UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TEMA:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA RED HÍBRIDA Wi-Fi - BPL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Director:
Ing. Fernando Marcelo Dávila Vargas

Autores:
Eduardo Alejandro Suárez Rosales
Bruno Israel Cárdenas Armijos

LOJA-ECUADOR

2011

Loja, Febrero 2011

Ingeniero.

Fernando Marcelo Dávila Vargas
DOCENTE DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

CERTIFICA:

Que la tesis titulada “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA RED HÍBRIDA Wi-Fi - BPL” presentada por los señores profesionales en formación Eduardo Alejandro Suárez Rosales y Bruno Israel Cárdenas Armijos; cumple con los requisitos metodológicos y con los aspectos de forma y fondos exigidos en las Normas Generales previas a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, vigentes en la Universidad Técnica Particular de Loja y de manera especial en la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, por lo que luego de haberla revisado minuciosamente autorizo su presentación.

Ing. Fernando Marcelo Dávila Vargas
DIRECTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Eduardo Alejandro Suárez Rosales y Bruno Israel Cárdenas Armijos, declaramos ser autores del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67
Del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad y la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

Eduardo Alejandro Suarez Rosales Bruno Israel Cárdenas Armijos

AUTORÍA

Las opiniones, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones de la presente tesis son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Los Autores

Eduardo Alejandro Suarez Rosales
Bruno Israel Cárdenas Armijos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones de la UTPL, así como al personal docente y administrativo que laboran en ella, quienes siempre estuvieron prestos a brindarnos su ayuda, llenándonos con sus conocimientos y gestos de amabilidad, así como para hacer usos de las instalaciones y equipos necesarios para la realización de este estudio.

De manera especial agradecemos al Ing. Marcelo Dávila, Ing. Katty Rohoden e Ing. Janeth Alba por su constante apoyo y preocupación en la realización de nuestro proyecto de fin de carrera y por sus importantes consejos, ya que sin su guía la culminación del presente trabajo no hubiera sido posible.

A nuestros compañeros y amigos, con quienes compartimos largas jornadas de estudio y con quienes convivimos muchos momentos agradables, gracias a ustedes por su apoyo y por ser parte importante a lo largo de nuestra vida universitaria.

INTRODUCCIÓN

En estas últimas décadas, el campo de las telecomunicaciones ha crecido de una manera acelerada. Este proceso se ha desarrollado debido a la necesidad permanente de nuevos servicios de telecomunicaciones y tecnologías capaces de transmitir mayor información a altas velocidades para satisfacer, a los cada día más exigentes usuarios.

Bajo este panorama, en el desarrollo de las nuevas tecnologías se avizoran opciones ingeniosas, necesarias y otras con un tinte de urgentes. La tecnología basada en el uso de las líneas de potencia eléctrica para transmitir datos, se convierte en una excelente solución para aquellos usuarios que solicitan banda ancha con una elevada tasa de transmisión. Y las razones son claras: su principal ventaja es el uso de una infraestructura ya existente que inicialmente fue ideada para el transporte de energía eléctrica y no de datos, asemejándose así al desarrollo que xDSL ha obtenido en los últimos años con el estudio de los hilos de cobre para su uso en las telecomunicaciones.

El uso de las redes eléctricas para el propósito de las comunicaciones es conocido desde los inicios de los años 20. El primer sistema operó en una red eléctrica de alto voltaje que cubría una distancia de 500 km usando una potencia de más de 10W en su señal de transmisión para fines de telecontrol y teleoperación y con frecuencias que se comprendían entre los 3 y 148,5 KHz.

Para los años 80 el desarrollo de BPL se centró en intensificar la investigación de proyectos en banda estrecha para redes de media y baja tensión tanto para el control de la misma red eléctrica, el control selectivo de cargas y además de su primer uso en redes eléctricas domésticas y en edificios.

Con estos antecedentes, la evolución de la tecnología BPL se refleja en los servicios que brinda actualmente como: transmisión de audio y video, juegos en línea, VoIP, flujo de datos, y los servicios que puede implementar a futuro como las denominadas “aplicaciones inteligentes” por ejemplo: las refrigeradoras y otros aparatos electrónicos dentro del hogar como lavadoras o cafeteras estarán

conectadas a la red y podrán comunicar a sus dueños cuando deberán realizar un mantenimiento o si la despensa necesita reabastecerse con leche por ejemplo. [1]

El desarrollo del presente proyecto se enfoca principalmente al estudio de la tecnología BPL con el apoyo de la tecnología Wi-Fi para poder brindar una solución a la falta y necesidad de acceso a internet y telefonía que cuentan centros educativos y de atención a personas de bajos recursos en el sector de Jipiro Alto donde aún no se encuentra una infraestructura de cableado telefónico no así de cableado eléctrico que en su totalidad ya se encuentra implementado en el sector.

[1] MATTHEW, Herper. “Smart Kitchens a Long Way Off”, *Forbes,* Diciembre 21, 2001. http://www.forbes.com/2001/12/21/1221networking.html

OBJETIVOS

Objetivo General

- Estudio de factibilidad de una red híbrida WiFi – BPL a fin de determinar las características técnicas necesarias para la implementación del servicio de Internet y de Voz sobre IP.

Objetivos específicos

- Estudiar las tecnologías Wifi – BPL
- Seleccionar el emplazamiento de última milla
- Diseñar la red híbrida Wifi – BPL en base al servicio de Internet y VoIP
- Diseño del servidor VoIP con salida hacia la PSTN
- Seleccionar equipos Wifi – BPL y VoIP
- Análisis referencial del marco legal de BPL en Ecuador

DEDICATORIAS Y RECONOCIMIENTOS

Dedicar este trabajo en especial a Dios por su infinito amor y ser luz y guía de mi vida. A mis papás por las noches en vela y sobre todo por ser ejemplo de vida y de trabajo honrado, gracias por brindarme su amor y apoyo constante.

A mis abuelitos, *Vichito* por ser siempre mi fuente de inspiración y ser quién me mostró el camino profesionalmente; y, *Lalita* por sus historias, consejos, guías y demás anécdotas que han hecho de mi lo que soy ahora. A mis hermanos Salomé y Andrés quienes amo profundamente y por quienes velaré siempre.

A mis amigos y compañeros quienes a lo largo de mi vida universitaria han aportado a mi formación tanto profesional como espiritual, gracias por los momentos vividos, por los buenos y los malos porque todos ellos nos unieron y nos dieron fuerza para seguir cada día.

Bruno

Este trabajo se lo dedico a Dios por convertirse en mi guía, mi apoyo y mi amigo, porque su palabra siempre ha sido lámpara a mis pies.

A mis padres y hermanas quienes durante el trayecto de mi carrera de formación profesional supieron darme su apoyo incondicional en los malos momentos y darme palabras de aliento en los buenos. Gracias papá y mamá por creer en mí y por darme sus mejores años de su vida siempre de la mano de Jesucristo y su infinito amor.

A mi esposa María Eugenia y a mi futuro niñ@ que se han convertido en mi punto de apoyo y mi razón de vivir, para quienes este trabajo se convertirá en motivo de orgullo y satisfacción. Gracias por llenar mi vida de alegría y mi alma de pequeños momentos maravillosos.

A mis profesores por sembrar en mi la duda necesaria para desarrollar investigación e ir más allá de lo común, gracias porque a muchos de ellos también los considero mis amigos.

A todos mis amigos y compañeros, a mis hermanos de toda la vida de la Rama Estudiantil IEEE de la UTPL quienes me formaron como profesional pero sobretodo me enseñaron a crecer como persona. Gracias porque mi futuro lo forjé junto a ellos.

Eduardo

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS ..... **v**
INTRODUCCIÓN ..... **vi**
OBJETIVOS ..... **viii**
DEDICATORIAS Y RECONOCIMIENTOS ..... **ix**
LISTA DE FIGURAS ..... **xiii**
LISTA DE TABLAS ..... **xv**
1. ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS Wi-Fi – BPL **1**
1.1. Generalidades de Tecnología Wi-Fi 1
1.1.1. Introducción 1
1.1.2. Topología de red 3
1.1.3. Capa Física PHY 4
1.1.4. Capa MAC 5
1.2. GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA BPL 8
1.2.1. Introducción 8
1.2.2. Capa PHY 14
1.3. Servicios IP 27
1.3.1. Internet 27
1.3.2. VoIP 28
1.4. ANÁLISIS REFERENCIAL DEL MARCO LEGAL DE BPL EN ECUADOR 28
1.4.1. Estándares Internacionales definidos para tecnología BPL 28
1.4.2. Marco legal de tecnología BPL en Ecuador 31
2. DISEÑO DE LA RED HÍBRIDA Wi-Fi – BPL **32**
2.1. Selección del emplazamiento para la red híbrida Wi-Fi-BPL 32
2.1.1. Situación actual del sistema de telecomunicaciones en los sectores urbanos marginales de la ciudad de Loja. 32
2.1.2. Tecnologías Alternativas para Zonas Rurales y Urbano Marginales 33
2.1.3. Selección del emplazamiento 35
2.2. Topología y direccionamiento de red 36
2.3. Simulación del emplazamiento propuesto 40
2.4. Cálculo de ancho de banda en base al servicio de Internet y VoIP. 41
2.4.1. Cálculo Ancho de Banda 41
2.4.2. Estimación de Ancho de Banda para el servicio de VoIP 42
2.5. Estudio y selección de equipos para la red Wi-Fi 44

2.6. Estudio equipos BPL CORINEX 44
2.6.1. Características de equipos Corinex 44
2.6.2. Características de los diferentes Chips de DS2 45
2.6.3. Script Corinex 47
2.7. Estudio y selección de equipos para el servicio de VoIP. 48
a) Servidor de VoIP 48
b) Equipamiento Lógico y Físico para la salida hacia la Red Telefónica Pública Conmutada PSTN 49
2.8. Presupuesto Referencial de la Red Híbrida Wi-Fi - BPL 50
3. DISEÑO DEL SERVIDOR VOIP CON SALIDA HACIA LA PSTN 50
3.1. Estudio del servidor Asterisk para VoIP 52
3.1.1. Soluciones de VoIP basadas en Asterisk 52
3.2. Protocolos para VoIP 55
3.2.1. Estudio General de Protocolos 55
3.3. Códecs de audio 59
3.3.1. MOS (Mean Opinion Source) para calidad de voz sobre la red híbrida 59
3.4. Hardware para VoIP 60
3.4.1. Interconexión hacia la PSTN 61
4. ANÁLISIS TÉCNICO 62
4.1. Pruebas del Cableado Eléctrico: Fluctuaciones de voltaje 62
4.2. Pruebas del Servicio de VoIP utilizando el códec G.711 66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 72
CONCLUSIONES 72
RECOMENDACIONES 75
REFERENCIAS 77
GLOSARIO DE TÉRMINOS 79
ANEXO 1 81
ANEXO 2 113
ANEXO 3 117

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Funcionamiento de CSMA/CA 8
Fig. 1.1 Acople Capacitivo 12
Fig. 1.2 Acople Inductivo7 12
Fig. 1.3 Sistema de Red BPL genérico. Está basado en la arquitectura BPL de medio y bajo voltaje hasta llegar al usuario final 13
Fig. 1.4 Diferentes tipos de topologías que se pueden presentar en una red BPL 14
Fig. 1.5 Esquema de un transmisor OFDM 17
Fig. 1.6 Esquema de transmisión y recepción de un equipo BPL 18
Fig. 1.7 Esquema los dos tipos de filtros que se encuentran en un equipo BPL 19
Fig. 1.8 Distorsiones y ruido provocado por dispositivos externos 21
Fig. 2.2 Simulación enlace entre UTPL y el Hospital UTPL 37
Fig. 2.3 Simulación enlace entre Hospital UTPL y Orfanato "Ángel Pastrana" 38
Fig. 2.4 Simulación enlace Orfanato "Ángel Pastrana" y Ancianato "Daniel Álvarez Burneo" 38
Fig. 2.5 Topología de red BPL 40
Fig. 2.6 Equipo de baja tensión BPL modelo CXP-LVA-GWY 41
Fig. 2.7 Herramienta web para cálculo de tráfico telefónico IP 43
Fig. 2.8 ALIX 232 48
Fig. 3.1 SIP (Session Initation Protocol) 57
Fig. 3.2 Conexión básica de VoIP-PSTN 61
Fig. 4.1 Picos de voltaje medidos en el edificio 3 UTPL 65
Fig. 4.2 Interfaz Gráfica de VQManager 66
Fig. A.1 Parte frontal equipo Corinex AV200 82
Fig. A.2 Parte posterior equipo Corinex AV200 82
Fig. A.3 Logo del Servidor HaneWin DHCP Server 85
Fig. A.4 Interfaz del servidor HaneWin DHCP Server 86
Fig. A.5 Logo del Cliente Putty 86
Fig. A.6 Interfaz del programa PuTTY 87
Fig. A.7 Configuración Firewall de Windows 88
Fig. A.8 Configuración de IP estática del equipo que se convertirá en servidor DHCP 88
Fig. A.9 Profile Name de la configuración BPL 89
Fig. A.10 Configuración principal del servidor DHCP 89
Fig. A.11 Condiciones de solicitud para el servicio DHCP 90

Fig. A.12 Configuración de otros parámetros en el servidor DHCP 91
Fig. A.23 Resultado satisfactorio de la asignación de IP al modem Corinex AV200..... 91
Fig. A.14 Modo de configuración gráfica a través del entorno web 92
Fig. A.15 Parámetros de configuración en el entorno web (Primera parte) 93
Fig. A.16 Parámetros de configuración en el entorno web. (Segunda parte) 93
Fig. A.16 Interfaz gráfica del programa Putty..... 94
Fig. A.17 Pantalla de bienvenida del equipo Corinex AV200..... 95
Fig. A.18 Topología de red BPL..... 101
Elaborado por: Los Autores..... 101
Fig. A.19 Carpeta general configuraciones..... 102
Fig. A.20 Archivos de configuración..... 102
Fig. A.21 Pasos para activar y seleccionar archivos de configuración para el servidor TFTP..... 105
Fig. A.22 Asignación de direccionamiento IP estático en la tarjeta de red del computador 105
Fig. A.23 Activación servidor TFTP con archivo de configuración..... 106
Fig. A.24 Asignación de la extensión de los archivos de configuración en el servidor TFTP 107
Fig. A.25 Asignación de direcciones IP estáticas según su dirección MAC..... 108
Fig. A.26 Entradas IP estáticas según su dirección MAC y archivo de configuración 108
Fig. A.27 Resultados de la asignación del direccionamiento IP según la dirección MAC 109
Fig. A.28 Comprobación de carga exitosa del equipo master 109
Fig. A.29 Verificación de carga exitosa del equipo repetidor..... 109
Fig. A.30 Comprobación de carga exitosa del equipo CPE.....110
Fig. A.31 Interfaz gráfica de acceso mediante el cliente ssh Putty al equipo master...110
Fig. A.32 Interfaz gráfica de acceso mediante el cliente ssh Putty al equipo repetidor111
Fig. A.33 Interfaz gráfica de acceso al equipo esclavo 1 111
Fig. A.34 Interfaz gráfica de acceso al equipo esclavo 2 112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Protocolos del Estándar 802.11 3
Tabla 1.2 Tabla de Temporización para cada protocolo 8
Tabla 1.3 Principales fabricantes de dispositivos BPL 26
Tabla 1.4 Principales proveedores de dispositivos BPL 26
Tabla 1.5 Principales proveedores de dispositivos BPL 27
Tabla 1.6 Límite de emisión de radiaciones 30
Tabla 2.1. Resumen de operadores que brindan el servicio de valor agregado en Loja 34
Tabla 2.2 Capacidad de Demanda de los servicios ofrecidos en la red Wi-Fi – BPL.... 41
Tabla 2.3 Demanda de Capacidad Total de los servicios en la red Wi-Fi – BPL 42
Tabla 2.4 Cálculo Total de Ancho de Banda requerido para la red Wi-Fi –BPL 43
Tabla 2.5 Características de Antena NanoStation 5 44
Tabla 2.6 Diferencia entre CHIP's DS2 45
Tabla 2.7 Principales características de equipos Corinex para media y baja tensión... 46
Tabla 2.8 Principales características servidor de VoIP UTPL 50
Tabla 2.9 Presupuesto referencial de la red híbrida Wi-Fi –BPL. Propuesta: 1. 50
Elaborado por: Los Autores 50
Tabla 2.10 Presupuesto Referencial de la Red Híbrida Wi-Fi - BPL. Propuesta: 2. 51
Elaborado por: Los Autores 51
Tabla 3.1 Tabla de valoración M.O.S 59
Tabla 4.1 Medición de las Fluctuaciones de Voltaje del edificio 3 de la UTPL..... 63
Tabla 4.2. Pruebas de calidad de VoIP con el códec G.711u 67
Tabla 4.3. Promedio de M.O.S con el códec G.711u 68
Tabla 4.4. Pruebas de calidad de VoIP con el códec G.711a 69
Tabla 4.5. Promedio del M.O.S utilizando el códec G.711a 70
Tabla 4.6 Detalle del equipamiento de la red híbrida Wi-Fi – BPL 71
Tabla A.1 descripción parte frontal equipo Corinex AV200 82
Tabla A.2 Características técnicas del equipo Corinez AV200 83
Tabla A.3 Principales características de equipos Corinex para media y baja tensión... 84
Tabla A.4 Canales de transmisión de equipos Corinex AV200 97

RESUMEN

Las nuevas tecnologías de la comunicación pretenden entre sus enfoques disminuir la brecha digital y encontrar así mismo tecnologías que mejor se adapten a la realidad de cada ciudad según sus necesidades. Broadband Over Powerline precisamente permite implementar servicios IP sobre la infraestructura del cableado eléctrico y brindar el servicio de Internet y Voz sobre IP para el sector de Jipiro Alto donde aún no existe infraestructura telefónica ni la penetración de las telecomunicaciones en general aún es incipiente.

En el Capítulo Uno se realiza un estudio general de las tecnologías Wi-Fi y Broadband Power Line (BPL), características técnicas en capa PHY y capa MAC además de otros aspectos técnicos, incluye además el estudio del marco legal vigente en el Ecuador para tecnología BPL.

En el Capítulo Dos se realiza el diseño de las redes Wi-Fi y BPL, se selecciona el lugar de emplazamiento y se presenta un presupuesto referencial para la implementación de la red híbrida Wi-Fi - BPL.

En el Capítulo Tres se encuentran los diseños de los servicios de VoIP y del acceso a Internet, se realiza el cálculo de ancho de banda necesario para los servicios a implementarse, además se presenta las tecnologías y software necesario para la implementación de servidores y su posterior análisis.

En el Capítulo Cuatro comprende los resultados de las pruebas en las fases eléctricas realizadas en el edificio de aulas N°3 de la Universidad Técnica Particular de Loja así como también los resultados obtenidos de las pruebas de Mean Opinion Score (M.O.S) realizadas en el servidor de VoIP con interconexión a la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).

Como anexos se encuentran los manuales de operación de los equipos BPL Corinex AV200 y sus archivos de configuración. Se incluye además los scripts implementados en el servidor de VoIP con interconexión hacia la PSTN asi como el script para mejorar el servicio de BPL en equipos con plataforma Microsoft Windows y GNU/Linux.

1. ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS Wi-Fi – BPL

1.1. Generalidades de Tecnología Wi-Fi

1.1.1. Introducción

Los esquemas de cableado estructurado tradicional para redes de Área Local (LAN) poco a poco se convirtieron por motivos técnicos o económicos menos eficientes haciendo que la aparición de los productos inalámbricos sean alternativas flexibles y menos costosas para instalaciones de redes tanto fijas como temporales.

La familia del IEEE 802.11x más conocida como Wireless Fidelity (Wi-Fi), fue concebida como un conjunto de estándares para uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con el objeto de lograr Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN). Se basa en el mismo marco regulatorio de Ethernet (802.3) asegurando principalmente la interoperabilidad y su sencilla implementación de funciones/dispositivos Ethernet/WLAN.

Wi-Fi apuntó principalmente a la modificación de la capa Física (PHY) y capa de Control de Acceso al Medio (MAC). Este hecho se debe a que Wi-Fi comparte la mayoría de su funcionamiento interno con Ethernet, pero naturalmente que en la capa PHY usa señales de radio en lugar del cableado; y, en la capa MAC, para controlar el acceso al medio, Ethernet usa CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones), mientras que Wi-Fi usa CSMA/CA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evitación de Colisiones).

El primer estándar 802.11 se publicó en 1997. En su capa más baja PHY, provee 3 soluciones: modulación de Espectro Ensanchado, Espectro Ensanchado por Saltos de Frecuencia (FHSS) y Modulación de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS) respectivamente. Así mismo que en la capa PHY se transmite en la banda ISM de 2,4GHz y en el espectro del infrarrojo de 316-353 THz. Pero sin embargo con todas estas especificaciones se tenía una tasa de transmisión de datos básica de 1Mb/s hasta 2Mb/s.

En capa MAC al igual que el 802.3, el 802.11 básico opera acorde al esquema “listen-before-talk”, el cual se conoce como Función de Coordinación Distribuida (DCF). Así, la detección de colisiones al ser imposible en ambientes inalámbricos, se crea CSMA/CA siendo lo que más tomó tiempo en el desarrollo de este estándar por parte del Grupo de Trabajo (Working Group, WG). En vez de usar la detección, 802.11 espera un retardo interno antes de la transmisión de cada trama y no después de las colisiones.

Una vez puesto en marcha este primer estándar el Grupo de Trabajo (WG) notó que había problemas de conectividad y compatibilidad con muchos productos que se encontraban en el mercado bajo este estándar. Un ejemplo de esto se daba en los esquemas de encriptación privada equivalente a la cableada WEP (Wired Equivalent Privacy), misma que no funcionaba entre dispositivos de diferentes casas comerciales. Por este hecho, y por la necesidad de un programa que certifique los equipos bajo este estándar, nació la Alianza de Compatibilidad Ethernet-Wireless (WECA) en 1999 que luego sería renombrado como Alianza Wi-Fi en el 2003. La certificación Wi-Fi ha llegado a ser el programa de certificación más conocido y de mayor impacto en el mercado de redes inalámbricas. [1] y [2]

En los años siguientes y a partir de la base de este estándar 802.11, se han desarrollado muchos más protocolos que implementan nuevas técnicas tanto de modulación como de acceso logrando mayores velocidades de transmisión y una mayor robustez en la conectividad.

A continuación la tabla 1.1 muestra los principales protocolos 802.11 con sus características principales:

Tabla 1.1 Protocolos del Estándar 802.11
Elaborado: Por los autores

802.11				
Protocolos	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Fecha de Lanzamiento	1999	1999	2003	2009
Banda de Frecuencia de Operación	5-GHz U-NII	2.4-GHz ISM	2.4-GHz ISM	2.4-GHz ISM o 5-GHz U-NII
Técnica de Modulación	OFDM	HR/DSSS, CCK	ERP/OFDM, CCK	MIMO-OFDM
Velocidad de TX de datos Típica (Mbps)	25	6.5	25	>100
Máximo Tasa de Transferencia (Mbps)	54	11	54	>200
Alcance en interiores (m)	~30	~50	~30	~30
Compatibilidad	Ninguna	IEEE 802.11g	IEEE 802.11b	Todas

Como se observa en la tabla 1.1, el gran ancho de banda entre protocolos que va desde 1 y 11 Mbps para el 802.11b y hasta 54Mbps para el 802.11a/g a un costo relativamente bajo en comparación a soluciones Ethernet, representa una de las mejores opciones para la transmisión de datos y redes de telefonía empleando VoIP (voz sobre IP).

1.1.2. Topología de red

Basados en la estructura de conexión punto–multipunto o punto-punto se encuentran elementos básicos que intervienen en la topología de red. Así tenemos una Estación Cliente (Station, STA) que puede ser algún elemento que se conecta como una portátil equipado con el estándar 802.11. Punto de acceso o Access Point (AP) que es un nodo Wi-Fi que proporciona la conectividad entre estaciones cliente conectadas a él y entre el resto de la red. El medio inalámbrico donde se hace énfasis a las distintas alternativas en capa PHY donde puede variar tanto frecuencia como modulaciones, etc. Un Sistema de Distribución (Distribution System, DS) que se trata de un componente lógico para el intercambio y conmutación de tramas en sistemas con varios Access Point unidos a toda una red troncal. BSS (Basic Service Set) o conjunto de servicios básicos donde su mismo nombre lo sugiere, se trata de un conjunto de STA's que tienen conexión directa entre cada una de ellas. Se destacan dos tipos:

- IBSS (BSS Independiente): Las Estaciones Cliente se comunican en modo Ad-HOC es decir directamente.
- BSS con infraestructura: Las Estaciones Cliente se comunican mediante un Access Point.

Cada BSS se identifica por un Identificador de Conjunto de Servicio (Set Service Identifier, SSID). Una característica importante de los BSS es que se pueden asociar varios conjuntos tomando forma de un BSS extendido. [4]

1.1.3. Capa Física PHY

Esta capa se ocupa principalmente de la modulación y codificación de los datos cumpliendo con las funciones de proporcionar servicios a la capa MAC para el intercambio de tramas, transportar correctamente la señal que corresponde a 0 y 1 de los datos que el transmisor desea enviar al receptor. Una función importante en la misma capa PHY es la del intercambio de tramas con el PHY remoto usando múltiples mecanismos de modulación y codificación.

La arquitectura en capa PHY se divide en dos partes:

- Physical Medium Dependent (PMD), que consiste en medios reales tanto para la transmisión y recepción en un medio físico. Es decir la detección de un canal libre (Clear Channel Assessment, CCA).
- Physical Layer Convergence Procedure (PLCP): proporciona a la capa MAC una interfaz única e independiente del PMD concreto. [4]

Según la evolución de estándares 802.11, se encuentran algunas mejoras para la capa física:

a) **802.11a,g: Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia (OFDM) para WLAN**

Como primera modificación del estándar, el 802.11a incorpora la técnica de Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia (OFDM). Así la capa PHY

soporta hasta 54Mbps en tasa de transmisión de datos nominal. La frecuencia de operación se ubica en la banda de los 5GHz haciendo imposible de esta manera que se logre conectividad entre dispositivos que no estén equipados con este protocolo.
Este hecho lleva más tarde a la creación del protocolo 802.11b que aprovecha la banda de frecuencia de 2.4GHz pero introduciendo los beneficios de la técnica OFDM. Esta mejora representa compatibilidad con sistemas que han implementado Direct Secuence Spread Spectrum (DSSS) como el 802.11 de 1999 ofreciendo una fácil migración entre dispositivos con estas características.[1]

b) 802.11b: High Rate Direct-Secuence Spread Spectrum HR/DSSS

Especifica la técnica de modulación High Rate Direct-Secuence Spread Spectrum HR/DSSS en 2.4 GHz con una tasa de transferencia de 5.5 u 11 Mbps. Su ancho de banda aproximado de 25 MHz.

c) 802.11n: Alto Rendimiento

Provee a sus usuarios una experiencia comparable con el estándar 802.3u más conocido como Fast-Ethernet pero ofreciendo tasas de transferencia de hasta 600 Mbps.

La principal característica del 802.11n es su capacidad de soporte para múltiples entradas/múltiples salidas (Multiple input/Multiple Output, MIMO). El concepto de MIMO permite arreglos de antenas que permiten hacer un multiplexado espacial o formación de un solo haz de radiación. A diferencia de los demás estándares que usan anchos de canal de 20 MHz el 802.11g usa canales de 40MHz, aunque esta característica ya había sido usada como una mejora de los protocolos 802.11a y 802.11g abriendo un debate sobre el comportamiento entre equipos vecinos, por lo que se preveía que podría afectar gravemente el rendimiento de los actuales protocolos de 802.11, Bluetooth (802.15.1) y ZigBee (802.15.4). Ante todo esto, se vio retrasado el protocolo 802.11n hasta septiembre del 2009. [1]

1.1.4. Capa MAC

Como se mencionó al principio el verdadero éxito de las redes Wi-Fi radica en su capa MAC y el protocolo basado en la Función de Coordinación Distribuida

(Distribution Coordination Function, DCF). La robustez de este esquema que evita colisiones le concede adaptarse a cualquier condición de medio inalámbrico donde se transmite, a la vez que cubre mayores necesidades que una red Ethernet con el mismo protocolo.

El éxito del protocolo DCF está en su capacidad. Los rangos de tasas de datos eran suficientes para cubrir los servicios que se prestaban bajo el esquema de aplicaciones de "*Best Effort*", así la búsqueda de mejores esquemas no era necesaria; pero sin embargo, ésta cambió con el tiempo debido a la popularidad del 802.11, pues las redes inalámbricas crecieron y sus límites de capacidad se vieron amenazados. Aplicaciones tanto en video y voz sobre IP determinaron diferentes demandas de capacidad en las redes, a la vez que aparece el término Calidad de Servicio (QoS).

Por tanto es necesaria la diferenciación de tráfico y el manejo de la red concerniente a la capa MAC y las enmiendas que se vio en capa PHY. [1]

En base a lo antes expuesto podemos deducir lo siguiente:

- El objetivo de la MAC es controlar el acceso al medio físico de la forma más eficiente posible.
- Sus funciones son: la generación de trama MAC, el encaminamiento. La fragmentación/reensamblado, verificación de errores y movilidad de estaciones [4].

El método de acceso Carrier Sense Multiple Access (CSMA/CA) evita colisiones ya que no las puede detectar como lo hace Ethernet, esto lo realiza mediante la introducción de una demora aleatoria antes de intentar ocupar el canal, este retardo es conocido como Inter Frame Spacing (IFS).
Como punto a considerar es importante determinar los tiempos que se usan en cada transmisión de las tramas, así se determinan los siguientes:

- **SlotTime:** Conocido como tiempo de ranura, son tiempos pequeños en los que se divide el tiempo de la ventana de contienda.

