunicándose con el supernodo, esto ayuda a ubicar el lugar idóneo para la instalación de un repetidor (esto si hubiese sido necesario) con el fin de darle redundancia al enlace.

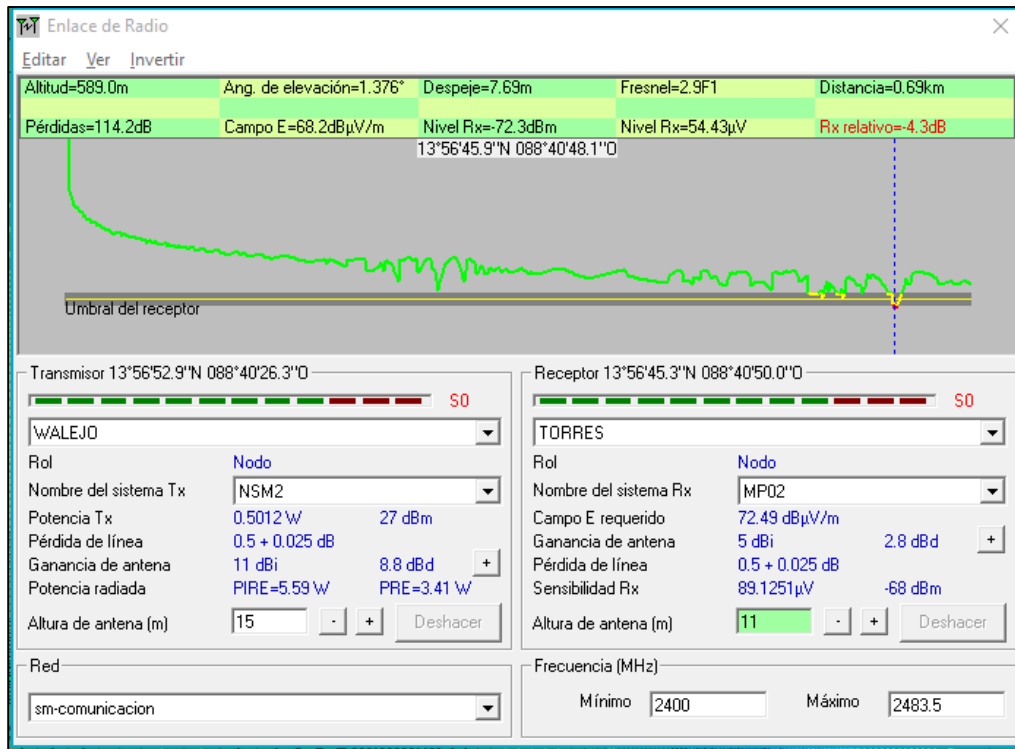


Figura. 3.14 Rango de enlace WALEJO-TORRES.

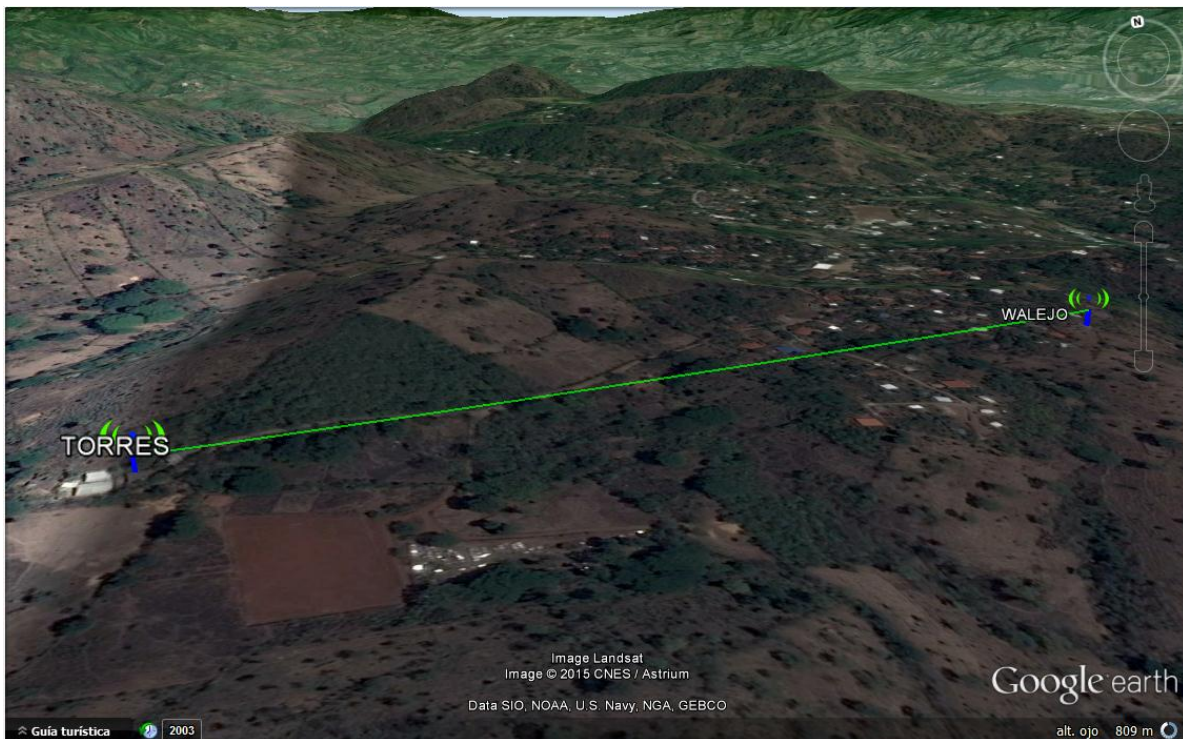


Figura. 3.15 Enlace WALEJO-TORRES visto desde Google Earth.

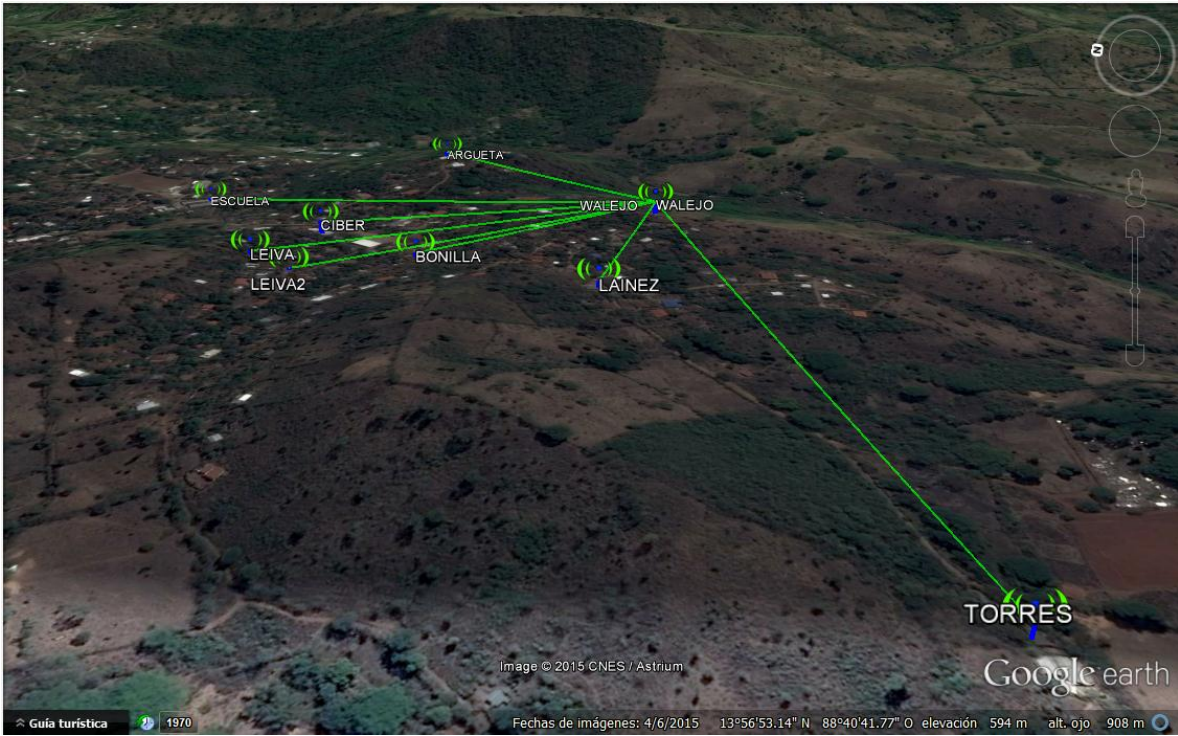


Figura. 3.16 Enlaces de nodos hacia supernodo.

CAPITULO 4: PRUEBA PILOTO E INSTALACION FINAL.

4.1. Prueba piloto.

Previo a la instalación final se tuvo que realizar una prueba. La idea era observar los principales problemas que pudiera tener los enlaces. Como se mencionó en el capítulo 3, la comunidad Santa Marta apoyaría en la parte de logística para realizar dicha prueba entre las personas que integraron el equipo de trabajo están:

- Walter Láinez.
- William Orlando Alejo.
- Rafael Peñate.
- Xavier Torres.

4.1.1. Equipos y material utilizado.

En la Tabla 4.1 se enumeran todos los materiales y equipos utilizados.

| Material / Equipo. | Cantidad. |
|-----------------------------------|---------------|
| Router MP01 | 9 unidades. |
| Router NS2 | 1 unidad. |
| Celulares con sistema Android. | 2 unidades. |
| Router D-link Dir-300. | 1 unidad. |
| Raspberry Pi modelo B+ | 1 unidad. |
| Computadora portátil. | 1 unidad. |
| Teléfono analógico. | 4 unidades. |
| Cinchas plásticas. | 100 unidades. |
| Conector RJ-11 | 20 unidades. |
| Cable UTP de dos pares. | 100 metros. |
| Extensión eléctrica de 10 metros. | 1 unidad. |
| Regleta para tomas. | 1 unidad. |
| Alambre galvanizado. | 40 metros. |
| Tuvo galvanizado de ¾. | 7 unidades |

Tabla 4.1 Materiales y equipos utilizados para la prueba piloto.

Esta prueba fue realizada del día 4 al 6 de septiembre del 2015. Esta consistió en la instalación de los equipos expuestos en la Tabla 4.1 para luego monitorizar su desempeño. Se configuraron 9 routers MP01, un NS2 en modo repetidor. Luego de realizar las configuraciones en el Asterisk instalado en la Raspberry (para más detalle ver apéndice B) las extensiones y direcciones LAN y WLAN quedaron repartidas como se muestra en la Tabla 4.2.

| NODO | EXTENCION | IP LAN | IP WLAN |
|---------|-----------|--------------|-------------|
| TOÑO | 6001 | 192.168.3.50 | 10.130.1.50 |
| MIGUEL | 6002 | 192.168.3.52 | 10.130.1.52 |
| LEIVA | 6003 | 192.168.3.54 | 10.130.3.54 |
| CIBER | 6004 | 192.168.3.56 | 10.130.3.56 |
| ARGUETA | 6005 | 192.168.3.58 | 10.130.3.58 |
| BONILLA | 6006 | 192.168.3.60 | 10.130.3.60 |
| LAINIZ | 6007 | 192.168.3.62 | 10.130.3.62 |
| TORRES | 6008 | 192.168.3.64 | 10.130.3.64 |

| | | | |
|----------|-----------|---------------|--------------|
| WALEJO | 6009 | 192.168.3.66 | 10.130.3.66 |
| SERVER | 6022 | | 192.168.3.22 |
| CELL1 | 6023 | | 192.168.3.23 |
| CELL2 | 6024 | | 192.168.3.24 |
| NS2 | REPETIDOR | 192.168.3.20 | 10.130.3.20 |
| DIR-300 | SWITCH | 192.168.3.1 | |
| RASPERRY | SERVIDOR | 192.168.3.100 | |

Tabla 4.2 Configuración de extensiones e IP para los equipos.

El proceso de instalación de los routers inicio el día viernes 4 a las 5:00 PM finalizando el sábado 5 a las 4:30 PM siguiendo la secuencia presentada a continuación.

4.1.2. Instalación del nodo WALEJO.

En este punto se utilizó la estructura donde está montada la antena para el radio enlace entre Santa Marta y Sensuntepeque (expuesto en el apartado 3.3), instalando la MP01 a una altura aproximada de 15 metros con el objetivo de enlazar con el nodo LAINEZ.



Figura. 4.1 Instalación del router en nodo WALEJO.



Figura. 4.2 Router instalado en nodo WALEJO.

4.1.3. Instalación del nodo LAINEZ.

Aquí se utilizó una vara de bambú proporcionada por el propietario del terreno la cual tenía una longitud aproximada de 8 metros. En este punto se tenía línea vista con el router colocado en el nodo WALEJO permitiendo un enlace óptimo con una distancia aproximadamente de 300 metros.



Figura. 4.3 Instalación del router en nodo LAINEZ.



Figura. 4.4 Router instalado en nodo LAINEZ.

4.1.4. Instalación del nodo TOÑO.

En este nodo se decidió instalar la Raspberry además de colocar el router NS2 utilizando un tubo de 6 metros de longitud ubicándolo en la segunda planta de la casa consiguiendo una altura total de 13 metros de altura, el cual permitió tener mayor cobertura aprovechando la altura de la zona. Este procedimiento se realizó en las primeras horas del día sábado 5 de septiembre. Al instalar dicho router se tenía comunicación con el punto WALEJO ubicado a aproximadamente 750 metros en línea recta y con LAINEZ ubicado aproximadamente a 850 metros en línea recta.



Figura. 4.5 Router NS2 instalado en el nodo TOÑO.

4.1.5. Instalación del nodo ARGUETA.

Este nodo es de gran importancia gracias a su ubicación y altura, pero su principal limitante fue la interferencia por parte de los arboles los cuales no permitían realizar un enlace óptimo. Se utilizó un tubo de 6 metros para su instalación provisional.



Figura. 4.6 Instalación del router en nodo ARGUETA.



Figura. 4.7 Router instalado en nodo ARGUETA.

4.1.6. Instalación del nodo BONILLA.

En las primeras simulaciones este punto presentaba problemas para integrarse a la red mesh ya que está rodeado por árboles frondosos. Estos debilitaban la señal emitida por los nodos WALEJO, ARGUETA y TOÑO aquí se utilizó un tubo de 6 metros además de instalar un teléfono analógico para la realización de pruebas.



Figura. 4.8 Instalación de router y teléfono analógico en nodo BONILLA.



Figura. 4.9 Configuración y verificación del sistema.

4.1.7. Instalación del nodo LEIVA.

Este nodo cuenta con la característica de poseer una buena altura, pero una de las limitantes es la densa vegetación la cual afecta a que el enlace sea óptimo. Se logró darle una excelente ubicación la cual permitió enlazar con el nodo BONILLA ubicado aproximadamente a 250 metros en línea recta, pero no se contaba con enlace hacia los nodos TOÑO, ARGUETA y WALEJO.



Figura. 4.10 Instalación del router en nodo LEIVA.



Figura. 4.11 Router instalado en nodo LEIVA.

4.1.8. Instalación del nodo repetidor CIBER.

Con el propósito de mejorar el alcance del sistema se optó por instalar un repetidor en la ubicación georreferenciada $13^{\circ}57'0.4''$ N $88^{\circ}40'28.3''$ W, o mejor conocida en la comunidad como CIBER. Aquí se utilizó la torre instalada en el lugar obteniendo una distancia aproximada de 15 metros. La instalación de este repetidor permitió el enlace con los nodos BONILLA y LEIVA los cuales sus enlaces resultaban demasiado débiles como para soportar una llamada.



Figura. 4.12 Instalación del router en el nodo repetidor CIBER.



Figura. 4.13 Router instalado en el nodo repetidor CIBER.

4.1.9. Instalación del nodo TORRES.

Este punto representaba el reto a vencer ya que por la ubicación y sobre todo las características del terreno no permitían obtener un enlace en línea vista ya sea con WALEJO o LAINEZ. Se utilizó una vara de bambú entre 15 a 20 metros la cual fue proporcionado por el dueño de la propiedad. Una vez instalado el equipo la prueba comprobó el estado óptimo del enlace permitiendo realizar llamadas hacía los nodos LAINEZ y WALEJO. Al realizar la llamada hacia el nodo BONILLA presentaba un poco de pérdidas las cuales fueron solventadas al aumentar la potencia de transmisión de los routers.



Figura. 4.14 Instalación del router en el nodo TORRES.



Figura. 4.15 Router instalado en el nodo TORRES.

4.1.10. Prueba en nodo adicional MIGUEL.

Aquí se realizó la instalación de un router MP01 utilizando una vara de bambú con una longitud aproximada de 4 metros. El objetivo de este nodo era enlazar a los nodos ARGUETA, WALEJO, TOÑO y CIBER. Para mejorar la señal recibida en los nodos LEIVA y BONILLA. La distancia (500 metros entre este nodo y el nodo WALEJO) y la vegetación no permitieron que se enlazara por la red mesh.



Figura. 4.16 Instalación del router en el nodo adicional MIGUEL.



Figura. 4.17 Router instalado en el nodo adicional MIGUEL.

4.1.11. Resultados.

La modificación más importante que se realizó fue agregar el nodo repetidor CIBER permitiendo así incorporar los nodos BONILLA y LEIVA a la red mesh como se observa en la Figura 4.18. El nodo ASECIO estuvo contemplado como nodo repetidor, pero al realizar las pruebas previas la densa vegetación no permitió que se recibiera una señal óptima para su integración. Para el caso del nodo MIGUEL se deben de agregar al menos dos nodos adicionales para crear una ruta alterna hacia él. Los nodos que no pudieron integrarse a la red están contemplados para una segunda fase del proyecto en la cual se pretende incorporar al menos 10 unidades adicionales.