- **ACKTimeout:** Es el tiempo que se espera por un ACK o una conformación de la trama enviada. Una vez que este tiempo ha transcurrido se retransmite o se abandona.
- **IFS (Inter Frame Spacing):** Es el tiempo que existe entre cada trama.
- **SIFS (Short IFS):** Determina la separación entre el final de la recepción de una trama y su conformación.
- **PIFS (PCF IFS):** Usado en Funciones de Punto Coordinador PCF. Es lo mismo que el SIFS más un tiempo de SlotTime.
- **DIFS (DCF IFS):** Usado por otro lado en Funciones Distribuidas de Coordinación DCF. Es igual que el PIFS más un SlotTime.
- **EIFS (Extended IFS):** Al recibir una trama corrupta este tiempo transcurre hasta corregir. Es igual al tiempo de transmisión de un ACK+SIFS+DIFS.[3]

d) Funcionamiento de CSMA/CA

Al iniciar la contienda, o proceso de transmisión/recepción de las tramas lo que se hace primero es escuchar el canal para determinar cuando está libre. De estarlo, se espera un tiempo aleatorio DIFS, que no es más que un número entero de ranuras que se define según para cada capa física PHY, detallado en la tabla 1.2.

Una vez transcurrido este tiempo y habiéndose encontrado aún el canal libre, la STA inicia una nueva espera que se denomina Ventana de Contienda (Content Window, CW) y que su valor es un numero aleatorio de “n” veces el SlotTime. Si durante esta espera CW, se ha detectado otra trama de datos en el medio se paraliza el temporizador.

Cuando el medio está libre se espera nuevamente un tiempo DIFS y empieza la cuenta regresiva de backoff desde el número que quedó en la contienda anterior. Cuando CW llega a cero se transmite la trama. Ahora la STA que recepta la trama comprueba su Cyclic Redundancy Check (CRC) mientras espera un tiempo SIFS y seguido envía un ACK. Si el ACK se recibe y antes del ACKTimeout, se tiene una transmisión exitosa. Si no, se duplica el tamaño máximo de CW y se comienza nuevamente el proceso [4]. El proceso se grafica de la siguiente manera:

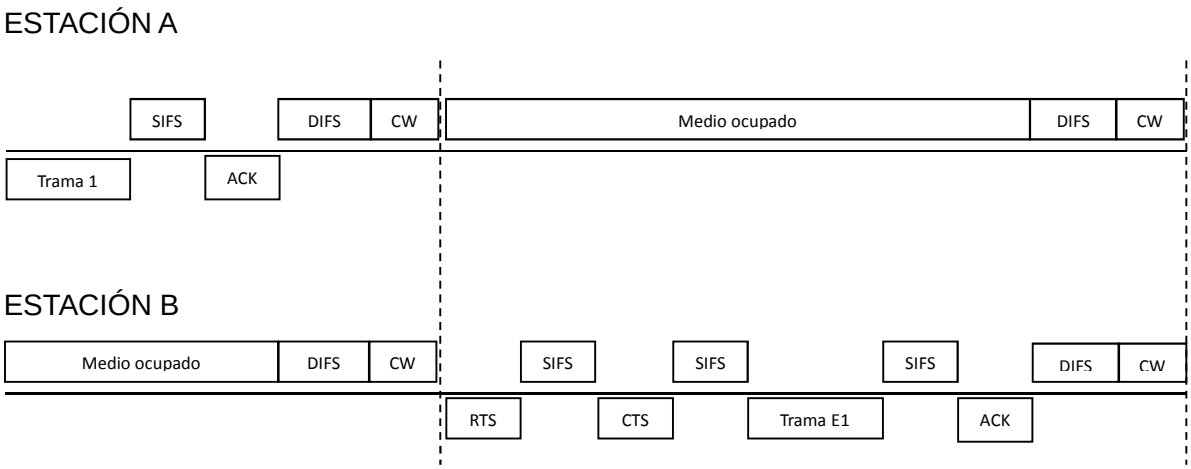


Fig. 1.1 Funcionamiento de CSMA/CA
Elaborado por: Ing. Patricia Ludeña. [3]

En la siguiente tabla se resume cada característica de estos tiempos según el protocolo 802.11.

Tabla 1.2 Tabla de Temporización para cada protocolo
Elaborado por: Wireless Comunication Standars: A Study of IEEE 802.11, 802.15 and 802.16, IEEE Press, Estados Unidos, 2004 [4]

802.11				
	a	**b**	**g**	**n**
Frecuencia	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4/5 GHz
PHY	OFDM 52	HR/DSSS	ERP/OFDM 256	MIMO-OFDM
SlotTime	9 useg	20 useg	9 o 20 useg	9 useg
SIFS	16 useg	10 useg	10 useg	16 useg
PIFS	25 useg	30 useg	19 o 30 useg	25 useg
DIFS	34 useg	50 useg	28 o 50 useg	34 useg
CW min.	15	31	15 o 31	15
CW máx.	1023	1023	1023	1023
Preámbulo	20 useg	144 useg	20 useg	16 useg
PLCP Header	4 useg	88 useg		4 useg

1.2. Generalidades de la tecnología BPL

1.2.1. Introducción

En estas últimas décadas, el campo de las telecomunicaciones ha crecido de una manera acelerada. Este proceso se ha desarrollado debido a la necesidad permanente de nuevos servicios de telecomunicaciones y tecnologías capaces de transmitir mayor información a altas velocidades para satisfacer, a los cada día más exigentes usuarios.

Bajo este panorama, en el desarrollo de las nuevas tecnologías se avizoran opciones ingeniosas, necesarias y otras con un tinte de urgentes. La tecnología basada en el uso de las líneas de potencia eléctrica para transmitir datos, se convierte en una excelente solución para aquellos usuarios que solicitan banda ancha con una elevada tasa de transmisión. Y las razones son claras: su principal ventaja es el uso de una infraestructura ya existente, las líneas de transmisión otorgan velocidades desde 24 Mbps hasta 200 Mbps, y alrededor del mundo el acceso al servicio de energía eléctrica, tanto en sectores urbanos como rurales, presenta un nivel de penetración del 78,9%[2] comparado por ejemplo, con el servicio de telefonía fija (17,8%[2]) o celular (67,0%[3]).

El uso de las redes eléctricas para el propósito de las comunicaciones es conocido desde los inicios de los años 20. El primer sistema operó en una red eléctrica de alto voltaje que cubría una distancia de 500 km usando una potencia de más de 10W en su señal de transmisión.

El desarrollo de investigaciones [5],[6],[7] acerca Broadband over Powerline (BPL) en la última década, ha ido en aumento. Las investigaciones han comenzado enfocadas a proveer servicios relacionados con la distribución de la energía tales como control de carga, control de tráfico, control remoto y casas inteligentes.

Con estos antecedentes, la evolución de la tecnología BPL se refleja en los servicios que brinda actualmente como: transmisión de audio y video, juegos en línea, VoIP, flujo de datos, y los servicios que puede implementar a futuro como las denominadas “aplicaciones inteligentes” por ejemplo: las refrigeradoras y otros aparatos electrónicos dentro del hogar como lavadoras o cafeteras estarán conectadas a la red y podrán comunicar a sus dueños cuando deberán realizar un mantenimiento o si la despensa necesita reabastecerse con leche por ejemplo. [4]

La Nueva Generación de Power Line Communications permite ofertar actualmente velocidades de hasta 400 Mbps, lo cual facilita junto al empleo del multicast y el

---

[2] Según la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) tomado de http://www.iea.org/weo/electricity.asp (23 de junio del 2010)

[3] Según el reporte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones 2009. http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/Telecom09_flyer.pdf (23 de Junio del 2010).

[4] MATTHEW, Herper. “Smart Kitchens a Long Way Off”, *Forbes,* Diciembre 21, 2001. http://www.forbes.com/2001/12/21/1221networking.html

protocolo Internet Group Management Protocol (IGMP) que estas puedan soportar novedosos servicios como el IPTV, el cual facilitaría a países latinoamericanos y de otras regiones del tercer mundo que no disponen de infraestructura de Banda Ancha acortar su brecha digital sobre todo en regiones rurales y aisladas con una significativa reducción de los costos de las inversiones. [5]

a) Modo de operación

Como punto de referencia de la transmisión de datos por medio de las líneas telefónicas, la tecnología BPL aprovecha los hilos del tendido eléctrico para transmitir datos e información (señales de alta frecuencia) al mismo tiempo que la corriente alterna fluye a la frecuencia de 50 o 60 Hz, dependiendo del país. La nueva red eléctrica ya adaptada permite transmitir energía e información simultáneamente y se denomina *High Frequency Conditioned Power Network* (HFCPN).

De esta manera, la tecnología de transmisión de datos sobre las frecuencias sin usar (2MHz a 30 MHz) está basada en los mismos conceptos que le permiten a DSL funcionar y permitir a millones de subscriptores con el acceso de electricidad tener acceso a Internet de gran velocidad. El usuario solamente necesitará un dispositivo apropiado, para separar las señales de la red BPL y demodular la información que viaja en las líneas eléctricas, en un tomacorriente disponible.

La tecnología BPL puede ofrecer servicios simétricos con velocidades similares de subida (*upload*) y de bajada (*download*)[6], a diferencia de sus competidores inmediatos como el Cable modem o DSL que proporcionan buenas velocidades de *download* pero son lentas para *upload.* En el caso del cable modem sus velocidades están aproximadamente en los 3 Mbps y para DSL entre los 800 kbps y 1.5 Mbps.

Al contrario de las líneas telefónicas que tienen una línea de transmisión limitada, las líneas de poder poseen líneas de transmisión con distancias extendidas. Esta

---

[5] CONDE DEL OSO, Luis Enrique. “La Nueva Generación de las Power Line Communications en el servicio Triple Play”. Ponencia PLC, Universidad Nacional de Chimborazo, Noviembre 28, 2008

[6] Maryanne Murray Buechner, “Power Play*”, Time,* Mayo 3, 2004

distribución, produce la degradación de señales analógicas usada para modular los datos. Como los flujos de datos ocurrirán solamente encima de las líneas de media y baja tensión, el único problema a considerar, es la distancia de transmisión. El fenómeno de las largas distancias se puede controlar colocando amplificadores a distancias periódicas. Sabiendo considerar que a diferencia del teléfono, las líneas de poder no poseen escudos que ayudan a controlar la radiación producida por corrientes de altas frecuencias.

El uso de BPL da varias ventajas. Primero, porque esta tecnología permite que las líneas de poder existentes funcionen como un medio para la transmisión de datos en una infraestructura ya existente. Aunque se requieren los amplificadores y el equipo para saltar los transformadores, no se requieren mayores cambios en la infraestructura de las líneas de poder. Dentro de la casa, pueden llevarse los datos encima de la instalación eléctrica existente y se tiene la capacidad para acceder a datos, voz y video en cada cuarto a través de un tomacorriente.

b) Arquitectura

La arquitectura de red consta de dos sistemas:

Outdoor: El primer sistema denominado "*Outdoor* o de Acceso" comienza en una estación base (BS) el mismo que usualmente se encuentra en la unidad transformadora y llega hasta el medidor de energía eléctrica, a este sistema se lo conoce en telecomunicaciones como "última milla".

En la estación base se encuentra un equipo de cabecera, *Head End* (HE) o Máster, el mismo que es el encargado de administrar el sistema y además realiza la conexión con la red de telecomunicaciones o backbone.

El Máster para inyectar la señal de datos se ubica a continuación de los transformadores de media/baja tensión, esto se debe a que, si la señal de RF pasase directamente a través del transformador, ésta se atenuaría y la transmisión no se lograría. Para realizar este *"bypass"* al transformador se utiliza acopladores que pueden ser inductivos, capacitivos o mixtos dependiendo de la topología del sistema de distribución y la calidad de las líneas eléctricas.

- **Acople Capacitivo:** El acople capacitivo requiere un contacto físico con la línea eléctrica. Es recomendado para los dispositivos en líneas de Media y Baja tensión porque provee los mecanismos de protección eléctrica y aterrizaje, considerándose la impedancia del acoplador ligeramente mayor a la impedancia de la línea del dispositivo conectado a la línea eléctrica.

  Estos dispositivos maximizan el ancho de banda disponible y optimizan la adaptación de impedancias entre la línea de media tensión y el equipo de comunicaciones.

Fig. 1.1 Acople Capacitivo[7]

- **Acople Inductivo:** Éste es un acople de tipo pasivo que puede ser instalado sin el contacto físico en la línea, debido a que genera un campo magnético alrededor del cable, con lo cual inyectan la señal de datos en él. Se recomienda cuando se usa con el cable de tipo subterráneo que siempre se presenta con un grueso aislante y un blindaje metálico.

Fig. 1.2 Acople Inductivo[7]

[7] Ficha Técnica de Arteche: http://www.arteche.com/web/frontoffice/verCategoriaPLC.aspx?idioma=1&id_cat=82

Debido a las pérdidas propias del medio de propagación, que en este caso son las líneas eléctricas, se utilizan equipos repetidores o regeneradores de señal a una distancia de 200 o 300 metros, que se denominan repetidores (TDR) que además tienen la función de recibir/emitir las señales desde/hacia los hogares.

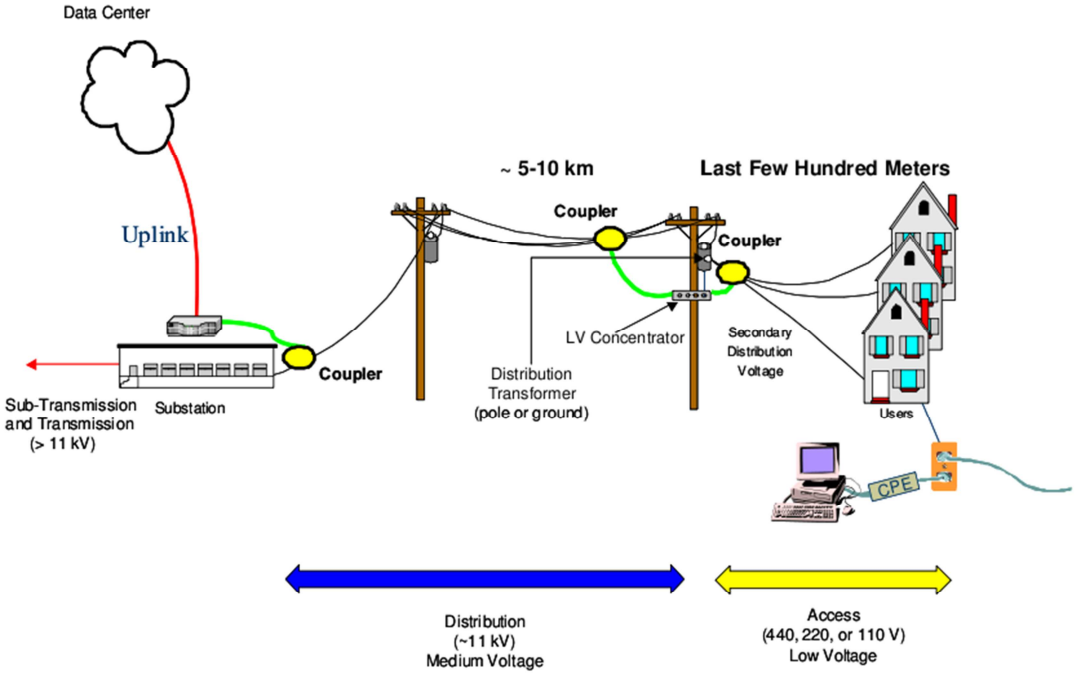


Fig. 1.3 Sistema de Red BPL genérico. Está basado en la arquitectura BPL de medio y bajo voltaje hasta llegar al usuario final
Elaborado por: Raul Tongia, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA [8]

Indoor: El segundo sistema se denomina “Indoor” y cubre el tramo comprendido desde el medidor del usuario hasta cualquier tomacorriente o enchufe que se encuentre en la casa o edificio del usuario. Todo equipo que desee conectarse a la red BPL lo deberá realizar a través de un terminal de usuario o CPE, que tiene la función de adquirir las señales de radiofrecuencia y transformarlas en datos a través de una interfaz RJ45 para una red Ethernet, USB e inclusive usar un elemento radiante para comunicaciones inalámbricas.

De esta manera se puede construir una red interna conectando el CPE a un hub o swtich para que el coste por equipo disminuya considerablemente.

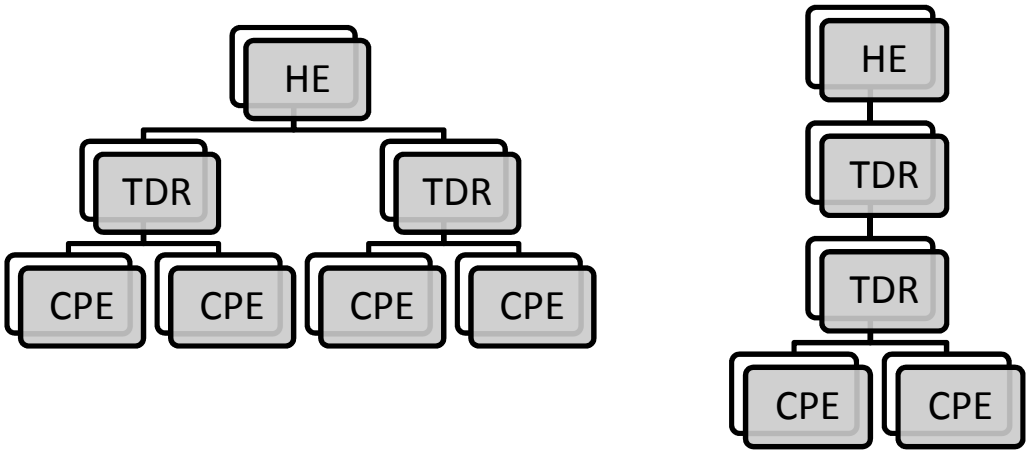


Fig. 1.4 Diferentes tipos de topologías que se pueden presentar en una red BPL
Elaborado por: Los autores

1.2.2. Capa PHY

La capa física de una red BPL presenta una ventaja frente a sus competidores (xDSL, Fibra Óptica) porque no necesita de la instalación de nuevas líneas de transmisión, y el usuario puede unirse a la red solamente colocando un modem BPL en un toma-corriente.

De todas maneras las líneas eléctricas difieren de los hilos telefónicos, ya que algunos equipos y dispositivos utilizan la red eléctrica, de manera que la impedancia, las pérdidas en las líneas de transmisión, y los niveles de ruido de las líneas eléctricas varían de acuerdo al tipo y al número de equipos que estén conectados. [9]

La tecnología BPL debe presentar un esquema de modulación dispuesto a desenvolverse eficazmente en un ambiente hostil debido a los fenómenos característicos dentro del canal de transmisión como la presencia de ecos y el ruido impulsivo por la superposición de las interferencias en banda angosta.

a) Modulación y Demodulación

– DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation)

El principio de esta modulación es “expandir” la información por una banda de frecuencia mucho más ancha que la banda necesaria, con el propósito de

contrarrestar las señales de interferencia y las distorsiones relacionadas con la propagación, es decir, se confunde con el ruido.

La tecnología de espectro extendido está diseñada para intercambiar eficiencia en ancho de banda por confiabilidad, integridad y seguridad. Más ancho de banda es consumida con respecto al caso de la transmisión en banda angosto, pero a cambio, se produce una señal que es en efecto, más fuerte y más fácil de detectar por el receptor que debe estar sintonizado con la frecuencia correcta, caso contrario se miraría como una señal de ruido.

El espectro extendido en secuencia directa se basa en una secuencia pseudoaleatoria llamada secuencia de dispersión, generándose un patrón de bits redundante para cada bit que sea transmitido, lo que permite modular una portadora en banda estrecha. Este patrón de bit es llamado “código chip”, el mismo que mientras más grande sea, más grande será la posibilidad de que los datos originales puedan ser recuperados aunque se requeriría más ancho de banda.

Características:

- Si múltiples usuarios usan el canal a la vez, habrá múltiples señales de espectro extendido superpuestas en tiempo y frecuencia. Si los códigos usados tienen muy poca correlación, podrán separarse los canales sin problemas.
- La generación de señales código es sencilla.
- No es necesaria la sincronización entre usuarios.
- Interferencia de banda estrecha.

– **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)**

La tecnología OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) es la multi-canalización por división de frecuencias ortogonales, y está basado en la multiplexación por división de frecuencia (FDM) lo que significa dividir un canal en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas, y en cada banda puede transmitir una subportadora que traslada una porción de la información del usuario. Este método es posible gracias al concepto de *Single-*

Frequency Network (SFN) que permite realizar una superposición lineal de las señales transmitidas sobre un canal multitrayecto.[5]

La ventaja de esta técnica se basa en que cada subportadora es ortogonal frente al resto, lo que ocasiona que dentro del espectro se encuentren traslapadas una con otra y por lo tanto no exista interferencia, aumentando la eficiencia del uso del espectro ya que no se utilizan bandas de separación entre subportadoras.

La técnica de carga de bit, aplicado a las subportadoras en OFDM, hace posible lograr una capacidad muy cerca al límite teórico del medio de transmisión; es por esto que OFDM es considerado como el candidato favorito para implementarlo en las redes de BPL.

El esquema BPL considera OFDM porque provee la transmisión de datos sobre un número de sub-portadoras que hacen posible una desviación de frecuencias críticas usadas por otros sistemas de comunicación. [10] OFDM es en la actualidad la técnica de modulación que permite combatir las problemáticas del canal de transmisión, gracias a su eficiencia espectral que opera sobre el ruido, los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal.

La modulación OFDM es usado además en sistemas WIMAX, WLAN (IEEE 802.11a), DSL, televisión digital terrestre y satelital para aumentar la eficiencia de la transmisión en medios hostiles.

- **Transmisor OFDM**

El primer paso para generar una señal OFDM es codificar la señal a través de algún método de codificación fuente como los códigos BCH, códigos convolucionales o códigos Reed Solomon.

Luego se modula la información codificada en alguna forma de modulación digital, ya se BPSK (Binary Phase Shift Keying) o QAM (Quadrature Amplitud Modulation), lo que da como resultado un tren de símbolos que se convierten de serie en paralelo, lo que genera N trenes de impulsos de menor velocidad (N veces menor).

A cada uno de estos trenes de pulsos se les realiza una transformada inversa de Fourier (IFFT) para conseguir que la información pase desde el dominio de frecuencia al dominio del tiempo, generando un conjunto de subportadoras solapadas y espaciadas en saltos de frecuencia iguales a la inversa del período de símbolo (1/T).

Utilizando espacios entre portadoras de 1/T (o múltiplos de éste), se consigue que las portadoras sean ortogonales entre sí, lo que permite remodularlas a pesar de que exista un solapamiento espectral. A continuación se suma esas frecuencias ortogonales y modularlas en una sola portadora, que será la frecuencia a la que se transmitirán.

Fig. 1.5 Esquema de un transmisor OFDM
Elaborado por: Los autores

Para generar OFDM la relación entre todas las portadoras se debe controlar con éxito, de manera de mantener la ortogonalidad de las portadoras. Es por esta razón que OFDM es generado en primer lugar eligiendo el espectro requerido, basado en los datos de entrada, y el esquema de la modulación usado. Cada portadora que se producirá se asigna a ciertos datos a transmitir. La amplitud y fase que requiere la portadora se calculan basándose en el esquema de modulación.

b) Arquitectura de Transmisión y Recepción

La capa PHY o capa física se encuentra compuesta por bloques de modulación digital y el interfaz analógico. Los datos de los bloques de modulación digital se envían y reciben hacia y desde el interfaz analógico, además de cumplir la función de filtrar y amplificar la señal antes de enviarla al tendido eléctrico (Fig. 1.7).

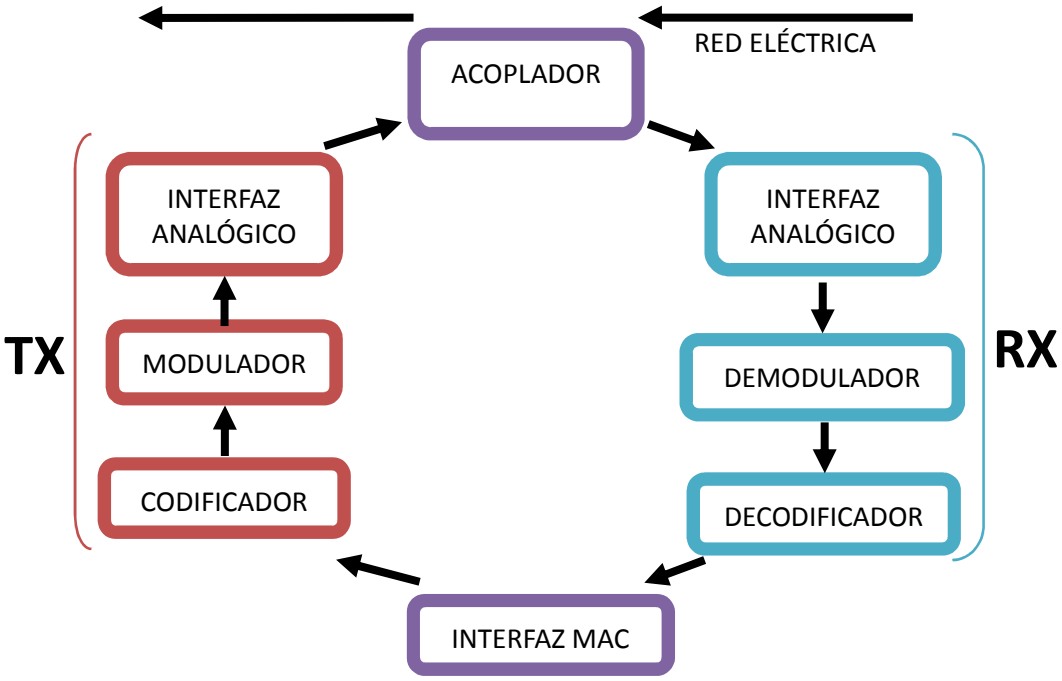


Fig. 1.6 Esquema de transmisión y recepción de un equipo BPL
Elaborado por: Los autores

El acoplador protege el equipo del alto voltaje de la red eléctrica y sólo permite el paso de las señales de radiofrecuencia. En el bloque Codificador/Decodificador se aplican los códigos de corrección de errores, en el de Modulación/Demodulación se aplican las técnicas de modulación (OFDM).

Todos estos elementos permiten la comunicación bidireccional entre la interfaz MAC (Medium Access Control) y el resto de equipos o elementos de la red BPL.

c) Filtrado

Los equipos BPL poseen dos tipos de filtros en su interior, debido a que deben manejar tanto las señales de radiofrecuencia como la corriente eléctrica. (fig. 1.8). El primer de ellos, es un filtro pasa bajos que libera la corriente de 50 o 60 Hz para la distribución eléctrica a todos los toma-corrientes de la infraestructura. Además cumple la función de limpiar los ruidos generados en la red eléctrica por cualquier otro equipo o dispositivo instalado o conectado.

El segundo filtro, es un filtro pasa altos que libera los datos y facilita el tráfico bidireccional entre el cliente y la red, logrando así una transmisión simultánea de información y energía por el mismo medio de transmisión.

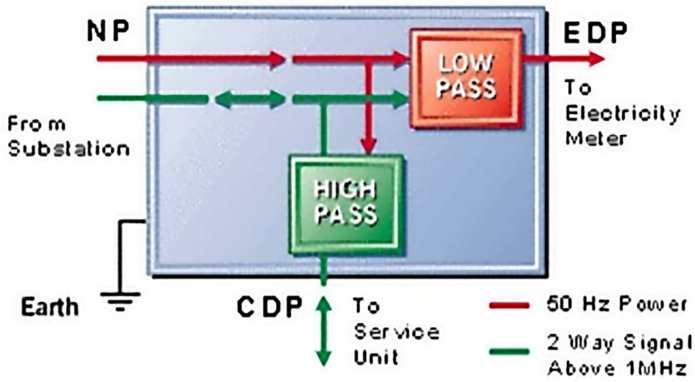


Fig. 1.7 Esquema los dos tipos de filtros que se encuentran en un equipo BPL Elaborado por: Rodrigo Riffo, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería

d) Distorsiones y ruido

Las redes BPL se vuelven más sensibles a las distorsiones debido a la limitada potencia de la señal por lo que no se puede asegurar una capacidad de transmisión suficiente a largas distancias. Existen distorsiones causadas por otros agentes, por ejemplo: el servicio de radio de onda corta que opere en el rango de frecuencia debajo a los 30 MHz (aunque no exista ningún estudio especializado que compruebe el factor), perturbaciones ocasionadas por electromotores que se conecten a la red de baja potencia o pueda encontrarse cerca de la red BPL, el swicheo de televisores o monitores también provocan efectos nocivos a la red.

Algunas fuentes de poder, especialmente fuentes con un mal diseño de conmutación o switcheo introducen ruido en las líneas eléctricas con armónicos de altos en las frecuencias de trabajo. Empresas como Intellon [11] han notado que las corrociones de las uniones eléctricas del cableado en edificaciones tienen un efecto semiconductor cuya no-linealidad provoca ruido en cada medio ciclo de potencia, incluso si todos los dispositivos están desconectados, todavía puede presentarse ruido junto a las líneas eléctricas desde fuentes externas de radio-frecuencia.

Además de las distorsiones producidas por agentes externos, el cableado eléctrico como canal de comunicación también presenta sus propias perturbaciones. Aqui se

incluyen las pequeñas o grandes variaciones de fuentes de ruido, cambios de impedancia y los efectos de multitrayecto.

Por el mismo hecho que las líneas eléctricas no fueron diseñadas para la transmisión de información, presentan un ruido blanco Gaussiano no-aditivo (NAWGN por sus siglas en inglés). De acuerdo a algunas investigaciones sobre el canal BPL [12], el ruido es categorizado en dos grupos: ruido de fondo *(background noise)* y ruido impulsivo *(impulsive noise).*

Desglosando estos dos grupos, se tienen cinco clases de ruido que se han clasificado de la siguiente manera:

1. **Colored background noise***:* es la suma de numerosas fuentes de ruido de baja potencia, cuya variación es lenta sobre periodos de tiempo prolongados. Su densidad de potencia espectral (psd) decrece cuando las frecuencias incrementan, con un promedio de 35dB/década en el rango de bajas frecuencias hasta los 10KHz y una baja tasa en el rango de altas frecuencias.[13]
2. **Narrowband noise**: Es un ruido confinado a una porción angosta de la banda de frecuencias. Su principal causa es el ingreso de estaciones de radiodifusión en las bandas de onda media y corta. Su nivel es generalmente variable durante el dia, es alto en las noches debido a la reflexión en la atmósfera y más bajo durante el dia por la luz.
3. **Ruido impulsivo periódico, asíncrono para las principales frecuencias**: Este ruido es causado por el switcheo de fuentes de poder. Estos pulsos tienen una tasa de repetición entre 50kHz y 200 kHz, lo que provoca señales discretas en el espectro con un espaciamiento en frecuencia de acuerdo a su tasa de repetición.
4. **Ruido impulsivo periodico, síncrono para las principales frecuencias**: Este tipo de ruido es causado por fuentes de poder operando sincrónicamente en ciclos repetitivos entre 50Hz o 100Hz. Estos ciclos son cortos de duración (algunos microsegundos) y poseen un decremento de su psd con respecto a la frecuencia.
5. **Ruido impulsivo asíncrono**: Estos impulsos son generados por eventos transitorios de conmutación que existen en la red cuya duración va desde microsegundos hasta milisegundos. Este ruido es considerado el peor en el

entorno de las líneas eléctricas, debido a su magnitud que fácilmente puede alcanzar algunos decibeles sobre los otros tipos.