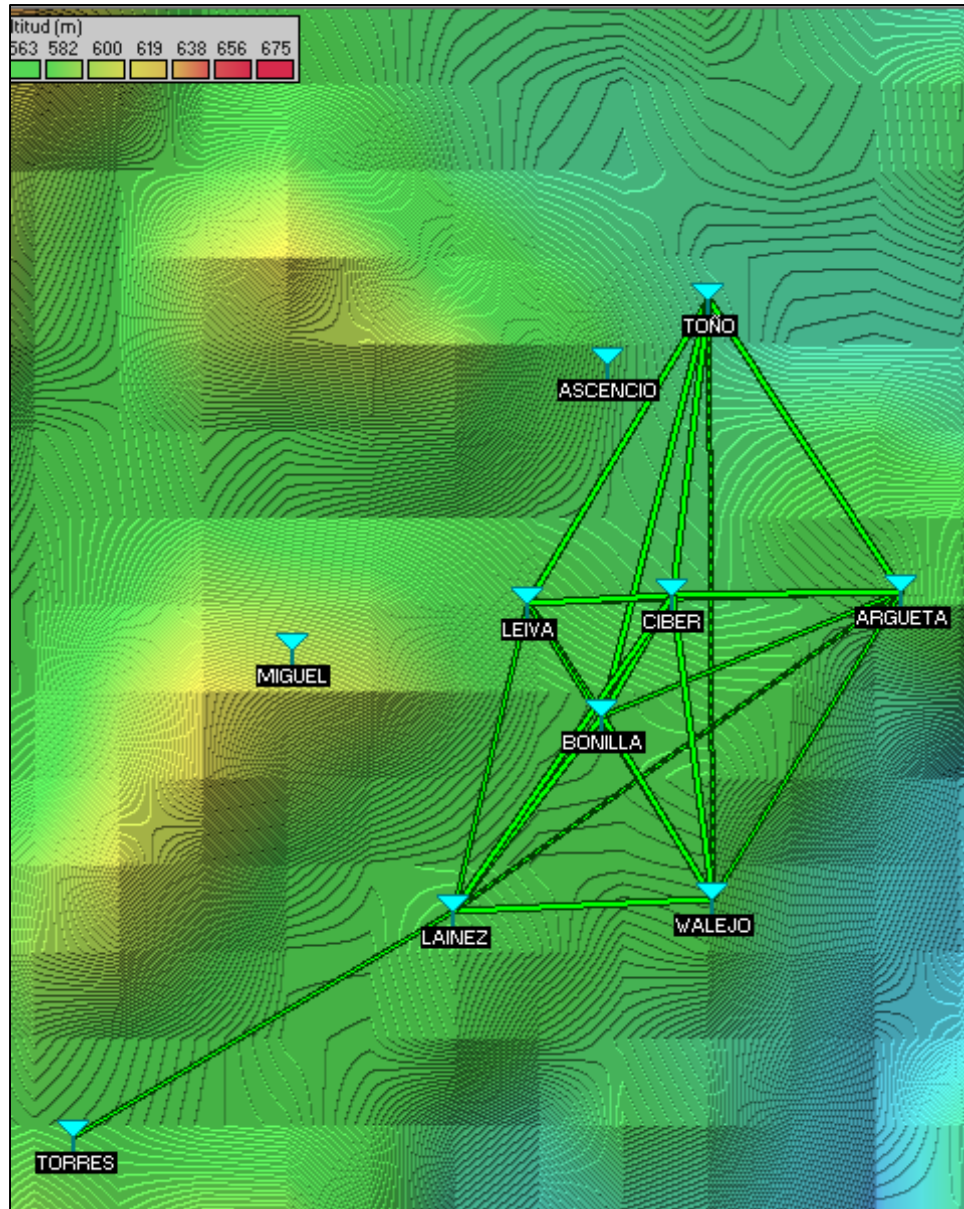


Figura. 4.18 Red mesh de la prueba piloto.

A medida se instalaban los equipos se verificaba la factibilidad del lugar donde se instalaría, esto debido a que los enlaces inalámbricos se debilitan por la distancia y obstrucciones presentes en la zona. La limitante de contar solo con cuatro teléfonos analógicos nos obligó a instalar 3 de manera estratégica en los nodos WALEJO, LAINEZ y BONILLA. El cuarto teléfono se instaló en el nodo TORRES para realizar llamadas como se muestra en la Figura 4.19.



Figura. 4.19 Walter realizando una llamada.

En la Figura 4.19 el compañero Walter está realizando distintas llamadas a los nodos LAINEZ, BONILLA y WALEJO mientras se realiza el monitoreo usando el protocolo BATMAN-Adv (ver Figura 4.20).

```

[ B.A.T.M.A.N. adv 2011.2.0, MainIF/MAC: ath0/00:09:45:5b:11:18 (bat0) ]
Originator      last-seen (#/255)      NextHop [outgoingIF]:  Potential nexthops ...
00:09:45:5b:0b:0e  0.070s  (144) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e (144)
00:09:45:5b:0a:c6  0.010s  ( 66) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e ( 66)
00:09:45:5b:0e:8c  0.190s  ( 55) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e ( 55)
00:09:45:5b:10:7a  0.530s  (139) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e (139)
00:15:6d:9c:01:61  0.870s  (144) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e (144)
00:09:45:5b:0b:2c  0.820s  ( 66) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e ( 66)
00:09:45:5b:11:30  7.870s  ( 95) 00:09:45:5b:0b:0e [  ath0]: 00:09:45:5b:0b:0e ( 95)

```

Figura. 4.20 Monitoreo usando el protocolo BATMAN-Adv de los router MP01 desde el punto TORRES.

Desde este mismo se verificó que las extensiones configuradas en el Asterisk estuvieran en línea. En la Figura 4.21 la línea azul representa las llamadas realizadas en ese momento y su respectiva duración. La línea verde denota el número de extensiones activas (sin llamadas) de la red. En ese momento el sistema se comporta de manera óptima, la gestión de las llamadas no sufrió retraso ni eco (gracias a la regulación de potencia de transmisión realizada) pero sufre una pequeña interferencia debido a la antigüedad de los teléfonos, esto se comprobó al realizar llamadas de prueba utilizando el softphone instalado tanto en la laptop como en los celulares.

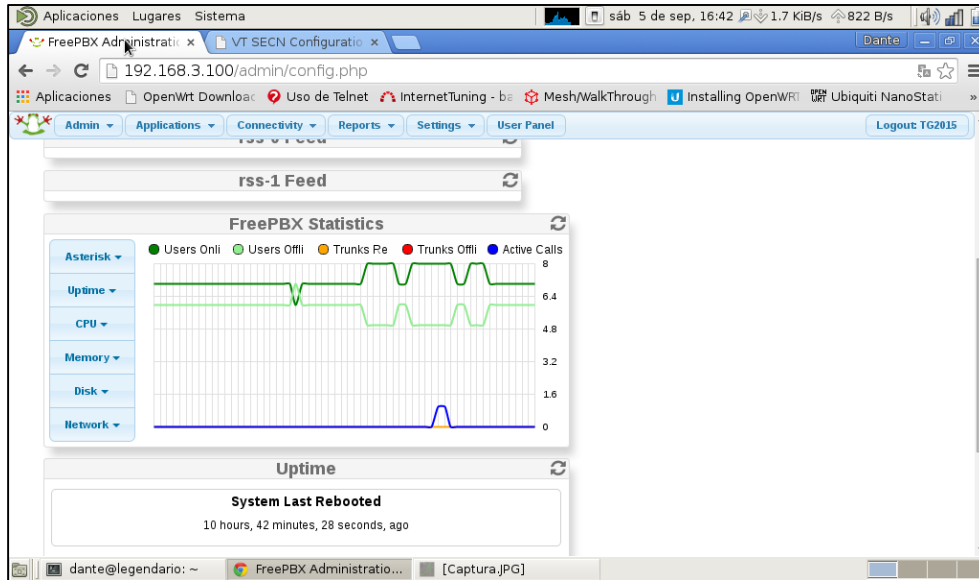


Figura. 4.21 Monitoreo de líneas activas y llamadas realizadas usando Asterisk.

Ese mismo día (sábado 5 de septiembre) se tenía previsto realizar un test de estrés²⁵ a la red, esta prueba consistiría en realizar un ping²⁶ simultaneo a todos los routers y a su vez realizar 4 llamadas simultaneas para comprobar la calidad de las mismas. Esta prueba no pudo realizarse debido a una tormenta imprevista la cual provocó constantes cortes de energía. Previamente se les pidió a las personas donde se instalaron los equipos que desconectarán los mismos si llovía. Los equipos fueron retirados al día siguiente (domingo 6 de septiembre) ya que su mayoría estaba en calidad de préstamo para realizar esta prueba. Lo importante fue que se comprobó que el proyecto era viable para su implementación final. Previamente los propietarios de las casas donde se instalarían los routers se comprometieron a realizar una poda de los arboles cercanos a donde se ubicaría el equipo para evitar la interferencia, además de comprometerse al cuidado de los teléfonos analógicos y fuentes de poder para evitar fallas que perjudiquen al router.

4.2. Ejecución del proyecto.

Los días 3 y 4 de octubre del 2015 se realizó la instalación de nueve de los 10 routers, esto gracias al apoyo económico de ADES. Para esto se organizó un grupo de trabajo integrado por:

- Walter Laínez.
- William Orlando Alejo.
- Juan Ayala.

²⁵ Test de estrés (Stress testing) permite evaluar el comportamiento de la red cuando las forzamos más allá de las condiciones de carga máxima o normal desbordando sus recursos o reduciéndolos. Con dicha prueba se identifican los puntos débiles de la aplicación, cómo se comporta bajo condiciones de carga extrema y asegurar que tras un fallo el sistema, se recupera sin causar graves problemas.

²⁶ La prueba ping es una utilidad en redes de computadoras que comprueba el estado de la comunicación del host local con uno o varios equipos remotos de una red IP por medio del envío de paquetes ICMP (del inglés *Internet Control Message Protocol*) de solicitud (ICMP Echo Request) y de respuesta (ICMP Echo Reply). Mediante esta utilidad puede diagnosticarse el estado, velocidad y calidad de una red determinada.

- Manuel Flores.
- Xavier Torres.

4.2.1. Presupuesto real de instalación.

Luego de presentar los resultados de la prueba piloto con los cuales se demostraba la factibilidad para la implementación del proyecto. La principal problemática enfrentada fue que los routers MP01 con los cuales se realizaron la prueba piloto estaban descontinuados. Esto obligó al uso de su versión más reciente (MP02) la cual está diseñada para la instalación en interiores. La solución más viable fue la utilización de cajas para intemperie para instalar los el router y protegerlo de las inclemencias del tiempo. En la Tabla 4.3 se presenta el costo real para la instalación de un router MP02.

| Material | Cantidad | Costo unitario | Costo de material |
|--------------------------------------|----------|----------------|-------------------|
| Tubo 1/2 galvanizado | 1 | \$ 17.00 | \$ 17.00 |
| Grapa para tubo de 1/2 | 4 | \$ 0.35 | \$ 1.40 |
| Ancla para pared de 1/4 | 4 | \$ 0.02 | \$ 0.08 |
| Tornillo para ancla de 1/4 | 4 | \$ 0.02 | \$ 0.08 |
| Caja plástica para intemperie | 1 | \$ 6.80 | \$ 6.80 |
| Silicón industrial tipo tubo | 1 | \$ 5.00 | \$ 5.00 |
| Cinchas plásticas de 11" | 15 | \$ 0.09 | \$ 1.35 |
| Cinchas plásticas de 7" | 15 | \$ 0.05 | \$ 0.75 |
| Jack RJ-45 | 4 | \$ 0.10 | \$ 0.40 |
| Jack RJ-11 | 4 | \$ 0.05 | \$ 0.20 |
| Caja de cable UTP intemperie | 40 | \$ 0.60 | \$ 24.00 |
| Caja rectangular PVC | 1 | \$ 0.40 | \$ 0.40 |
| Tapadera para caja rectangular | 1 | \$ 0.25 | \$ 0.25 |
| Adaptadores para RJ-11 | 1 | \$ 0.60 | \$ 0.60 |
| Broca de concreto 1/4 | 1 | \$ 1.75 | \$ 1.75 |
| Alambre galvanizado libra | 2 | \$ 0.77 | \$ 1.54 |
| Broca de hierro 1/4 | 1 | \$ 1.95 | \$ 1.95 |
| Clavo de acero de 1" | 6 | \$ 0.02 | \$ 0.12 |
| Router MP02 | 1 | \$ 63.00 | \$ 63.00 |
| Costo de envío del router | 1 | \$ 30.00 | \$ 30.00 |
| Adaptador PoE | 1 | \$ 10.00 | \$ 10.00 |
| Costo de envío del adaptador | 1 | \$ 10.00 | \$ 10.00 |
| Teléfono analógico | 1 | \$ 9.75 | \$ 9.75 |
| SUB-TOTAL | | | \$ 186.42 |
| Margen por variación de precios. 15% | | TOTAL | \$ 214.38 |

Tabla 4.3 Costo para la instalación de un nodo usando un router MP02.

En la prueba piloto se utilizó un router NS2 fabricado por Ubiquiti, este router permitió mejorar el área de cobertura. Sin embargo, este no es compatible con el MP02 para solventar esto se tuvo que adquirir un router NS M2 el cual en comparación con su predecesor presenta mejoras sustanciales como las observadas en la Tabla 4.4.

| | NS2 | NS M2 |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Procesador | Atheros AR2315 180Mhz | Atheros MIPS 24KC,400Mhz |
| Wi-Fi | 802.11b/g | 802.11b/g/airmax |
| Antena | Multi-polaridad | Multi-polaridad |

| | | |
|-----------------------------|--------|--------|
| Conector RP-SMA | Si | No |
| Memoria Flash/RAM MB | 4/16 | 8/32 |
| Ethernet | Único | Doble |
| USB | No | No |
| High speed UART | No | SI |
| Acceso GPIO | Mínimo | Máximo |
| Consumo de energía | 4W | 1W |
| Outdoor | Si | Si |

Tabla 4.4 Comparación entre NS2 y NS M2.

Los materiales requeridos para la instalación de un router NS M2 y su costo por unidad se refleja en la Tabla 4.5.

| Material | Cantidad | Costo unitario | Costo de material |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Tubo 1/2 galvanizado | 1 | \$ 16.00 | \$ 16.00 |
| Grapa para tubo de 1/2 | 4 | \$ 0.35 | \$ 1.40 |
| Ancla para pared de 1/4 | 4 | \$ 0.02 | \$ 0.08 |
| Tornillo para ancla de 1/4 | 4 | \$ 0.02 | \$ 0.08 |
| Cinchas plásticas de 7" | 15 | \$ 0.05 | \$ 0.75 |
| Jack RJ-45 | 4 | \$ 0.10 | \$ 0.40 |
| Alambre galvanizado libra | 2 | \$ 0.77 | \$ 1.54 |
| Clavo de acero de 1" | 6 | \$ 0.02 | \$ 0.12 |
| Caja de cable UTP intemperie | 40 | \$ 0.60 | \$ 24.00 |
| Nano Station M2 | 1 | \$ 95.00 | \$ 95.00 |
| Costo de envío del router | 1 | \$ 35.00 | \$ 35.00 |
| SUB-TOTAL | | | \$ 174.37 |
| Margen por variación de precios. 15% | | TOTAL | \$ 200.53 |

Tabla 4.5 Costo unitario para la instalación de un router NS M2.

Es muy importante tener en cuenta que se requiere la instalación de un servidor que permita la gestión de llamadas entre los nodos integrando además a los Smartphone a esta red. Por otro lado, se debe mantener un monitoreo permanente de los equipos para garantizar su buen funcionamiento y restablecerlo en caso de falla. También es importante adecuar dichos servidores para prevenir fallas el servicio en nuestro caso se contempla usar Raspberry Pi para el servidor PBX y el servidor de monitoreo. Los costos para la instalación de dichos equipos se representan en la Tabla 4.6.

| Material | Cantidad | Costo unitario | Costo de material |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Kit Raspberry Pi 2 | 2 | \$ 95.00 | \$ 190.00 |
| Micro SD 16 GB clase 10 | 2 | \$ 15.50 | \$ 31.00 |
| UPS CENTRA 1200VA | 1 | \$ 75.00 | \$ 75.00 |
| Extensión eléctrica | 1 | \$ 14.00 | \$ 14.00 |

| | | | |
|--------------------------------------|----|----------|-----------|
| Cinchas plásticas de 7" | 15 | \$ 0.05 | \$ 0.75 |
| Jack RJ-45 | 6 | \$ 0.10 | \$ 0.60 |
| Alambre galvanizado libra | 2 | \$ 0.77 | \$ 1.54 |
| Clavo de acero de 1" | 6 | \$ 0.02 | \$ 0.12 |
| Cable UTP intemperie | 10 | \$ 0.60 | \$ 6.00 |
| Teclado USB | 1 | \$ 10.00 | \$ 10.00 |
| Mouse USB | 1 | \$ 5.00 | \$ 5.00 |
| Pantalla Led 15.6 | 1 | \$ 80.00 | \$ 80.00 |
| SUB-TOTAL | | | \$ 414.01 |
| Margen por variación de precios. 15% | | TOTAL | \$ 476.11 |

Tabla 4.6 Costo para servidores de monitoreo y PBX.

El costo final para la instalación de 10 routers MP02, un repetidor NS M2 además de los servidores de monitoreo y PBX se muestran a continuación.

| Concepto. | Cantidad. | Costo unitario. | Costo Total. |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|--------------------|
| Instalación de routers MP02. | 10 | \$ 214.38 | \$ 2,143.80 |
| Instalación de repetidores NS M2. | 1 | \$ 200.53 | \$ 200.53 |
| Instalación de servidores. | 1 | \$ 476.11 | \$ 476.11 |
| Viáticos. | 1 | \$ 225.00 | \$ 225.00 |
| Transporte de materiales. | 2 | \$ 100.00 | \$ 200.00 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 3,245.44 |

Tabla 4.7 Costo final para la red mesh.

El costo total representa una gran cantidad para una comunidad en la cual la mayoría de familias subsisten gracias a la agricultura, ganadería, remesa etc. El aporte económico proporcionado por ADES fue de gran importancia para la adquisición de equipos (10 routers MP02) y materiales necesarios para la instalación de los mismos. El equipo de trabajo conformado por las personas de Santa Marta brindó en todo momento su apoyo al proyecto en cuestiones vitales como hospedaje, mano de obra y alimentación.