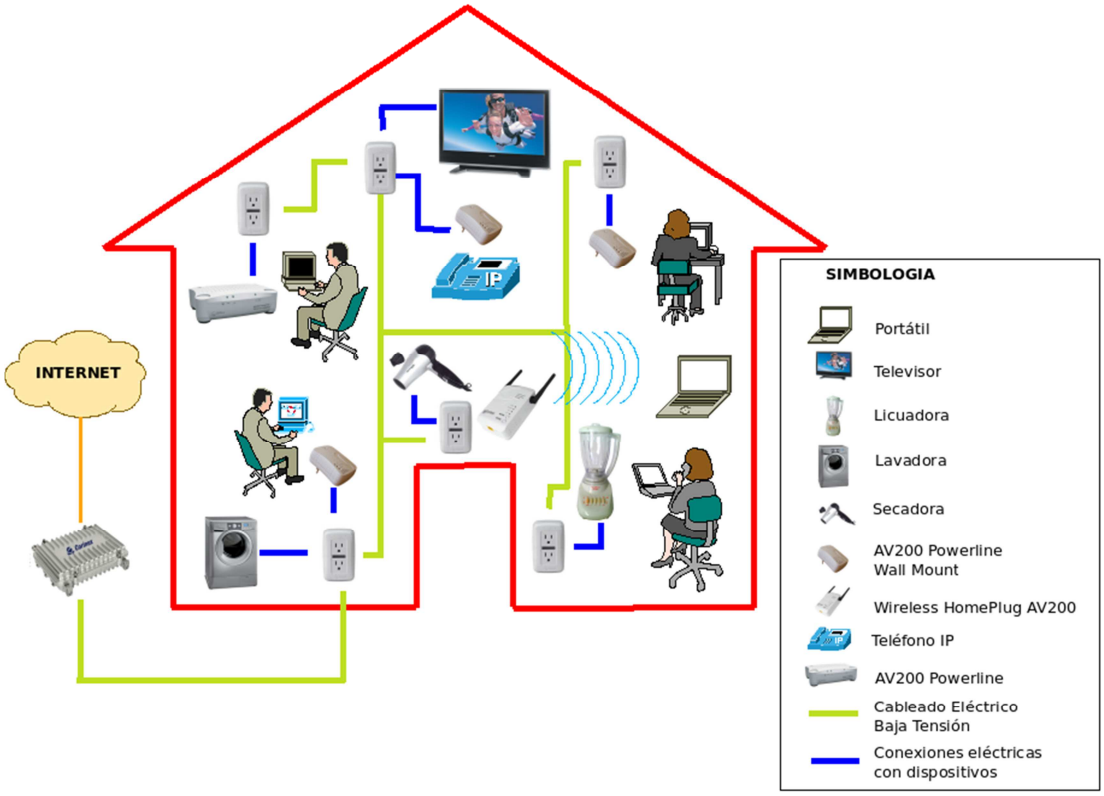


Fig. 1.8 Distorsiones y ruido provocado por dispositivos externos
Elaborado por: Los Autores

Pero existen mecanismos que permiten resolver los problemas antes mencionados. Se cuenta con dos métodos: el primero se denomina FEC (*Forward Error Correction*), mecanismo que recupera la información original de una unidad de datos a pesar del grado de distorsión, aunque presenta la desventaja de ocupar una parte adicional de la capacidad del canal de transmisión debido a la necesidad de utilizar una cabecera para corregir el error.

El FEC se fundamenta en el uso controlado de redundancia en la palabra de código transmitida tanto para la detección como corrección de los errores en los que se incurre durante el curso de la transmisión por un canal ruidoso sin que importe si la decodificación de la palabra de código recibida es exitosa, no se realiza procesamiento adicional en el receptor. En consecuencia, FEC sólo requiere un enlace de una vía entre el transmisor y el receptor. [14]

El segundo método es el ARQ (*Automatic Repeat reQuest*), este mecanismo provee una retransmisión de las unidades de datos defectuosos consumiendo una parte de la capacidad del canal de transmisión y además introduce capas de transmisión extras. Utiliza la redundancia absolutamente con propósitos de detección de errores. Para esto emplea y necesita una trayectoria de retorno (canal de retroalimentación) para que el receptor solicite una transmisión repetida por cada error en una palabra de código que detecte.

1.2.3 Capa MAC

Para una red BPL, los hilos del tendido eléctrico deberán alojar a múltiples dispositivos o usuarios conectados simultáneamente. Para decidir cuál dispositivo obtendrá el permiso para enviar sus datos, se necesitará del protocolo de control de acceso al medio (MAC). Pero actualmente no existen estándares o especificaciones que consideren la capa MAC o algún protocolo para las redes BPL, de manera que los fabricantes de dispositivos y equipos BPL aplican sus propios protocolos, diferentes entre un producto y otro, a pesar que esta tecnología lleva más de una década en el mercado.

a) Protocolos MAC

Los protocolos MAC tienen que manejar la transferencia de datos sobre los canales de transmisión, lo que significa que el canal se asigna o re-asigna entre los usuarios BPL para la transmisión de diferentes tipos de servicios.

Un esquema de acceso múltiple de un protocolo MAC establece un método de dividir los recursos de transmisión en secciones accesibles. Los canales de transmisión, definidos en una estructura lógica de un sistema BPL, representan las secciones que son accesibles para el protocolo MAC.

El protocolo MAC incluye una especificación del modo duplex que es aplicado en un sistema de transmisión, de manera que cualquier método de acceso múltiple puede ser combinado con un esquema duplex. En un sistema de telecomunicaciones existen dos esquemas duplex:

- FDD (Frequency Division Duplex)
- TDD (Time Division Duplex)

Cualquiera de estas dos soluciones puede ser aplicadas en un sistema BPL acorde al uso del esquema de múltiple acceso y de las necesidades y características del sistema de transmisión BPL.

b) Clasificación de los protocolos MAC

Un protocolo MAC establece una estrategia de intercambio de recursos – acceso múltiple a usuarios para la capacidad de la red de transmisión – aplicado al esquema de acceso múltiple y existen tres opciones para el acceso:

- **Acceso Fijo:** Se asigna a cada usuario uno o varios canales de manera predeterminada y fija, es decir, el canal es asignado al usuario (o usuarios) independientemente de su necesidad en el momento de transmitir. Este tipo de acceso es recomendado cuando se tiene un tráfico de datos constante.
- **Acceso basado en la reservación:** La reservación de la capacidad de transmitir para un usuario particular se realiza acorde a su solicitud/demanda de transmisión. La solicitud de transmisión es enviada por el usuario a la unidad central de red usando cualquier esquema de acceso: fijo o dinámico, de manera que pueden alojar tráfico híbrido para varios servicios con una tasa de transmisión variable.
- **Acceso Dinámico:** Este tipo de acceso permite la transmisión de datos de manera adecuada porque ayuda a compartir la calidad de transmisión para el tráfico crítico; y puede clasificarse en dos grupos:
  - Protocolos de Contención con colisiones.
  - Protocolos arbitrarios libre de colisiones.

Los protocolos de acceso de contención evitan las colisiones entre las transmisiones de diferentes usuarios de la red, debido a que suele ocurrir que la transmisión no se realiza debido a que otros usuarios están transmitiendo sus datos al mismo tiempo que se produce la colisión. En caso de colisión, se realiza una

retransmisión de los datos colisionados, lo que provoca un retardo adicional en la transmisión, por lo tanto, no se puede garantizar la calidad de servicio (QoS) para servicios de tiempo-crítico. Los sistemas en los cuales varios usuarios comparten un canal común en donde pueden dar pie a conflictos se conocen como sistemas de contención.

Entre los tipos de protocolos de contención están:

- ALOHA (puro y ranurado)
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access) – 1-to-n-persistentes, con detección de colisiones (CSMA/CD)
- Protocolos de resolución de colisiones

El protocolo más popular para una MAC cableada es el CSMA/CD, usado también para una red BPL, pero debido a las variaciones de ruido de las líneas eléctricas, la detección de colisiones se vuelve complicada. Esta característica es muy similar a las redes inalámbricas, de manera que el estándar IEEE 802.11 con su protocolo CSMA/CA también puede ser aplicado en las redes PLC. [6] El problema del nodo oculto se produce cuando la señal viaja a través de diferentes líneas eléctricas con una atenuación muy variable, de manera que se recurre al esquema RTS/CTS para resolver este problema aunque este esquema degrade el rendimiento de la red debido al incremento en las cabeceras para cada una de las tramas. Estas técnicas de acceso múltiple se denominan técnicas de acceso aleatorias.

Por otro lado los protocolos libres de colisiones aseguran que cada estación de red disponga de una parte extra de la capacidad de transmisión; la división de esta capacidad se realiza por dos métodos (técnicas de acceso determinístico):

- **Token Passing (Token-Ring, Token-Bus):** Los sistemas que usan Token Passing poseen una organización descentralizada en donde las estaciones de red intercambian un *token* otorgándole el derecho de transmisión a otra estación.
- **Métodos *Polling:*** El método polling provee una organización centralizada con una estación central en la red, la misma que envía mensajes *polling* a las estaciones de red que pueden recibir el derecho de transmitir.

A diferencia de los protocolos de contención, estos dos protocolos garantizan la calidad de servicio (Quality of Service *QoS*) en la red, debido a que implementan un derecho de transmisión a través de mensajes token o polling que pueden ser usados para una cantidad particular de datos o un periodo de tiempo.

Como una nueva alternativa para la capa MAC se han creado protocolos híbridos como el TDMA+CSMA combinando elementos de acceso al medio determinísticos y aleatorios para proveer una mejor capacidad de calidad de servicio (QoS).

c) Tipos de Equipos

Los equipos de tecnología BPL pueden dividirse en dos grupos considerando el esquema de modulación que usan: en equipos de primera y segunda generación.

Los equipos de primera generación emplean modulaciones variados como Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK), Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS) y Frequency-hopping Spread Spectrum (FHSS), mientras que la segunda generación de equipos utilizan el sistema de modulación OFDM que permite mayores velocidades de acceso (hasta 200 Mbps) por lo que es considerada como la mejor opción para redes BPL como sistema de comunicación.
Debido al crecimiento de la tecnología BPL, más empresas han incorporado en sus industrias el desarrollo de dispositivos de comunicación, chips y circuitos integrados, soluciones integrales y opciones más completas que incluyen aplicaciones de acceso y conectividad interna.

A continuación se presentan las principales características de algunos de los fabricantes más importantes en equipos BPL para un sistema de comunicación completo.

Tabla 1.3 Principales fabricantes de dispositivos BPL
Elaborado por: Los Autores

Proveedor	**Amperion**[8]			**Corinex**	
Elementos del Sistema	*Equipo de cabecera*	*Repetidor*	*Terminal de Usuario*	*Equipo de usuario*	*Ruteador*
	Falcon 1000 MV-I Lynx 1000 MV-I	Falcon 1000 MV-RE Lynx 1000 MV-RE	Falcon 1000 MV-E Lynx 1000 MV-E	Para MV y LV. Configurables como Master, Repetidor y Esclavo AV200 Powerline Ethernet Adapter	Corinex Powerline Router
Frecuencia	No especifica el fabricante			2 Mhz – 30 MHz	
Potencia TX	No especifica el fabricante			-58 dBm/Hz a -50 dBm/Hz	
Seguridad	SSH, PPPoE, WEP			Encriptación DES/3DES	
Técnica de Modulación	OFDM			OFDM con sistema de corrección de errores.	
Extras	Interfaz externa 802.11b			Soporta 802.1 Q VLAN y VLAN optimizados	

Tabla 1.4 Principales proveedores de dispositivos BPL
Elaborado por: Los Autores

Proveedor	**Panasonic HD-PLC**	**Devolo**[9]
Elementos del Sistema	Terminal de Usuario	Terminal de usuario
	Master y Esclavo: PLC Adaptor BL-PA300	DLAN 200 Avpro WP
Frecuencia	2 – 28 MHz	2 – 30 MHz
Potencia TX	No especifica el fabricante	No especifica el fabricante
Seguridad	Reed-Solomon encoder/decoder, encriptación AES 128-bit	128-bit AES
Técnica de Modulación	OFDM (16 PAM – 2 PAM)	OFDM – 1155 portadoras
Extras	Bajo consumo hasta 3W	Característica de filtrado -22db a -45dB

[8] http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/798/25/T10145ANEXO3.B1.pdf
[9] http://www.devolo.es/business/dlan-200-avpro-wp/pdf/datasheet-dlan-200-avpro-wp-es.pdf

Tabla 1.5 Principales proveedores de dispositivos BPL
Elaborado por: Los Autores

Proveedor	**Mainnet Communications**		
Elementos del Sistema	*Equipo de Cabecera*	*Repetidor*	*Terminal de Usuario*
	Medium/Low Voltage Access Concentrator Unit CuPLUS	Ethernet-enable Repeater Unit RpEPLUS	Network Termination Unit NTPLUS
Frecuencia	2 – 28 MHz		
Potenia TX	No especifica el fabricante		
Seguridad	No especifica el fabricante		
Técnica de Modulación	OFDM Adaptativo		
Extras	Administración de Red con el soporte de NmPLUS usando el protocolo Simple Network Management Protocol (SNMP)		

1.3. Servicios IP

Con el crecimiento de las redes Wi-Fi, así como los diferentes usos y aplicaciones que con el tiempo y la mejora de cada estándar fueron desarrollándose, permitió que se implementen características a la red dando nacimiento a los servicios IP o basados en protocolos IP. El transporte de datos no solo es una prioridad en estas redes sino también la carga de aplicaciones sobre protocolos web y hasta aplicaciones de telefonía y video.

1.3.1. Internet

Se define como un conjunto de redes de comunicación no centralizado que a su vez utiliza protocolos TCP/IP para diferentes aplicaciones como DNS, FTP, DHCP, WWW y SMTP. Sin duda alguna el servicio de mayor éxito de los protocolos IP es el World Wide Web (WWW) que es un conjunto de protocolos que permiten de manera sencilla, hacer consultas remotas de archivos de hipertexto.

Entre otras aplicaciones importantes basadas en estos servicios están:

- Conversaciones en línea (IRC)
- Mensajería Instantánea
- VoIP

- Boletines electrónicos NNTP
- Acceso remoto
- SSH y Telnet
- Juegos en línea

1.3.2. VoIP

VoIP es una tecnología de gestión y enrutamiento de comunicaciones de voz a través de redes de datos basados en protocolos UDP/IP. Utilizando la infraestructura de la red de datos Wi-Fi como una alternativa de tecnología para transportar el tráfico; y, así mismo al aplicar protocolos de voz sobre IP (VoIP) para el envío de tramas de señalización, se puede lograr tener uso de servicios de telefonía. Usando este protocolo IP, la red tiene acceso a servicios de telefonía local (dentro de la misma red) a bajo costo, y conexión con la PSTN (Public Switched Telephone Network). Además, se tiene la capacidad de habilitar servicios adicionales como buzón de voz, llamada a tres o más clientes, transferencia de llamadas, en fin varios servicios que una PBX puede soportar pero sin un costo adicional.

Los usuarios de la red pueden tener así comunicación de voz con establecimientos que forman parte de la red y con cualquier abonado de la PSTN, mediante equipos especiales que hacen la conmutación entre redes digitales a analógicas y viceversa. Los costos de las llamadas internas son prácticamente gratuitas excepto por el pago del consumo de ancho de banda alquilado. En cambio las llamadas realizadas hacia la PSTN tienen su costo normal como cualquier abonado, debido a que la PBX funciona como una pasarela de comunicaciones entre los usuarios internos y la red pública conmutada.

1.4. Análisis referencial del marco legal de BPL en Ecuador

1.4.1. Estándares Internacionales definidos para tecnología BPL

La FCC (Comisión Federal de Comunicaciones por sus siglas en inglés) está considerando seriamente el papel que desarrollaría la tecnología BPL en comparación con sus rivales tecnológicos como son DSL y Cable.

La banda ancha es un área regulatoria realmente compleja con reglas diferentes para distintas tecnologías y estatutos legislativos para dicha tecnología. A la fecha, el proceso regulatorio más importante en BPL fue en el 2004 cuando en un reporte vertido por el FCC aprobaron una serie de reglas operativas para los sistemas BPL para que sus transmisiones no causen interferencia con otras radiofrecuencias.

La interferencia "vertida" se centra en las señales de radiación desde las líneas de poder que afectan las transmisiones de los operadores de radio amateur. En estudios realizados, se ha determinado que la interferencia con los radios ocurren a una distancia de 150 metros de las líneas de poder. [10]

El FCC para evitar el problema propuso lo siguiente:

- Excluir algunas frecuencias para el uso de los proveedores de BPL.
- La creación de una base de datos pública por parte de los proveedores de BPL para comprobar si la información es prontamente disponible en el caso de quejas de interferencia.
- Desarrollar instrumentos de medición requeridos para las emisiones BPL. [11]

Si la interferencia ocurre, el FCC puede recurrir al proveedor de BPL para alterar su señal y reducir la interferencia, o pedir al proveedor que termine sus operaciones hasta que pueda eliminar el problema.

Por su parte la ARRL (American Radio Relay League) afirma que los hilos conductores de las redes eléctricas se comportan como antenas, y emiten sus señales no sólo a través de las líneas eléctricas sino también a través del espectro electromagnético, especialmente en la banda HF (3 – 30 MHz). Por esta razón el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la FCC señalaron algunas directrices:

---

[10] PENN STATE UNIVERSITY PRESS RELEASE, "Power Line Data Transmission Capacity: Bigger Than DSL or Cable", 6 de Junio 2005. http://live.psu.edu/index.php?sec=vs&story=9603&pf=1

[11] FEDERAL COMMUNICATIONS PRESS RELEASE, "FCC Adopts Rules for Broadband Over Power Lines to Increase Competitions and Promote Broadband Service to All Americans", Octubre 14, 2004. http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-253125A1.pdf

- Contemplar bajos niveles de potencia para las transmisiones BPL y utilizar diferentes esquemas de modulación y codificación que permitan disminuir el nivel de ruido e interferencia que se presenta en estas bandas.

- El incremento de los niveles de potencia en sistemas BPL es utilizado para expandir mucho más la señal de información con el objetivo de llegar a lugares más alejados con QoS eficiente. Debido a lo anterior, si se requiere llegar a lugares más alejados, se propone utilizar enlaces con otras tecnologías: BPL-Wi-Fi.
- A los radioaficionados, les proponen orientar sus antenas hacia otros lugares con el fin de minimizar al máximo los niveles de interferencia generados por la emisión de estas señales.

Dentro de la recomendación emitida por la FCC para los niveles de protección se tiene:

Tabla 1.6 Límite de emisión de radiaciones[12]
Elaborado por: SUPERTEL

Usage	Frequency (MHz)	Field Strength (uV/meter)	Measurement Distance (meters)	Measurement Bandwidth (KHz)	Detector	Source
Carrier Current Systems	1.705 - 30	30	30	9	quasi-peak	15.209
Class A, in commercial, business and Industrial areas	30 - 88	90	10	120	quasi-peak	15.109
Class B, marketed for use in residential areas	30 - 88	100	3	120	quasi-peak	15.11

[12] Intendencia Regional Sur (SUPERTEL), Broadband over Power Lines, Revista Institucional, Edición 1, pág. 30, Agosto 2008. http://www.supertel.gov.ec/index.php/descargas/doc_view/3-revista-1?tmpl=component&format=raw

1.4.2. Marco legal de tecnología BPL en Ecuador

En los meses entre Enero y Abril del 2010 mediante el convenio suscrito entre la Superintendencia de Telecomunicaciones, máximo ente regulador estatal y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, se ha adoptado la recomendación FCC (Federal Communications Commision) 04-245 del estudio realizado por la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) del año 2004, en la cual se dan todos los parámetros de medición y rangos permisibles en los cuales pueden operar este sistema para no interferir con otros sistemas de telecomunicaciones.

Para la medición se adoptó el protocolo de la FCC, debido a que se ha basado en estudios de entidades calificadas tales como la NTIA, CENELEC (European Committe for Electrotechnical Standardization) y el ETSI (European Telecommunications Standard Institute) rescatando los mejores análisis de cada una.

Se detallan los puntos más importantes:

a) Las mediciones se realizarán mediante una antena magnética LOOP ya sea activa o pasiva, para frecuencias por debajo de los 30 MHz. Se colocará la antena a 1 metro de altura orientada verticalmente al tendido eléctrico en medición obteniendo su valor máximo cuando se rote la antena 180 grados.
b) Para la distancia horizontal de medición, la FCC recomienda que sea de 10 metros.

2. DISEÑO DE LA RED HÍBRIDA Wi-Fi – BPL

2.1. Selección del emplazamiento para la red híbrida Wi-Fi-BPL

2.1.1. Situación actual del sistema de telecomunicaciones en los sectores urbanos marginales de la ciudad de Loja.

Tomando como base el “Plan Nacional para el Desarrollo de las Telecomunicaciones” que tiene como política de estado el promover el acceso universal a Internet a todos los habitantes del Ecuador dentro del concepto de interés nacional en condiciones sociales y geográficamente equitativas, con tarifas razonables y con parámetros de calidad acordes a las modernas aplicaciones de la multimedia como medio para el desarrollo económico, social y cultural del país, propendiendo a que en el corto plazo sea declarado un servicio universal[13].

Bajo este concepto, la ciudad de Loja que participe y se beneficie del potencial de la comunicación y del conocimiento, sin barreras y en igualdad de condiciones, a través del acceso, uso, aprovechamiento y apropiación de las tecnologías de información y comunicación, asegura su desarrollo integral y mejora las condiciones de vida.

Los barrios urbanos marginales de la ciudad no pueden quedarse al margen del desarrollo de las comunicaciones y menos del acceso a Internet, es por esto que las empresas públicas y privadas han desplegado sus redes a estos sectores de manera gradual, es decir, existen barrios y sectores que aún se encuentran sin acceso al servicio de telecomunicaciones en general.

A continuación se enumeran algunas tecnologías que se han usado para llegar a los sectores urbanos marginales de la ciudad de Loja.

---

[13] http://infodesarrollo.ec/recursos/documentos/doc_download/112-plan-desarrollo-de-las-telecomunicaciones-en-ecuador-2008-2012-.html

2.1.2. Tecnologías Alternativas para Zonas Rurales y Urbano Marginales

a) CDMA 450

Es una solución 3G que combina los servicios de comunicación inalámbrica CDMA2000 con cobertura de red asequible con base en la banda de frecuencia 450 MHz cuya ventaja es la gran propagación de la señal con la utilización de una sola estación base.

Dentro de las ventajas de utilizar CDMA 450 es su elevada tasa de transmisión de datos y voz en 450 MHz, lo que implica un sustancial ahorro en equipos, mejor propagación en espacio libre (*outdoor*), menores pérdidas por propagación y celdas de cobertura más grandes. Es por esto, que CDMA 450 se convierte en una solución que se adapta como tecnología alternativa para economías emergentes y con cobertura en zonas rurales y urbano marginales.

La Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPERTEL) bajo resolución 313-11-CONATEL-2008 autorizó a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) la concesión de uso del bloque de frecuencias (454,400 – 457,475 para transmisión y 464,400 – 467,475 para recepción) a favor de Pacifictel S.A. (ahora Corporación Nacional de Telecomunicaciones) para la provincia de Loja con un total de 7 546 estaciones para abonados[14].

b) Servicio de Valor Agregado

En la ciudad de Loja, existen portadores de valor agregado que brindan el servicio de Internet a sus clientes, con un despliegue en la urbe y en zonas residenciales económicamente rentables.

La penetración de este servicio en la ciudad de Loja ha crecido notablemente debido a la reducción de costos por servicio, reducción en el valor de los equipos de comunicación como consecuencia de economías de escala, alta demanda de usuarios y el ingreso de nuevos competidores en el mercado. Según la Superintendencia de Telecomunicaciones los operadores que cuentan con un título

[14] http://www.supertel.gov.ec/index.php/articulos-tecnicos/528-cdma-450 Tomado: 12 de Julio 2010.

habilitante para brindar el servicio de valor agregado o Internet en la ciudad de Loja[15] se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resumen de operadores que brindan el servicio de valor agregado en Loja
Elaborado por: Los Autores[15]

OPERADOR	Cuentas Conmutadas	Cuentas Dedicadas	Cuentas Totales	Usuarios Conmutados	Usuarios Dedicados	Usuarios Totales
Easynet	1522	12826	14348	6088	51304	57392
Etapa Telecom	6016	577	6593	24064	1132	25196
Global Crossing Ecuador	0	30	30	0	12224	12224
Keimbrocks	0	13	13	0	13	13
LojaSystem	0	27	27	0	154	154
Ludeña Speed Telecom y Cia	0	5	5	0	325	325
Megadatos	3587	2820	6407	14348	16964	31312
Necusoft Cia. Ltda.	0	55	55	0	216	216
Otecel S.A (Movistar)	0	153	153	0	10615	10615
Suratel	0	111242	111242	0	877676	877676
Telconet	0	123	123	0	725	725
Universidad Técnica Particular de Loja	0	89	89	0	89	89
TOTAL						
Loja	120	5214	5334	480	23818	24298

Cuentas Conmutadas: Se incluyen todas las cuentas de Internet que para hacer uso del servicio el usuario debe realizar la acción de marcar a un número determinado ya sea a través de las redes de telefonía fija o móvil.

[15] Tomado de la página: http://www.supertel.gov.ec/pdf/estadisticas/historico_acceso_internet.pdf, Marzo 2010.

Usuarios Conmutados: Se estima que por cada cuenta conmutada existen 4 usuarios.

Cuentas Dedicadas: Son todas aquellas cuentas que utilizan otros medios, que no sean Dial Up, para acceder a Internet, como puede ser ADSL, Cable Modem, Radio, etc.

Usuarios Dedicados: Son el número total de usuarios que los Proveedores de Servicios de Internet estiman que disponen por sus cuentas dedicadas.

Según datos proporcionados por la Superintendencia de Telecomunicaciones, el porcentaje de habitantes que acceden a Internet en la provincia de Loja, es de 5,48% tomando en cuenta un total de 443.206 habitantes. Estos valores presentan un panorama amplio de la situación actual del servicio de Internet en la ciudad de Loja, y nos proyecta a definir cuáles son las necesidades y los requerimientos de la ciudadanía lojana en lo referente a servicios globales de telecomunicaciones.

2.1.3. Selección del emplazamiento

Bajo este marco tecnológico, y con los antecedentes vistos en las secciones anteriores, se ha decidido buscar una zona urbana que no posea parcial o totalmente servicios de telecomunicaciones como telefonía e internet, teniendo en cuenta que estos dos servicios son la base fundamental para acceder a la sociedad de la información y al desarrollo de una sociedad con igualdad de condiciones.

El barrio denominado “Jipiro Alto” es un sector urbano que se encuentra al norte de la ciudad de Loja, al este del Complejo Ferial “Simón Bolívar” con un total de 200 familias distribuidas en un gran número por conjuntos residenciales y en donde además se encuentran El Orfanato “Ángel Pastrana”, el ancianato “Daniel Álvarez Burneo” y la Federación Ecuatoriana Pro Atención a la Persona con Deficiencia Mental (FEPAPDEM).

El Internet es el único servicio de telecomunicaciones con el que cuenta este sector, y se realiza a través de varios proveedores privados. Existen planes de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (C.N.T) para dotar del servicio de

telefonía fija y de la empresa Etapa Telecom para facilitar el servicio de telefonía fija inalámbrica utilizando la tecnología CDMA 450.

Con la finalidad de aportar con las instituciones antes mencionadas con los servicios de Internet y de telefonía a través de un servidor de Voz sobre IP con salida a la red telefónica, se ha seleccionado el sector de Jipiro Alto como el emplazamiento para desplegar una red de comunicación híbrida utilizando las tecnologías Wi-Fi y BPL con el fin de colaborar en el desarrollo de nuestra sociedad lojana y apoyar de esta manera a la visión del “Plan Nacional para el Desarrollo de las Telecomunicaciones”.

2.2. Topología y direccionamiento de red

Red Inalámbrica (Wireless)

La topología usada se basa en la distribución que la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) tiene asignada a su red. Así, dentro de estos parámetros se asignó la VLAN36 (172.16.36.0/24) con una capacidad de direccionamiento máximo de 254 IP’s con puertos especiales habilitados para el desarrollo de todo el proyecto, tal como se detallará en la sección 2 del capítulo 3.

La conexión desde el campus universitario hacia el Hospital UTPL (H-UTPL) es un enlace Punto a Punto ya establecido para su comunicación. Cabe señalar que las características de este enlace son:

- Se utiliza un Access Point CISCO AIRONET 1200
- Distancia entre la Universidad y el Hospital UTPL de 1.5 Km.
- Estándar 802.11a, frecuencia 5 GHz (5.15-5.35 y 5.725-5.825 GHz).
- Modulación DSSS (Direct Secuence Spread Spectrum)

El segundo enlace wireless Punto a Punto se tomará desde del H-UTPL hacia el Orfanato “Angel Pastrana”. Y para los enlaces hacia el Ancianato “Daniel Álvarez Burneo” y FEPAPDEM se usarán una topología Punto-Multipunto. En la Fig. 2.1 se detalla la distribución de la red inalámbrica.

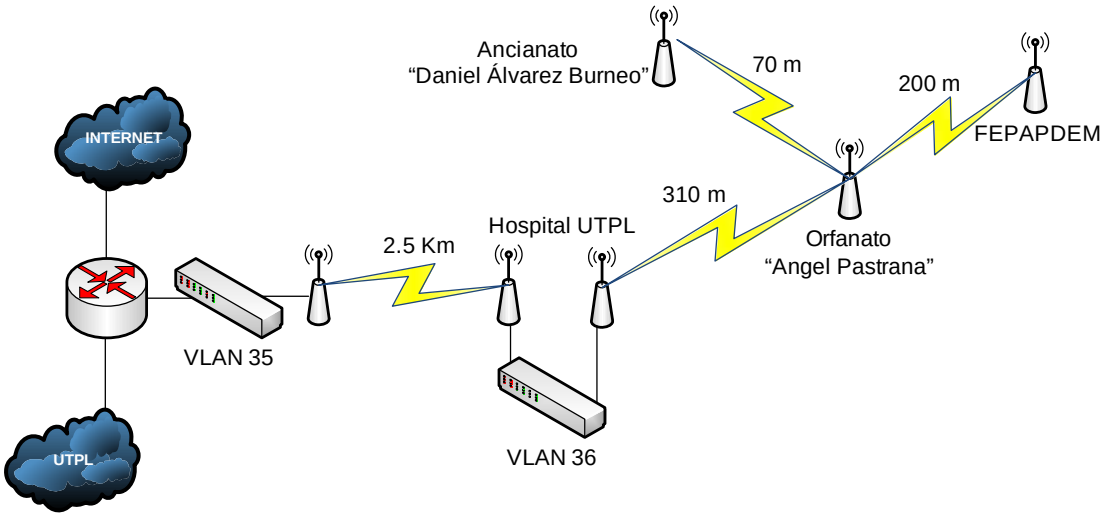


Fig. 2.1 Topología de red Wi-Fi desde la UTPL hacia el H-UTPL ubicado en el sector de Jipiro
Elaborado por: Los Autores

Se ha realizado una simulación en Radio Mobile a fin de comprobar las distancias y sobre todo con el objetivo de conocer la existencia o no de línea de vista hacia cada uno de los nodos de conexión. Para las especificaciones necesarias en la simulación se trabajó con la antena NanoStation 5 la cual en secciones siguientes se detallará sus características más relevantes.

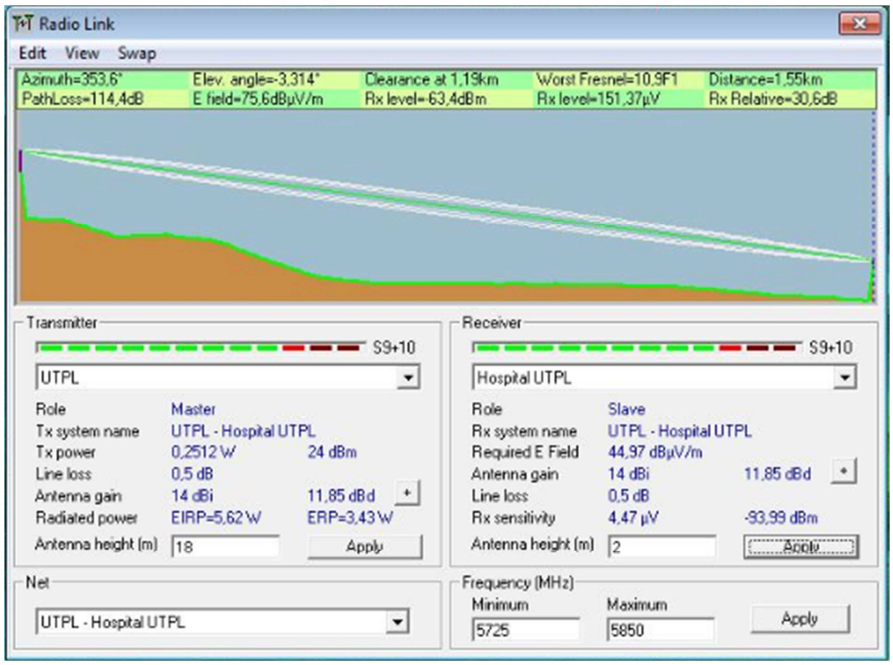


Fig. 2.2 Simulación enlace entre UTPL y el Hospital UTPL
Elaborado por: Los Autores

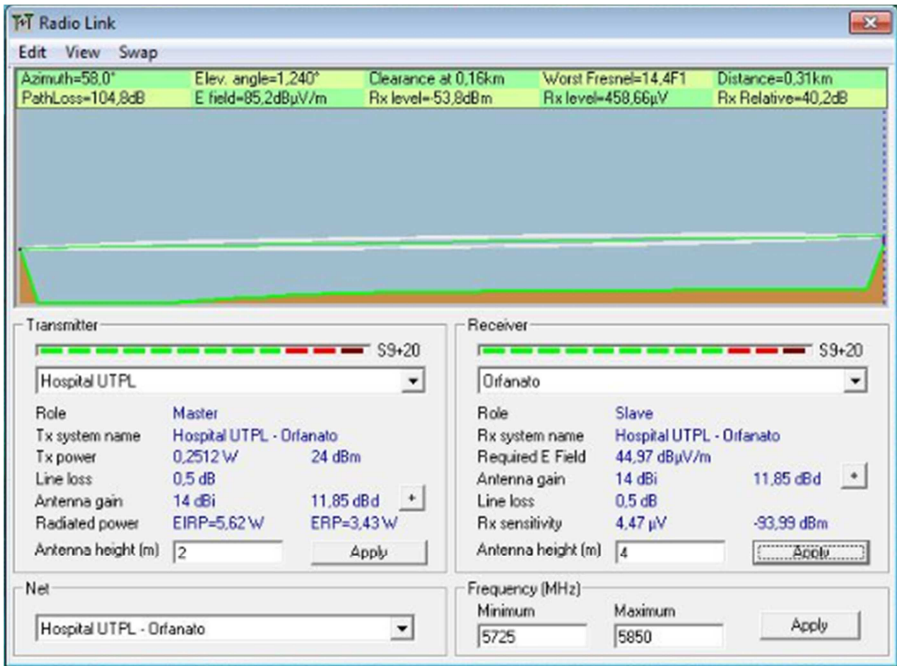


Fig. 2.3 Simulación enlace entre Hospital UTPL y Orfanato "Ángel Pastrana"
Elaborado por: Los Autores

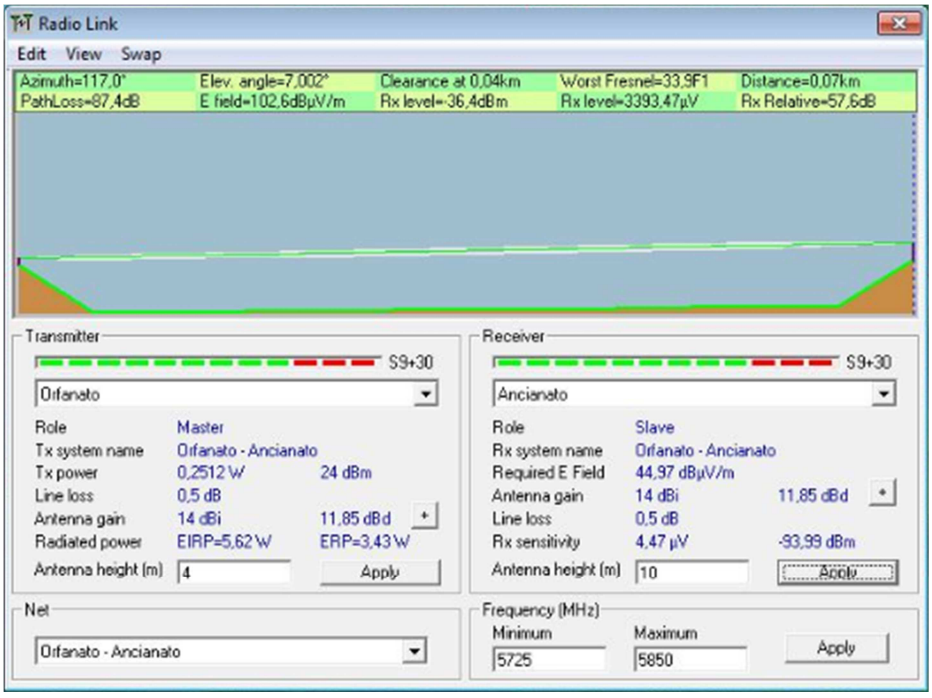


Fig. 2.4 Simulación enlace Orfanato "Ángel Pastrana" y Ancianato "Daniel Álvarez Burneo"
Elaborado por: Los Autores

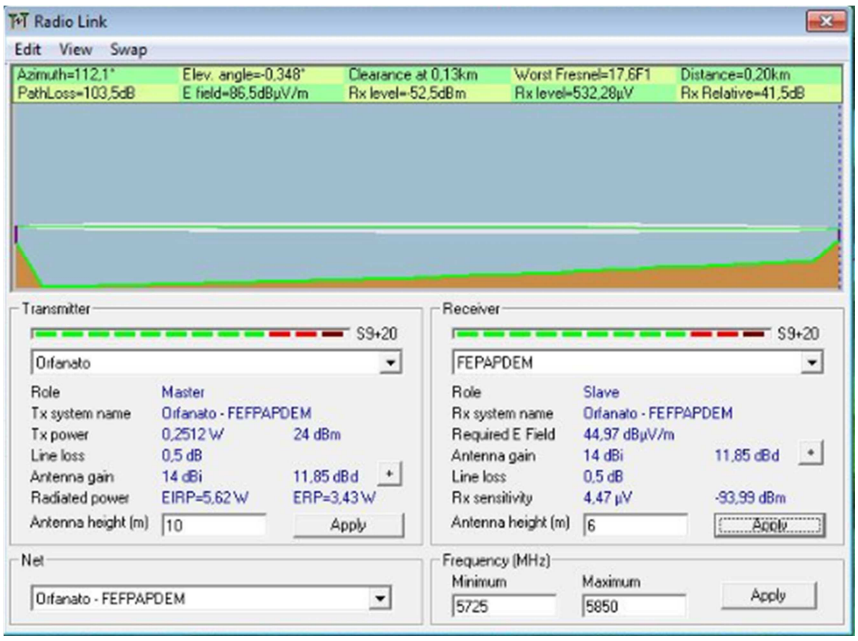


Fig. 2.5 Simulación enlace entre Orfanato "Ángel Pastrana " y FEFPAPDEM
Elaborado por: Los Autores

BPL

Para la topología de red BPL se debe tomar en cuenta una estructura Maestro-Esclavo para la distribución dentro de cada locación. Aquí es importante destacar que la topología puede variar al utilizar repetidores, pues se necesita uno cada 200 metros para regenerar la señal.

A continuación la Fig. 2.2 muestra la distribución interna de la red BPL en cada centro. El mínimo de computadores será de 2 a 3, a excepción de la escuela que según los requerimientos podrían ser más.

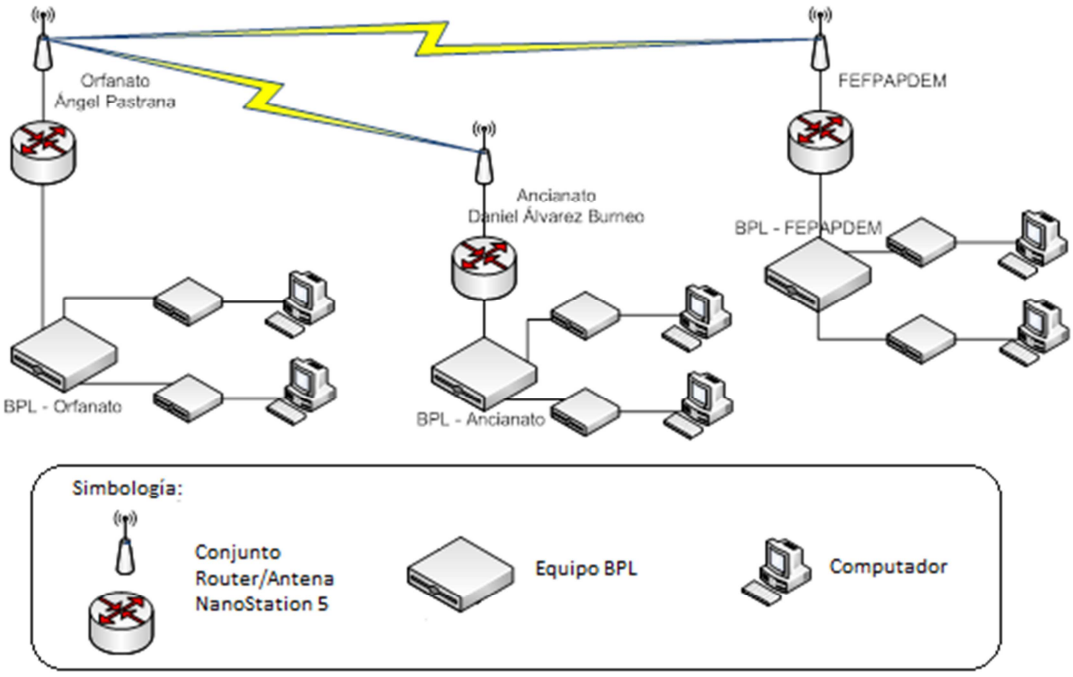


Fig. 2.5 Topología de red BPL
Elaborado por: Los Autores

2.3. Simulación del emplazamiento propuesto

En base al emplazamiento propuesto se ha realizado una simulación del ambiente de la red híbrida Wi-Fi – BPL dentro del campus universitario UTPL debido a que la topología propuesta disponía de equipos BPL de baja tensión como el mostrado en la figura 2.6, los cuales debían ser implementados en postes ubicados en el barrio Jipiro Alto. Dado este caso, surgían dos inconvenientes a saber:

- Para la instalación de equipos BPL de baja tensión que cumplan la función de un Head End (HE) o equipo Master e inducir la señal de datos a toda una edificación, se requería personal técnico capacitado para poder montar dichos equipos en la postería necesaria; así, los recursos económicos para este fin como para el mantenimiento de los mismos no se ha contemplado en este proyecto.
- Por otro lado, las instalaciones de este tipo necesitan de los permisos necesarios para utilizar la infraestructura de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A, los cuales no se logran obtener con facilidad para proyectos aún en estudio.

Fig. 2.6 Equipo de baja tensión BPL modelo CXP-LVA-GWY[16]

Por los motivos antes expuestos, se desarrolló un esquema de interconexión de la red híbrida Wi-Fi – BPL simulando el ambiente propuesto en Jipiro Alto en el campus UTPL entre los edificios de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Información (UGTI) y le edificio de aulas N°3 con u na distancia de alrededor de 200 metros, distancia promedio existente en la red propuesta en el barrio Jipiro Alto.

2.4. Cálculo de ancho de banda en base al servicio de Internet y VoIP.

Para determinar el ancho de banda necesario en la red Wi-Fi BPL se determina los servicios a ofrecer que son: Acceso a Internet, Correo Electrónico y Voz.

2.4.1. Cálculo Ancho de Banda

Cada uno de los servicios ofrecidos tiene valores promedio de ancho de banda que se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Capacidad de Demanda de los servicios ofrecidos en la red Wi-Fi – BPL [15]
Elaborado por: Los Autores

SERVICIO	Capacidad (Kbps)
Acceso a Internet	32
Correo Electrónico	19.2

[16] Tomado de: http://www.aptolution.com/low-voltage-access-gateway-p-92.html, 16 de febrero 2011.

El cálculo de la capacidad del servicio de VoIP tendrá un trato especial por lo que se verá más adelante.

En el cálculo de ancho de banda se debe tomar en cuenta el peor de los casos, es decir, en un determinado tiempo, dentro de un universo de 15 personas, éstas utilizaran los servicios en su totalidad [15]. A continuación se detalla la demanda de capacidad obtenida al multiplicar los usuarios por cada servicio, de tal manera que:

Tabla 2.3 Demanda de Capacidad Total de los servicios en la red Wi-Fi – BPL [15]
Elaborado por: Los Autores

SERVICIO	NÚMERO DE USUARIOS	CAPACIDAD (Kbps)
Acceso a Internet	15	480
Correo Electrónico	15	288
TOTAL DEMANDA DE DATOS		768

2.4.2. Estimación de Ancho de Banda para el servicio de VoIP

En Telefonía IP y en general en la telefonía convencional es importante determinar los requerimientos de tráfico y el Grado de Servicio (GoS) que se quiera dar un sistema de telefonía. En el caso de VoIP, el requerimiento de tráfico viene determinado por el ancho de banda necesario para transportar la voz sin que esta sufra mayor deterioro, por lo que el estudio de códecs es importante y se detalla de mejor manera en el capítulo 3. Por el momento, para el cálculo de ancho de banda se usará el códec G.711 el cual ocupa un ancho de banda de 64kbps. Por otro lado el grado de servicio determina la posibilidad de bloqueo de las llamadas telefónicas, al decir un GoS del 1% determinamos que del total de llamadas únicamente el 2% se perderán o serán bloqueadas dando al sistema un 98% de confiabilidad [15].

El cálculo del tráfico según el códec especificado y la probabilidad de bloqueo se puede determinar mediante la siguiente herramienta web: http://www.erlang.com/calculator/eipb/

Un dato adicional importante al calcular el tráfico de VoIP es el valor del tráfico en la hora cargada BHT que viene determinado por la fórmula:

$$BHT = \left[\frac{duración\ llamada\ promedio\ (s) * ocupación\ del\ canal}{3600}\right] Erlangs \qquad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

Duración de la llamada promedio: Estimada en 2 minutos

Ocupación del canal: Estimación del número de usuarios que ocupan el canal de comunicación

Por tanto:

$$BHT = \frac{120s * 15}{3600} = 0.5 Erlangs \qquad \text{Ec. 2}$$

El cálculo del ancho de banda con las especificaciones dadas es:

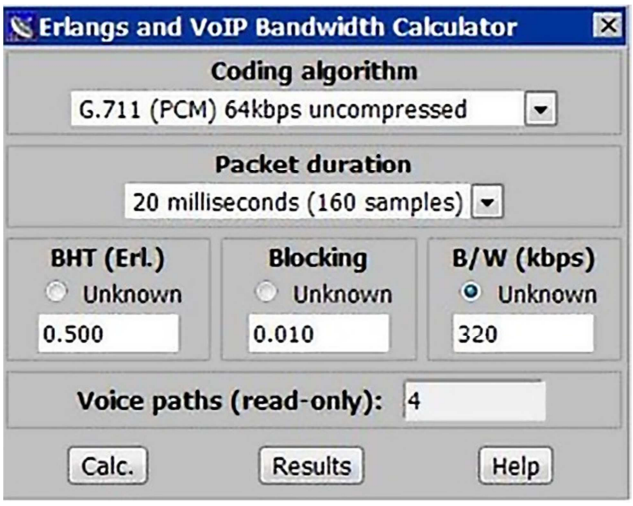


Fig. 2.7 Herramienta web para cálculo de tráfico telefónico IP
Elaborado por: Instantánea del Programa Erlangs and VoIP Bandwidth Calculator, http://www.erlang.com/calculator/eipb/

En resumen, el cálculo de ancho de banda total de la red Wi-Fi – BPL se detalla a continuación:

Tabla 2.4 Cálculo Total de Ancho de Banda requerido para la red Wi-Fi –BPL
Elaborado por: Los Autores

SERVICIO	CAPACIDAD (kbps)
Datos	768
Voz	320
Total	**1088**

2.5. Estudio y selección de equipos para la red Wi-Fi

En la selección de equipos Wi-Fi para la transmisión desde el H-UTPL hacia el orfanato y luego su distribución Multipunto hacia los demás centros se han tomado los equipos Ubiquiti modelo NanoStation 5 que tienen las siguientes características:

Tabla 2.5 Características de Antena NanoStation 5
Elaborado por: Los Autores

Estándar	Ancho de canal	Potencia de Transmisión	Sensibilidad de Recepción	Ganancia de la antena	Alcance	Through put
802.11a OFDM, 5GHz	5/10/20/40 MHz	24 dBm	-94 dBm	14dBi	10Km (100Km con antena externa)	25Mbps+ TCP/IP

Se han utilizado estos Acces Point's (AP) debido a las siguientes razones:

- Al elegir una NanoStation 5 se trabaja con el estándar 802.11a, lo que nos permite trabajar a una frecuencia de 5,8 GHz y con menor interferencia de otros equipos.
- Además de dar el soporte a nivel físico como antena de ganancia de 14dBi, brinda soporte para el enrutamiento de paquetes (router) y además servirá como una solución más eficiente en comparación con otras marcas como Mikrotik, TP-Link, D-Link, Senao-Engenios, equilibrando calidad y economía.
- Poseen gran alcance. Según las características del proyecto no es una condición esencial dado las cortas distancias, pero se las ha elegido para una posible expansión de la red hacia todo el sector de Jipiro alto.
- Es posible tener un ancho de canal ajustable, permitiendo hacer un mejor cálculo de requerimiento de ancho de banda para los servicios que la red en general soportará.

2.6. Estudio equipos BPL CORINEX

2.6.1. Características de equipos Corinex

Los equipos Corinex pueden ser configurados en 3 elementos fundamentales:

- Head End o equipo de cabecera.
- Repetidor

- CPE o módem de usuario

El Head End es el equipo que realiza la interconexión entre un backbone IP y la red eléctrica de baja o media tensión actuando como puente (bridge) y en general posee un límite en la cantidad de direcciones MAC.

Los equipos Corinex utilizan el chip de DS2, líder español en la normalización y diseño de chips, cuyos límites de modularidad de celda marcan la diferencia en el número máximo de direcciones MAC y de usuarios, tal como se detalla en la tabla 2.4.

Tabla 2.6 Diferencia entre CHIP's DS2
Elaborado por: Los Autores

Tipo de Chip	Máximo de direcciones MAC	Cantidad de Usuarios / Clúster	Empleo común
DSS9001	64	32	CPE, Repetidor y HE de Bajo Voltaje
DSS9002	1024	64	Repetidor y HE de Bajo Voltaje
DSS9003	262144	128	HE de Medio Voltaje
DSS9010	64	32	CPE de usuario

2.6.2. Características de los diferentes Chips de DS2

Los equipos de Corinex poseen un algoritmo propietario que permite remover el límite máximo de usuarios y dar acceso a un número ilimitado de nodos virtuales añadidos a la red eléctrica o a la red por cable coaxial, pero no es adecuado conectar este sistema BPL como un switch adicional de una red ya existente y de ser necesario esto, se debe crear una subred con el empleo de VLANs o el empleo de un Router u otro dispositivo que permita la creación de una subred y permita definir un dominio de *broadcast* propio.[7]

Los motivos de utilizar el Chip DSS9001 en la mayoría de equipos Corinex es su versatilidad y economía, pues permite que un equipo CPE pueda ser convertido en cualquier elemento de red (Head End, Repetidor o CPE de usuario) con una simple configuración de software, con el objetivo de minimizar la latencia de la red BPL. En la tabla 2.5 se detallan las principales características del portafolio de productos que ofrece Corinex para una red completa en media y baja tensión.

Tabla 2.7 Principales características de equipos Corinex para media y baja tensión.
Elaborado por: Los Autores

Equipos	Imagen	Mac Addresses	Powerline Ports	Backbone Speed	Rango de Frecuencia	Densidad Espectral de la energía transmitida	Consumo de energía	Alcance
Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter				Hasta 200 Mbps en capa PHY y 10/100 Mbps en Ethernet	2 – 34 MHz	-56dBm/Hz	5 W	
Corinex High Density Gateway & Corinex Low Voltage Gateway		LV = 64 HD = 1024	LV = 32 HD = 64		2 – 34 MHz	-50 dBm/Hz	7W	300 metros (Powerline) 1200 metros (coaxial)
Corinex AV200 MDU Gateway					2 – 34 MHz			
AV200 Powerline 46thernet Wall Mount F					2 – 34 MHz	-58 dBm/Hz	5 W	
AV200 Powerline ethernet Wall Mount		64			2 – 34 MHz	-58 dBm/Hz	4 W	300 metros
Corinex Medium Voltage Access Gateways		2048		Hasta 200 Mbps (TDD) Hasta 85 Mbps (FDD)	2 – 34 MHz	-50 dBm/Hz	35 W	

2.6.3. Script Corinex

Por lo general la latencia en una red BPL es mayor que en una red basada en Ethernet. La latencia en Ethernet está aproximadamente en 350 µs[17] en el mejor de los casos teniendo en cuenta que los cables utilizados son destinados específicamente para la manipulación y uso de servicios informáticos. En cambio en una red BPL la latencia depende de toda la red eléctrica, de la calidad del cable empleado, de los empates en los tomacorrientes y de todos los factores que conlleva el tendido eléctrico fuera y dentro de la vivienda.

Es por esto que los equipos conectados a una red BPL necesitan modificar la denominada ventana TCP para obtener el máximo rendimiento del tráfico de paquetes como por ejemplo para bajar documentos, música, ficheros FTP, etc.

El tamaño de la ventana TCP es la cantidad de datos recibidos que pueden ser metidos en el buffer de recepción durante la conexión. Dicha ventana permite captar paquetes que posean un valor igual o menor al especificado, por ejemplo si el transmisor envía una cantidad Y, y el receptor solo tiene una ventana X, luego de establecerse la conexión de tres vías, el transmisor sólo podrá enviar paquetes con un tamaño (X - Y) hasta que la aplicación receptora recoja los datos del buffer de recepción.

El tamaño de la ventana TCP por lo general puede llegar únicamente hasta un máximo de 64 KB (65.535 bytes) porque el campo de la cabecera TCP tiene una longitud de 16 bits, pero se puede aplicar un factor de escalado para incrementar la ventana (*TCP window scale*) a un valor mayor, teóricamente hasta 1 Gigabyte, únicamente durante la negociación de tres vías.[18]

Por medio de un script propietario de Corinex, se puede mejorar el rendimiento de la red BPL con una ventana TCP de 512 kbytes. Esta empresa pone a disposición los scripts para Windows 98, Windows 2000/XP y una versión especial para Linux.

---

[17] Kevin Burton's New FeedBlog: http://feedblog.org/2006/11/26/ethernet-latency-the-hidden-performance-killer/

[18] Soporte de Microsoft: http://support.microsoft.com/kb/199947/en-us/

2.7. Estudio y selección de equipos para el servicio de VoIP.

VoIP es una tecnología con constantes actualizaciones en cuanto a software y hardware lo que permite elegir entre una amplia gama de dispositivos acordes a las necesidades de la red.

Se dividirá la selección de equipamiento en: Servidor de VoIP y Equipamiento Lógico y Físico para la salida hacia la Red Telefónica Pública Conmutada de CNT.

a) Servidor de VoIP

Un aspecto fundamental es la elección del servidor de VoIP tanto en software como en hardware. El software elegido es Asterisk en su versión estable 1.6 a abril del 2010, y del cual se hará un análisis detallado junto a otras opciones disponibles en secciones siguientes, por ahora Asterisk y cualquiera de sus versiones tanto gráficas como en modo texto pueden ser implementadas sobre cualquier hardware ya sea un servidor dedicado o un computador.

Por otro lado, para la elección del hardware se debe tomar en cuenta dos situaciones a saber: Dado el caso si el servidor de VoIP se monta sobre un computador, éste deberá permanecer encendido por obvias razones, o, como alternativa usar un hardware más pequeño, menos costoso y que permita tener el servidor siempre activo. Esta segunda opción puede ser solucionada implementado una Placa Alix 232, en la misma que viene embebida una pequeña partición de Linux-Debian, específicamente la distribución Voyage 0.62 donde se puede instalar el servidor de VoIP Asterisk y mantenerlo funcionando sin ningún problema.

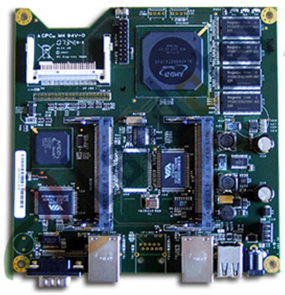


Fig. 2.8 ALIX 232
Elaborado por:
http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small_business/products/voice_conferencing/index.html

Las características más relevantes de Alix 232 son las siguientes:

- CPU: 500 MHz AMD Geode LX800
- DRAM: 256 MB DDR DRAM
- Memoria: CompactFlash socket, 44 pin IDE header
- Expansión: 2 miniPCI slots, LPC bus
- Connectivity: 2 Ethernet channels (Via VT6105M 10/100)
- I/O: DB9 serial port, dual USB port
- Board size: 6 x 6" (152.4 x 152.4 mm) - same as WRAP.1E
- Firmware: tinyBIOS[19]

Como se observa, la capacidad de almacenamiento es de 256Mb y aquí es donde se instalará la versión de Voyage 0.62.

Esta investigación se desarrolló utilizando la primera opción y con el apoyo del servidor principal instalado en la Universidad Técnica Particular de Loja para la PSTN y el servidor secundario para la red híbrida Wi-Fi – BPL instalado en un computador con el sistema operativo GNU/Linux con distribución Ubuntu 10.04.