4.2.2. Instalación de los routers MP02.

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el router MP02 fue diseñado para ser instalado en interiores. Por esta razón se tuvo la necesidad de instalar dicho router en una caja intemperie plástica para protegerlo de las inclemencias del tiempo. En la Figura 4.22 (a) se muestra la ubicación del router para realizar las pruebas, se tuvo que utilizar adaptadores PoE para cámaras IP para usar el cable de red como extensión de energía. En la Figura 4.22 (b) se puede apreciar la primera prueba con el router instalado en su respectiva (prueba realizada en la escuela de Ingeniería Eléctrica el 2 de octubre del 2015) caja para comprobar su buen funcionamiento, la longitud del cable de red utilizado fue de veinte metros.

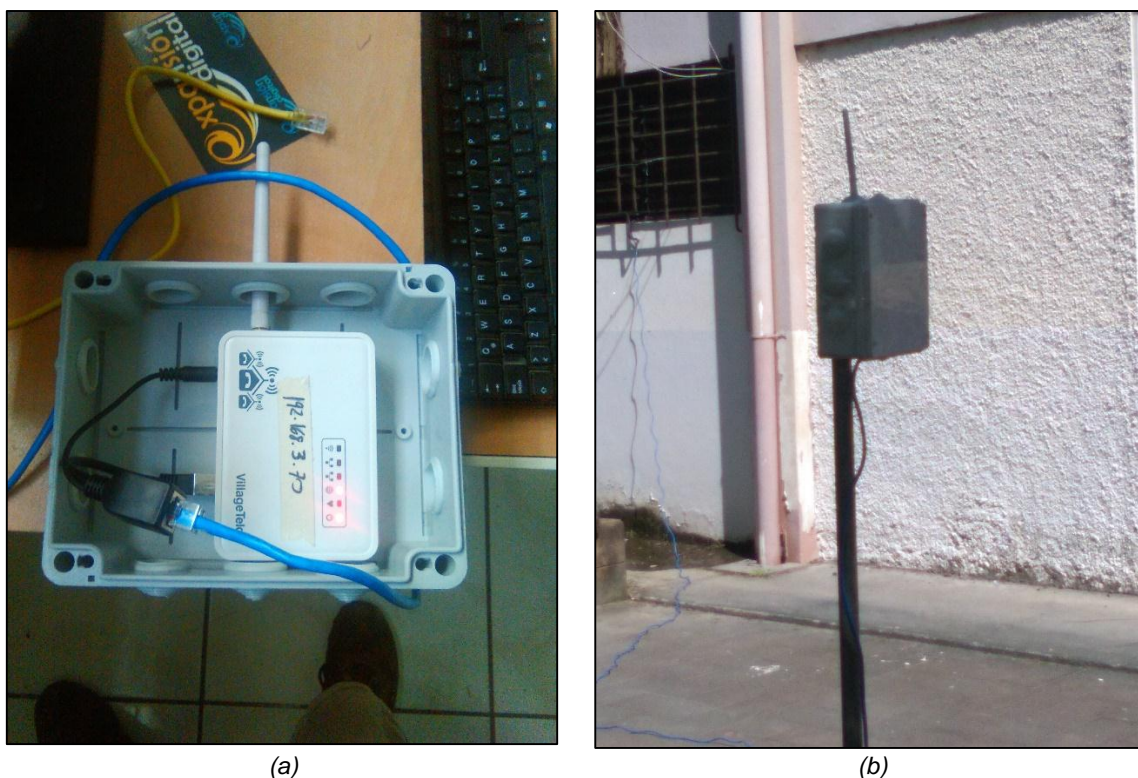


Figura. 4.22 (a) Instalación de router en caja intemperie. (b) Pruebas con router instalado en caja intemperie.

La instalación en la comunidad Santa Marta fue realizada los días 3 y 4 de octubre del 2015. En todos los nodos se realizó siguiendo la misma metodología, el router instalado en su respectiva caja era instalado en un tubo de seis metros y ubicado de manera estratégica para obtener la señal más óptima. En ciertos nodos se tuvo que realizar instalaciones especiales ya sea para aprovechar la altura del lugar o simplemente para que el router se integrara a la red mesh. A continuación, se detalla la instalación de algunos nodos.

4.2.2.1. Distribución de direcciones IP para la red mesh.

Previamente en la Raspberry Pi se configuraron las extensiones (ver apéndice B). Cada una de las extensiones debe corresponder a una dirección IP única asignada a un único router. Para esto se creó un rango IP específico para que todos se mantengan en el mismo rango de red. Cada router requiere de dos direcciones IP como se observa en la Tabla 4.8, una para la red cableada y otra para la red inalámbrica (ver apéndice C para configuración para detalles de la configuración).

| ID | N | W | Altura | Extensión | IP LAN | IP WLAN |
|----------|-------------|-------------|--------|-----------|--------------|-------------|
| RESPALDO | 13°57'10.6" | 88°40'27" | | 6001 | 192.168.3.50 | 10.130.1.50 |
| ESCUELA | 13°56'58.5" | 88°40'41.8" | 10 | 6002 | 192.168.3.52 | 10.130.1.52 |
| LAINEZ | 13°57'00.9" | 88°40'33.4" | 8 | 6003 | 192.168.3.54 | 10.130.3.54 |
| LEIVA2 | 13°57'08.4" | 88°40'30.5" | 7 | 6004 | 192.168.3.56 | 10.130.3.56 |
| ARGUETA | 13°57'00.5" | 88°40'20.4" | 6 | 6005 | 192.168.3.58 | 10.130.3.58 |
| BONILLA | 13°56'56.6" | 88°40'32.1" | 6 | 6006 | 192.168.3.60 | 10.130.3.60 |

| | | | | | | |
|----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------|-------------------|-------------|
| LEIVA | 13°56'49.8" | 88°40'36.5" | 6 | 6007 | 192.168.3.62 | 10.130.3.62 |
| TORRES | 13°56'41.7" | 88°40'49.6" | 11 | 6008 | 192.168.3.64 | 10.130.3.64 |
| WALEJO | 13°56'49.9" | 88°40'26.8" | 15 | 6009 | 192.168.3.66 | 10.130.3.66 |
| CIBER | 13°57'0.4" | 88°40'28.3" | 15 | 6010 | 192.168.3.68 | 10.130.3.68 |
| WILLIAN | Unidad móvil. | | | 6023 | 192.168.3.23 | |
| JUAN | Unidad móvil | | | 6024 | 192.168.3.24 | |
| XAVIER | Unidad móvil. | | | 6025 | 192.168.3.25 | |
| DIR-300 | Usuario: | TG2015 | Contra seña: | root2015 | 192.168.3.1 | |
| RASPBERRY Y | Usuario web: | TG2015 | Contra seña: | root2015 | 192.168.3.10 0 | |
| | Usuario SSH: | root | Contra seña: | raspberry | | |

Tabla 4.8 Distribución de IP para la red mesh.

4.2.2.2. Adecuación de los routers.

El acondicionamiento de las cajas intemperie estuvo a cargo de Juan Ayala. Se trató la manera de optimizar el uso de los materiales para evitar la acumulación de sobrantes. El router era sujetado a la caja intemperie usando cinchas plásticas industriales de 10", a su vez en la caja intemperie se usaba alambre galvanizado #14 para sujetarlo ya sea en tubo o estructura metálica. Se utilizó silicona transparente para evitar la posible filtración de agua en los agujeros donde estaba sujeto el router.



(a)



(b)

Figura. 4.23 (a) Preparación de caja intemperie. (b) Caja intemperie lista para su instalación.

4.2.2.3. Instalación del nodo WALEJO.

Sin duda este ha sido el nodo estratégico para red ya que cuenta con una torre aproximadamente de dieciocho metros de altura, en dicha torre se instaló el router MP02 a una altura de quince metros como se observa en la imagen siguiente.



Figura. 4.24 William instalando el router en el nodo WALEJO.

4.2.2.4. Instalación del nodo ARGUETA.

En este nodo se instaló la Raspberry la cual tiene la función de planta PBX. Para la interconexión entre los nodos y la planta se utiliza un router D-link Dir-300 el cual proporciona el servicio de DHCP a los equipos externos como teléfonos y computadoras que se conecten inalámbricamente al acceso de la red mesh.



(a)



(b)

Figura. 4.25 (a) Instalación del router MP02 en nodo ARGUETA, (b) Comprobación del servidor instalado en la Raspberry.

4.2.2.5. Instalación del nodo CIBER.

Aprovechando la altura de esta torre en la cual se encuentran instalados unos megáfonos, se instaló un router con una extensión habilitada, pero de momento se encuentra configurado como repetidor para fortalecer la señal en los nodos BONILLA y LEIVA.



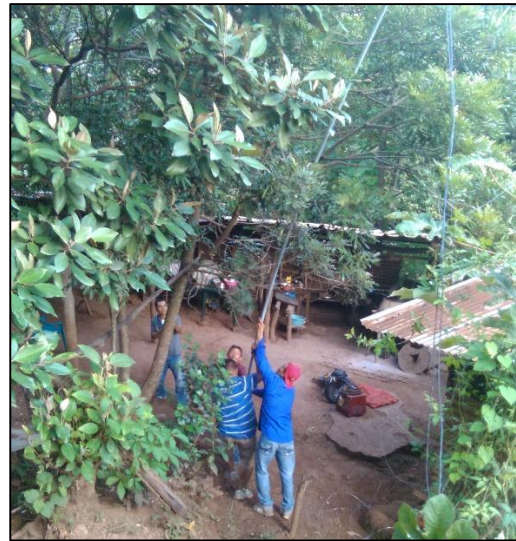
Figura. 4.26 Instalación del router en nodo CIBER.

4.2.2.6. Instalación del nodo TORRES.

Interconectar este nodo a la red mesh resultó ser un reto a vencer, la distancia entre este y el nodo WALEJO es aproximadamente 750 metros en línea vista. Se tuvo de que utilizar dos tubos de 6 metros unidos por soldadura eléctrica (Figura 4.27 (a)) para colocar el router a una altura efectiva de 11 metros. El montaje del equipo resultó un proceso que involucró a 7 personas como se observa en la Figura 4.27 (b), ya que el tubo utilizado resultó ser inestable debido a su diámetro (3/4").



(a)



(b)

Figura. 4.27 (a) Preparación del tubo para instalación del router MP02, (b) Proceso de instalación.

Al colocar el router en su posición (Figura 4.28) se tuvo que instalar alambres tensores para darle más rigidez a los tubos y de esta forma evitar una posible caída que pudiera afectar el servicio y sobre todo evitar que se ocasionara pérdidas materiales.



Figura. 4.28 Router instalado en nodo TORRES.

4.2.2.7. Resultados.

Al finalizar la instalación de cada nodo, el servidor PBX daba de alta a la extensión de manera automática. La interfaz web del Asterisk permite observar de manera gráfica el número de líneas activas en ese momento. Como se observa en la Figura 4.29, la línea verde oscuro representa el número de extensiones listas para hacer o recibir llamada, la línea verde claro denota el número de extensiones habilitadas en el Asterisk pero que están fuera de servicio. La línea azul representa el número de llamadas en ese momento, recordando que para un sistema de VoIP puede realizarse múltiples llamadas simultáneas.

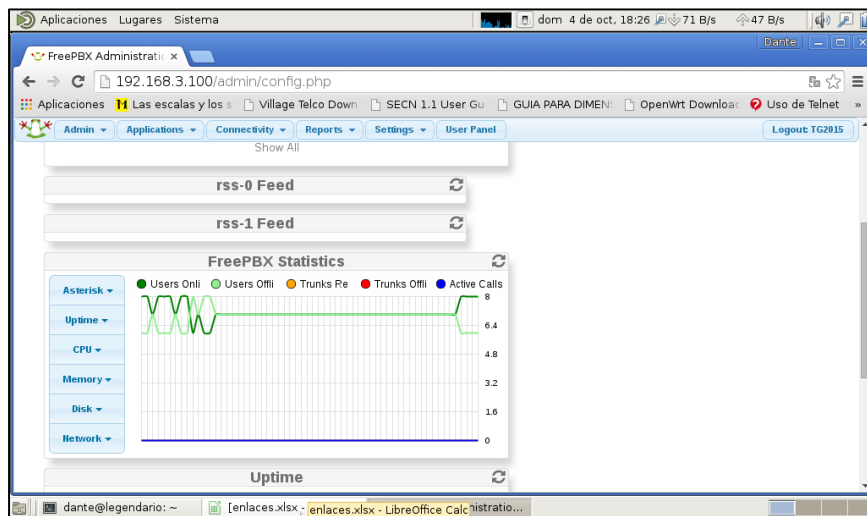


Figura. 4.29 Interfaz web de Asterisk.

En la imagen anterior la línea verde (oscuro) representa los usuarios en línea. Esta captura fue tomada minutos después de instalar el último nodo.

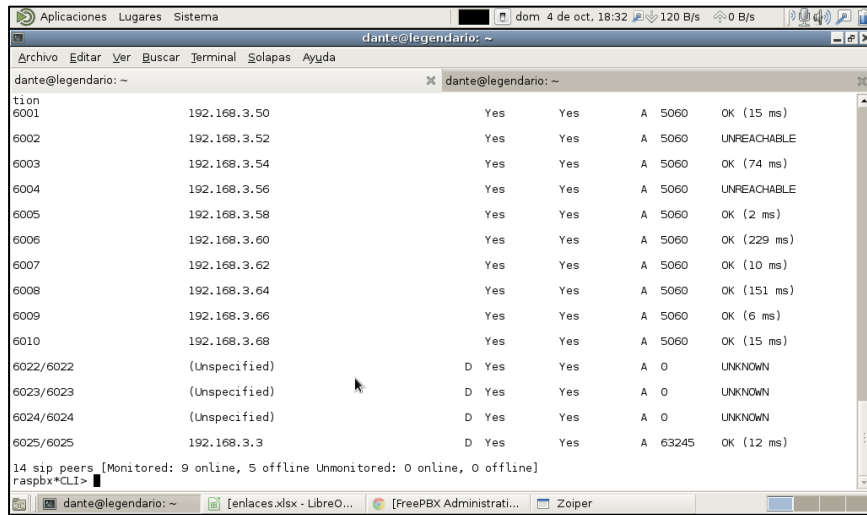


Figura. 4.30 Extensiones activas vistas desde la consola de Asterisk.

Otra forma de comprobar que extensiones están en línea y cuales están desconectadas en ese momento es usando el modo consola de Asterisk, esto se observa en la imagen anterior.

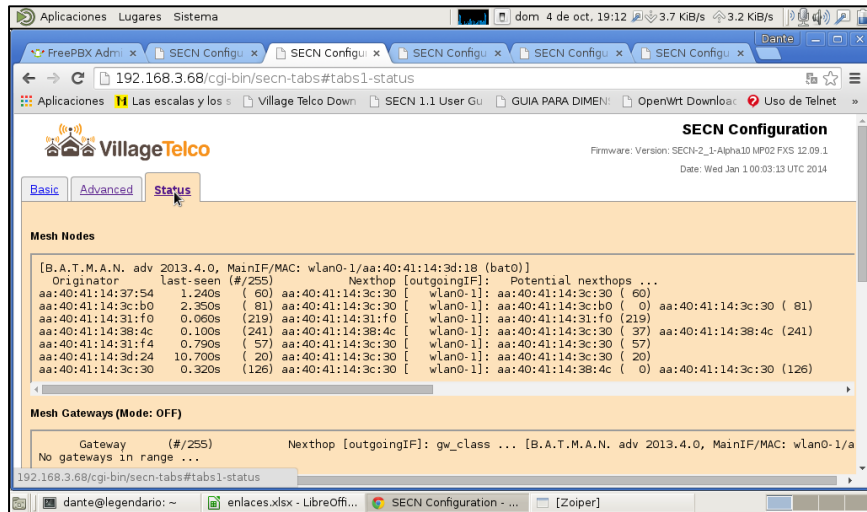


Figura. 4.31 Monitoreando routers usando BATMAN-Adv.

A nivel de capa 2 podemos observar el comportamiento de cada uno de los nodos, esto usando el protocolo BATMAN-Adv. Dicho protocolo se ejecuta de manera automática con el objetivo de mostrar los nodos que integran la red mesh, recordando que a pesar que un nodo receptor este fuera del alcance del nodo que transmite la información viaja dando saltos en nodos adyacentes para poder seguir la ruta más corta hacia el nodo destino.

4.3. Instalación del router NS M2 y centro de monitoreo.

En capítulos anteriores se hizo referencia al router NS M2. El router NS M2 promete un radio de alcance de 15 kilómetros en condiciones ideales (usando el firmware de fábrica y sin tener ninguna clase de obstrucción). Las pruebas realizadas en la comunidad Santa Marta determinaron un radio de cobertura efectiva de 1.5 kilómetros. Este router fue instalado en el nodo WALEJO con el objetivo de aumentar la estabilidad de la red mesh además de mejorar la calidad en las llamadas. El firmware del router NS M2 no es compatible con el firmware del MP02. A todos los routers se les tuvo que realizar una actualización para instalarles el firmware VT-SECN versión 3.0 (ver apéndice C).



Figura. 4.32 (a) Cambio de router MP02 por router NS M2, (b) Instalación de router NS M2 en nodo WALEJO.

El router NS M2 paso a ser el supernodo de la red malla. Los demás routers se interconectan a este con el objetivo de monitorear su funcionamiento. La parte de monitoreo está a cargo de dos programas: Nagios y Smokeping. Ellos se encargan de monitorear la red a nivel de capa dos para evitar posibles fallas de la red. En el apéndice D se explica el procedimiento para la configuración de ambos software.



Figura. 4.33 Instalación servidor para monitoreo.

4.4. Monitoreo de la red.

Nagios y Smokeping los cuales realizan pruebas a los routers a nivel de capa dos. Por un lado, Nagios nos permite observar de manera gráfica si un router está fuera de servicio como se ve en la Figura 4.34, en cambio Smokeping fue configurado para que cada cinco minutos realice una prueba a cada router graficando sus resultados para determinar la calidad del enlace.