Por otro lado, los teléfonos IP serán implementados bajo softphones, que son de licencia libre y se los puede implementar fácilmente. El softphone asociado a Asterisk que brinda mejores prestaciones es X-Lite en su versión 4.0 para Windows y en versión 2.0 para Linux.

b) Equipamiento Lógico y Físico para la salida hacia la Red Telefónica Pública Conmutada PSTN

Para la selección del hardware que permita conmutar hacia la PSTN se ha realizado la conexión con el servidor de VoIP de la Universidad Técnica Particular de Loja que está equipado con los puertos físicos tanto Foreign Exchange Office (FXO) y Foreign Exchange Station (FXS) para dotar a la Universidad del servicio de VoIP interno y la salida hacia la red telefónica de CNT a nivel nacional. Por tal motivo, se realizó la conexión de los servidores de VoIP de la red Wi-Fi - BPL y UTPL mediante el protocolo IAX diseñado por Digium y enfocado a la conexión

[19] PC Engines. http://www.pcengines.ch/alix2d2.htm

entre servidores Asterisk como se especifica en el capítulo 3. Las características del servidor de VoIP-UTPL son las siguientes:

Tabla 2.8 Principales características servidor de VoIP UTPL
Elaborado por: Los Autores

HARDWARE			
SERVIDOR	**MÁQUINA**	**FUNCIONES DE RED**	**MODULOS PARA VoIP**
Servidor xSeries 226 Modelo MT-M 8488-5BU	• Procesador i686 • Plataforma del Hardware i386 • 2 Discos IBM 73.4 GB • Memoria 1GB RAM	1 Tarjeta de red con puerto Ethernet RJ45.	Wildcard TDM400p PCI 2.2: Gateway de medios hacia la PSTN
SOFTWARE			
Sistema Operativo	**Software para VoIP**		
GNU/Linux Kernel 2.6.9-34.EL Centos 4.3	zaptel-1.2.5 libpri-1.2.2. asterisk-1.2.7.1 asterisk-sounds-1.2.1		

2.8. Presupuesto Referencial de la Red Híbrida Wi-Fi - BPL

Tabla 2.9 Presupuesto referencial de la red híbrida Wi-Fi –BPL. Propuesta: 1.
Elaborado por: Los Autores

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	P. UNIT. USD	P. TOTAL USD
1	Router-Antena Nanostation de Ubiquiti, PoE, filtro y accesorios de fijación.	4	U	110	440
2	BPL Corinex Low Voltaje Gateway	1	U	1100	1100
3	BPL Corinex AV200 Powerline Adapter	15	U	50	750
4	Placa ALIX 232	1	U	114.99	114.99
5	Servidor Xseries 226 Modelo MT-M 8488-5BU	1	U	1899	1899
6	Patch Cord Ethernet cable cat. 5e	15	m	0.50	7.5
7	Conector RJ45	30	U	0.30	9
8	Boots	30	U	0.20	6
9	Servidor Asterisk 1.6	1	U	1200	1200
10	Software de Administración y Gestión de la PBX para 50 Ip phones.	1	U	1025	1025
				TOTAL	**6551.49**

Tabla 2.10 Presupuesto Referencial de la Red Híbrida Wi-Fi - BPL. Propuesta: 2.
Elaborado por: Los Autores

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	P. UNIT. USD	P. TOTAL USD
1	Router-Antena TP-LINK WA5210G, PoE, filtro y accesorios de fijación.	4	U	64,99	259.96
2	BPL Mainnet CuPlus	1	U	1250	1100
3	BPL Mainnet NTPlus	15	U	130	1950
4	Placa ALIX 232	1	U	114.99	114.99
5	Servidor Xseries 226 Modelo MT-M 8488-5BU	1	U	1899	1899
6	Patch Cord Ethernet cable cat. 5e	15	m	0.50	7.5
7	Conector RJ45	30	U	0.30	9
8	Boots	30	U	0.20	6
9	Servidor Asterisk 1.6	1	U	1200	1200
10	Software de Administración y Gestión de la PBX para 50 Ip phones.	1	U	1025	1025
				TOTAL	**7571.45**

3. DISEÑO DEL SERVIDOR VOIP CON SALIDA HACIA LA PSTN

3.1. Estudio del servidor Asterisk para VoIP

Asterisk es un software Open Source con licencia GPL que permite crear aplicaciones para VoIP económicas. Solo son comparables plataformas compuestas por equipos de marcas muy caras, como Cisco, Avaya o Siemens.

Asterisk gracias a sus características puede ser un software que tanto para grandes, medianas y pequeñas empresas puede brindar muchas soluciones telefónicas únicamente limitada por la capacitación de quién las implementa.

Hoy en día Asterisk es un software muy conocido para VoIP que además puede trabajar con muchos protocolos y soportar varios equipos que hacen de interfaz en la red telefónica.

Entre algunas de las características se encuentran:

- Open Source con licencia libre GPL
- Proporciona funcionalidades de una central telefónica (PBX).
- Buzón de voz
- Conferencias
- IVR (Interactive Voice Response)
- Reconoce muchos protocolos VoIP como pueden ser SIP, H.323, IAX y MGCP
- Puede interoperar con terminales IP actuando como un registrador y como gateway entre ambos.

En resumen se puede deducir que Asterisk se ha convertido en la revolución de VoIP debido principalmente a su naturaleza Open Source, a su bajo costo de implementación y a sus bastas capacidades.[16]

3.1.1. Soluciones de VoIP basadas en Asterisk

Existen en el sector de las comunicaciones de VoIP muchas aplicaciones basadas en Asterisk que tratan principalmente de dar un enfoque más gráfico y más sencillo

de configurar la PBX. Así mismo Asterisk se encuentra disponible tanto para sistemas operativos como BSD, MacOSX, Solaris y Microsoft Windows. Pero sin duda alguna que la plataforma nativa (GNU/Linux) es la que mejor soporte brinda de todas.

Dentro de las soluciones de VoIP basadas en Asterisk se hallan las siguientes:

a) Elastix

Software desarrollado por Palo Santo Solutions, una empresa establecida en Ecuador. Básicamente lo que ofrece Elastix es además de brindar una interfaz gráfica para la configuración de Asterisk, ofrece también entre algunas características:

- Telefonía IP
- Servidor de Correo
- Servidor de FAX
- Conferencias
- Servidor de Mensajería Instantánea, entre otros

El concepto revolucionario de Elastix cumple con el objetivo de incorporar en una única solución todos los medios y alternativas de comunicación existentes en el ámbito empresarial.[20]

b) AsteriskNOW

Se trata de una distribución de GNU/Linux basada en CentOS que permite convertir una PC de escritorio en una central telefónica PBX basada en Asterisk en cuestión de solo minutos y funcionando.
Entre algunas de sus características:

- Además de contar con la propia distribución de GNU/Linux, contiene una interfaz de usuario con la cual administrar su servidor de VoIP.

[20] http://www.elastix.org

- Creación de extensiones
- Menús interactivos de voz (IVR)
- Distribución automática de llamadas
- Conferencias
- Correo de voz, entre otras

Al igual que todas las soluciones basadas en Asterisk soporta un gran número de códecs y es posible trabajar con un gran número de protocolos como SIP e IAX2.

En resumen AsteriskNOW se diseñó pensando en las personas que poseen escasos conocimientos de Linux y que desean crear soluciones personalizadas basadas en Asterisk.[21]

c) Trixbox

Distribución GNU/Linux, basada en CentOS, que se caracteriza por ser una central telefónica (PBX) por software basada en la PBX de código abierto Asterisk.

Sus características son:

- Creación de extensiones
- Envío de mensajes de voz y correo
- Llamadas de conferencia
- IVR
- Distribución automática de llamadas
- Soporte para protocolos SIP, H.323, IAX,IAX2 y MGCP

Trixbox se despliega bajo la plataforma del sistema operativo CentOS y su diseño fue básicamente pensado en organizaciones pequeñas y medianas de 2 a 500 empleados.[22]

En resumen, todas estas plataformas han servido al desarrollo de interfaces más amigables para la implementación, puesta a punto y administración de Asterisk pero

[21] http://www.asterisk.org/asterisknow/
[22] http://www.trixbox.com/

sin duda alguna la plataforma que mejor se adapta al desarrollo de este proyecto es la versión nativa de Asterisk en su versión 1.6 y que es la que se ha implementado como ya se ha señalado previamente.

3.2. Protocolos para VoIP

3.2.1. Estudio General de Protocolos

Los protocolos son los lenguajes que se utiliza para negociar y establecer las comunicaciones de voz sobre IP. El objetivo de VoIP es dividir en paquetes los flujos de audio para transportarlos sobre estas redes basadas en IP cuyo mecanismo de conexión abarca una serie de transacciones de señalización entre terminales que cargan flujos de audio para cada dirección de la conversación.

Asterisk trabaja con los siguientes protocolos, por orden cronológico:

- H.323
- SIP (Protocolo de Inicialización de Sesión)
- IAX (Inter Asterisk eXchange)
- MGCP (Media Gateway Control Protocol)
- SCCP (Cisco Skinny)

H.323: Es una serie de protocolos para voz, video y videoconferencias sobre redes de paquetes tales como Ethernet LAN y el Internet ya que no provee la calidad de servicio necesario (QoS). El protocolo H.323 fue diseñado para operar sobre la capa de transporte con aplicaciones específicas en conferencias IP y videoconferencias, siendo desarrollado originalmente como una recomendación ITU-T específica para estas aplicaciones.

H.323 es parte de una larga serie de protocolos que permitieron las videoconferencias a través de la red IP, esta serie también incluía los protocolos H.320 y H.324 que permitían las comunicaciones con el ISDN y PSTN respectivamente. [18]

MGCP (Media Gateway Control Protocol): Es un protocolo interno de VoIP cuya arquitectura asume el control de las llamadas a través de un control “inteligente” que se ubica en un gateway esclavo que es controlado por un maestro también llamado Call Agente.

Por este motivo, MGCP asume que este elemento de control de llamadas o “*call agent*” sincronizará a cada uno de ellos enviando comandos coherentes al gateway bajo sus comandos. No existe un mecanismo definido en MGCP para sincronizar a los *“call agents”,* ya que en esencia es un protocolo en donde los gateways están esperando comandos de ejecución enviados por los “*call agents*”. [17]

IAX (Inter Asterisk eXchange): IAX es el protocolo utilizado por Asterisk para manejar conexiones VoIP entre servidores Asterisk y entre servidores y clientes que también utilizan protocolo IAX. El protocolo IAX ahora se refiere generalmente al IAX2, la segunda versión del protocolo IAX.

IAX permite manejar una gran cantidad de códecs y un gran número de flujo audio/video, muy usado en videoconferencias o presentaciones remotas. Utiliza un único puerto UDP, generalmente el 4569 para comunicaciones entre puntos finales para señalización y datos, debido a que este protocolo soporta trunking, que permite enviar datos y señalización por múltiples canales en un solo enlace.

Los datos de múltiples llamadas son manejados en un único conjunto de paquetes, lo que significa que un datagrama IP puede entregar información para más llamadas sin crear latencia adicional, logrando minimizar el ancho de banda utilizado en la transmisión de voz y video, debido a que IAX se fundamenta en la multiplexación de la señalización y del flujo de datos sobre un simple puerto UDP entre dos sistemas.

SIP (Protocolo de Inicialización de Sesión): SIP (Protocolo de Inicialización de Sesión) es un protocolo de señalización que se utiliza para iniciar sesiones interactivas multimedia entre usuarios de redes IP. Está contemplado dentro de la base de datos RFC 3261 siendo un protocolo libre y abierto a nuevas modificaciones y no ligado a ninguna empresa ni entidad privada. Utiliza el puerto 5060 para el servidor y los puertos mayores a 10000 para los clientes.

SIP ofrece flexibilidad para controlar sesiones multimedia como llamadas de voz y video, videoconferencias, mensajería instantánea, juegos on-line y telefonía IP. La sesión se inicia con una llamada telefónica de doble via o puede ser una sesión de conferencia multimedia con muchas personas participando.

SIP es un protocolo de señalización orientado a conexiones end-to-end; con lógica almacenada en dispositivos finales, salvo el enrutamiento de mensajes SIP. Debido a que el protocolo SIP fue diseñado para incluirlo en la telefonía como un servicio adicional de la red internet, está basado en una arquitectura cliente-servidor al igual que HTTP o SMTP.

El protocolo SIP se apoya de otros protocolos para lograr una llamada telefónica, una sesión de videoconferencia o mensajería instantánea, siendo los más comunes: RTSP (Real-Time Streaming Protocol) para el control de flujos y sesión, SDP (Session Description Protocol) para describir los flujos, RTP/RTCP (Real Time Protocol / Real Time Control Protocol) para el transporte de datos en tiempo real y RSVP (Resource Reservation Setup Protocol) junto a DiffServ (Differentiated Services) para la calidad del servicio y la reserva de recursos. La representación de los mencionados protocolos se detalla en la fig 3.1.

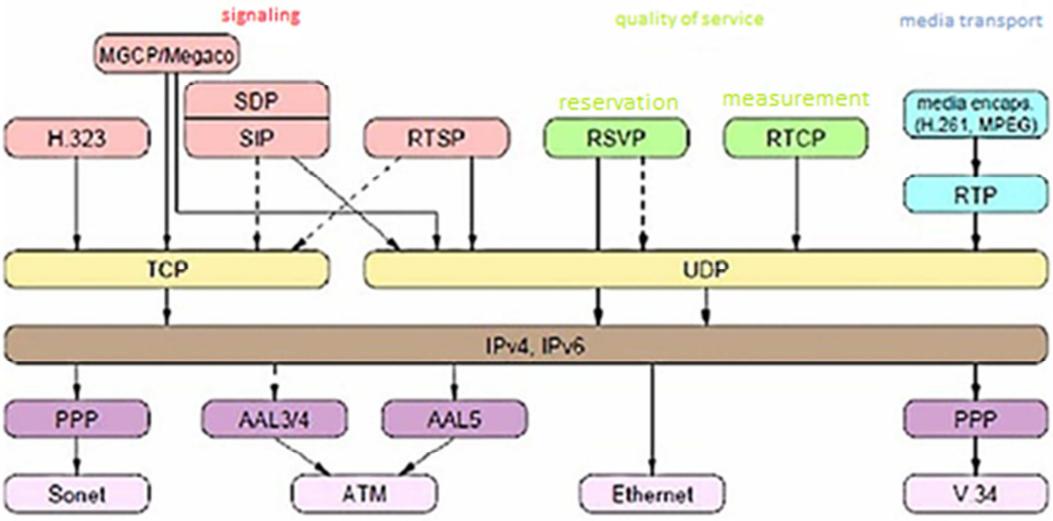


Fig. 3.1 SIP (Session Initation Protocol)
Elaborado por: "WILD, Wi-Fi based Long Distance". Pontificia Universidad Católica del Perú, Grupo de Telecomunicaciones Rurales. Agosto 2009.

Flujo de establecimiento de una sesión SIP

La conexión de una llamada de VoIP consiste en dos fases: una fase de señalización seguida de la fase de transporte de voz.

En la primera fase se establece cómo la llamada será codificada entre las computadoras o dispositivos que envían y reciben. En la segunda fase los datos son enviados en ambas direcciones en ráfagas de paquetes. Cada paquete contiene cerca de 20 milisegundos de conversación, usualmente contiene de 20 a 160 bytes de datos de voz. La conexión normalmente transporta entre 20 y 50 paquetes por segundo.[23]

El establecimiento de una sesión SIP se cataloga en tres etapas:

- Registro.
- Invitación a una sesión.
- Terminación de sesión.

Registro: Para recibir una llamada de un usuario, primero debe estar registrado ante el Proxy. El registro consiste en el envío de un mensaje REGISTER seguido de su correspondiente respuesta 200 (OK). Si el usuario no entrega credenciales validas recibirá por respuesta un mensaje 407, con lo cual tendrá que reenviar el mensaje de Registro hasta que tenga éxito.

Invitación a una sesión: La invitación comienza con un mensaje INVITE dirigido comúnmente al Proxy, que responde con TRYING (100) para detener las retransmisiones y reenvía las peticiones hacia el usuario llamado. Todas las respuestas provisionales generadas por el usuario llamado son regresados al usuario origen. Los mensajes RINGING (180) y OK (200) forman parte de los mensajes para establecer la comunicación.

Terminación de sesión: Si un usuario envía el mensaje BYE al otro extremo, se finaliza la sesión. El otro usuario confirma el final de la conversación con un mensaje OK (200), sin pasar por el Proxy a menos que en el mismo se haya

[23] http://spectrum.ieee.org/telecom/internet/vice-over-ip-the-voip-steganography-threat/3

establecido un proceso de registro de ruta. Por motivos de control de tráfico o de NAT (Network Address Translation) se inserta en los encabezados de los mensajes SIP el campo RECORD ROUTE. [2]

3.3. Códecs de audio

Un códec es un conjunto de algoritmos que permiten codificar o decodificar las señales de audio a fin de reducir la cantidad de bits que ocupa cada muestra de audio. Un códec dentro de la implementación de sistemas de transmisión de voz es importante pues puede determinar los anchos de banda necesarios para lograr una calidad de voz aceptable.

El códec G.711 se ha implementado en este proyecto así como sus variaciones como lo son: el G.711 u-law (estándar en Estados Unidos) y el G.711 a-law (estándar para Europa) a fin de establecer parámetros y encontrar el que mejor se adapte a los requerimientos del servicio de VoIP. [19]

3.3.1. MOS (Mean Opinion Source) para calidad de voz sobre la red híbrida

Un requerimiento básico en redes de VoIP es la medida de su M.O.S para determinar la calidad de la misma. El Mean Opinion Source o M.O.S es una medida subjetiva sobre la calidad de la voz en redes de VoIP, donde su valoración se establece dentro de un rango de 1 a 5 en el que 1 significa una pésima calidad de la comunicación y 5 una calidad excelente [20]. Su valoración se detalla a continuación:

Tabla 3.1 Tabla de valoración M.O.S[24]

MOS	Calidad	Deterioro
5	Excelente	Imperceptible
4	Bueno	Perceptible pero no molestoso
3	Regular	Ligeramente molestoso
2	Mediocre	Molestoso
1	Mala	Muy molestoso

[24] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T. SERIE P: CALIDAD DE TRANSMISIÓN TELEFÓNICA: Métodos de evaluación objetiva y subjetiva de la calidad. Recomendación UIT-T P.800, pag 13

Es importante aclarar que las mediciones de M.O.S implementadas se las hace basadas en la recomendación ITU-T G.107. Esta recomendación es un modelo computacional más bien conocido como E-MODEL, el cual se basa en el cómputo del Factor R que implica cálculos de relación de señal a ruido, aproximaciones de todas las deficiencias que se transmiten junto con la voz, retrasos en la transmisión, deterioro de la voz causado por la compresión de los códecs y la suma factores de ganancia en la transmisión de voz. Su valoración está dentro de un rango de 0 a 100, donde 0 es pobre y 100 es excelente. El Factor R, ayuda a planificar la transmisión de VoIP y ayuda a la mejora de la calidad para los usuarios, pero no necesariamente representa una aproximación valedera de la opinión del cliente sobre lo que escucha. Por esto se implementa M.O.S que basado en el Factor R proporciona un estimado de la calidad de voz a la vez de darle la nota cuantitativa de 1 a 5 donde cada valor intenta ser una aproximación de una calificación subjetiva del cliente.

3.4. Hardware para VoIP

Asterisk es una plataforma híbrida que es también capaz de conectar interfaces de telefonía tradicional como las líneas y teléfonos analógicos, líneas ISDN, y líneas T1/E1.

Para conectar teléfonos y proveedores de servicios VoIP, Asterisk utiliza controladores de canal. Así para cada tipo de canal, incluyendo SIP, IAX, H.323, etc., Asterisk tiene un controlador de canal correspondiente y que permite modificar los archivos de configuración “chan_sip”, “chan_iax”, “chan_ooh323”, etc. De tal manera que para realizar una conexión con una interfaz de telefonía tradicional, lo que se realiza es modificar un tipo de canal especial llamado “chan_dadhi” que Asterisk lo tiene por defecto y así mismo se debe obtener un conjunto de controladores denominados DADHI (Digium Asterisk Hardware Device Inteface).

Se debe notar la diferencia entre el canal “chan_dadhi” y el conjunto de drivers DADHI que servirán para configurar el archivo antes mencionado y que reconocerá la tarjeta de interfaz hacia la PSTN.

DADHI proporciona controladores para un conjunto de tarjetas de interfaz hacia la PSTN de cualquier fabricante pero en especial las fabricadas por DIGIUM, el cual es el creador de Asterisk. [21]

Las tarjetas analógicas de DIGIUM utilizan módulos separados para FXO (Foreign Exchange) para líneas troncales o que se encuentran en la red PSTN así como el módulo FXS (Foreign Exchange Station) que es la interfaz para la conexión de la red VoIP.

Estas tarjetas además se caracterizan por brindar algunas funciones como:

- Proveen 4, 8 y 24 puertos.
- Se proporciona un módulo opcional DSP (Digital Signal Processing) para la cancelación de eco.

3.4.1. Interconexión hacia la PSTN

La interconexión hacia la PSTN se la logra gracias a la integración de los servidores Asterisk tanto de la red Wi-Fi-BPL como UTPL a través del protocolo IAX2 diseñado por Digium para la interconexión de servidores Asterisk. En este caso el servidor de VoIP-UTPL servirá de pasarela para las llamadas hacia y desde la red pública conmutada de CNT a nivel nacional, además de integrar los usuarios de telefonía IP de la red Wi-Fi-BPL a la red telefónica propia de UTPL.

El diagrama de conexión básico de una red VoIP hacia la PSTN es el siguiente:

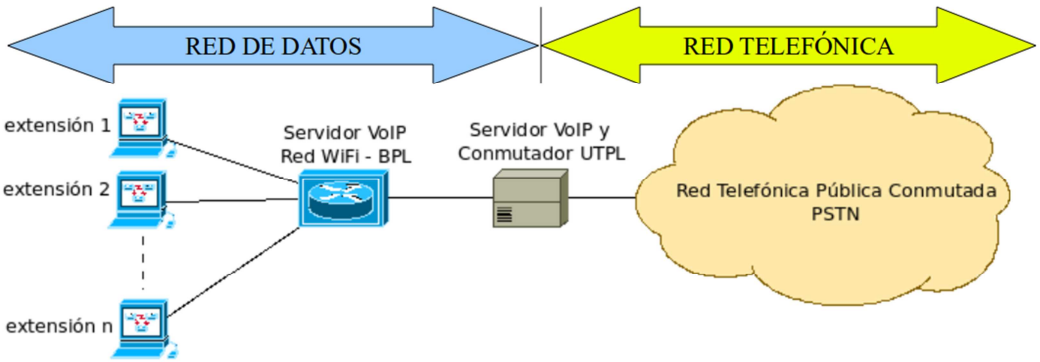


Fig. 3.2 Conexión básica de VoIP-PSTN
Elaborado por: Los autores

4. ANÁLISIS TÉCNICO

4.1. Pruebas del Cableado Eléctrico: Fluctuaciones de voltaje

Para que el servicio de Broadband over Powerline (BPL) trabaje de manera adecuada en cualquier edificación, es necesario determinar cómo se encuentra el cableado eléctrico y cuáles son las condiciones eléctricas para que los equipos Corinex no sufran desperfectos. Para calcular el primer concepto, los equipos Corinex Av200 poseen un software específico para comprobar el número de bits por portadora entre el equipo emisor y el equipo receptor, de manera que se pueda determinar las pérdidas en el cableado eléctrico y las pérdidas por cada empalme en la edificación en donde se desee implementar el servicio de BPL. Adicional a esto, se debe tomar en cuenta que, las ondas de radiofrecuencia (2MHz – 30 MHz) que se transmiten en el cable eléctrico experimentan el denominado “efecto piel”, el mismo que se produce por fenómenos electromagnéticos, expresados en las ecuaciones de Maxwell y que son visibles en la propagación de ondas en medios dieléctricos, es decir se transmiten a través del dieléctrico que posee la línea de transmisión. Investigaciones recientes [14] recomiendan el Piranol 1467, el Teflón y el Poliestireno como dieléctricos en determinadas frecuencias del espectro radioeléctrico para mejorar el ancho de banda en líneas de transmisión bifilar; estos datos se deben tomar en cuenta para recomendar el mejor uso de las líneas eléctricas para transmisión de datos.

En cambio para determinar las condiciones eléctricas de cualquier edificación es necesario y recomendado medir las fluctuaciones eléctricas en cada una de las fases en el transformador, con el objetivo de establecer cuál fase eléctrica posee menos fluctuaciones durante el tiempo y en cuál fase se recomienda instalar los equipos Corinex para evitar posibles daños físicos o desajustes en las configuraciones establecidas.

En la figura 4.1 se muestran los picos más significativos de las fluctuaciones eléctricas en el edificio 3 de la Universidad Técnica Particular de Loja como ejemplo de una edificación con carga eléctrica variable durante un día laborable.

Tabla 4.1 Medición de las Fluctuaciones de Voltaje del edificio 3 de la UTPL
Elaborado por: Los Autores

Voltaje (8:46-9:46 14/12/2010)					
Hora	**Fase 1 (verde)**	**Hora**	**Fase 2 (azul)**	**Hora**	**Fase 3 (violeta)**
08:46:50	128.13	08:46:50	123.74	8:47:05	126.81
08:54:50	129.78	08:50:35	124.7	8:54:50	121.85
08:59:50	129.55	09:00:20	126.11	9:01:05	120.4
09:01:20	129.44	09:01:05	125.07	9:38:50	123.74
09:02:05	125.69	09:01:20	127.46		
09:09:20	125.85	09:14:05	124.58		
09:23:20	126.16	09:23:20	126.73		
Voltaje (9:46-10:46 14/12/2010)					
09:46:50	125.96	09:46:50	126.26	9:55:35	123.39
10:02:05	124.97	10:02:35	125.71	10:00:50	125.12
10:04:05	125.11	10:20:50	127.26	10:03:50	122.05
10:16:35	126.42	10:32:35	128.03	10:14:05	120.87
10:30:35	125.54			10:31:35	120.2
10:46:50	126.11			10:51:50	123.21
Voltaje (10:46-11:46 14/12/2010)					
10:46:50	126.11	10:46:50	128.72	10:55:20	122.87
10:47:35	127.33	10:51:20	128.99	11:04:20	119.26
10:53:35	128.53	10:53:35	130.44	11:10:35	122.47
11:02:20	130.75	11:04:05	128.86	11:51:05	123.61
11:18:50	129.03	11:17:35	129.18		
11:30:20	129.6				
11:34:20	128.24				
Voltaje (11:46-12:47 14/12/2010)					
11:46:50	128.07	11:46:50	129.06	11:54:50	124.07
11:51:35	127.8	11:55:35	130.13	12:05:05	125.98
11:52:50	129.1	12:10:50	131.54	12:13:20	126.79
12:00:35	129.94	12:22:35	132.02	12:23:20	128.25
12:05:20	128.82	12:35:50	130.56	12:39:05	129.25
12:39:05	127.84			12:54:05	129.38
Voltaje (12:46-13:46 14/12/2010)					
12:46:50	128.09	12:46:50	131.8	12:56:05	130.4
12:47:50	129.11	12:47:20	132.08	13:04:20	130.79
12:56:05	128.8	13:20:20	130.9	13:34:50	129.46
13:24:50	127.95	13:26:20	130.18	13:35:05	128.29
13:25:05	129.07			13:51:20	121.78
Voltaje (13:46-14:46 14/12/2010)					
13:46:50	129.17	13:46:50	131.01	13:58:50	130.45

13:51:20	129.23	13:51:50	128.76	14:06:05	130.04
13:54:20	130.41	13:54:35	130.95	14:07:50	128.59
14:22:50	130.21	13:55:05	131		
14:46:20	130.39	14:30:05	130.93		
Voltaje (14:46-15:46 14/12/2010)					
14:46:20	130.39	14:46:50	131.32	14:59:50	124.43
14:49:05	128.96	14:47:20	132.22	15:04:50	120.98
14:49:35	130.32	14:59:20	131.28	15:14:35	123.98
14:51:05	128.8	15:03:35	131.8	15:52:20	120.46
15:04:50	132.13	15:05:05	127.4		
15:12:50	128.01	15:33:20	130.02		
15:31:20	125.9	15:46:50	128.58		
15:42:35	127.01				
15:45:20	128.01				
Voltaje (15:46-16:46 14/12/2010)					
15:49:35	127.98	15:52:20	126.13	16:25:50	122.22
15:55:05	130.09	16:00:35	125.1	16:35:35	118.78
16:13:20	128.93	16:01:20	126.75	16:41:50	117.77
16:36:05	129.13	16:25:50	125.23		
16:45:35	130.46	16:31:50	128.21		
Voltaje (16:46-17:45 14/12/2010)					
16:54:20	131	16:46:50	127.53	17:00:50	121.7
17:02:05	128.46	16:55:20	128.21	17:34:20	120.19
17:03:05	126.83	17:11:05	129	17:45:35	120.12
17:29:20	127.55	17:12:35	128.71		
17:31:35	126.08	17:32:35	126.38		
17:44:05	126.04	17:34:50	127.02		
		17:40:35	125.37		

La tabla indica valores importantes para tener en cuenta en la implementación del servicio BPL para transmitir datos, voz y video. Las horas que existen mayor fluctuación en el transformador trifásico son:

Fase 1: 08h46 – 09h46, 10h46 – 11h46, 13h46 – 15h46, 16h46 – 17h46

Fase 2: 09h46 – 10h46, 11h46 – 13h46, 14h46 - 17h46

Fase 3: 08h46 – 09h46, 12h46 - 14h46

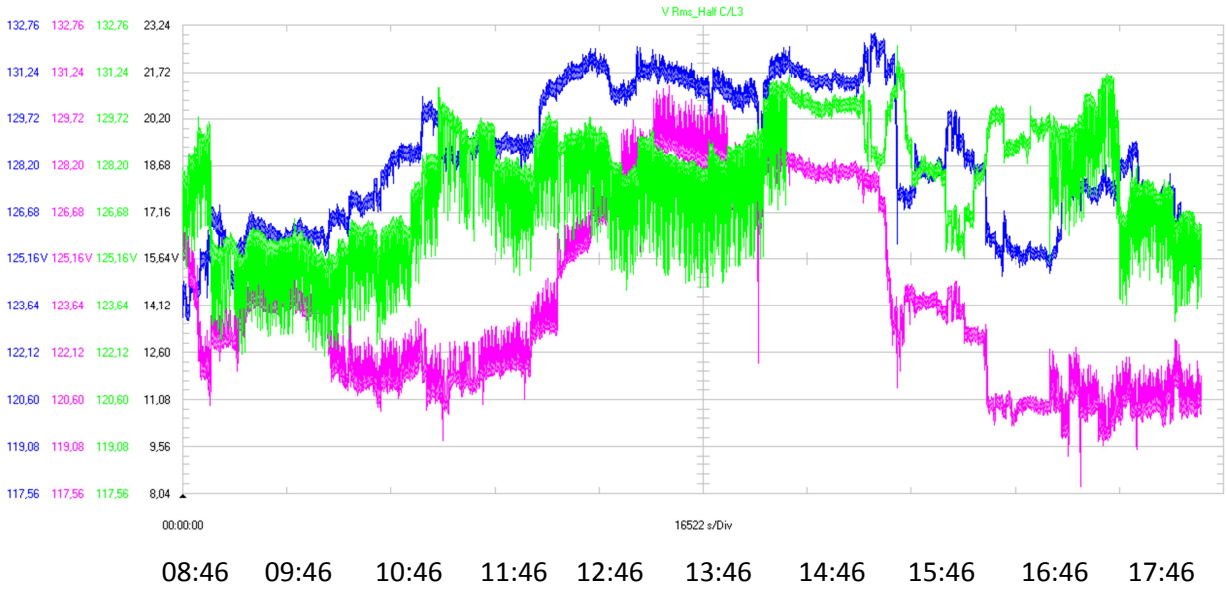


Fig. 4.1 Picos de voltaje medidos en el edificio 3 UTPL
Elaborado por: Los Autores, equipo de medición Fluke

La gráfica 4.1 y la tabla 4.1 indican que los valores de los voltajes en dichas fluctuaciones superan en ocasiones los 130V entre las 11h30 y las 14h30, y caen hasta las 118V aproximadamente en el horario de las 16h46 en adelante. Esto se debe a que en el edificio funcionan el departamento de copiadora e impresión, 2 salones de videoconferencias, un salón con un rack de comunicaciones y 15 salones de clases que están conectados a la red eléctrica con todo tipo de dispositivos electrónicos como copiadoras, computadores, proyectores, routers, switchs, plotters, consolas de audio, etc.