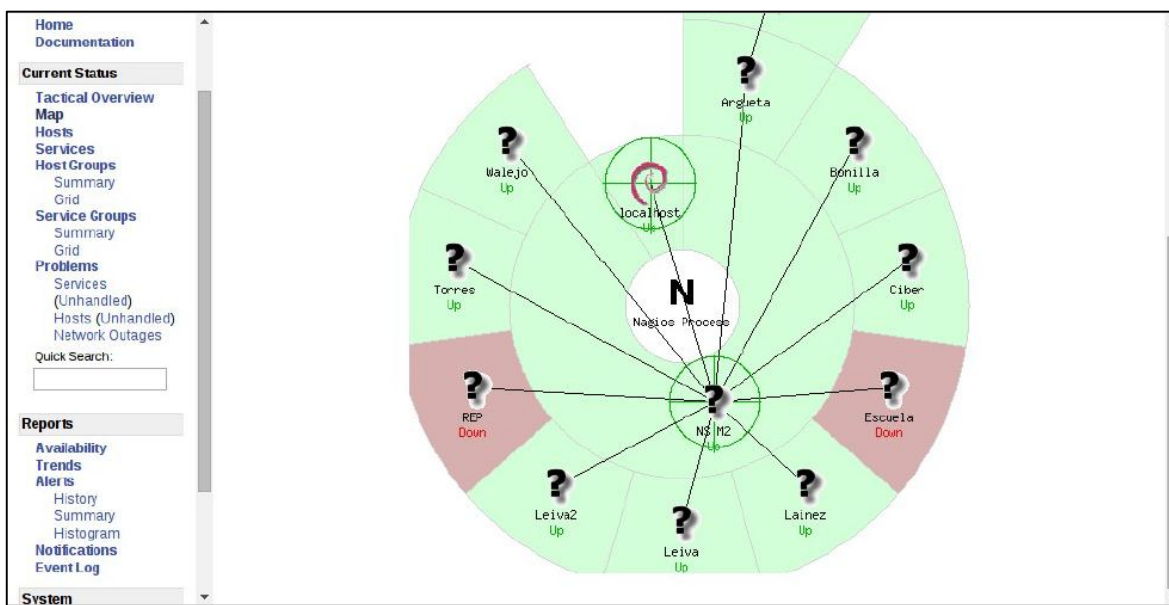


Figura. 4.34 Monitoreo de la red mesh usando Nagios.

La imagen de la Figura 4.34 fue tomada el 20 de octubre del 2015. En ella se observa que para ese momento dos de los nodos estaban fuera de línea. En el nodo REP no se encontraba instalado ya que este equipo sería utilizado como respaldo. Ese mismo día fue instalado el nodo ESCUELA ya que el lugar donde estaba instalado anteriormente presentó un inconveniente. Las personas que habitan en ese lugar mantenían desconectado al

equipo. Se ha previsto la instalación de un nodo adicional que permita la incorporación del nodo caído a la red mesh, pero esto requiere realizar el estudio respectivo para encontrar el lugar idóneo para su instalación. A continuación, se presenta el resultado tomado por Smokeping para los nodos WALEJO, TORRES y CIBER.

- **Nodo WALEJO**

Smokeping envía veinte paquetes cada cinco minutos y grafica la mediana de estos datos con respecto al tiempo, para el caso del supernodo WALEJO se observa en la siguiente imagen que entre las 2:00 y 4:00 pm se tuvieron mayor incidencia debido a que en ese momento se realizaron llamadas de prueba hacia todos los nodos para verificar su funcionamiento.

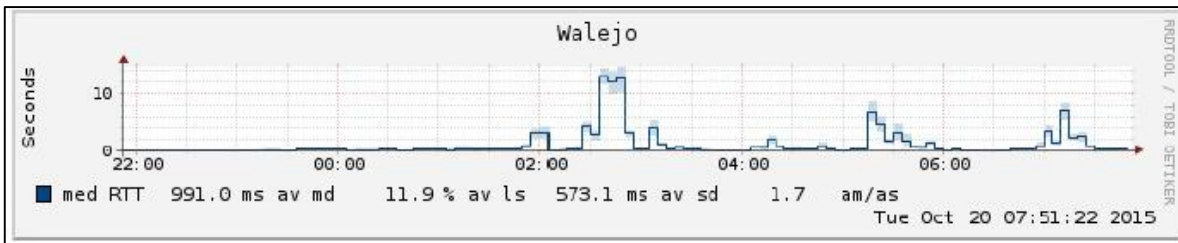


Figura. 4.35 Retardo del nodo WALEJO usando Smokeping.

Según se observa en la Figura 4.36, usando el protocolo Batman-Adv se aprecian los nodos con los cuales se tiene comunicación en ese instante.

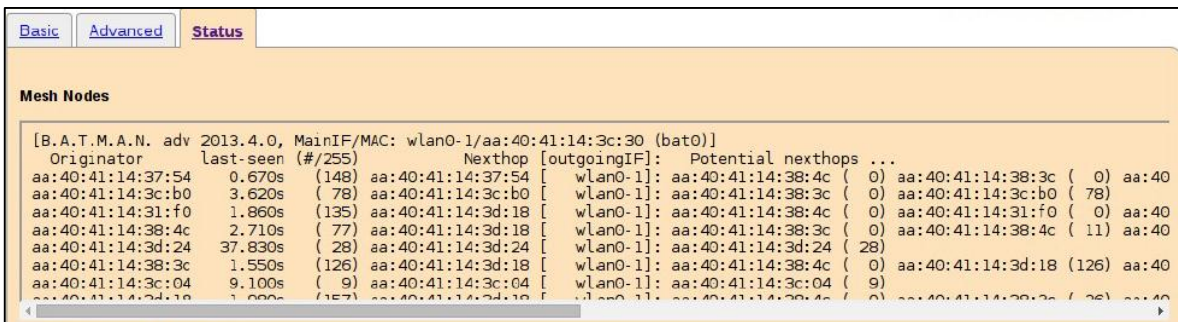


Figura. 4.36 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv.

- **Nodo TORRES.**

Para este nodo de igual forma muestra los retardos para las llamadas de prueba realizadas entre 2:00 y 4:00 pm. La gráfica presenta una pequeña discontinuidad debido a la interferencia, pérdida de señal, una falla de energía eléctrica o que el un router cercano (el cual utiliza para integrarse a la malla) este fuera de línea.



Figura. 4.37 Retardo del nodo TORRES.

En la Figura 4.38 se muestran los nodos con los cuales puede comunicarse el nodo TORRES. Ya sea de manera directa o utilizando un salto intermedio. En la red malla lo recomendable es que los datos viajen de manera directa hacia su destino ya que cada salto implica perdida de paquete o valores elevados de latencia.

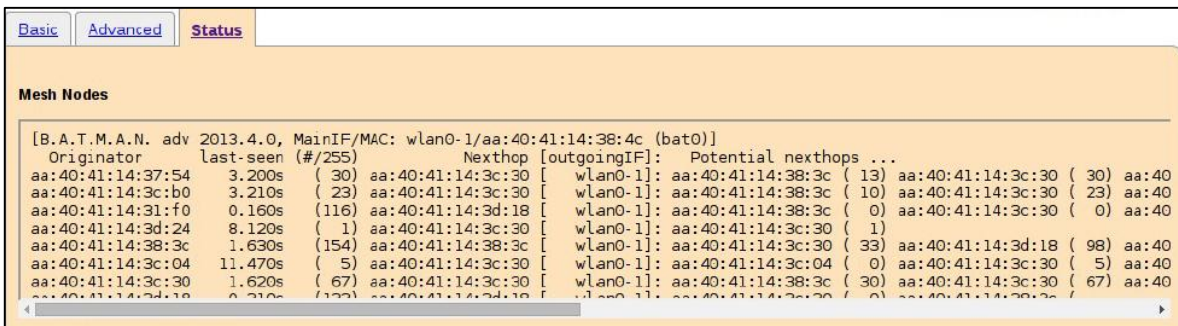


Figura. 4.38 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv.

- **Nodo CIBER**

Por último, en la Figura 4.39 se presenta los resultados para este nodo el cual desempeña la función de repetidor permitiendo la integración a la red de los nodos LEIVA, LEIVA2 y BONILLA. De igual forma presenta más actividad al momento de realizar las llamadas de pruebas.

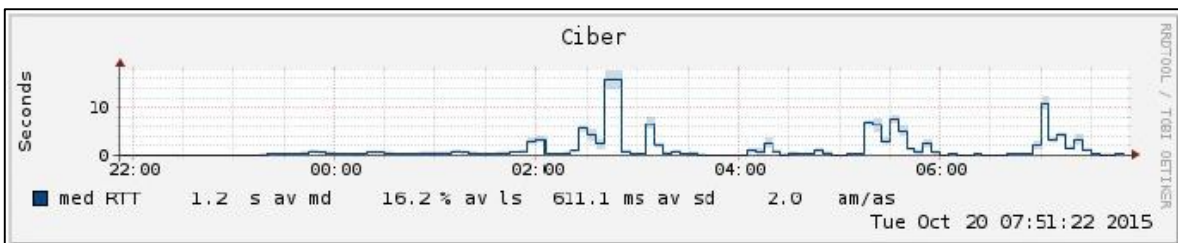


Figura. 4.39 Retardo del nodo repetidor CIBER.

Al usar el protocolo Batman-Adv en la Figura 4.39, se observa que este nodo repetido puede transmitir datos a los demás nodos instalados ya sea de forma directa o indirecta.


```

Basic  Advanced  Status
Mesh Nodes
[B.A.T.M.A.N. adv 2013.4.0, MainIF/MAC: wlan0-1/aa:40:41:14:3d:18 (bat0)]
Originator      last-seen (#/255)      Nexthop [outgoingIF]:  Potential nexthops ...
aa:40:41:14:37:54  0.710s ( 41) aa:40:41:14:3c:30 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:3c:30 ( 41)
aa:40:41:14:3c:b0  9.990s ( 11) aa:40:41:14:3c:30 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:3c:30 ( 11)
aa:40:41:14:31:f0  0.880s (234) aa:40:41:14:31:f0 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:38:4c ( 0) aa:40:41:14:31:f0 (234)
aa:40:41:14:38:4c  0.100s (165) aa:40:41:14:38:4c [ wlan0-1]: aa:40:41:14:38:3c ( 0) aa:40:41:14:38:4c (165)
aa:40:41:14:3d:24 187.300s ( 3) aa:40:41:14:3c:30 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:3c:30 ( 3)
aa:40:41:14:38:3c  0.850s (228) aa:40:41:14:38:3c [ wlan0-1]: aa:40:41:14:38:4c ( 0) aa:40:41:14:38:3c (228)
aa:40:41:14:3c:04 15.060s ( 1) aa:40:41:14:3c:30 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:3c:30 ( 1) aa:40:41:14:3c:04 ( 0)
aa:40:41:14:3c:20  1.050s ( 0) aa:40:41:14:3c:30 [ wlan0-1]: aa:40:41:14:38:4c ( 0) aa:40:41:14:3c:20 ( 0)

```

Figura. 4.40 Verificación de los nodos cercanos usando protocolo Batman-Adv.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS.

5.1. Conclusiones.

- Estudio de propagación: El hecho de no tener un software dedicado para la realización de estos estudios afectó grandemente. Radio Mobile por estar basado en código abierto no cuenta con la precisión requerida. Se tuvo que obtener las coordenadas de los nodos usando Google Earth ya que los que se obtuvieron con el GPS no coincidían con la base de datos de Radio Mobile.
- Raspberry Pi: Las pruebas previas en el laboratorio fueron de gran ayuda para solventar los problemas de compatibilidad con Asterisk. La Raspberry PI es ideal para administrar redes pequeñas (20 extensiones máximo). Debido al clima y ambiente del lugar se le debe de dar mantenimiento constante.
- Prueba piloto: Fue de gran influencia para la ejecución de este proyecto. Esta permitió rediseñar la red mesh ubicando de manera estratégica repetidores para lograr la cobertura deseada. El principal problema detectado en esta parte del proyecto fue la interferencia de la vegetación. Esto se solventó gracias a la poda preventiva para poder tener línea vista entre los nodos.
- Instalación final de los equipos: Uno de los principales factores que afectaron este proyecto fue que el router MP02 está diseñado para interiores. Colocarlo en una caja para intemperie fue la solución ideal. Sin embargo estos equipos deben de estar bajo monitoreo constante para evitar fallas que afecten al buen funcionamiento del sistema.
- Monitoreo: Los softwares Nagios y Smokeping demostraron ser las herramientas idóneas. Para un futuro se debe de trabajar para tener acceso al internet y de esta forma configurar un túnel VPN que permita el acceso remoto para observar el comportamiento de los equipos.
- Red mesh: Esta topología permitió darle al sistema mayor estabilidad. A pesar de contar con pocos nodos, fueron los suficientes para darle a cada uno de ellos al menos dos rutas por donde enviar sus datos.
- Problemática social: Unos de los objetivos de este proyecto era el de aportar una solución efectiva para la prevención de la violencia dentro de la comunidad, si bien es cierto en la actualidad existen diez teléfonos funcionales se está a la espera del aporte económico que permita en primera instancia darles mantenimiento a los equipos instalados y sobre todo aumentar el número de nodos.

5.2. Líneas Futuras.

Este trabajo de graduación se realizó gracias al esfuerzo de las personas de la comunidad Santa Marta quienes incondicionalmente brindaron su apoyo a este proyecto financiado por ADES. Se marca el precedente de ser la primera red de comunicación inalámbrica instalada en una zona rural de El Salvador. Se deja abierta la puerta para que futuras generaciones de estudiantes puedan realizar visitas técnicas y así desarrollar mejoras a dicha red.

Se dejan abiertas las siguientes líneas de investigación a corto plazo:

- Integrar a la red mesh un total de 10 router MP02 y 3 repetidores NS M2, actualmente se está realizando las gestiones a través de ADES para obtener el aporte económico para llevar a cabo dicha mejora. Esto permitirá interconectar a cantones aledaños, pero se requiere realizar el estudio de propagación correspondiente para escoger los lugares idóneos donde los routers estarán instalados.
- Diseño de un sistema fotovoltaico que permita que los routers no dependan de la energía eléctrica.
- Instalación de un nuevo servidor Asterisk que permita tener funcionalidades como: IVR, conferencia, servidor de correos, servidor de correos de voz etc.
- Interconectar la red mesh de la comunidad a la PSTN usando ya sea GSM Gateway, Troncales SIP de Skype, radio enlace que permita usar líneas analógicas o conectar a una línea E1.

APENDICE.

CAPITULO 6: RADIO MOBILE.

6.1. Descarga e instalación de Radio Mobile.

El software Radio Mobile tiene las siguientes características:

- Distribución libre para usos no comerciales relacionados con la radio afición y la asistencia humanitaria.
- Funciona bajo los sistemas operativos Windows 95, 98, Me, NT, XP, Vista, Seven y 10.
- Generación gráfica de modelos de terreno a partir de datos de elevación (DEM).
- Utilización del algoritmo Longle-Rice para cálculos de propagación con frecuencias de trabajo comprendidas entre 20 MHz y 20 GHz.
- Generación de vistas 3D, estereoscópicas y animaciones.
- Fusión de imágenes, posibilitando la visualización de distintas capas con datos geográficos sobre el terreno.

6.1.1. Cómo descargar la aplicación.

El paquete software de Radio Mobile se descarga desde la siguiente URL:

<http://www.cplus.org/rmw/download/download.html>

Para completar la instalación, es necesario seguir los siguientes pasos tomados desde esa URL:

1. Si usted es usuario de una versión antigua de Windows, como paso previo descargue el programa "Visual Basic Runtime (Service pack 6)" desde la URL de Microsoft que se indica en la página de descarga. El nombre del fichero es ybrun60sp6.exe. Es necesario instalar este programa antes de seguir con el resto de pasos. En función del sistema operativo que se use, puede ser necesario reiniciar el equipo tras realizar la instalación.
2. En su disco duro local, cree una carpeta para almacenar los ficheros de instalación. Tenga en cuenta que el programa se ejecutará posteriormente desde esta misma carpeta. Por ejemplo:

"C:\Radio_Mobile".
3. Descargue y descomprima, en esa carpeta que acaba de crear, el fichero rmwcore.zip, que contiene los ficheros principales del programa.
4. Descargue y descomprima, en esa misma carpeta, el fichero rmwupdate.zip, que contiene el motor de actualización a la última versión del programa.

5. De forma opcional, puede descargar los ficheros para que las opciones del programa aparezcan entre uno de los siguientes idiomas disponibles: portugués, alemán, inglés, francés, griego, italiano, holandés, flamenco, ruso, español o turco. Si no selecciona ninguna opción, el programa utilizará el idioma inglés.
6. Cree su propia estructura de carpetas para almacenar los datos de los modelos digitales del terreno (MDT) y de la cartografía que vaya a utilizar. Es importante que almacene los datos de forma organizada. Por ejemplo:

"C:\Geodata"

"C:\Geodata\srtm3"

"C:\Geodata\srtm1"

"C:\Geodata\srtmthird"

"C:\Geodata\Landcover"

"C:\Geodata\OpenStreetMap"

"C:\Geodata\Terraserver"

"C:\Geodata\Toporama"

7. Si quiere disponer de un mapamundi con las definiciones continentales del modelo digital del terreno SRTM, descargue y descomprima el fichero [wmap.zip](#) en la carpeta principal del programa (la del apartado 2 de esta lista).

6.1.2. Cómo instalar y mantener actualizada la aplicación.

Una vez completados los pasos del apartado anterior, actualice el programa a la última versión disponible. Este procedimiento podrá realizarlo de forma idéntica cada vez que el autor publique una nueva versión del programa. En la carpeta principal ("C:\Radio_Mobile" en nuestro ejemplo), ejecute el programa "rmUpdateeng.exe" (si va a usar el inglés como idioma del programa) o bien "rmUpdatespa.exe" si va a usar el español. Siga las instrucciones que aparecen en pantalla. De esta forma, siempre estará trabajando con la última versión disponible de Radio Mobile. Una vez completada la instalación, el paquete software se arranca a través del ejecutable "rmweng.exe", ubicado en la carpeta principal de la instalación.

6.2. Configuración básica.

El programa puede funcionar con la mayoría de las opciones por defecto. No obstante, deberá indicar al menos cuáles son los directorios de trabajo en los que se encuentran los ficheros de los modelos digitales del terreno que vaya a utilizar. También es necesario configurar el programa para que pueda acceder a los ficheros de datos del terreno ubicados en Internet.

6.2.1. Configuración del acceso a Internet.

En caso de disponer de conexión a Internet, Radio Mobile puede acceder automáticamente a los siguientes datos, sin necesidad de descargarlos previamente en su disco duro. Recuerde que, no obstante, es de sumo interés disponer de una copia en su disco duro al menos de los datos del modelo digital del terreno que vaya a utilizar, para casos de emergencia en los que no disponga de Internet.

- Modelo digital del terreno SRTM/DTED.
- Capas cartográficas de LANDSAT.
- Cartografía OpenStreetMap.
- Cartografía Terraserver.
- Cartografía Toporama.

Para configurar el acceso a los servidores de Internet desde los que Radio Mobile descargará estos datos cuando sea necesario, arranque el programa y seleccione la opción del menú **"Options -> Internet"**. Aparecerá una ventana como la de la Figura 6.1.

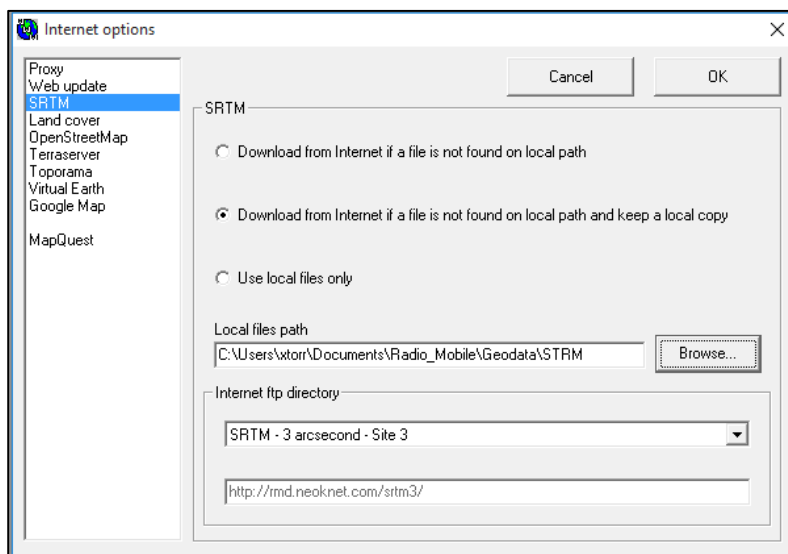


Figura. 6.1 Configuración de las carpetas de almacenamiento de los MDT.

En esta pantalla de configuración, tiene disponibles varias opciones. Configure al menos las siguientes:

- **"Proxy"**: Si va a conectarse a Internet a través de un *Proxy*, marque la casilla **"Use proxy"** e indique el nombre del proxy ("Proxy name") y el puerto a utilizar ("Port"). Si va a usar una conexión directa a Internet, no es necesario que acceda a este apartado.

- **“Web Update”**: Si desea que el programa, cada vez que se ejecute, compruebe automáticamente si ha aparecido una nueva versión de Radio Mobile, marque todas las casillas de este apartado.
- **“SRTM”**: Configure este apartado para que Radio Mobile sea capaz de extraer los datos de elevación del MDT SRTM directamente desde Internet. Tiene disponibles las siguientes opciones:
 - I. **“Download from Internet if a file is not found on local path”**. Marque esta opción si desea que un fichero que no se encuentra en su disco duro se descargue automáticamente desde Internet.
 - II. **“Download from Internet if a file is not found on local path and keep a local copy”**. Marque esta opción si desea que un fichero que no se encuentra en su disco duro se descargue automáticamente de Internet. Se guardará además una copia de dicho fichero en su disco duro para usos futuros. Es la opción más recomendable.
 - III. **“Use local files only”**. Marque esta opción si ya dispone de su modelo digital del terreno SRTM en disco duro y no desea que Radio Mobile acceda a los ficheros de Internet en ningún caso.
 - IV. **“Local files path”**. Indique aquí la carpeta de su disco duro en la que se almacenarán los ficheros descargados de Internet.
 - V. **“Internet FTP directory”**. En caso de haber seleccionado alguna de las dos primeras opciones, indique aquí el servidor de Internet desde el que se descargarán los datos. Observe que en cada servidor disponible están alojados los datos de distintas zonas geográficas y a distintas resoluciones.

6.2.2. Configuración de las carpetas de modelos digitales del terreno.

Como se expuso en el apartado anterior se le debe de indicar al programa en que carpeta se alojan los ficheros correspondientes a los mapas descargados. En nuestro caso se encuentra en la carpeta STRM, al ingresar al programa y seguir la ruta **“File -> Map properties”**. Aparecerá una ventana como la de la Figura 6.2.

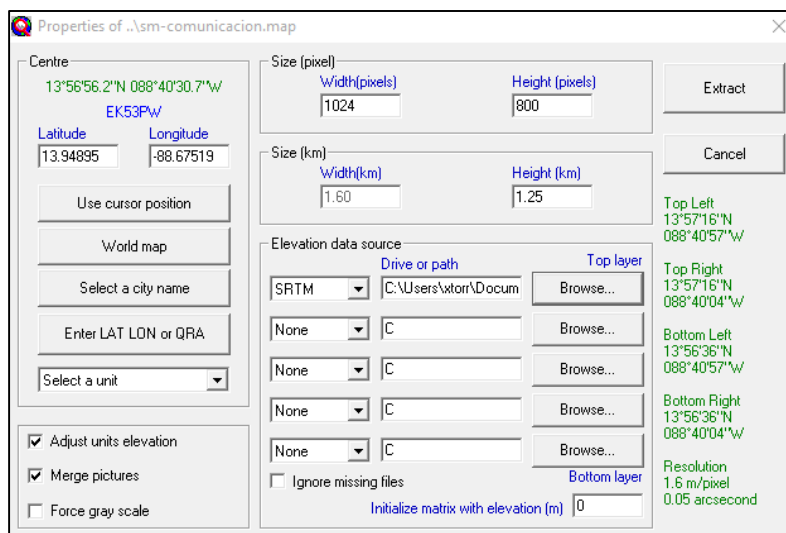


Figura. 6.2 Configuración del mapa.

En la opción **"Elevation data source"** aparece una matriz de cuatro filas de dos casillas. En las casillas de la izquierda puede ir seleccionando los modelos digitales del terreno (MDT) que vaya a utilizar. Para cada modelo, en la casilla de la derecha indique la carpeta de su disco duro en la que se encuentran los datos. Dar click en el botón **"Browse"** si necesita emplear el explorador de archivos. En el caso de SRTM, todos los ficheros ".hgt" han de estar en el mismo directorio, sin estructura de subcarpetas. No obstante, para el caso de SRTM y si se dispone de conexión a Internet, el programa descargará automáticamente los ficheros necesarios del modelo digital del terreno.

6.3. Extracción de los datos de elevación.

Tomando de referencia la Figura 6.2, el primer paso es extraer los datos de elevación para generar un mapa de trabajo. Se debe de rellenar los siguientes campos para obtener el mapa de trabajo.

- ✓ **"Centre (Latitude/Longitude)":** coordenadas del punto que será el centro del mapa de trabajo. Existe una base de datos (fichero "cities.dat") con las coordenadas de varias ciudades del mundo. También existe la posibilidad de identificar el punto mediante el sistema de coordenadas **"locator"**, utilizado por radioaficionados, aunque no se recomienda por su escasa precisión. Un factor importante son los valores negativos de latitud se refieren al sur del Ecuador y que los valores negativos de longitud se refieren al oeste.

Ejemplo: centro del mapa en 13.94895°N, -88.67519°W

- ✓ **"Size (km) Width/Height":** tamaño de la porción del mapa de trabajo que se representará en pantalla, tomando como punto central el definido anteriormente.

Ejemplo: tamaño del mapa 1.6x1.25 km

- ✓ **"Size (pixel) Width/Height":** tamaño del mapa en pantalla.

Ejemplo: tamaño del mapa en pantalla 1024x800 píxels

- ✓ **“Elevation data source”**: ubicación de los ficheros que almacenan los datos de elevación del modelo digital del terreno. Al utilizar los ficheros SRTM se debe de especificar la ruta, el programa descargará automáticamente los ficheros a través de su conexión a Internet.

Ejemplo: MDT SRTM, se escoge la ruta donde está almacenado el archivo PC

Una vez complementados los datos de captura, pulse el botón **“Extract”** para generar una imagen con el mapa de trabajo, que tendrá el aspecto que se muestra en la Figura 6.3.

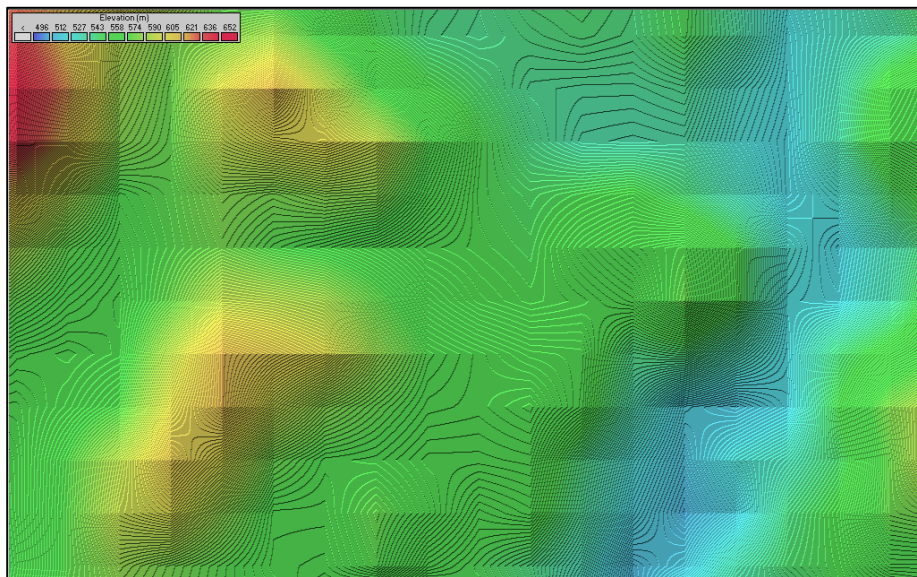


Figura. 6.3 Mapa de trabajo de la comunidad Santa Marta.

En el mapa de trabajo están disponible los datos de elevación del terreno, mediante un código de colores cuya escala se indica en la parte superior izquierda.

6.4. Posicionamiento de los nodos.

Se necesita ingresar la georreferencia de los nodos que participaran en la red, para esto se necesita las coordenadas tomadas por el GPS (ver capítulo III). El posicionamiento de los nodos en el mapa se realiza desde el menú **“File -> Unit properties”**, a través de la siguiente ventana de captación de datos (Figura 6.4):

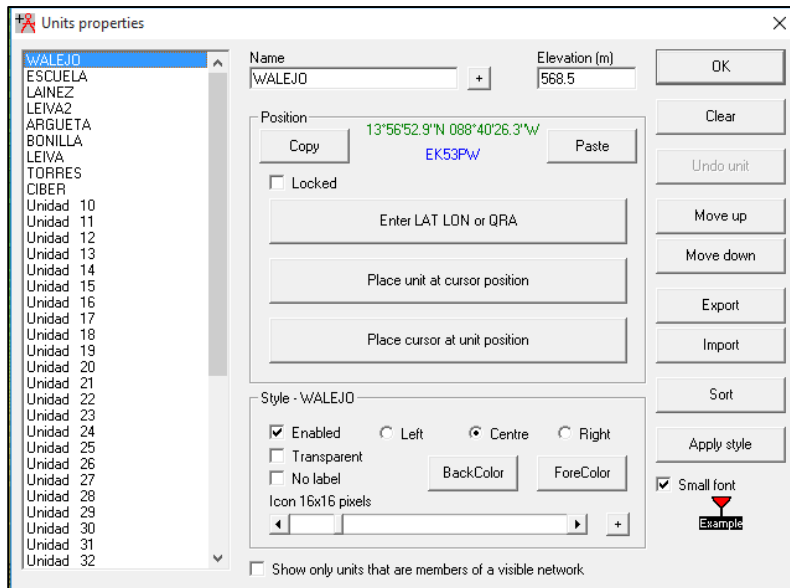


Figura. 6.4 Ingreso de coordenadas de los nodos.

Se comienza ingresando los datos del nodo de referencia (o supernodo). En esta pantalla deberá ejecutar los siguientes pasos, por orden:

1. En el marco izquierdo, seleccione **“Unit 01”**. Usaremos esta unidad como supernodo ubicada en el emplazamiento para el que se pretende calcular la zona de cobertura.
2. En el marco derecho, dé un nombre al emplazamiento (**“Name”**).

Ejemplo: en nuestro caso “Walejo”.

3. Pulse el botón **“Enter LAT LON or QRA”** para introducir las coordenadas del supernodo en la casilla **“Coordinates”**, según se muestra en la Figura 6.5. Se pueden usar los sistemas sexagesimales, decimal o locator, no recomendándose este último por su escasa precisión. Otra opción es usar el cursor para fijar el emplazamiento mientras se está en el mapa de trabajo (**“Place unit at cursor position”**). Una vez fijada la posición, en la pantalla inicial de captación de datos aparecerá la altitud sobre el nivel del mar del emplazamiento, según se muestra en la Figura 6.4.

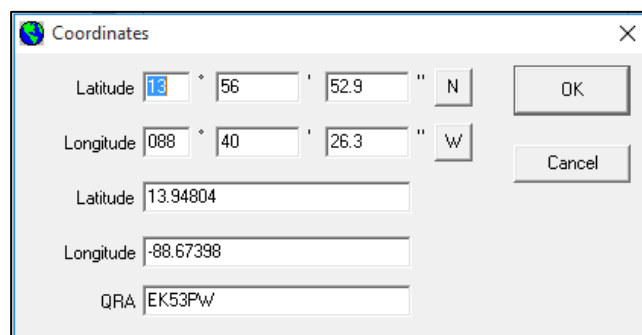


Figura. 6.5 Coordenadas del supernodo.

Mediante el menú **“View -> Show networks”** se puede comprobar el posicionamiento de todos los nodos en el mapa de trabajo. Una vez posicionado estará en condiciones de programar el resto de parámetros de la red necesarios para realizar los cálculos, tal y como se describe en el siguiente apartado.

6.5. Parametrización de la red de estaciones radio.

La parametrización de la red consiste en asignar valores a las variables que el algoritmo utiliza para el cálculo de propagación y se realiza a través del menú **“File -> Networks properties”**. Aparecerá una ventana con varios apartados de captación de datos (Parameters, Topology, Membership, Systems y Style), que se describen a continuación. Una vez ingresados los datos de todos estos apartados, pulse el botón **“Ok”** de la esquina superior derecha para aplicar los cambios y salir de esta pantalla.

6.5.1. Parámetros globales.

Los parámetros globales hacen referencia a las frecuencias de trabajo, el tipo de terreno, el clima, la polarización de las antenas y el modo de variabilidad. Dentro de **“Networks properties – Parameters”** aparece la ventana de la Figura 6.6:

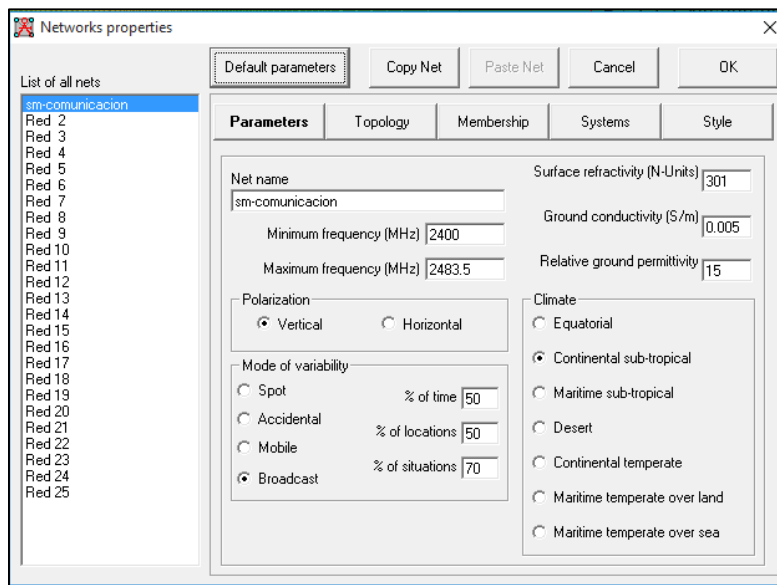


Figura. 6.6 Parámetros globales de la red.

El primer paso es seleccionar un registro de la lista de la izquierda (por ejemplo “Net 01”) y asignarle un nombre a la red en el campo **“Net name”**.

Ejemplo: nuestra red se denominará "sm-comunicacion"

El resto de campos hacen referencia a los siguientes parámetros:

- **“Surface refractivity (N-Units)”**: refractividad de la superficie terrestre en función de la refractividad a nivel del mar y de la altitud media del terreno. El valor por defecto (301) se considera adecuado en casi todos los casos.

Ejemplo: en nuestra zona de trabajo, la refractividad del suelo es de 301

- **“Ground conductivity (S/m)”**: conductividad del terreno, expresada en Siemens por metro. Depende del tipo de terreno y de la frecuencia de trabajo.

Ejemplo: en nuestra zona de trabajo, la conductividad del suelo es de 0,005 S/m

- **“Relative ground permittivity”**: permitividad relativa del terreno. Depende del tipo de terreno y de la frecuencia de trabajo.

Ejemplo: en la zona de trabajo, la permitividad relativa del terreno es igual a 15

- **“Minimum frequency (MHz)”**: umbral inferior de la banda de frecuencias para la que se realizarán los cálculos. En nuestro caso nos centramos en la banda de 2400 MHz.
- **“Maximum frequency (MHz)”**: umbral superior de la banda de frecuencias para la que se realizarán los cálculos. Así como el en la frecuencia mínima nos centramos en la banda de los 2400 MHz, entonces la frecuencia máxima será de 2483.5 MHz.
- **“Polarization (Vertical/Horizontal)”**: Polarización de las antenas empleadas en la red. La polarización vertical es la utilizada normalmente en los enlaces radio, ya que las ondas de radio con esta polarización sufren menor atenuación en la superficie terrestre que las que tienen polarización horizontal.
- **“Mode of variability (Spot/Accidental/Mobile/Broadcast)”**: Normalmente, seleccionaremos un entorno móvil (Mobile), ya que es el más usado en los operativos de campo y por otro lado se trata del caso peor de condiciones de propagación.
- **“Climate (Equatorial/Continental sub tropical/Maritime sub-tropical/Desert/Continental temperate/Maritime temperate over land/Maritime temperate over sea)”**: tipo de clima (ecuatorial, continental subtropical, marino subtropical, desértico, continental templado, marino templado sobre tierra, marino templado sobre el mar). Este parámetro influye en el índice de refracción del aire y en la probabilidad de aparición de desvanecimientos de la señal (*fading*).