Aunque los valores de las fluctuaciones eléctricas están dentro de los rangos permitidos por el fabricante Corinex (100V – 240V), se recomienda que los equipos deberían estar instalados en las tomas eléctricas que están conectados a la fase 3, ya que posee un menor número de fluctuaciones y los voltajes registrados están de acuerdo al voltaje nominal (120V).

Para los equipos Corinex que se instalen en las fases 1 y 2 se sugiere hacer las pruebas de enganche entre el equipo master y el equipo del usuario (slave) para

comprobar su correcto funcionamiento, y si es de ser necesario instalar repetidores en cada una de los pisos.

Con estas pruebas tanto eléctrica y de comunicación en dicha edificación, se puede establecer un modelo para implementar el servicio de BPL, de manera que se pueda garantizar el servicio 24 horas al día y 7 días a la semana otorgando al usuario una comunicación de datos, voz y video con las menores pérdidas posibles.

4.2. Pruebas del Servicio de VoIP utilizando el códec G.711

Para determinar el M.O.S en la red Wi-Fi-BPL se ha hecho uso del software VQManager, un software basado en interfaz web que permite hacer un análisis en tiempo real del tráfico de redes de VoIP, así como establecer su Calidad de Servicio o QoS, delay, jitter y por su puesto determinar el M.O.S. Además esta herramienta web permite tener una base de datos de CDR Call Detail Recording, es decir que podemos registrar las llamadas hechas desde y hacia nuestra red. En la figura 4.2 muestra la interfaz gráfica de VQManager.

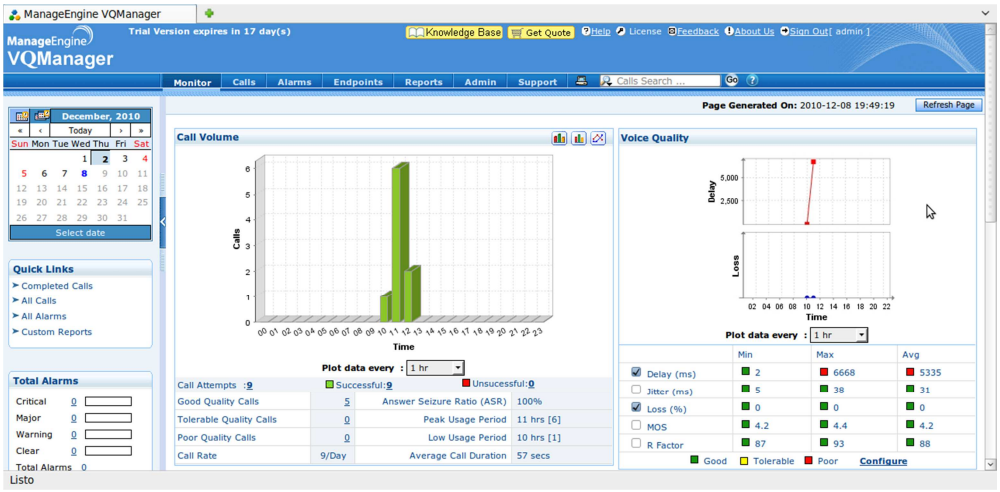


Fig. 4.2 Interfaz Gráfica de VQManager
Elaborador por: Instantánea del Programa VQManager, proveedor http://www.manageengine.com/

A continuación en las tablas 4.2 y 4.3 se especifican los datos tomados con VQManager y donde se han recogido los datos más relevantes como son: origen y destino de cada llamada, duración, M.O.S, delay y jitter, así como también se ha establecido que el tiempo promedio de una llamada es de 2 minutos, tiempo en el cual el software hará el cálculo y promedio de M.O.S para la llamada realizada en ese instante.

Tabla 4.2. Pruebas de calidad de VoIP con el códec G.711u
Elaborado por: Los autores

CODEC G.711u					
Tipo	**Origen-Destino**	**Tiempo de llamada**	**M.O.S**	**Delay (ms)**	**Jitter (ms)**
Llamadas Internas red Wi-Fi - BPL	3620-3600	2min10seg	4.4	0	3
	3620-3600	2min30seg	4.1	9	2
	3620-3610	1min55seg	4.4	10	1
	3620-3600	2min8seg	4.4	0	1
	3620-3600	2min13seg	4.4	0	2
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. analógico)	3620-2935	3min18seg	4.4	0	5
	3611-2106	2min28seg	4.4	1	8
	3611-2106	4min13seg	4.3	1504	9
	3611-2106	2min33seg	4.4	0	5
	3611-2106	2min39seg	4.4	1	7
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. analógico)	2106-3620	2min0seg	4.4	0	1
	2106-3620	2min4seg	4.4	0	2
	2106-3620	2min53seg	4.4	0	1
	2106-3611	3min32seg	4.3	1506	25
	2106-3611	2min9seg	4.4	0	6
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. IP)	3620-2850	2min56seg	4.4	2	7
	3611-2850	2min8seg	4.4	0	29
	3611-2850	2min25seg	4.4	2	19
	3611-2850	2min0seg	4.4	1	10
	3611-2850	2min2seg	4.4	2	9
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. IP)	2850-3611	2min21seg	4.4	1	6
	2850-3611	2min15seg	4.2	1740	8
	2850-3611	2min3seg	4.2	1725	12
	2850-3611	2min13seg	4.3	1500	16
	2850-3611	2min3seg	4.4	1	4
Llamadas hacia la PSTN desde red Wi-Fi - BPL	3620-422571727	1min42seg	4.4	0	1
	3620-422573491	1min58seg	4.4	0	1
	3620-422573491	1min38seg	4.4	0	2
	3620-422579343	3min28seg	4.4	0	3
	3611-422571727	3min57seg	4.3	1512	11
Llamadas hacia red Wi-Fi - BPL desde la PSTN	422571727-3611	3min12seg	4.4	0	14
	422571727-3611	2min19seg	4.4	0	12
	422575133-3611	2min21seg	4.4	1	7
	422571727-3611	2min32seg	4.4	1	4
	422575133-3611	2min37seg	4.4	0	12

Como se observa en la tabla 4.2 las variaciones de M.O.S únicamente son significativas cuando los valores de delay y jitter se elevan, pues se debe recordar que para el cálculo de M.O.S este se basa en el Factor R que a su vez hace su cálculo gracias a estos dos valores. El delay en las llamadas influye en el retardo en el que la señal de voz origen llega a su destino, este valor no es de mayor influencia en comparación con el jitter el cual además de representar un retraso, representa señales de ruido adyacentes en el canal de voz al momento de su transmisión siendo percibido por el usuario como ruido.

A fin de poner en claro el comportamiento del códec en diferentes tipos de comunicaciones se ha resumido en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Promedio de M.O.S con el códec G.711u
Elaborado por: Los Autores

CODEC G.711u	
Tipo	**Promedio M.O.S**
Llamadas Internas red Wi-Fi - BPL	4.34
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. analógico)	4.38
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi – BPL (teléf. analógico)	4.38
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. IP)	4.4
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. IP)	4.3
Llamadas hacia la PSTN desde red Wi-Fi - BPL	4.38
Llamadas hacia red Wi-Fi - BPL desde la PSTN	4.4

En promedio el M.O.S para cada tipo de llamada es de buena calidad para el códec G.711u. De la misma manera se realizó las pruebas subjetivas de M.O.S a cada interlocutor donde no hubo inconvenientes en la comunicación y dándole el calificativo de una calidad de escucha “BUENA” que equivale a 4 en la tabla de valoración subjetiva de M.O.S[25].

A continuación en la tabla 4.3 se realizará las pruebas con el códec G.711a.

[25] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T. SERIE P: CALIDAD DE TRANSMISIÓN TELEFÓNICA: Métodos de evaluación objetiva y subjetiva de la calidad. Recomendación UIT-T P.800, pag 13.

Tabla 4.4. Pruebas de calidad de VoIP con el códec G.711a
Elaborado por: Los Autores

CODEC G.711a					
Tipo	**Origen-Destino**	**Tiempo de llamada**	**M.O.S**	**Delay (ms)**	**Jitter (ms)**
Llamadas Internas red Wi-Fi - BPL	3620-3611	3min2seg	4.2	1702	0
	3611-3620	2min28seg	4.4	0	21
	3611-3620	2min3seg	4.3	764	10
	3620-3611	4min17seg	4.1	8625	0
	3620-3611	3min59seg	4.4	0	7
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. analógico)	3620-2106	2min12seg	4.4	1	5
	3620-2106	2min50seg	4.4	2	7
	3620-2106	3min33seg	4.4	1	4
	3611-2106	3min2seg	4.2	1716	18
	3611-2106	2min28seg	4.4	0	6
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. analógico)	2106-3611	2min13seg	4.4	1	8
	2106-3611	2min12seg	4.4	0	11
	2106-3611	2min9seg	4.2	1715	66
	2106-3611	2min24seg	4.4	1	9
	2106-3611	3min7seg	4.4	0	8
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. IP)	3611-2850	2min20seg	4.3	761	4
	3611-2850	2min37seg	4.3	1501	9
	3611-2850	2min19seg	4.2	1710	16
	3611-2850	2min31seg	4.4	2	11
	3611-2850	2min20seg	4.4	0	12
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. IP)	2850-3611	2min7eg	4.4	0	24
	2850-3611	2min6seg	4.4	1	6
	2850-3611	2min23seg	4.4	1	8
	2850-3611	2min22seg	4.4	0	15
	2850-3611	2min4seg	4.4	1	6
Llamadas hacia la PSTN desde red Wi-Fi - BPL	3620-422571727	2min40seg	4.4	0	3
	3611-422570419	2min10seg	4.2	1744	11
	3611-422570419	1min21seg	4.4	0	8
	3611-422570419	2min9seg	4.4	9	106
	3611-422579598	3min8seg	4.4	5	17
Llamadas hacia red Wi-Fi - BPL desde la PSTN	422571727-3611	1min53seg	4.4	1	11
	422571727-3611	2min-43seg	4.2	1714	12
	422571727-3611	4min52seg	4.4	1	6
	423026547-3611	3min5seg	4.4	0	7
	422575133-3611	2min56seg	4.4	1	9

Es evidente que el códec G.711a presenta mayores niveles de jitter y delay que hace que el nivel de M.O.S disminuya significativamente en comparación con el códec G.711u. Los instantes en que estos niveles bajos de M.O.S eran percibidos la comunicación de la voz era retrasada, con efectos de reverberación y eco, además de existir periodos cortos de interrupción de la voz.

A pesar de presentar un escenario menos favorable para el servicio de VoIP la prueba subjetiva aplicada en cada llamada se coloca dentro de la escala subjetiva de M.O.S entre 4 a 4,5 es decir un nivel aceptable de comunicación.

El promedio de M.O.S para cada tipo de llamada obtenido es el siguiente:

Tabla 4.5. Promedio del M.O.S utilizando el códec G.711a
Elaborado por: Los Autores

CODEC G.711a	
Tipo	**Promedio M.O.S**
Llamadas Internas red Wi-Fi - BPL	4.28
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. analógico)	4.36
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. analógico)	4.35
Llamadas red Wi-Fi - BPL hacia red VoIP-UTPL (teléf. IP)	4.32
Llamadas red VoIP-UTPL hacia red Wi-Fi - BPL (teléf. IP)	4.4
Llamadas hacia la PSTN desde red Wi-Fi - BPL	4.36
Llamadas hacia red Wi-Fi-BPL desde la PSTN	4.36

Los promedios en comparación al códec G.711u son menores, y por ende determinan que este códec se adaptó mucho mejor a las condiciones de la red Wi-Fi - BPL.

Es importante recalcar que el estudio y pruebas de los servicios sobre la red híbrida han estado sujetos a constantes pruebas durante la duración del proyecto y los resultados obtenidos han sido satisfactorios para la transmisión tanto de datos como de voz.

4.3. Resumen del Equipamiento de la red híbrida Wi-Fi – BPL

Acorde las características técnicas que se han estudiado a lo largo de este proyecto se detallan a continuación un resumen del equipamiento físico de la red híbrida Wi-Fi – BPL.

Tabla 4.6 Detalle del equipamiento de la red híbrida Wi-Fi – BPL
Elaborado por: Los Autores

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.
1	Router-Antena Nanostation de Ubiquiti.	4	U
2	BPL Corinex AV200 Powerline Adapter	15	U
3	Placa ALIX 232	1	U
4	Servidor Xseries 226 Modelo MT-M 8488-5BU	1	U
5	Patch Cord Ethernet cable cat. 5e	15	m
6	Conector RJ-45	30	U
7	Boots	30	U
8	Servidor Asterisk 1.6	1	U
9	Software de Administración y Gestión de la PBX para 50 IP phones.	1	U
10	Softphone X-Lite v.4	15	U

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Las cinco clases de ruido que existen en el cableado eléctrico disminuyen la calidad de transmisión de datos, es por esto que los equipos BPL, como por ejemplo los de la marca Corinex, han incorporado modulaciones más robustas como OFDM para optimizar este canal de comunicación, convirtiéndose en dispositivos de segunda generación.

Los equipos Corinex poseen un algoritmo propietario que permite remover el límite máximo de usuarios y dar acceso a un número ilimitado de nodos virtuales añadidos a la red BPL, pero este sistema no debe conectarse como un switch adicional a una red ya existente.

Los chips DSS9001 presentan la versatilidad de convertir a un equipo AV200 de la empresa Corinex en cualquier elemento de red, ya sea master, repetidor o CPE de usuario a través de cambios en su configuración de software.

La líneas eléctricas no fueron diseñadas para la transmisión de datos, es por esto que la latencia en el envío de paquetes es mayor que en el cableado estructurado UTP (aproximadamente 350 us). Para evitar que el enventanado TCP predeterminado en los computadores rechace la conexión con los equipos BPL, se debe incrementar el tamaño de dicha ventana a través de scripts de configuración para llegar a un valor de 512 Kbytes durante la negociación de tres vías.

De acuerdo al análisis de fluctuaciones en las instalaciones de la UTPL, específicamente en el edificio 3, muestran que el rendimiento del sistema BPL depende de las variaciones de voltaje en las fases eléctricas, es decir mientras dichas fluctuaciones no salgan de los parámetros establecidos, el sistema BPL funcionará correctamente.

El ancho de banda es un factor importante para que la tasa de transferencia y los paquetes emitidos no sufran pérdidas en el sistema híbrido Wi-Fi – BPL, es por esto

que los equipos BPL Corinex incorporan canales de transmisión en capa física (PHY) para aprovechar todo el canal permitido desde 2MHz a 30 MHz.

La interconexión entre servidores de VoIP tanto de la red híbrida Wi-Fi – BPL (Asterisk versión 1.6) y la red de VoIP de la Universidad Técnica Particular de Loja (Asterisk versión 1.2) se logró mediante el protocolo IAX versión 2 con relativa facilidad a pesar de diferir en sus versiones.

El códec de compresión G.711u permitió establecer llamadas con un alto grado de servicio, 74% de llamadas exitosas desde teléfonos virtuales en la red local, hacia teléfonos IP de la red de VoIP de la UTPL y hacia teléfonos analógicos de la red pública PSTN, con un promedio de M.O.S de 4.36 con una calificación de “BUENA” según la recomendación UIT-T P.800.

Con el mismo número de llamadas que el códec G.711u, el códec G.711a obtuvo un promedio de M.O.S de 4.34 con una calificación de “BUENA” según la recomendación UIT-T P.800, pero para el códec iLBC no se pudo establecer la conexión entre los servidores Asterisk de la red local y la red de VoIP de la UTPL debido a la incompatibilidad del códec y la versión de Asterisk entre servidores.

El softphone X-LITE versión 4.0 implementado sobre sistemas operativos Windows como XP, Vista y Seven proporcionó mejores prestaciones que X-LITE versión 2.0 para sistemas operativos GNU/Linux que presentó retardos, eco y reverberación en las llamadas.

El uso de softphones permite crear tantas extensiones telefónicas como usuarios existan en la red híbrida Wi-Fi – BPL sin que represente un gasto representativo en la implementación de nuevo cableado estructurado, nuevas líneas telefónicas o terminales telefónicas.

El programa VQManager es una herramienta web licenciada que analiza el tráfico de VoIP, pérdidas de paquetes y características como delay, jitter, M.O.S, Factor R y CDR (Call Detail Recording) y permite al administrador llevar un registro de las llamadas realizadas, tiempo de duración, origen, destino y dirección IP.

El sistema híbrido Wi-Fi – BPL es una solución real para brindar el servicio para pequeñas y medianas empresas, disminuyendo costos para el servicio de llamadas hacia la red pública ya que no es necesario adquirir teléfonos físicos sino teléfonos virtuales o softphones.

El rendimiento de una red híbrida Wi-Fi – BPL funciona de manera eficiente para brindar el servicio de VoIP (74% de llamadas realizadas) y en general brindar el soporte para servicios Triple Play, es decir datos, voz y video. Como prueba de esto se implementó un servidor de VoIP con salida hacia la red pública (PSTN) con un M.O.S promedio de 4.3 para el códec G.711 y el servicio de Internet con excelentes resultados.

- **Estudios Futuros**

Como la tecnología BPL, es una tecnología nueva que requiere investigación y más aún, la regulación en nuestro país está tomando parte del proceso de introducir esta tecnología se ha propuesto los siguientes temas para ponerlos en consideración en futuras investigaciones:

- Medición del ruido generado por los equipos con tecnología BPL en las líneas de energía eléctrica.
- Caracterización de las líneas de energía eléctrica para su uso en los sistemas con tecnología BPL.

Con los antecedentes y el desarrollo antes expuestos, es conveniente seguir con la investigación acerca de esta nueva tecnología, ya que como línea de investigación y como tecnología en sí, tiene mucho potencial en el desarrollo de nuevas alternativas para acortar la brecha digital en nuestro continente y otorgar herramientas para brindar servicios informáticos.

RECOMENDACIONES

Antes de implementar los servicios de Internet y VoIP en la red Wi-Fi – BPL es necesario conocer los puertos que se irán a utilizar por los servicios a fin de tener habilitada la salida y acceso a la red. Para el servicio de VoIP es necesario habilitar los puertos 5060 del protocolo SIP y el puerto 4569 del protocolo IAX2 para la interconexión entre servidores Asterisk. Para el programa VQManager es necesario habilitar los puertos 5306 (MySQL), 8647 (Web Interface), 8001 (Agente SNMP) y 8002 (SNMP Trap Listen).

Para implementar los equipos y todo el sistema BPL específicamente de la marca Corinex en una red existente se debe crear una subred con el empleo de VLANs o crear un dominio de broadcast propio, evitando conectarlos como un switch adicional.

Las direcciones MAC que el equipo Máster puede manejar tienen relación directa con el chip que utiliza en su hardware, ya que de esto depende toda la topología de red y de la estabilidad del sistema en general.

De acuerdo a la topología de red que se implemente, los canales de transmisión deben ser usados adecuadamente para evitar interferencia e inestabilidad en la red eléctrica aunque esto represente una pequeña disminución en la tasa de transferencia entre los equipos.

Para evitar que los equipos se reinicien de manera abrupta y sus configuraciones predeterminadas sufran alteraciones, las fluctuaciones en las fases eléctricas, neutro y tierra deben mantenerse entre el rango permitido por los equipos Corinex que van entre 100 V y 240 V.

Para implementar un sistema de VoIP basado en Asterisk se recomienda utilizar el códec de compresión G.711u y G.711a en ese orden, porque brindan una tasa de compresión menor con respecto a otros códecs, optimizan el canal de comunicación utilizado y son de licencia libre GPL (General Public License).

La configuración de los softphones para el usuario final representa el producto final de la red implementada, es por eso que es importante conocer las direcciones IP, puertos de comunicación, gateway predeterminado, usuarios y contraseñas del servidor y de la extensión telefónica virtual asignada.

REFERENCIAS

[1] G.R. Hiertz, D.D, Philips, “The IEEE 802.11 Universe”, IEEE Comunications Magazine, January 2010, Vol 48, No. 1.

[2] L.Camacho, R.Quispe, C.Córdova, L. Liñán, D.Chávez, “WiLD- Wi-Fi Based Long Distance”, Grupo de Telecomunicaciones Rurales Pontificia Universidad Católica del Perú, Agosto 2009, Primera Edición.

[3] LUDEÑA, Patricia. Redes Inalámbricas 802.11 MAC. [diapositiva]. Loja, 2009. 32 diapositivas.

[4] Wireless Comunication Standards: A Study of IEEE 802.11, 802.15, and 802.16, IEEE Press, Estados Unidos, 2004.

[5] G. Bumiller, L. Lampe and H. Hrasnica, “Power Line Communication Network for Large-Scale Control and Automation Systems”, IEEE Comm. Mag. Vol. 48, No. 4, April 2010.

[6] Yu-Ju Lin, H. Latchman y M. Lee, “A Power Line Communication Network Infraestructure for The Smart Home”, University of Florida and Intellon Corporation, Electrical and Computer Engineering Department.

[7] CONDE DEL OSO, Luis Enrique. “La Nueva Generación de las Power Line Communications en el servicio Triple Play”. Ponencia PLC, Universidad Nacional de Chimborazo, Noviembre 28, 2008.

[8] TONGIA, Raul. Can broadband over powerline carrier (PLC) compete? A techno-economic analysis. Telecomunications Policy. Volumen 28, Issues 7-8, Agosto-Septiembre 2004, págs. 559-578.

[9] M. Tokuda, S. Hosoya, T. Yamagata y T. Mastuo, “Influence of Branching a Power Line on PHY for PLC System using OFDM”, Department of Information Network Engineering, Tokyo City University.

[10] H. Hrasnica y R. Lehnert, “Powerline Communications for Access Networks – Performance Study of the MAC Layer”, Chair for Telecommunications, Dresden University of Technology.

[11] Intellon White Papers: *Intellon High Speed Power Line Communications.* July 1999, Intellon Corporation Florida.

[12] Hrasnica H., Haidine A., Lehnert R., *Reservation MAC Protocols for Powerline Communications,* Chair for Telecommunications, Dresden University of Technology, Germany.

[13] Hrasnica H., Haidine A., *Modeling MAC Layer for Powerline Communications Networks,* Chair for Telecommunications, Dresden University of Technology, Germany.

[14] Haykin S. *Sistemas de Comunicación.* México: Limusa Wiley, 2006. 626 -628 p.

[15] Guanota Diego, Diseño de una red inalámbrica de voz y datos utilizando tecnología Wimax para interconectar las dependencias de petroproducción con el bloque 15 en el distrito Quito, Agosto 2007, pag 81.

[16] Asterisk Hacking. B. Jackson, Ch. Clark III, L. Chaffin y J. Long.
www.syngres.com

[17] FREEMAN Roger L., *Telecommunication System Engineering, Fourth Edition.* Willey-Interscience 2004, pags 495 – 496.

[18] SULKIN Allan, *PBX Systems for IP Telephony, Migrating Enterprise Communications.* McGraw-Hill TELECOM, pag 176 – 177.

[19] J.V Meggelen, L Madsen, J Smith, Asterisk: The Future of Telephony, Second Edition. O'REILLY, pág 194.

[20] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T. SERIE P: CALIDAD DE TRANSMISIÓN TELEFÓNICA: Métodos de evaluación objetiva y subjetiva de la calidad. Recomendación UIT-T P.800, pag 13.

[21] Digium Corporation. Mark Spencer. http://www.asterisk.org/hardware

[22] Samuel Á. Jaramillo, "Diagnóstico para Desempeño Eficiente de los Sistemas de Comunicaciones sobre Redes Eléctricas", Tendencias, edición 3, ISSN 1390-3608, pp, 14 – 23, Junio 2009.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACK: Acknowledgment

AP: Access Point

ATA: Analog Telephone Adapter

BPL: Broadband over Powerline

BPSK: Binary Phase Shift Keying

BSS: Basic Service Set

CCA: Clear Channe Assessment

CPE: Customer Premises Equipment

CSMA/CA: Carrier Sense Multiplexion Access/ Collition Avoid

CSMA/CD: Carrier Sense Multiplexion Access/ Collition Detector

CW: Content Window

DADHI: Digium Asterisk Hardware Device Interface

DCF: Distribution Coordination Function

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

DIFS: DCF IFS

DS: Disribution System

DSL: Digital Subscriber Line

DSSS: Direct Secuence Spread Spectrum

EIFS: Extended BSS

FDD: Frequency Division Duplex

FHSS: Frecuency Hoping Spread Spectrum

FXO: Foreign Exchange Office

FXS: Foreign Exchange Station

GNU: GNU es un acrónimo recursivo que significa GNU No es Unix. En pronunciación inglesa gnu se escucha como “new” o nuevo.

GPL: General Public License

HE: Head End

HFCPN: High Frequency Conditioned Power Network

HR/DSSS: High Rate Direct-Secuence Spread Spectrum

HTTP: Hipertext Transfer Protocol

IBSS: Independent Basic Service Set

IEEE: Institute of Electric and Electronic Engineering

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform

IFS: Inter Frame Spacing

IGMP: Internet Group Management Protocol

ISDN: Integrated Services Digital Network

ISM: Industry, Scientific, Medical

ITU-T: International Telecommunication Union - Telecom

IVR: Interactive Voice Response (Respuesta de voz interactiva)

LAN: Local Area Network

MAC: Medium Access Control

Mbps: Megabits por segundo

MIMO: Multiple Input/Multiple Output

NAT: Network Address Translation

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex

PBX: Private Branch Exchange

PHY: Capa Física

PIFS: PCF IFS

PLC: Power Line Communications

PLCP: Physical Layer Convergence Procedure

PMD: Physical Medium Dependent

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QoS: Quality of Service

SFN: Single-Frequency Network

SIFS: Short IFS

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol

SPA: Shared Port Adapters (Adaptores de puertos compartidos

SSID: Set Service Identifier

STA: Station

TDD: Time Division Duplex

UDP: User Datagram Protocol

USB: Universal Serial Bus

VoIP: Voice over IP

WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance

WEP: Wired Equivalent Privacy

WG: Working Group

Wi-Fi: Wireless Fidelity

WIMAX: World Wide Interoperability for Microwave Access

WLAN: Wireless Local Area Network

ANEXO 1

MANUAL DE USUARIO DE EQUIPOS CORINEX AV200 POWERLINE ETHERNET ADAPTER.

I. INFORMACIÓN GENERAL

El equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter es un equipo que utiliza el cableado eléctrico para transmitir señales digitales (voz, video y datos) capaz de crear redes de comunicación LAN con una velocidad de transmisión hasta 200 Mbps.

Este equipo incorpora el chip DS2, líder español en la normalización y diseño de chips con un máximo de 64 direcciones MAC conectados entre sí, aunque también los equipos de Corinex poseen un algoritmo propietario que permite remover el límite máximo de usuarios y da acceso a un número ilimitado de nodos virtuales añadidos a la red eléctrica.

Los motivos de utilizar el Chip DSS9001 en la mayoría de equipos Corinex es su versatilidad y economía, pues permite que un equipos CPE pueda ser convertido en cualquier elemento de red (Head End, Repetidor o CPE de usuario) con una simple configuración de software, con el objetivo de minimizar la latencia de la red BPL.

II. INSTALACIONES PREVIAS

- **Descripción del equipo**

El equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter posee las siguientes partes:

Parte Frontal

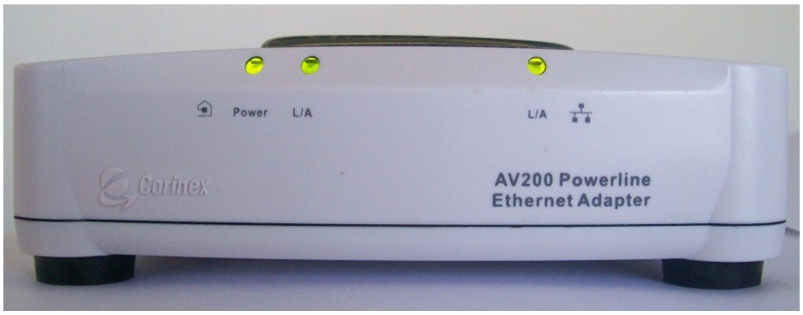


Fig. A.1 Parte frontal equipo Corinex AV200

Descripción de LEDs de izquierda a derecha:

Tabla A.1 descripción parte frontal equipo Corinex AV200

1. Encendido	Verde	On: Encendido
		Off: Apagado
2. PLC	Verde	On: Powerline activity
		Off: No hay actividad Powerline
		Intermitente: Transmitiendo/Recibiendo datos
3. Ethernet	Verde	On: Enlace a LAN
		Off: No hay enlace a LAN
		Intermitente: Transmitiendo/Recibiendo datos

Parte Posterior

Fig. A.2 Parte posterior equipo Corinex AV200

Descripción de puertos de izquierda a derecha:

- LAN: Puerto Ethernet RJ-45 LAN 10/100
- Cable eléctrico: Alimentación de poder y conector Powerline.