Ejemplo: en nuestra zona de trabajo, continental sub-tropical

- **“Additional loss (City/Forest)”**: pérdidas adicionales si en el trayecto hay grandes masas boscosas o entornos urbanos densos.

Ejemplo: en nuestra zona de trabajo, estimamos que hay un 10% de superficie boscosa

No pulse todavía el botón **“Ok”**. Aun se deben de configurar otros parámetros importantes.

6.5.2. Topología de la red.

Aquí se definirá la topología de la red inalámbrica. Dentro de **“Networks properties – Topology”** aparece la ventana de la Figura 6.7:

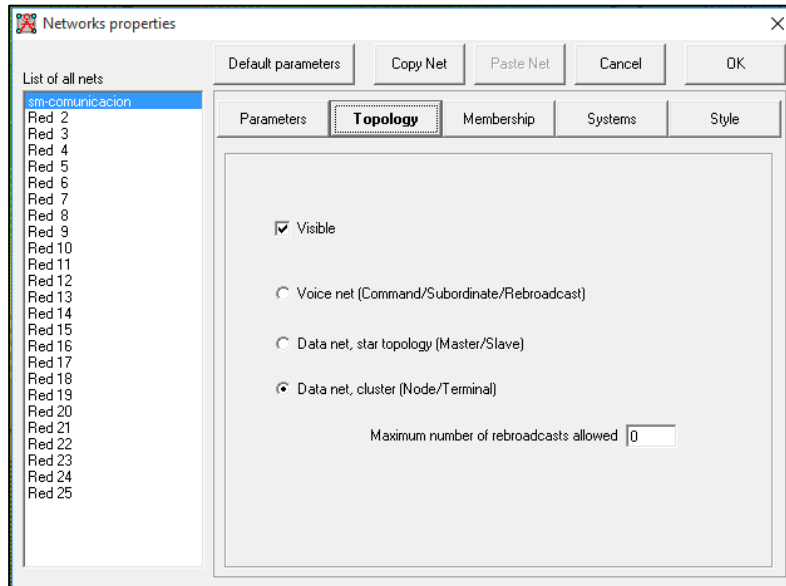


Figura. 6.7 Topología de la red.

Seleccione la red de trabajo en el marco de la izquierda (sm-comunicacion en nuestro ejemplo) y configure los siguientes parámetros:

- **“Visible”**: si está marcado, hace que la red sea visible en el mapa de trabajo.
- **“Voice net (Command/Subordinate/Rebroadcast)”**: use esta opción para redes en las que la comunicación se realice entre una estación de referencia y varias estaciones subordinadas, sin que haya radioenlaces adicionales entre estaciones subordinadas. Es el caso de una red privada móvil (PMR) con un repetidor que da servicio a varias estaciones móviles, o también de una red digital con salto en frecuencia en la que la base de tiempos la proporciona una estación directora.
- **“Data net, star topology (Master/Slave)”**: use esta opción para redes de datos en las que una estación maestra controla a varias estaciones esclavas, sin que existan radioenlaces directos entre estas últimas.
- **“Data net, cluster (Node/Terminal)”**: use esta opción para redes de datos que pueden retransmitir datagramas (*digipeaters*).

“Maximum number of rebroadcasts allowed”: si se configura a “0”, este parámetro impedirá el uso de reemisiones. Para otros casos, deberá configurarse un valor igual al TTL – 1 (TTL = Time To Live).

No pulse todavía el botón **“Ok”**. Es el momento de pasar a la siguiente opción de la ventana.

6.5.3. Definición de estaciones.

Una vez definida la topología, indique qué tipo de equipos de radio y antenas va a utilizar. Dentro de **“Networks properties – Membership”** aparece la ventana de la Figura 6.8:

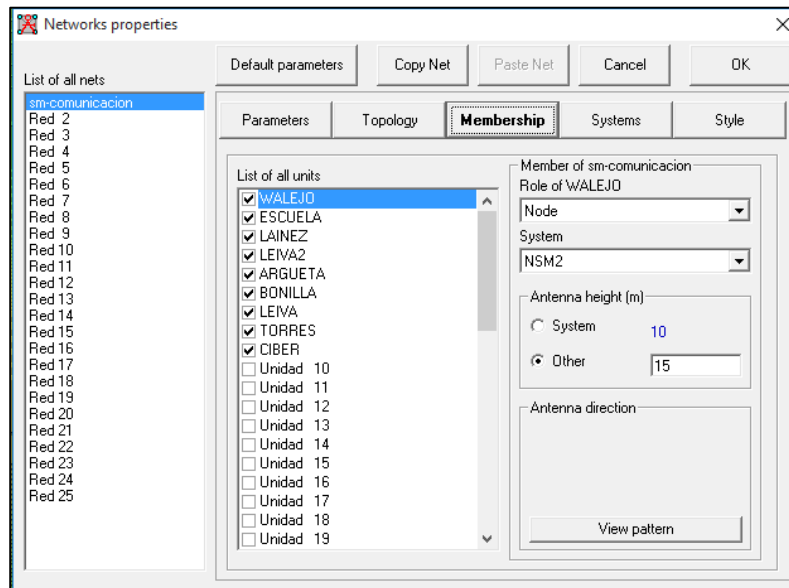


Figura. 6.8 Elección de miembros que conformaran la red.

Seleccione la red de trabajo en el marco de la izquierda (sm-comunicacion en nuestro ejemplo). A continuación, en el recuadro **“List of all units”** seleccione el supernodo y configure los siguientes parámetros:

- **“Role of...”**: como estamos en una red de tipo “Data net”, seleccione “node” para esta estación.
- **“System”**: elija el modelo de transmisor de entre los disponibles en la base de datos de Radio Mobile (Radiosys.dat). En el apartado 6.5.4 se explica cómo dar de alta nuevos transmisores. Aclarando que para cada nodo se usara el transmisor MP02.

Ejemplo: nuestro repetidor es del modelo NS M2.

- **“Antenna height (m)”**: altura de la antena medida desde el suelo del nodo. Se puede escoger entre un valor fijo del sistema (“System”) u otro (“Other”) especificado. El valor de “System” es el especificado en el registro del transmisor correspondiente en la base de datos de Radio Mobile. Vea el apartado 6.5.4

Ejemplo: la altura de la antena de los nodos será de 6 metros, caso especial en el supernodo (15 metros) y nodo TORRES (11 metros) los cuales por su ubicación requiere de una instalación especial.

En la parte inferior derecha aparece el apartado **“Antenna direction”**. Si pulsa el botón **“View pattern”**, aparecerá el diagrama de radiación de la antena asociada a la estación que tenga seleccionada. La asociación entre un router y el tipo de antena que

utiliza se realiza en la base de datos de equipos radio (ver apartado 6.5.4). Se requiere pasar a la siguiente opción para realizar su configuración.

6.5.4. Gestión de la base de datos de equipos radio.

Dentro de “**Networks properties – Systems**” aparece la ventana de la Figura 6.9. A través de la misma, se puede gestionar la base de datos de los equipos de Radio Mobile, que se almacena en el fichero “Radiosys.dat”.

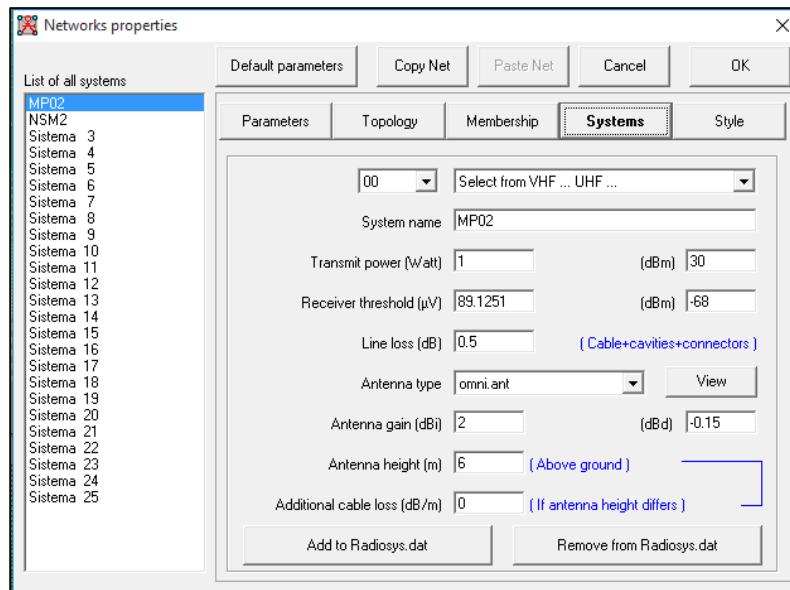


Figura. 6.9 Configuración de los transmisores.

El primer paso es, por tanto, seleccionar un registro libre en el recuadro izquierdo y asignarle un nombre en el campo “**System name**”. Para cada equipo que se registre, hay que definir los siguientes parámetros:

- “**Transmitter power (Watt/dBm)**”: potencia de transmisión en vatios o en dBm. Solamente es necesario rellenar uno de los dos campos, ya que el programa calcula automáticamente el otro.

Ejemplo: el MP02 tiene una potencia de transmisión de 30 dBm.

- “**Receiver threshold (µV/dBm)**”: sensibilidad del receptor en micro voltios o en dBm. Solamente es necesario rellenar uno de los dos campos, ya que el programa calcula automáticamente el otro.

Ejemplo: la sensibilidad de recepción de -68 dBm

- “**Line loss (dB) (Cable+cavities+connectors)**”: pérdidas en la línea de transmisión, sumando las del cable coaxial y de los conectores.

Ejemplo: Para nuestro caso como se utilizará cable UTP del cual se desconoce la perdida se toma un valor de 0.5

- **“Antenna gain (dBi/dBd)”**: ganancia de la antena referida a la de la antena isotrónica (dBi) o a la de la del dipolo de media longitud de onda de trabajo (dBd). Solamente es necesario rellenar uno de los dos campos, ya que el programa calcula automáticamente el otro.

Ejemplo: para nuestra red el router MP02 tiene una ganancia de 2 dBi y el router NS M2 una ganancia de 11 dBi.

- **“Antenna height (m) above ground”**: altura de la antena medida desde la superficie del nodo.

Ejemplo: los transmisores estarán a una altura de 6 metros como mínimo.

- **“Additional cable loss (dB/m) if antenna height differs”**: Atenuación por unidad de longitud de la línea de transmisión que transcurre desde la base de la torre o mástil de la antena hasta el conector de la misma. Esta atenuación no se incluye en el apartado “Line loss” porque el programa permite variar dinámicamente la altura a la que se encuentra la antena, según se ha especificado en el apartado anterior.

Ejemplo: en nuestro caso consideramos unas pérdidas adicionales de 0,05 dB/m

Pulsando el botón **“Add to radiosys.dat”**, el sistema que acaba de definir se añadirá a la base de datos de Radio Mobile, de forma que no será necesario volver a introducir los datos técnicos en futuros cálculos. Del mismo modo, el botón **“Remove from radiosys.dat”** permite eliminar registros de la base de datos.

6.5.5. Estilo de cálculo.

En este apartado se configurará el método a utilizar por el algoritmo de cálculos de propagación y la forma en la que se representarán los resultados en el mapa. Tras seleccionar **“Networks properties – Style”**, aparecerá la ventana de la Figura 6.10.

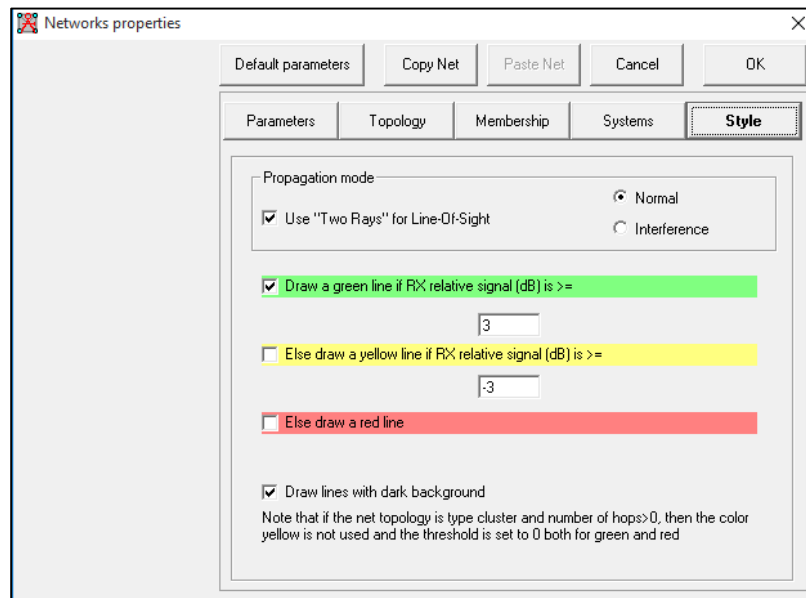


Figura. 6.10 Gestión del estilo de cálculo.

Seleccione **“Normal”** en la opción **“Propagation mode”**, El significado de las siguientes casillas se muestra a continuación:

- **“Use “Two Rays” for Line-Of-Sight”**: permite habilitar o deshabilitar la aplicación del método de dos rayos (directo y reflejado en la superficie terrestre) en el algoritmo de cálculo de radioenlaces LOS, es decir, sin obstáculos intermedios. Simplifica los cálculos y por tanto el tiempo de procesamiento en el caso de radioenlaces de visión directa. Habitualmente dejaremos marcada esta casilla.
- **“Draw a green line if RX signal (dB) is >= <valor1>”**: dibujar una línea verde si la señal relativa recibida en un punto del mapa supera el <valor1> indicado en dB.
- **“Else draw a yellow line if RX signal (dB) is >= <valor2>”**: si no, dibujar una línea amarilla si la señal relativa recibida en un punto del mapa supera el <valor2> indicado en dB.
- **“Else draw a red line”**: si no, dibujar una línea roja.
- **“Draw lines with dark background”**: dibujar líneas con el fondo oscuro.

Para nuestros cálculos, dejaremos las casillas marcadas tal cual se muestra en la Figura anterior. Una vez configurada damos click en **“OK”**.

CAPITULO 7: INSTALACION Y CONFIGURACION DE RASPBX.

7.1. Descarga de RasPBX.

RasPBX en realidad es una versión de debían a la cual se le ha instalado el software Asterisk, pero en este caso usando la interfaz web de FreePBX²⁷. Esta versión de Linux ha sido desarrollada estrictamente para arquitectura ARM²⁸ especialmente para Raspberry PI.

Para descargar ingresamos al siguiente link:

<http://www.raspberry-asterisk.org/downloads/>

Descargamos el archivo “raspbx-17-10-2015.zip”, y se debe de descomprimir en el escritorio, esto con la finalidad de no confundirse a la hora de instalarlo en la memoria micro SD. A continuación, se presenta los pasos para la instalación de este sistema.

Paso 1.

Ingresamos a la ruta “Escritorio/raspbx-17-10-2015/”, en ella se encuentra el archivo .img que debe ser instalado.

```
dante@legendario:~$ cd Escritorio/raspbx-17-10-2015/
dante@legendario:~/Escritorio/raspbx-17-10-2015$ ls
raspbx-17-10-2015.img
```

Cuadro. 7.1 Acceso al directorio.

Paso 2.

Debemos insertar la memoria micro SD con su respectivo adaptador en la PC para poder instalar el sistema ahí, se recomienda usar memorias marca Kingston categoría 10 la cual

```
dante@legendario:~/Escritorio/raspbx-17-10-2015$ df -h
S.ficheros      Tamaño Usados  Disp Uso% Montado en
/dev/sda6       95G    38G    53G  42% /
udev            10M     0    10M   0% /dev
tmpfs           403M    6.2M  397M   2% /run
tmpfs           1006M   136K  1006M   1% /dev/shm
tmpfs           5.0M    4.0K   5.0M   1% /run/lock
tmpfs           1006M     0  1006M   0% /sys/fs/cgroup
tmpfs           202M    4.0K   202M   1% /run/user/108
tmpfs           202M    36K   202M   1% /run/user/1000
/dev/sda2       198G   134G    64G  68% /media/dante/C082BA6982BA6416
/dev/sdb1       15G     8.0K   15G   1% /media/dante/3FB9-32D9
```

Cuadro. 7.2 Verificar si la micro SD es detectada.

²⁷ FreePBX es una interfaz web de usuario que facilita la interoperabilidad del usuario con el sistema VoIP Asterisk. Abstrae en ciertas ocasiones de tareas de cierta complejidad y por tanto resulta muy útil para usuarios o administradores que no estén muy familiarizados con Asterisk. Corre bajo licencia GPL.

²⁸ ARM es una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer=Ordenador con Conjunto Reducido de Instrucciones), el diseño de ARM inició en 1983, como un proyecto de desarrollo en la empresa Acorn Computers Ltd. Roger Wilson y Steve Furber, fueron los pioneros en el desarrollo de la tecnología y en abril de 1985 presentaron su primer chip llamado ARM1, pero el ARM2 fue el primero en salir al mundo y su principal característica es que contenía un bus de datos de 32 bits.

permite una transferencia de datos más eficaz. Utilizando el comando “df -h” verificamos si la memoria es funcional.

Paso 3.

Observando el resultado del comando ingresado en el paso 2, notamos que nuestra memoria fue reconocida por la PC y recibió el nombre de “/dev/sdb1”. Debemos desmontar dicha micro SD para poder realizar la instalación, para esto usamos el comando “umount”:

```
dante@legendario:~/Escritorio/raspbx-17-10-2015$ umount /dev/sdb1
```

Cuadro. 7.3 Extracción segura de la micro SD.

Paso 4.

En este paso se realizará la instalación del sistema en la micro SD para esto se requiere el uso del comando “sudo dd bs=1M if=archivo.img of=dirección de la micro SD” en donde:

dd: Es el programa para grabar la imagen en la SD.

bs=1M: Es el tamaño en Mega Byte que tiene cada bloque de escritura, por lo cual la orden es que se haga la escritura en bloques de 1M.

if: Es el origen del archivo que vamos a grabar

of: Es el destino donde vamos a escribir la imagen (La Tarjeta SD).

```
dante@legendario:~/Escritorio/raspbx-17-10-2015$ sudo dd bs=1M
if=raspbx-17-10-2015.img of=/dev/sdb
[sudo] password for dante:
3724+0 registros leídos
3724+0 registros escritos
3904897024 bytes (3.9 GB) copiados, 505.621 s, 7.7 MB/s
dante@legendario:~/Escritorio/raspbx-17-10-2015$
```

Cuadro. 7.4 Instalación de RasPBX.

Una vez finalizado el proceso podemos retirar la micro SD de manera segura e insertarla a nuestra Raspberry para realizar la configuración general.

7.2. Configuración del RasPBX.

Para realizar la configuración básica de nuestra Raspberry se utilizó un router D-link Dir-300, el cual está configurado para proporcionar un servicio DHCP en el rango 192.168.3.2-192.168.3.100. Se debe de conectar la Raspberry a un puerto LAN de dicho router y conectar el cable de poder para que esta inicie y así obtenga una IP (por defecto el RasPBX viene configurada como DHCP cliente). Para saber su IP accedamos al router y verificamos en su configuración LAN como se observa en la Figura 7.1.

| DHCP SERVER SETTINGS | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------|---|
| Use this section to configure the built-in DHCP server to assign IP address to the computers on your network. | | | |
| Enable DHCP Server: | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| DHCP IP Address Range: | <input type="text" value="3"/> | to | <input type="text" value="40"/> (addresses within the LAN subnet) |
| DHCP Lease Time: | <input type="text" value="10080"/> | (minutes) | |
| DHCP CLIENT LIST | | | |
| Host Name | IP Address | MAC Address | Expired Time |
| legendario | 192.168.3.3 | EC:9A:74:54:96:FA | 30 sec(s) |
| raspbx | 192.168.3.4 | B8:27:EB:47:23:13 | 50 sec(s) |

Figura. 7.1 Obtención de la dirección IP de la RasPBX.

Una vez verificamos que la IP asignada por el router es la 192.168.3.4 debemos ingresar a la Raspberry usando el protocolo “SSH” para realizar la configuración. Debemos que recordad que el usuario es “root” y el password es “Raspberry”.

```

root@legendario:/home/dante# ssh root@192.168.3.4
root@192.168.3.4's password:

Welcome to RasPBX - Asterisk for Raspberry Pi

RasPBX is based on Debian. The programs included with the Debian
GNU/Linux
system are free software; the exact distribution terms for each
program are
described in the individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

RasPBX comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent permitted by
applicable law.

List of RasPBX specific commands:
-----
raspbx-upgrade      Keep your system up to date with the latest add-
ons and
                    security fixes
configure-timezone  Set timezone for both system and PHP
install-fax         Install HylaFAX
add-fax-extension   Add additional fax extension for use with HylaFAX
install-fail2ban    Install Fail2Ban for additional security
install-dongle      Install GSM/3G calling capability with chan_dongle
raspbx-backup       Backup your complete system to an image file

root@raspbx:~#

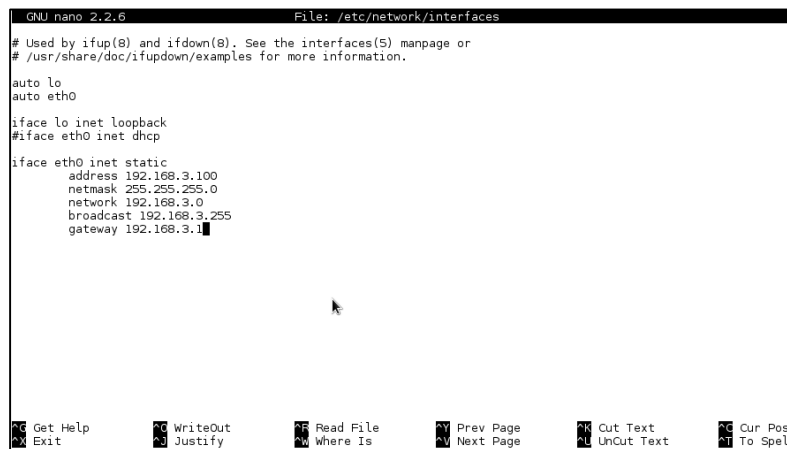
```

Cuadro. 7.5 Iniciando sesión usando el protocolo SSH.

Lo primero que se debe de hacer es configurar la IP estática, esto es sumamente importante ya que todos los dispositivos deben de apuntar a la Raspberry ya que será la central telefónica que gestionara todo el tráfico de la red. Para esto editamos el archivo “/etc/network/interfaces” de la siguiente manera:

```
root@raspbx:~# nano /etc/network/interfaces
```

Cuadro. 7.6 Configuración de la interfaz de red.



```
GNU nano 2.2.6 File: /etc/network/interfaces
# Used by ifup(8) and ifdown(8). See the interfaces(5) manpage or
# /usr/share/doc/ifupdown/examples for more information.

auto lo
auto eth0

iface lo inet loopback
#iface eth0 inet dhcp

iface eth0 inet static
    address 192.168.3.100
    netmask 255.255.255.0
    network 192.168.3.0
    broadcast 192.168.3.255
    gateway 192.168.3.1
```

Figura. 7.2 Configuración de IP estática.

Guardamos y salimos del editor de texto, se debe de reiniciar la interfaz de red para que los cambios realizados tenga efecto en la configuración de la Raspberry, para esto usamos el comando “/etc/init.d/networking restart”.

```
root@raspbx:~# /etc/init.d/networking restart
[....] Restarting networking (via systemctl):
networking.serviceWarning: Unit file of networking.service changed on disk, 'systemctl daemon-reload'
recommended.
. ok
root@raspbx:~#
```

Cuadro. 7.7 Reinicio de la interfaz de red.

Una vez la interfaz de red reinicie, debemos expandir el sistema de archivos de nuestra Raspberry ya que por el momento solo se encuentra utilizando 4 Gb de 16 Gb disponibles. Para esto se debe de realizar la siguiente configuración:

Al oprimir la tecla “enter” nos aparecerá la ventana mostrada en la Figura 7.3, seleccionamos la opción “Expand Filesystem” esperamos un momento. Al terminar seleccionamos la opción “Finish” nos dirá que debe de reiniciar, entonces aceptamos y una vez reinicie tendremos los 16 Gb de almacenamiento disponible, esto servirá para almacenar datos como mensajes de voz, historiales de llamadas, agenda telefónicas y configuraciones.

```
root@raspbx:~# raspi-config
```

Cuadro. 7.8 Comando para la expansión de archivos.

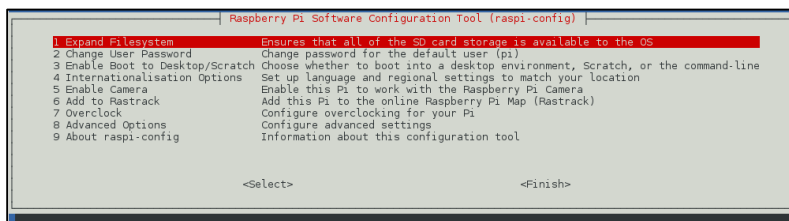


Figura. 7.3 Expansión de archivos en memoria micro SD.

7.3. Configuración de extensiones.

Usando el navegador ingresamos a la dirección <http://192.168.3.100>, esto nos direccionara al servicio Web del FreePBX (Figura 7.4).

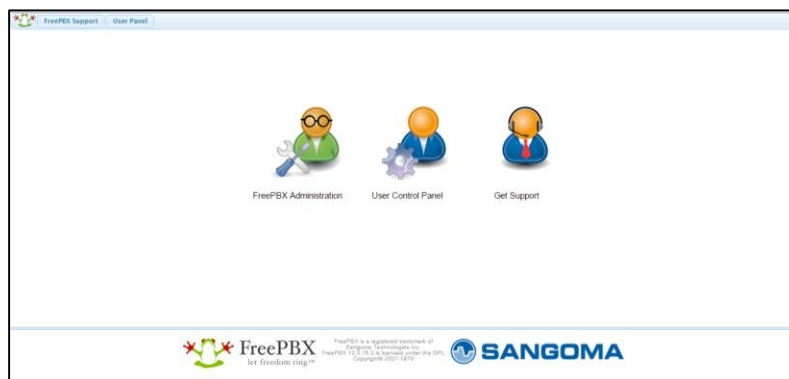


Figura. 7.4 Interfaz Web del FreePBX.

Damos click en “FreePBX Administration”, emergerá la siguiente Figura en ella se deben colocar el usuario “admin” y password “admin” (estos datos deben de ser cambiados para prevenir cualquier tipo de ataque) con ello nos dirigirá al menú principal del FreePBX (Figura 7.6).

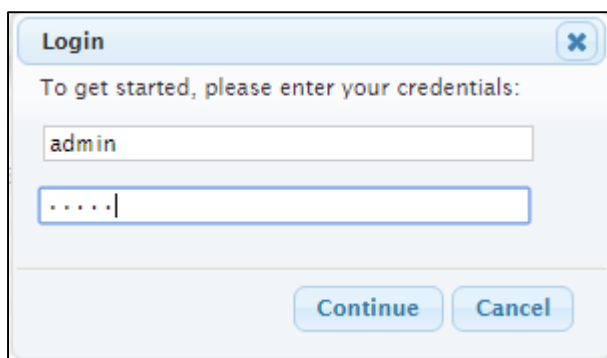


Figura. 7.5 Ingreso de usuario y contraseña.

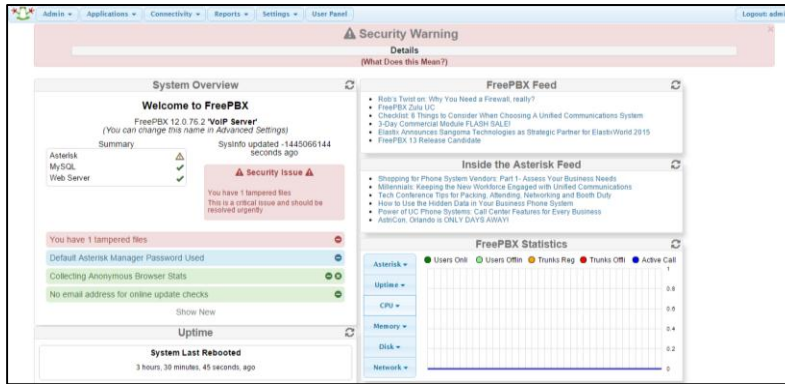


Figura. 7.6 Menú principal del FreePBX.

Como se observa en la imagen anterior el software Asterisk tiene una alerta, esto debido a que la hora de la Raspberry no está actualizada, y esto se comprueba utilizando el comando “date”. Cada vez que la Raspberry se apague se perderá esta configuración, lo recomendable es configurar un SNTP cliente para que de manera automática este consultando la hora, pero esto implica que se debe de tener acceso a internet 24/7.

```

root@raspbx:~# date
Wed 31 Dec 21:33:57 CST 1969
root@raspbx:~# date --set "2016-02-01 00:36"
Mon 1 Feb 00:36:00 CST 2016
root@raspbx:~#

```

Cuadro. 7.9 Configuración de la hora.

Para configurar la extensión seguimos la ruta Applications -> Extensions, y nos aparecerá el menú (Figura B.7), debemos escoger la opción “Generic CHAN SIP Device” ya que nuestro sistema usará solamente el protocolo SIP.

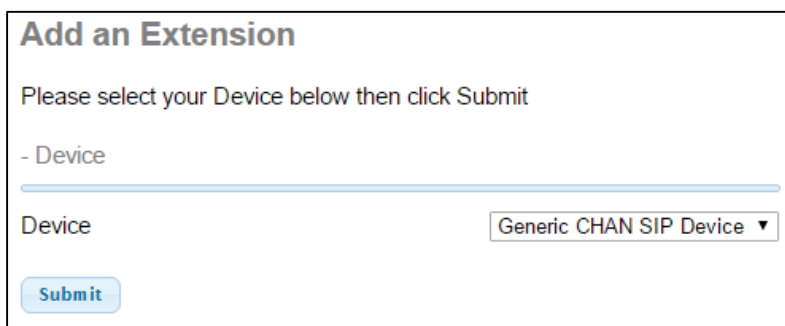


Figura. 7.7 Creación de una extensión SIP.

Al dar click en “submit” nos direccionara al menú propia de cada extensión, en este caso se configurará parámetros generales que permitan realizar llamadas sin ningún problema.

- Add Extension

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| User Extension [?] | <input type="text" value="6009"/> |
| Display Name [?] | <input type="text" value="WALEJO"/> |
| CID Num Alias [?] | <input type="text"/> |
| SIP Alias [?] | <input type="text"/> |

Figura. 7.8 Configuración general.

En la Figura anterior agregamos nada más el “user extension” que será el número de extensión el cual marcarán las otras extensiones para comunicarse con este. La opción “Display Name” es el nombre que aparecerá cuando esta extensión realice una llamada, este nombre solo ser visible en teléfonos IP o softphone instaladas ya sea en laptops o celulares.

- Extension Options

| | |
|---|--|
| Queue State Detection [?] | <input type="text" value="Use State"/> |
| Outbound CID [?] | <input type="text"/> |
| Asterisk Dial Options [?] | <input type="text" value="Ttr"/> <input type="checkbox"/> Override |
| Ring Time [?] | <input type="text" value="Default"/> |
| Call Forward Ring Time [?] | <input type="text" value="15"/> |
| Outbound Concurrency Limit [?] | <input type="text" value="3"/> |
| Call Waiting [?] | <input type="text" value="Enable"/> |
| Call Screening [?] | <input type="text" value="Disable"/> |
| Pinless Dialing [?] | <input type="text" value="Disable"/> |
| Emergency CID [?] | <input type="text"/> |

Figura. 7.9 Configuraciones de la extensión.

En la figura B.9 debemos configurar la opción “Call Forward Ring Time” (fijarlo a 15 segundos) la establece el tiempo de duración del timbrado y la opción “Call Waiting” que permite manejar llamadas en espera.

- Device Options

This device uses **CHAN_SIP** technology listening on **0.0.0.0:5060**

| | |
|-----------------------------|--|
| Secret [?] | <input type="text" value="abc6009"/> |
| DTMF Signaling [?] | <input type="text" value="RFC 2833"/> |
| NAT Mode [?] | <input type="text" value="No - (no)"/> |

Figura. 7.10 Configuración de la cuenta.

En la Figura B.10 se realiza la configuración de la opción “Secret” la cual es la contraseña con la que se conectara cada extensión al servidor Asterisk. La opción “NAT²⁹ mode” debe de ser desactivada ya que la traducción de dirección estará a cargo del router Gateway (en este caso lo realizará el router NS M2).

Antes de guardar la configuración debemos de activar el correo de vox, estos correos serán guardados en la micro SD, esta configuración será a forma de prueba para medir la capacidad de la Raspberry en cuanto al tema de almacenamiento. Como se observa en la Figura B.11 debemos activar la opción de Voicemail, debemos crearle un password que será ingresado desde el teléfono para escuchar los mensajes de nuestra extensión. Luego de configurar esto damos click en “Submit” para que la configuración sea guarda en la base de datos del Asterisk. Lo más importante es dar click en el boto rojo “Appli config”, esto acción provoca que el Asterisk se reinicie y cargue sus archivos de configuración en donde guardamos los datos de nuestra extensión.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Status | Enabled |
| Voicemail Password | 6009 |
| Require From Same Extension | no |
| Email Address | |
| Pager Email Address | |
| Email Attachment | no |
| Play CID | no |
| Play Envelope | no |
| Delete Voicemail | no |
| VM Options | |
| VM Context | default |

Figura. 7.11 Configuración del Voicemail.

Con esto ya tenemos creada la primera extensión, recordando cómo se mencionó en el capítulo cuatro para este proyecto serán un total de 16 extensiones.

²⁹ La traducción de direcciones de red o NAT (del inglés Network Address Translation) es un mecanismo utilizado por routers IP para intercambiar paquetes entre dos redes que asignan mutuamente direcciones incompatibles.

CAPITULO 8: CONFIGURACION DE LOS ROUTERS MP02 Y NS M2.

8.1. Router MP02.

A partir de noviembre del 2015 los routers MP02 traen por defecto la versión 3.0 de su firmware, esto es de gran ayuda ya que no se requiere estar actualizando el firmware para el router sea compatible con el NS M2. La IP por defecto es la 10.130.1.20 es por ello que debemos poner nuestra PC en ese mismo rango para realizar las configuraciones necesarias. En el cuadro 8.1 se presenta la configuración del interfaz de red de nuestra computadora.

```
root@legendario:/home/dante# ifconfig eth0 down
root@legendario:/home/dante# ifconfig eth0 10.130.1.22 up
root@legendario:/home/dante# ping -c4 10.130.1.20
PING 10.130.1.20 (10.130.1.20) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.130.1.20: icmp_seq=1 ttl=128 time=1.60 ms
64 bytes from 10.130.1.20: icmp_seq=2 ttl=128 time=2.14 ms
64 bytes from 10.130.1.20: icmp_seq=3 ttl=128 time=2.02 ms
64 bytes from 10.130.1.20: icmp_seq=4 ttl=128 time=2.02 ms

--- 10.130.1.20 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3010ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.602/1.950/2.144/0.208 ms
root@legendario:/home/dante#
```

Cuadro. 8.1 Configuración interfaz Eth0.

En el recuadro anterior se muestra la forma de colocar nuestra PC en el mismo rango de red, ahora un paso sumamente importante es el de cambiar la contraseña al usuario root ya que viene desactivada. Para esto usamos el comando “telnet” agregando la dirección IP del router, en la consola aparecerá un mensaje recordando que lo primero que se debe de hacer es activar la contraseña. Al utilizar el comando “password” nos permite asignar una nueva contraseña al usuario root como se muestra en el recuadro 8.2.

```
root@legendario:/home/dante# telnet 10.130.1.20
Trying 10.130.1.20...
Connected to 10.130.1.20.
Escape character is '^]'.
=== IMPORTANT =====
Use 'passwd' to set your login password
this will disable telnet and enable SSH

root@MP2-20:/#passwd

Changing password for root
New password:
Retype password:
Password for root changed by root
root@MP2-20:/#
```

Cuadro. 8.2 Ingreso usando el comando telnet y configuración de password.