- **Detalles técnicos**

El equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter posee las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla A.2 Características técnicas del equipo Corinez AV200

Estándar	IEEE 802.3u
Velocidad	200 Mbps en capa física (PHY)
AC enchufe de corriente	USA, EU, UK y Australia
LED Señal de luz	Power, Enlace/Actividad PLC, Enlace Ethernet
Interface	10/100 BaseT Fast Ethernet, Powerline
Rango de frecuencia	2 – 34 MHz
Entrada de poder	85 a 265 VAC, 50/60 Hz
Dimensiones	148 mm Largo x 106 mm Ancho x 47 mm Altura
Densidad espectral de la energía transmitida	-56 dBm/Hz
Consumo de energía	5W
Seguridad y EMI	UL/EN 60950, FCC Part 15, Límites EN 55022 EMC

- **Otros equipos Corinex BPL**

La empresa Corinex posee una amplia gama de equipos para trabajar en baja y en media tensión, incluyendo en su hardware los chips elaborados por la empresa DS2, de manera que su configuración y los comandos que se usan son similares en todos los tipos de equipos y módems. A continuación se detallan algunos equipos Corinex con sus principales especificaciones técnicas.

Tabla A.3 Principales características de equipos Corinex para media y baja tensión

Equipos	Imagen	Mac Addresses	Powerline Ports	Backbone Speed	Rango de Frecuencia	Densidad Espectral de la energía transmitida	Consumo de energía	Alcance
Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter				Hasta 200 Mbps en capa PHY y 10/100 Mbps en Ethernet	2 – 34 MHz	-56dBm/Hz	5 W	
Corinex High Density Gateway & Corinex Low Voltage Gateway		LV = 64 HD = 1024	LV = 32 HD = 64		2 – 34 MHz	-50 dBm/Hz	7W	300 metros (Powerline) 1200 metros (coaxial)
Corinex AV200 MDU Gateway					2 – 34 MHz			
AV200 Powerline 84thernet Wall Mount F					2 – 34 MHz	-58 dBm/Hz	5 W	
AV200 Powerline ethernet Wall Mount		64			2 – 34 MHz	-58 dBm/Hz	4 W	300 metros
Corinex Medium Voltage Access Gateways		2048		Hasta 200 Mbps (TDD) Hasta 85 Mbps (FDD)	2 – 34 MHz	-50 dBm/Hz	35 W	

III. Conexiones básicas

- Conecte el equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter al enchufe eléctrico.
- Usando un cable de red directo, conecte su computador al puerto de red que posee el equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter.
- Verifique que los leds de la parte frontal estén encendidos.

IV. Instalación previa de software

Los equipos Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter necesitan de dos programas para asignar una dirección IP y su posterior administración y configuración. Se requiere descargar dos herramientas, la primera permitirá asignar una dirección IP al equipo Corinex AV200 y la segunda permitirá acceder al equipo para su administración y configuración.

a) HaneWin DHCP/TFTP Server: este software es un servidor DHCP/BOOTP basado en la recomendación RFC 2131. Esta herramienta asigna direcciones IP de manera dinámica a través de perfiles predefinidos y direcciones IP estáticas cuando se incluye la dirección MAC del equipo AV200. La configuración de fábrica de los equipos AV200 detectan automáticamente cuando un servidor se encuentra en red, es decir solicitan al servidor DHCP se le asigne una dirección IP válida. Este software no es gratuito pero tiene un periodo de prueba de 30 dias. Disponible en http://www.hanewin.net/

Fig. A.3 Logo del Servidor HaneWin DHCP Server

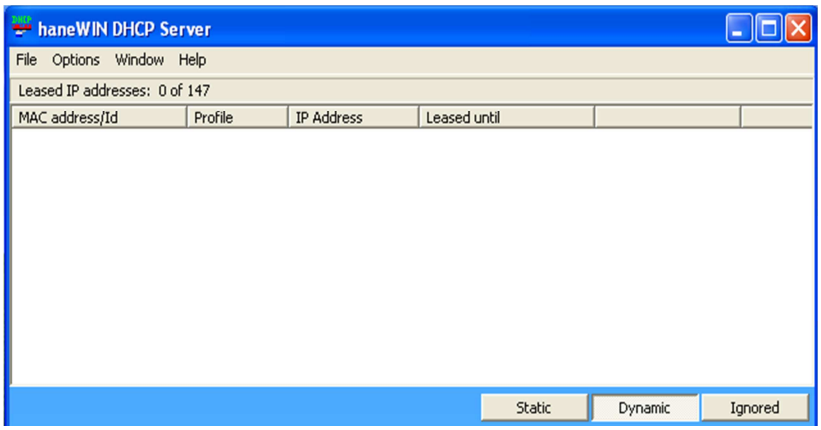


Fig. A.4 Interfaz del servidor HaneWin DHCP Server

Este programa es un software exclusivo para Microsoft Windows, pero no es la única solución. Se puede realizar un servidor DHCP con iguales características en entorno GNU/Linux, pero se necesita conocimientos más avanzados en programación y manejo de scripts.

El servidor HaneWin DHCP presenta un entorno más amigable, con herramientas fáciles de usar, y sólo se necesitan instrucciones básicas para su correcto funcionamiento.

b) PuTTY: este software es un cliente SSH, Telnet, Rlogin, Serial y TCP Raw, que permite acceder de manera remota a la administración y configuración de los equipos AV200 para su entera administración.

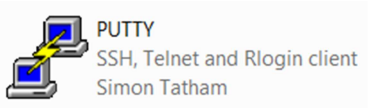


Fig. A.5 Logo del Cliente Putty

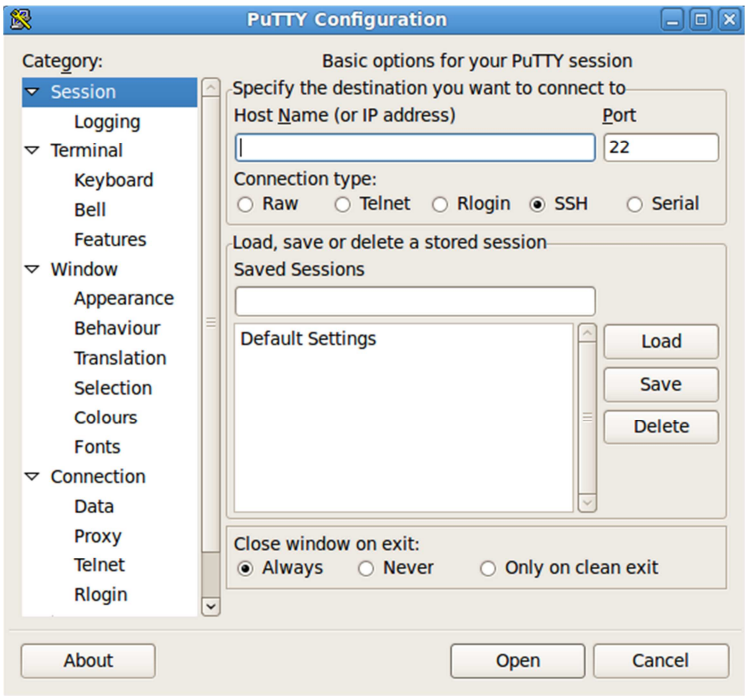


Fig. A.6 Interfaz del programa PuTTY

V. Configuraciones previas

Se configura el servidor Hanewin DHCP/BOOTP modificando algunos parámetros de la siguiente manera

a) Para que el servidor Hanewin DHCP/BOOTP funcione correctamente, es necesario que el Firewall del sistema esté desactivado, y de ser el caso, si el equipo posee un antivirus también debe estar desactivado durante el tiempo de asignación de IP al equipo Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter.

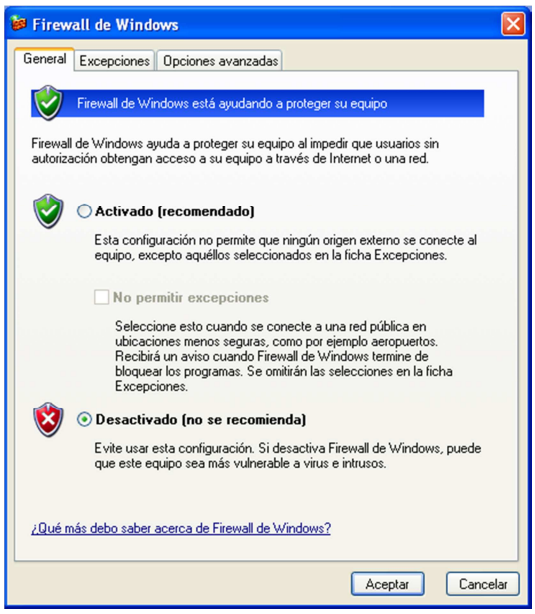


Fig. A.7 Configuración Firewall de Windows

b) En primer lugar se debe ubicar una IP estática en la máquina en donde se instaló los dos programas anteriormente mencionados. En este caso, hemos escogido un direccionamiento privado dentro de la red 192.168.3.0, por lo que la dirección IP a ubicar es la primera utilizable: 192.168.3.1

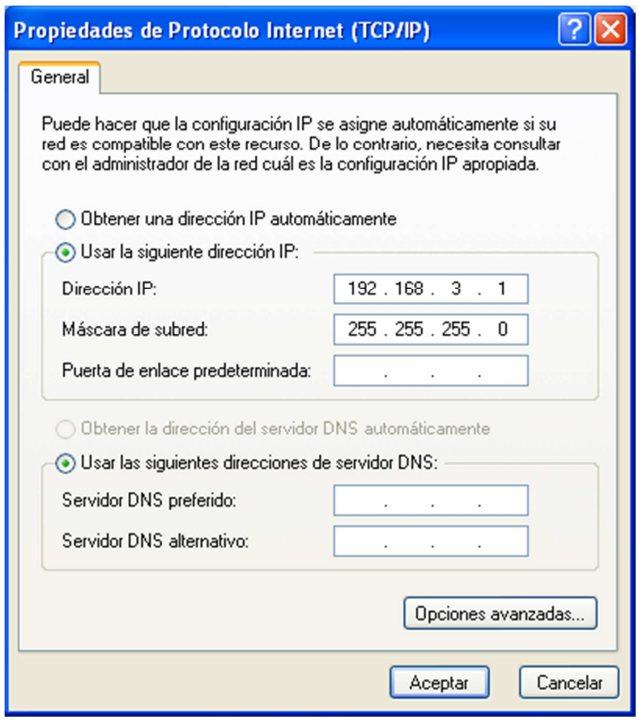


Fig. A.8 Configuración de IP estática del equipo que se convertirá en servidor DHCP

c) Se abre el programa haneWIN DHCP Server con permisos de administrador. En la pestaña OPTIONS, dirigirse a MANAGER PROFILE, y se crea un perfil para nuestra configuración. En este caso se ubica el perfil BPL en la opción ADD.

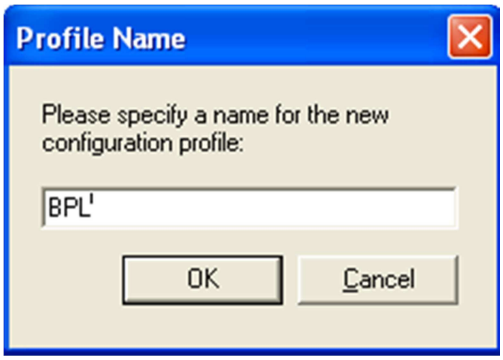


Fig. A.9 Profile Name de la configuración BPL

d) En la pestaña BASIC PROFILE se configura de la siguiente manera (los datos se colocan de acuerdo a la IP estática ubicada en la máquina de administración y al rango dinámico que se necesite poseer):

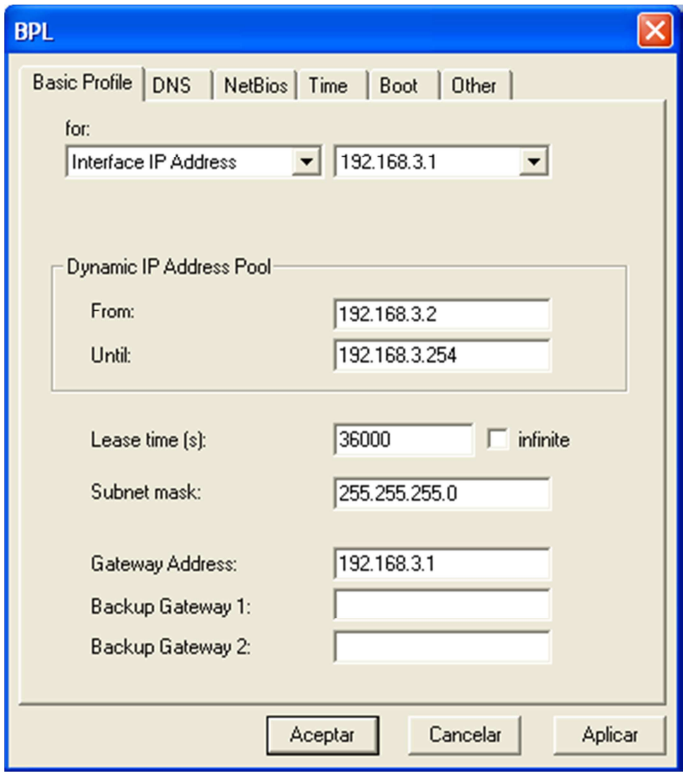


Fig. A.10 Configuración principal del servidor DHCP

e) En la pestaña BOOT se coloca los siguientes datos:

Next Server IP Address: 192.168.3.1

Name: 192.168.3.1

Activar: Always use option 66/67 for Name and File (not standard)

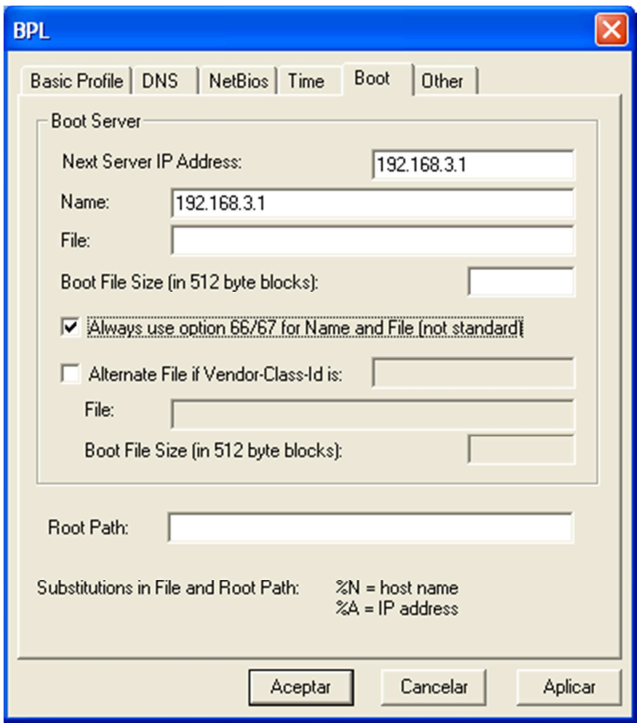


Fig. A.11 Condiciones de solicitud para el servicio DHCP

f) En la pestaña OTHER se coloca los siguientes datos:

Option: 120 SIP Servers

Values: 0 0 0 0

Activar: Binary

Se da clic en ADD y ACEPTAR.

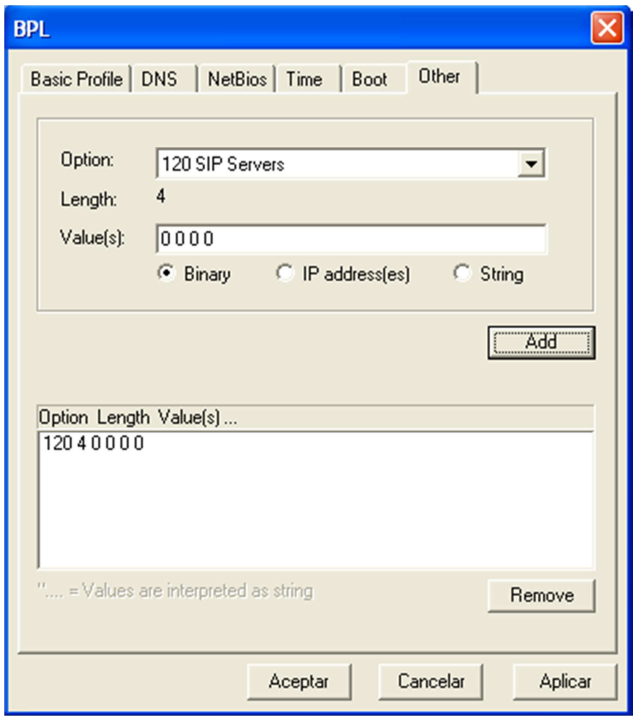


Fig. A.12 Configuración de otros parámetros en el servidor DHCP

g) De esta manera obtenemos los parámetros necesarios para asignar la dirección IP al modem Corinex AV200. El resultado se presentará de la siguiente manera:

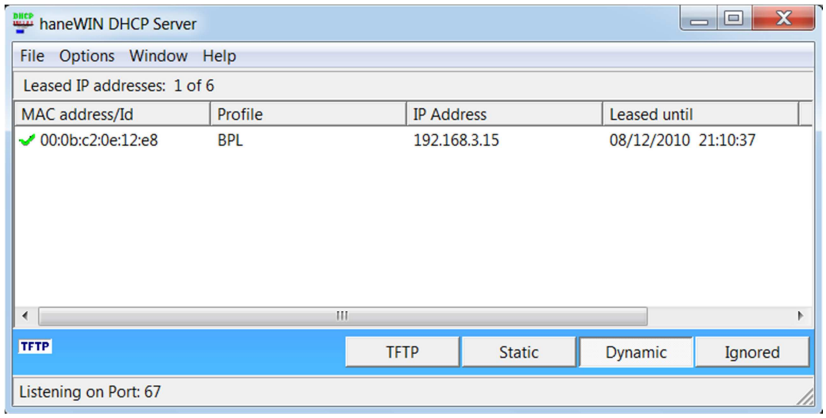


Fig. A.23 Resultado satisfactorio de la asignación de IP al modem Corinex AV200

Nota: Para que todo este proceso se realice con éxito, el modem Corinex AV200 debe estar con las configuraciones de fábrica o por otro lado, debe estar

configurado con la opción de DHCP habilitada tal como se muestra en la sección c de la interfaz de línea de comandos.

VI. CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO CORINEX AV200

El equipo Corinex AV200 posee dos maneras para configurarlo: interfaz gráfica e interfaz en línea de comandos.[26]

a) Interfaz Gráfica: Esta interfaz presenta las configuraciones más importantes del equipo Corinex y se puede acceder a través de un entorno web, ubicando la dirección IP del equipo, por ejemplo 192.168.3.15 en la barra de direcciones, es decir el URL debe ser http://192.168.3.15.

En las ilustraciones se observa dos partes importantes, la primera nos permite ingresar a la configuración web del equipo ubicando la palabra **PATERNA** en el área de autenticación, en cambio la segunda nos permite resetear el equipo Corinex a la configuración de fábrica con la contraseña **BETERA.**

Fig. A.14 Modo de configuración gráfica a través del entorno web

Se puede modificar algunos de los principales parámetros del equipo Corinex AV200 tal como se muestran en las siguientes ilustraciones:

[26] Esta misma configuración puede ser usada en cualquier equipo Corinex de baja y alta tensión.

Fig. A.15 Parámetros de configuración en el entorno web (Primera parte)

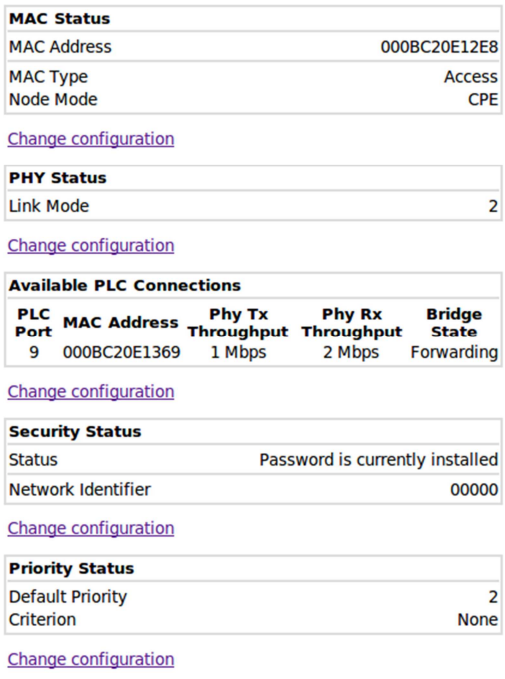


Fig. A.16 Parámetros de configuración en el entorno web. (Segunda parte)

b) Cliente PuTTY: Se deben cambiar algunos parámetros del programa PuTTY para realizar la conexión remota (Telnet) con los equipos AV200.

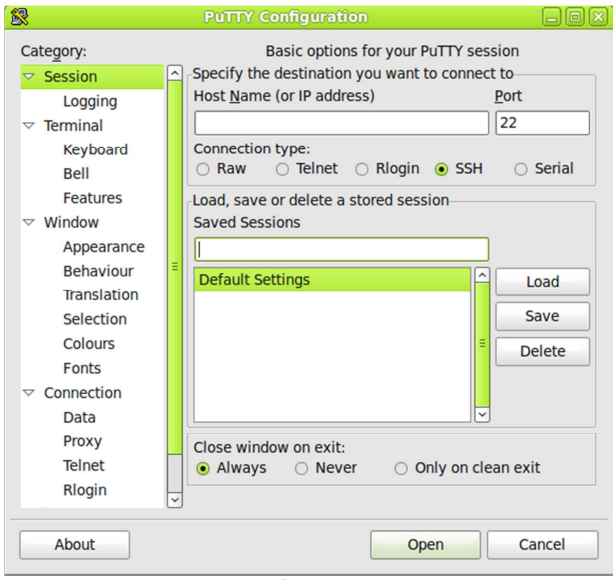


Fig. A.16 Interfaz gráfica del programa Putty

- **Session**
  a) ***Host Name (or IP address):*** Se ubica la dirección IP que el servidor Hanewin entregó al equipo AV200
  b) ***Port:*** 40000
  c) ***Connection type:*** Telnet
  d) ***Saved Session:*** Se ubica un nombre para identificar la configuración, ejemplo: AV200.
  e) ***Save:*** Guardamos la configuración.
- **Terminal**
  - ***Implicit CR in every LF:*** Activar
  - ***Local line editing:*** Force on
- **Keyboard**
  - ***The function keys and keypad:*** Activar Linux
- **Telnet**
  - ***Telnet negotiation mode:*** Pulsar Active

Luego de realizar todas estas modificaciones se debe regresar a **Session,** se guarda con ***Save*** y se pulsa **OPEN** para acceder al equipo.

Fig. A.17 Pantalla de bienvenida del equipo Corinex AV200

– Cuando se desea volver a conectarse con los equipos, solo hay que ir a **Saved Sessions** y se selecciona la configuración guardada **AV200,** se pulsa **LOAD y s**e ingresa con **OPEN.**

c) Interfaz línea de comandos: A través de la línea de comandos, se puede configurar parámetros más detallados que en la interfaz gráfica, obteniendo resultados que mejoran el funcionamiento de los equipos y del sistema. Se accede a través del cliente PuTTY tal como se muestra en la sección b.

- **Comandos de acceso:** El modo de consola posee algunos comandos muy parecidos a los empleados en Linux por ejemplo:
  - **ls:** permitirá desglosar todos los comandos que se encuentran en el menú o en el submenú de cada comando.
  - **Alias:** los comandos pueden ser escritos de manera completa o de manera abreviada. Todos los comandos a su lado derecho poseen su alias para ser llamados directamente. Por ejemplo si se desea conocer la información de la autoconfiguración se puede escribir **auto** y luego ingresar al submenú **info** o simplemente escribir **a i**.
  - **Niveles:** Cada vez que se ingrese en un submenú y se desee retornar al nivel anterior se deberá escribir dos puntos seguidos, de esta manera: **. .**
- **Modos de acceso:** Se puede acceder a la configuración como administrador o usuario. El modo “usuario” no requiere clave, y el administrador ubica los siguientes comandos:

KO
#user@/>mode admin
Password: maxibon

Como resultado tendremos todos los privilegios del equipo:

```
#admin@/>
```

Algunos comandos emitirán salidas en la pantalla. Para que el programador conozca si su comando o su operación se realizó con éxito, el equipo emitirá un “OK”, caso contrario emitirá un “KO”.

- **Reseteo el equipo:** Muchos de los comandos o de las configuraciones para que surjan efecto necesitan que el equipo Corinex AV200 se resetee, para esto colocamos en la línea de comandos:
  - **Reset normal:** `#admin@/>hw rst`
  - **Reset configuración de fábrica:** `#admin@/> hw frst`
- **Información del equipo:** Para obtener la información básica del equipo basta con colocar la letra “i” en la línea de comandos.

```
OK
#admin@/>i
Slave Access
MAC: 00:0B:C2:0E:12:E8
IP:  192.168.3.15
SYNC:  DONE                              MODE: 2
AGC RX:  enabled RXG = 0
AGC TX:  enabled TXG = 1
ACCESS PROTOCOL:   DONE
AUTOCONFIGURATION: DONE
AVAILABLE CONNECTIONS:
-------------------------------------------------------------
 EXTA:    100 Mbps        Forwarding
-------------------------------------------------------------
         MAC             PHY TX XPUT    PHY RX XPUT   BR STATE
-------------------------------------------------------------
 9.  00:0B:C2:0E:13:69          64  Mbps                12  Mbps
Forwarding (M)
Number of boots: 55
```

Este comando brinda información importante sobre el funcionamiento y la configuración básica del equipo AV200. Dentro de la configuración de red sabemos

que está actuando como un dispositivo ***Slave (esclavo)*** cuya **MAC** es **00:0B:C2:0E:12:E8** y su **IP** es **192.168.3.15.**

En el área de modo de transmisión observamos que está comunicándose en **MODO: 2** es decir en la frecuencia de 13.5 Mhz a 23.5 Mhz y están habilitados los controles de ganancia para transmisión (**AGC TX: enable TXG=1**) y para recepción **(AGC RX: enable RXG=0).**

En el área de conexiones válidas podemos identificar que el equipo se encuentra conectado con un equipo Master (**Forwarding (M)**) su MAC es **00:0B:C2:0E:13:69**, y cuyos enganches en transmisión son de 64 Mbpc (Megabits por portadora) y de recepción de 12 Mbpc. Según recomendaciones de empresas que trabajan con estos equipos como por ejemplo Telconet S.A. se recomienda un enganche mayor a 10 Mbpc.

- **Modos de configuración:** El equipo Corinex AV200 posee la cualidad de configurarse en tres modos distintos, master, esclavo o repetidor según la topología la red que se desee emplear. Para realizar los cambios hay que escribir los siguientes comandos:
  - **Master:** `#admin@/> m c n m`
  - **Esclavo:** `#admin@/> m c n s`
  - **Repetidor:** `#admin@/> m c n r`
- **Canales de transmisión:** Los equipos Corinex AV200 poseen algunos canales de transmisión en donde pueden trabajar, con la finalidad de evitar interferencias o brindar mayor velocidad en la capa física. Entre los canales (modos) se detallan en la siguiente tabla.

Tabla A.4 Canales de transmisión de equipos Corinex AV200

Modos	Frecuencia Central	Ancho de Banda	Ancho de banda del canal	Densidad de Potencia Espectral	Velocidad máxima PHY
Modo 1	7.968.750 Hz	10 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	84 Mbps
Modo 2	18.437.500 Hz	10 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	84 Mbps
Modo 3	29.062.500 Hz	10 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	84 Mbps

Modo 4	12.968.750 Hz	20 MHz	20 MHz	-72 dBm/Hz	150 Mbps
Modo 5	24.062.500 Hz	20 MHz	20 MHz	-72 dBm/Hz	150 Mbps
Modo 6	19.062.500 Hz	30 MHz	30 MHz	-77 dBm/Hz	205 Mbps
Modo 7	7.031.250 Hz	5 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	42 Mbps
Modo 8	12.812.500 Hz	5 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	42 Mbps
Modo 9	No valido				
Modo 10	7.031.250 Hz	10 MHz	10 MHz	-72 dBm/Hz	84 Mbps
Modo 11	21.875.000 Hz	30 MHz	30 MHz	-72 dBm/Hz	180 Mbps
Modo 12	17.812.500 Hz	20 MHz	20 MHz	-72 dBm/Hz	150 Mbps
Modo 13	17.031250 Hz	30 MHz	30 MHz	-77 dBm/Hz	231 Mbps
Modo 14	23.281.250 Hz	20 MHz	20 MHz	-72 dBm/Hz	150 Mbps

Los siguientes códigos permitirán adquirir o cambiar los canales de transmisión, y para que los cambios surjan efecto se deberá modificar en los dos o más equipos que se comunicarán en dichas frecuencias.

- **Cambiar el canal:** `#admin@/> s m w #` (# número del canal que trabajará el equipo)
- **Obtener información del canal:** `#admin@/> s m g #`

- **Boot Mode:** Los equipos Corinex AV200 poseen dos opciones para recuperar su configuración inicial: de manera dinámica desde un servidor o estática a partir de su memoria interna.
  - **Modo Autoconfiguración:** Este modo solicita a un servidor cargar toda la configuración disponible para arrancar su sistema de inicio. Como mínimo solicita una dirección IP, una máscara de subred, y una dirección de puerta de enlace *(gateway).*
  - Para configurar que el equipo arranque en este modo se debe escribir:
    `#admin@/> ac bm AUTO`
  - Para verificarlo se debe escribir:
    `#admin@/> ac bm`

- **Modo NVRAM:** El modem posee una memoria no volátil que permite almacenar todas las modificaciones que se realicen en el proceso de configuración. Se deben establecer los mismos parámetros mínimos que en el modo de autoconfiguración pero de manera estática. Para configurar que el equipo arranque en modo NVRAM se debe escribir:
  `#admin@/> ac bm NVRAM`

  Para verificarlo se debe escribir:
  `#admin@/> ac bm`

  Para deshabilitar el modo DHCP y establecerlo con direcciones estáticas
  `#admin@/> ac dhcp disable`

Para establecer los parámetros de red de manera estática:

- **Dirección de red (**192.168.3.16 por ejemplo**):** `#admin@/> n ip ip 192 168 3 16`
- **Máscara de subred** (255.255.255.0)**:** `#admin@/> n ip nm 255 255 255 0`
- **Puerta de enlace** (192.168.3.1)**:** `#admin@/> n ip gw 192 168 1 1`

Luego guardamos los cambios en la NVRAM de esa manera:
`#admin@/> tm rpm w`

Para confirmar que los datos se han guardado, escribimos:
`#admin@/> n ipcfg`

El equipo debe reiniciarse para que los cambios surjan efecto.