La clave asignada es “potato2015”, ahora podemos entrar en el router usando el comando “ssh” como se muestra en el cuadro 8.3. Ahí podemos observar la información básica del router como: versión de firmware, fecha de construcción y el creador.

```
root@legendario:/home/dante# ssh root@10.130.1.20
root@10.130.1.20's password:

BusyBox v1.22.1 (2015-08-11 13:59:30 AEST) built-in shell (ash)
Enter 'help' for a list of built-in commands.

+++++
Welcome to Village Telco

      O-----O
     / \      / \
    O   \   O   \   O
   / \   \ / \   \ / \
  O   \   O   \   O   \   O
   / \   \ / \   \ / \
    O   \   O   \   O
     / \      / \
      O-----O

┌──────────┬──────────┬──────────┬──────────┬──────────┐
│           │           │           │           │           │
├──────────┴──────────┴──────────┴──────────┴──────────┤
│           │           │           │           │           │
└──────────┬──────────┬──────────┬──────────┬──────────┘
             | W I R E L E S S   F R E E D O M

OpenWrt Barrier Breaker 14.07 r46516 Dragino

Village Telco - Small Enterprise Campus Network

Version:      SECN-3.0-MP02-GA01.1 MP02FXS
Build date:   2015-09-25-22:23
GitHub:       vt-firmware secn_3.0-GA01-24-g69630a019f

root@MP2-20:~#
```

Cuadro. 8.3 Modo consola del router MP02, usando el comando ssh.

La configuración se puede realizar desde el modo consola presentada en la Figura anterior, en nuestro caso la configuración se realizará usando la interfaz web. Para ingresar a la interfaz web abrimos un navegador e ingresamos la dirección 10.130.1.20, debemos ingresar el usuario “root” y el password “potato2015” como se muestra en la siguiente figura.

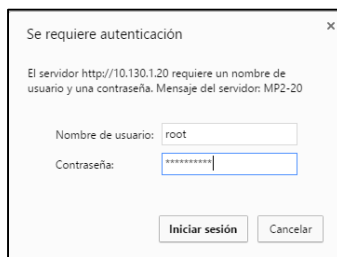


Figura. 8.1 Interfaz web del router MP02.

Una vez ingresamos a la interfaz web, damos click en la opción “Advanced” en donde realizaremos la configuración paso a paso.

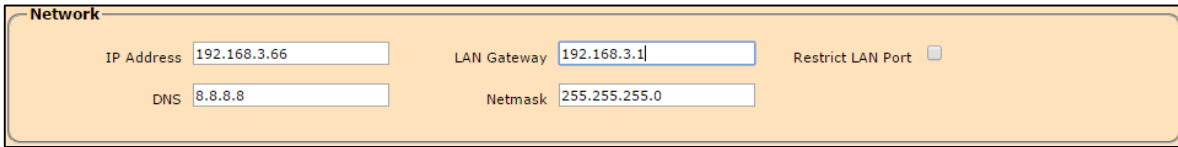


Figura. 8.2 Configuración de la red.

En la Figura 8.2 se observan distintos parámetros los cuales se detallan a continuación:

- IP Address: dirección física del router, esta IP permite que nosotros podamos acceder al router de manera remota.
- LAN Gateway: es la compuerta de salida en este caso se tiene un router Dir-300 el cual desempeña esta función.
- DNS: al tener acceso a internet debemos de usar un DNS seguro el cual no se caiga fácilmente, en este caso el DNS de Google es el idóneo.
- Netmask: para este caso estamos usando IP clase C con mascara 24. Esto puede cambiar según sea la necesidad.

En la siguiente Figura se presenta la configuración a nivel de radio, a continuación de ella se detallan el significado de los parámetros modificados.



Figura. 8.3 Configuración de la parte de radio del router.

Donde:

- Channel: es el canal donde transmitiremos nuestra señal normalmente todos los routers comerciales utilizan por defecto el canal 1 o 6 para transmitir sus datos. En nuestro caso utilizaremos el canal 11 para evitar el traslape con otra señal.
- Tx Power: esta es la potencia de con la cual el router irradiara su señal, como se mostró en el capítulo 4 por la topográfica de la zona trabajaremos con el valor máximo de salida.
- Chan BW: este es el ancho de banda del canal, usaremos un ancho de canal de 20MHz.

Como se expuso en capítulos anteriores se requiere la integración de dispositivos como laptops y Smartphone, para esto debemos de configurar el router para que funcione como punto de acceso (ver imagen 8.4).

WiFi Access Point (WPA2)

Enable Access Point SSID AP Isolation

AP Connections Passphrase Encryption

Figura. 8.4 Configuración del punto de acceso.

Donde:

- SSID: es el nombre con que se propagara la señal.
- PassPhrse: es la contraseña, está esta encriptada usando WPA2.

WiFi Mesh

Enable Mesh Mesh Gateway Encryption

IP Address Netmask

SSID BSSID

Figura. 8.5 Configuración de la Wi-Fi mesh.

En la Figura anterior se muestra la configuración de la red interna del router MP02, dicha red es utilizada para la comunicación con otros routers usando el protocolo BATMAN-Adv. La IP address debe de ser una por cada equipo esto a modo de evitar conflictos. El SSID puede ser la dirección MAC del equipo o el identificador como lo es WALEJO para nuestro caso.

Asterisk Configuration

Enable Asterisk Softphone Support

Codec1 Codec2 Codec3

SIP Enable SIP Register Dialout Code

SIP Status **Not Registered.**

SIP Registrar User Name

SIP Host Password

Enable Asterisk NAT NAT External IP

Figura. 8.6 Configuración del Asterisk.

La configuración del Asterisk (Figura 8.6) es la que permite la interacción del router MP02 con la planta PBX instalada en la Raspberry. El servidor DHCP debe de ser desactivado en todos los nodos ya que el único que lo tendrá activo será el supernodo el cual se configurará en el siguiente apartado. Una vez configurado todo damos click en guardar (Save) y luego reiniciamos el router, nos aparecerá la ventana (Figura 8.7) la cual cuando el contador termine nos direccionará a la interfaz web con la diferencia que para entrar en ella ahora utilizaremos la ip 192.168.3.66.

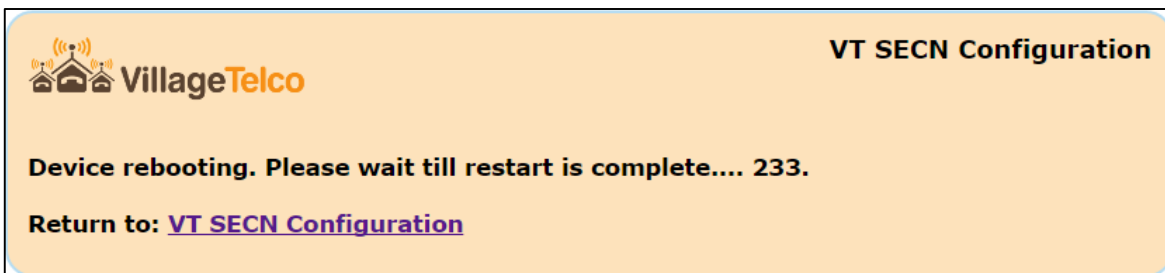


Figura. 8.7 Configuración finalizada en el router.

8.2. Router NS M2.

El router Nano Station M2 (o mejor conocido como NS M2), proporciona la robustez necesaria al sistema ya que está diseñado para obtener un alcance de 15 kilómetros, aunque hasta el momento no se han dado las condiciones idóneas para comprobar esa distancia. Viene con su propio firmware llamado AirOs versión XM.v5.5.8, la dirección IP por defecto es 192.168.1.20. Debemos colocar la interfaz de nuestra PC en el mismo rango que el router (como se mostró en el apartado 8.1), ingresamos a la interfaz web con el usuario “ubnt” y el password “ubnt” como se muestra en la Figura 8.8.



Figura. 8.8 Interfaz web del router NS M2.

Una vez iniciamos sesión damos click en la pestaña system y en los enfocamos en la parte de actualizar firmware (Figura 8.9), esto debido a que a partir de la versión 6 del firmware AirOs se tiene que realizar un proceso distinto para la instalación del firmware VT- SECN 3.0. Previamente descargamos el firmware a instalar del link:

http://download.villagetelco.org/firmware/secn/stable/ubnt/SECN_3/GA01/openwrt-SECN-3_0-GA01-nano-m-squashfs-sysupgrade.bin

Una vez se tenga guardado este firmware en nuestra PC nos disponemos a seleccionarlo desde la interfaz web para que el router pueda actualizarse de manera automática.

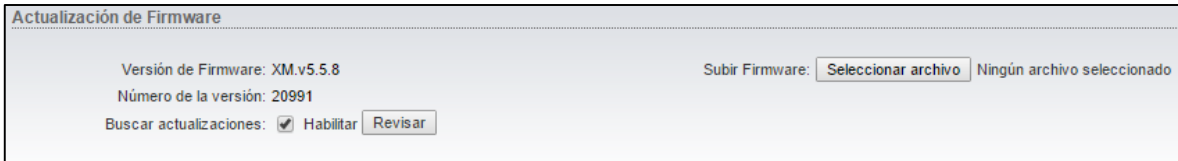


Figura. 8.9 Opciones para actualización de firmware.

Una vez localizado el nuevo firmware (Figura 8.10) damos click en el botón “subir” para que dé inicio la actualización automática.

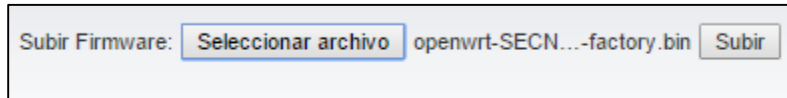


Figura. 8.10 Instalación automática del firmware VT-SECN.

Debemos esperar aproximadamente 30 segundos mientras el router analiza la compatibilidad con el firmware subido, luego de eso nos aparece la advertencia mostrada en la Figura 8.11 en la cual damos click en el botón aceptar.

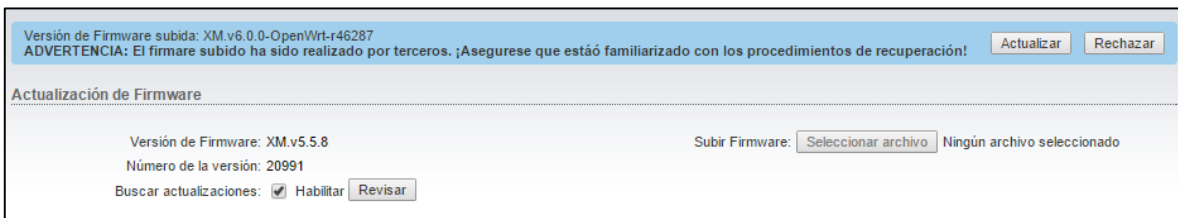


Figura. 8.11 Advertencia sobre la actualización del firmware.

Y finalmente los leds del router empezaran a parpadear y aparecerá el siguiente mensaje de confirmación, en este caso debemos esperar hasta que el proceso termine de manera automática.

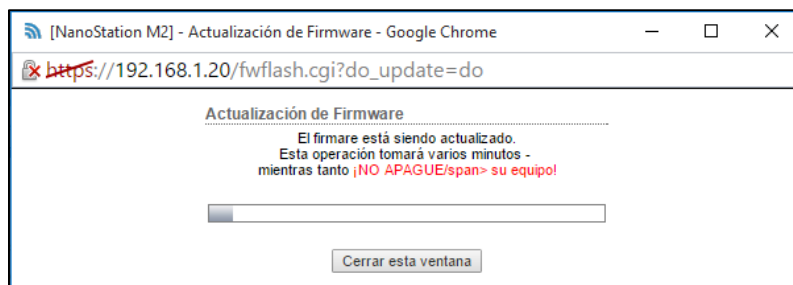


Figura. 8.12 Mensaje de confirmación.

Una vez finalizado el proceso de instalación del nuevo firmware el router tomara por defecto la IP 10.130.1.20, siguiendo los pasos explicados en el apartado anterior y transcritos en los cuadros 8.1 y 8.2 definimos la contraseña “potato2015” para el usuario root y realizamos una prueba usando el comando “ssh” (cuadro 8.4).

| Network | | | |
|------------|--------------|-------------|---------------|
| IP Address | 192.168.3.10 | LAN Gateway | 192.168.3.1 |
| DNS | 8.8.8.8 | Netmask | 255.255.255.0 |

Cuadro. 8.5 Configuración a nivel de red.

A nivel de red el único cambio es la de la IP del equipo ya que como se mencionó anteriormente cada router debe de tener su propia IP, por lo demás se mantiene los mismos parámetros. De igual manera en la parte de radio y punto de acceso se mantiene los mismos parámetros configurados en el apartado 8.1. La configuración de Asterisk se deshabilita ya que este router no cuenta con puerto FXS.

| WiFi Mesh | | | |
|-------------|-------------------------------------|--------------|-------------------|
| Enable Mesh | <input checked="" type="checkbox"/> | Mesh Gateway | SERVER |
| IP Address | 10.10.130.10 | Netmask | 255.255.255.0 |
| SSID | sm-mesh | BSSID | 02:CA:FF:EE:BA:BE |
| | | Encryption | OFF |

Cuadro. 8.6 Configuración de la red Wi-Fi interna.

En la Figura anterior presenta dos cambios significativos, por un lado, la IP address es modificada para que este equipo tenga una única IP en toda la red y por el otro se habilita que este router funcione como server ya que en un futuro este router estará conectado al internet para darle acceso a los demás nodos.

| DHCP Server | | | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| Enable DHCP Server | <input checked="" type="checkbox"/> | Authoritative | <input type="checkbox"/> |
| Starting IP | 192.168.3.200 | Ending IP | 192.168.3.240 |
| Subnet Mask | 255.255.255.0 | Gateway Router | 192.168.3.10 |
| Lease Term (secs) | 7200 | Max Leases | 40 |
| Domain | lan | DNS Server1 | 8.8.8.8 |
| | | DNS Server2 | 8.8.4.4 |
| | | Use device IP | <input checked="" type="checkbox"/> |

Cuadro. 8.7 Configuración del servidor DHCP.

Y finalizando la configuración se debe de dejar habilitado el servicio DHCP esto brindara la dirección IP a cada dispositivo que se enlace a la red inalámbrica.

CAPITULO 9: REFERENCIA.

- [1] IEEE, «IEEE Standards Association.,» 29 03 2012. [En línea]. Available: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>.
- [2] Wikipedia, «IEEE 802.11,» 26 02 2016. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#IEEE_802.11n.
- [3] Wikipedia, «Arduino.,» Wikipedia, 29 11 2015. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
- [4] I. Spectrum, «The making of arduino,» IEEE Spectrum., 26 10 2011. [En línea]. Available: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino/0>.
- [5] OpenWrt, «Wiki de OpenWrt,» OpenWrt, 06 07 2015. [En línea]. Available: <https://wiki.openwrt.org/es/start>.
- [6] Wikipedia, «Historia del WRT54G,» Wikipedia, 26 11 2015. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/WRT54G>.
- [7] Wikipedia, «VxWorks,» Wikipedia, 26 09 2015. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/VxWorks>.
- [8] OpenWrt, «Historia de OpenWrt,» OpenWrt, 14 10 2015. [En línea]. Available: https://wiki.openwrt.org/es/about/history#white_russian.
- [9] Steve Song, «Village Telco,» Village Telco, 01 01 2011. [En línea]. Available: <http://villagetelco.org/about/>.
- [10] Steve Song, «Village Telco,» Village Telco, 01 09 2010. [En línea]. Available: <http://villagetelco.org/mesh-potato/>.
- [11] DD-WRT, «D-link Dir-300,» DD-WRT, 9 03 2014. [En línea]. Available: http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/D-Link_DIR300_rev_A.
- [12] Carlos Eugenio Martinez Cruz, Laboratorio de redes inalámbricas y VoIP., San Salvador: Universidad de El Salvador, 2015.
- [13] Dragino, «MS14-P,» Edwin Chen, 20 02 2014. [En línea]. Available: <http://www.dragino.com/products/mother-board/item/71-ms14-p.html>.
- [14] Steve Song, «Diseño del MP02,» Village Telco, 1 11 2012. [En línea]. Available: <https://groups.google.com/forum/#!topic/village-telco-dev/exnegPv9Irl>.
- [15] Steve Song, «MP02 Miniguide.,» Village Telco, 2013. [En línea]. Available: http://wiki.villagetelco.org/MP02_Miniguide.
- [16] Wikipedia, «Modelo OSI,» Wikipedia, 29 12 2015. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model.
- [17] Carlos Molina Flamenco, «Redes mesh utilizando tecnología WIFI,» Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, San Salvador, 2008.
- [18] Roberto Carlos Romero Castro, «Repositorio Institucional, Universidad de El Salvador.,» 01 12 2008. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/3848/>.
- [19] William Ovidio Reyes Medrano, «Implementación de una herramienta software para la gestión de una central telefónica basada en una computadora personal.,» 01 12 2015. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/3838/>.
- [20] Erick Campos, Edmond Romero, «Propuesta de un sistema de comunicaciones de voz y acceso a internet para las escuelas del municipio de Berlin, Usulután.,» 01 04 2011. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/2607/>.
- [21] Luis Colacho, Roman Tobias, «Telefonía inalámbrica y red de acceso a internet para los municipios de Salcoatitán, Juayúa, Apaneca y Ataco,» 22 09 2011. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/2888/>.

- [22] Ubiquiti Networks, «Nano Station NS2 datasheet,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/ns2_datasheet.pdf.
- [23] Ubiquiti Networks, «Bullet2 datasheet,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/b2_datasheet.pdf.
- [24] Juan Jose Bonilla Perla, «Diseño, configuración y supervisión de la red de medidores energia electrica del campus central de la Universidad de El Salvador,» 02 2014. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/5584/>.
- [25] Alexander Omar Duque Alas, «Optimización del sistema de monitorización remota de medidores de energía eléctrica,» 09 2014. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/6534/>.
- [26] ADES, «Documental sobre Santa Marta,» [En línea]. Available: <http://adessantamarta.sv/vivir-la-historia-es-nuestra-manera-de-hacer-futuro---documental-sobre-santa-marta.html>.
- [27] Wikipedia, «DYI (Hagalo Usted Mismo),» Wikipedia, 26 11 2015. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1galo_usted_mismo.