- **Puertos de Comunicación:**

Los equipos Corinex AV200 poseen puertos de comunicación que permiten determinar las direcciones MAC de otros equipos y los puertos con los que se comunican. Para capturar las direcciones se utiliza el comando:

`#admin@/> b t t`

El modem emitirá una tabla con tres columnas: La primera columna es la dirección MAC, la segunda es el número del puerto, y la tercera columna, muestra el tiempo en que la dirección ha sido capturada. Según el fabricante, los números de los puertos corresponden a la ubicación del hardware de la siguiente manera:

Puerto 5: Puerto Ethernet
Puerto 7: Uso interno para el microprocesador
Puerto 9 – 127: Puertos lógicos PLC
Puerto 128: Puerto broadcast PLC
La respuesta al comando se presenta de la siguiente manera:

```
OK
#admin@/>b t t
BR BFT
  [FF:FF:FF:FF:FF:FF] 128 (0)
  [01:80:C2:00:00:0E] 07 (0)
  [01:13:9D:00:00:00] 07 (0)
  [01:80:C2:00:00:00] 07 (0)
  [00:0B:C2:0E:12:E8] 07 (0)
  [00:1B:24:D9:D2:52] 05 (2)
  [01:80:C2:00:00:0D] 07 (0)
  [00:0B:C2:0E:13:69] 09 (2)
```

Diseño de una red utilizando archivos de configuración a través del protocolo Trivial File Transfer Protocol (TFTP)

Los equipos AV200 Powerline Ethernet Adapter tienen la capacidad de cargar toda la configuración según los requerimientos especiales para una red, es decir, se puede crear un archivo en texto plano y cargarlo en un equipo AV200 Powerline a través del protocolo Trivial File Transfer Protocol (TFTP). La red que se va a implementar se muestra a continuación:

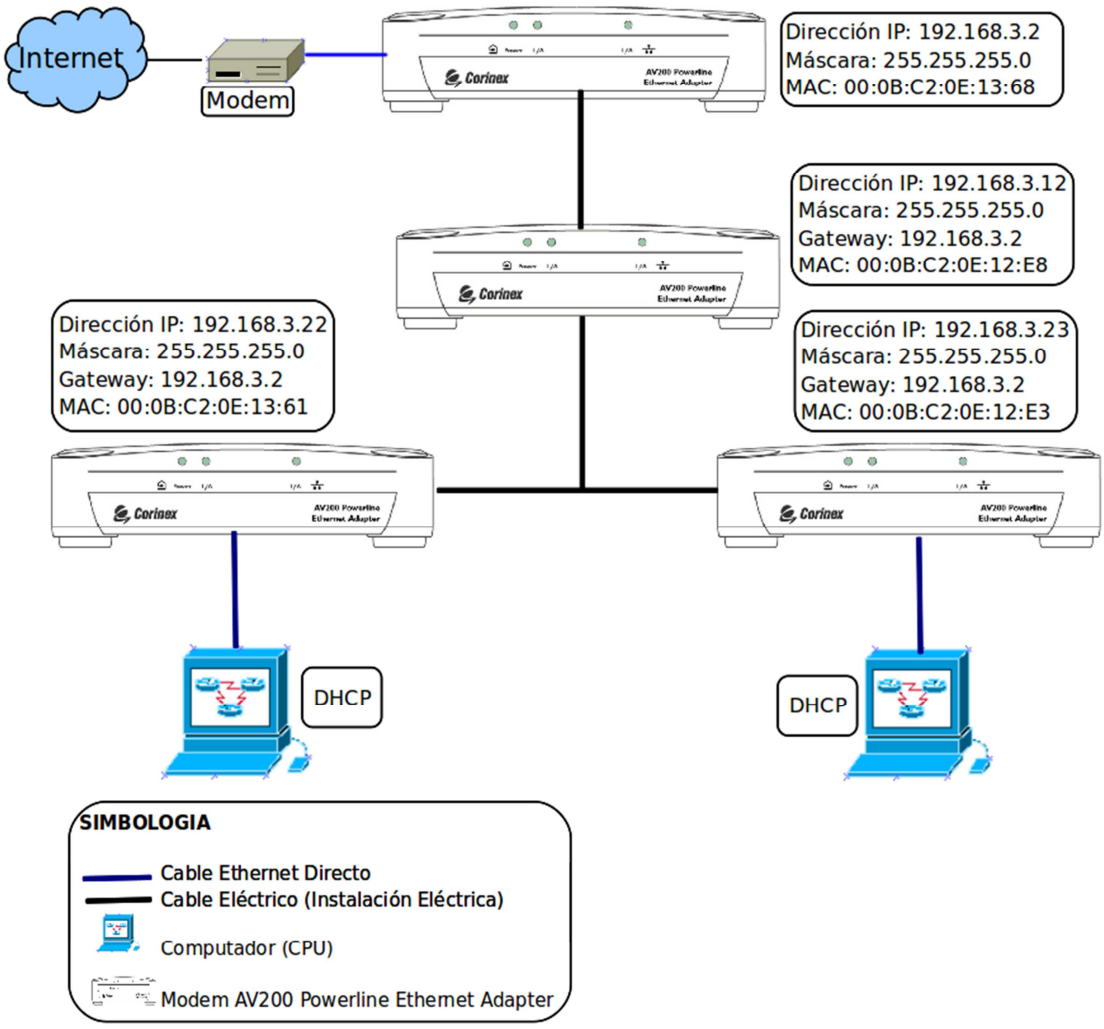


Fig. A.18 Topología de red BPL
Elaborado por: Los Autores

Primero se debe crear una carpeta con los archivos en texto plano de las configuraciones de máster, repetidor y slave (CPE). Esta carpeta puede ubicarse en cualquier lugar, por ejemplo Mis Documentos.

Fig. A.19 Carpeta general configuraciones

Dentro de esta carpeta, se debe crear un archivo en texto plano por cada configuración para el equipo AV200, es decir un archivo para master, repetidor y CPE. Se guardarán con los siguientes nombres: master.conf, repeter.conf y slave.conf respectivamente.

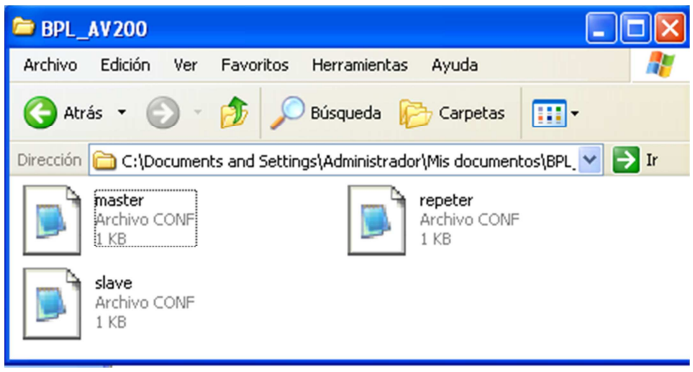


Fig. A.20 Archivos de configuración

Archivo MASTER

GENERAL_USE_AUTOCONF = NO
GENERAL_TYPE = HE
GENERAL_FW_TYPE = LV
GENERAL_IP_ADDRESS = 192.168.3.2
GENERAL_IP_NETMASK = 255.255.255.0
GENERAL_IP_GATEWAY = 192.168.3.1
GENERAL_IP_USE_DHCP = NO
GENERAL_STP = YES
GENERAL_COMMON_STP_EXTA = NO
GENERAL_COMMON_STP_EXTB = NO
GENERAL_AUTHENTICATION = NONE
GENERAL_SIGNAL_MODE = 2
GENERAL_SIGNAL_REG_POWER_MASK_ENABLE = NO
QOS_ENABLE = YES
QOS_BW_POLICY = 0
QOS_LATENCY_STEP = 60
OVLAN_ENABLE = YES
OVLAN_DATA_TAG = 4095
TRANSLATION_ROOTPATH_OVLAN = 77
PROFILE_MAX_TXPUT_TX.1 = 40096
PROFILE_MAX_TXPUT_RX.1 = 40096
PROFILE_PRIORITIES.1 = OXFF

Archivo REPETIDOR

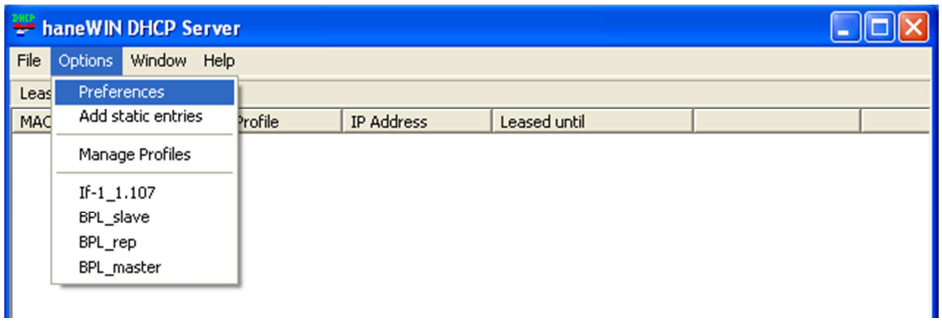
GENERAL_USE_AUTOCONF = NO
GENERAL_TYPE = TDREPEATER
GENERAL_FW_TYPE = LV
GENERAL_IP_ADDRESS = 192.168.3.22
GENERAL_IP_NETMASK = 255.255.255.0
GENERAL_IP_GATEWAY = 192.168.3.2
GENERAL_IP_USE_DHCP = NO
GENERAL_STP = YES
GENERAL_COMMON_STP_EXTA = NO
GENERAL_COMMON_STP_EXTB = NO
GENERAL_AUTHENTICATION = NONE
GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.2 = 2
GENERAL_SIGNAL_REG_POWER_MASK_ENABLE = NO
GENERAL_IFACE_ROOT = PL
QOS_ENABLE = YES
QOS_BW_POLICY = 0
QOS_LATENCY_STEP = 60
TRANSLATION_ROOTPATH_OVLAN = 77
OVLAN_ENABLE = NO
OVLAN_DATA_TAG = 77
PROFILE_MAX_TXPUT_TX.1 = 4096
PROFILE_MAX_TXPUT_RX.1 = 4096
PROFILE_PRIORITIES.1 = OXFF
AP_MIN_NUMBER_HOPS = 0
AP_CHECK_BEST_MASTER_ENABLE = YES

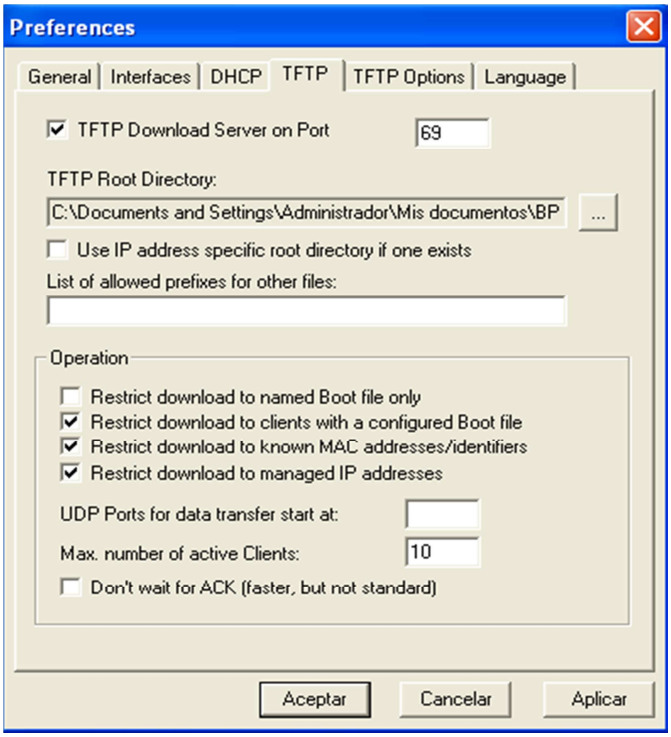
Archivo CPE

GENERAL_USE_AUTOCONF = NO
GENERAL_TYPE = CPE
GENERAL_FW_TYPE = EU
GENERAL_AUTHENTICATION = NONE
GENERAL_IP_ADDRESS = 192.168.3.24
GENERAL_IP_NETMASK = 255.255.255.0
GENERAL_IP_GATEWAY = 192.168.3.2
GENERAL_IP_USE_DHCP = NO
GENERAL_STP = YES
GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.2 = 2
GENERAL_SIGNAL_REG_POWER_MASK_ENABLE = NO
GENERAL_IFACE_ROOT = PL
QOS_ENABLE = YES
QOS_MAX_TXPUT_TX = 160
QOS_UPBWLIMIT =YES
QOS_LATENCY_STEP = 60
OVLAN_ENABLE = NO

OVLAN_DATA_TAG = 77
PROFILE_MAX_TXPUT_TX.1 = 4096
PROFILE_MAX_TXPUT_RX.1 = 4096
PROFILE_PRIORITIES.1 = OXFF
AP_MIN_NUMBER_HOPS = 1
GENERAL_RETRANS_MODE = FAST
TRANSLATION_ROOTPATH_OVLAN = 77

En el servidor DHCP, en la pestaña Options y luego Preferences activamos la casilla TFTP Download Server on Port 69. Además se debe cambiar el directorio raíz del servidor TFTP. Se da clic en el ícono ... para cambiar la ubicación de la carpeta con las configuraciones que creamos en el paso 1. Se detalla a continuación en la figura A.21





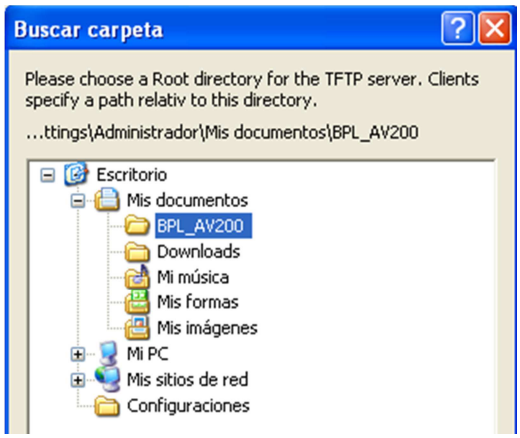


Fig. A.21 Pasos para activar y seleccionar archivos de configuración para el servidor TFTP

Se configura la tarjeta de red para obtener tres direcciones IP's de manera que cada dirección IP se convierta en la dirección del servidor TFTP para cada configuración (master, repetidor y CPE).

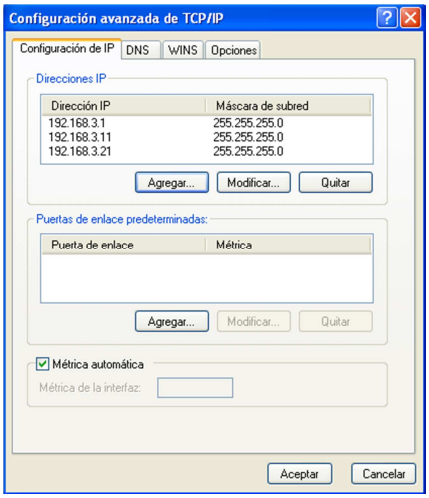


Fig. A.22 Asignación de direccionamiento IP estático en la tarjeta de red del computador

Creamos los perfiles para cada uno de las configuraciones del equipo AV200 Powerline Ethernet Adapter. Es decir, se debe crear un perfil para el equipo slave (CPE), repetidor y máster. Por ejemplo BPL_slave, BPL_rep, BPL_master respectivamente, tal cómo se muestra en la sección (ubicar sección de creación perfiles) con algunas modificaciones.

- En la sección BOOT se debe incluir en la sección ***File*** el nombre del archivo que se creó en el paso 2 y en la sección ***Root Path*** también se debe incluir el mismo nombre.

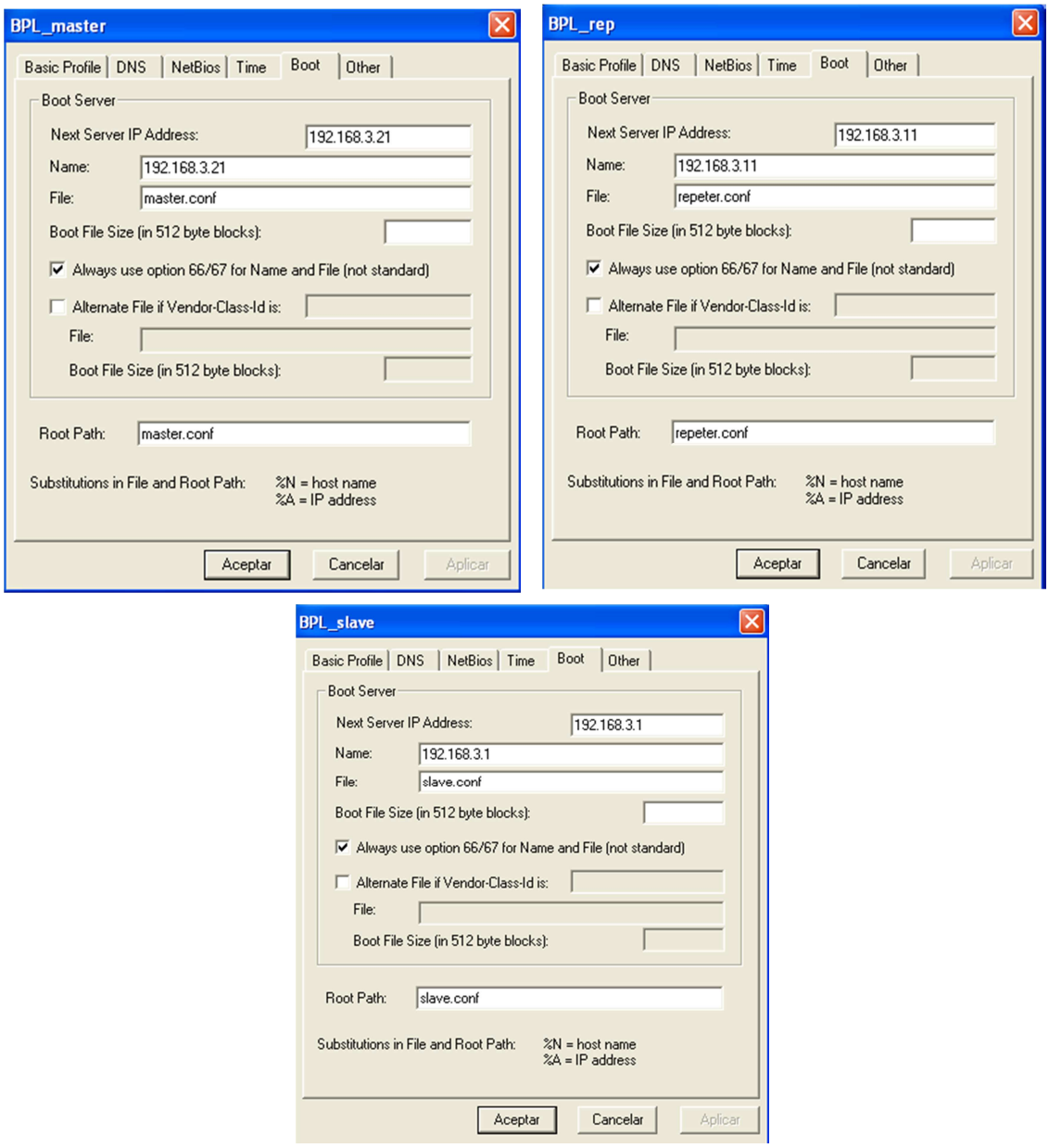


Fig. A.23 Activación servidor TFTP con archivo de configuración

- En la sección Other en el literal OPCION incluimos la extensión de cada uno de los archivos de configuración como se muestra a continuación.

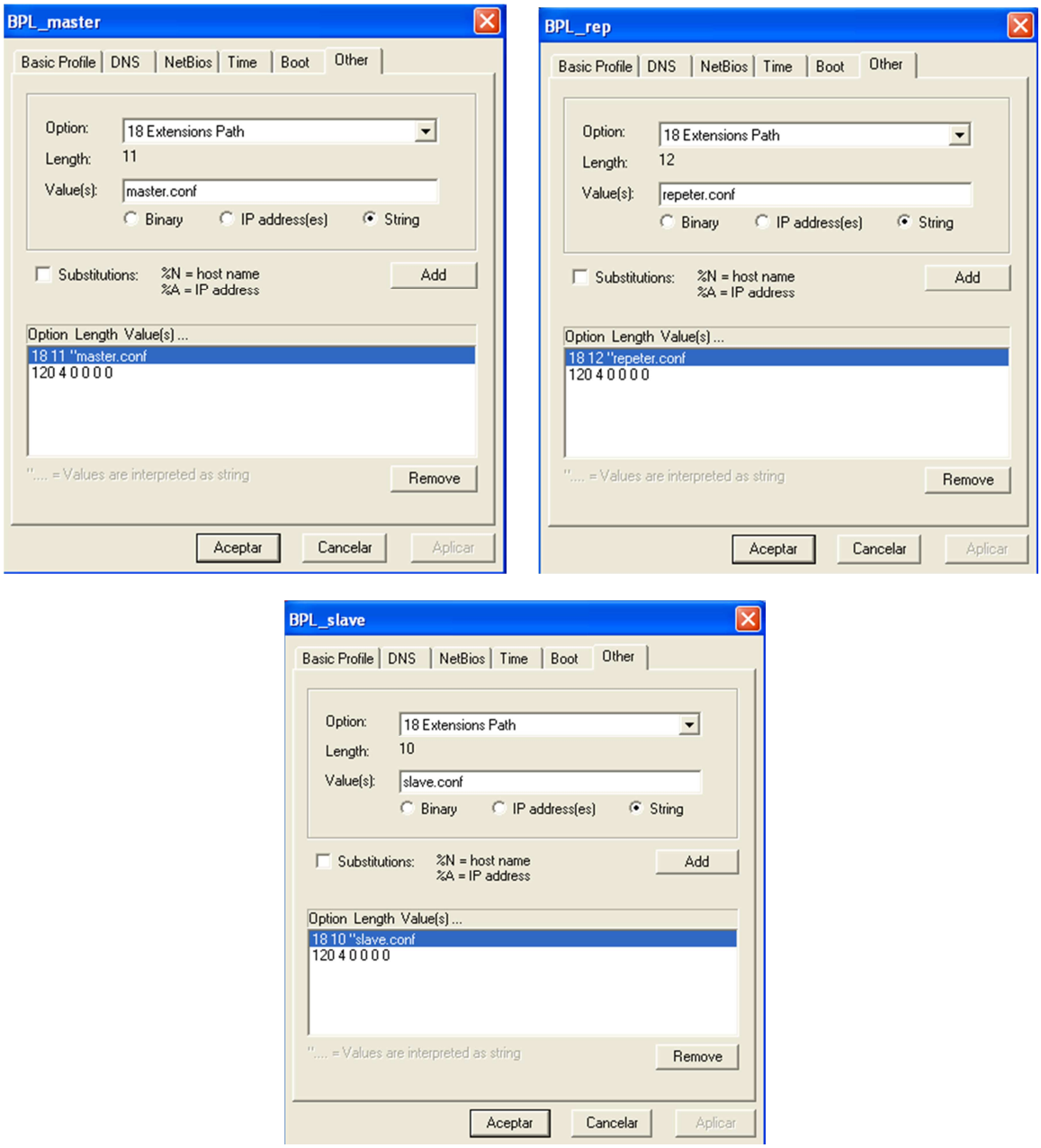


Fig. A.24 Asignación de la extensión de los archivos de configuración en el servidor TFTP

De acuerdo al esquema de red, se debe configurar a cada uno de los equipos con IP's estáticas, de manera que incluyan automáticamente la configuración realizada para funcionar de acuerdo a la topología propuesta.

En el servidor DHCP haneWIN, en la barra de herramientas se ingresa a ***Options*** y luego a ***Add Static entries.***

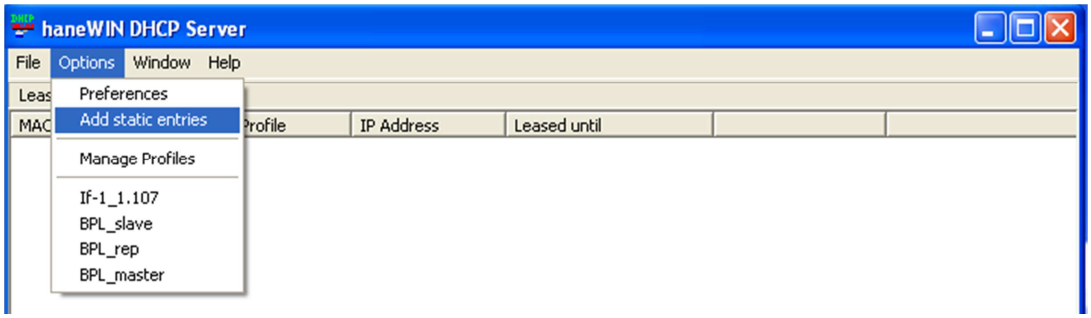


Fig. A.25 Asignación de direcciones IP estáticas según su dirección MAC

Aquí se incluyen todas las direcciones MAC de los equipos se van a formar parte de la red propuesta, incluyendo su archivo de configuración y su dirección IP.

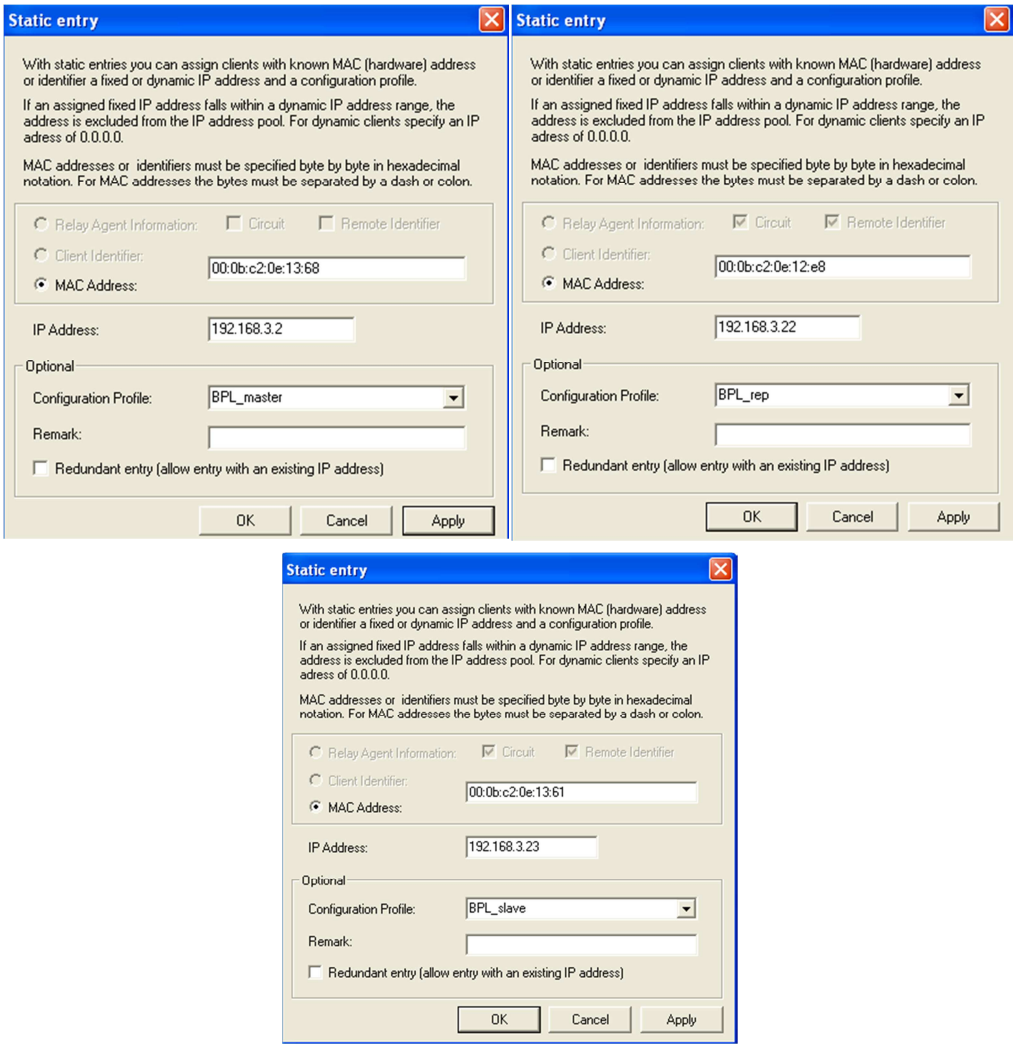


Fig. A.26 Entradas IP estáticas según su dirección MAC y archivo de configuración

Para realizar esta operación pueden presentarse dos escenarios:

– El equipo AV200 ya posee una configuración predeterminada y posee una IP anteriormente definida. Para este caso, sólo es necesario aplicar estos comandos en el equipo:

#admin@/> ac bm AUTO

#admin@/> hw rst

– El equipo AV200 no tiene configuración predeterminada y posee las atribuciones de fábrica. En este caso, sólo es necesario conectar cada equipo al computador para cargar su configuración.

– Los resultados se muestran a continuación para cada uno de los equipos.

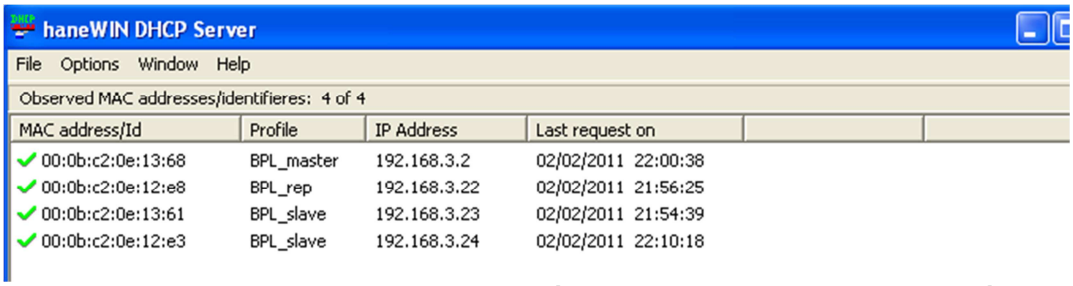


Fig. A.27 Resultados de la asignación del direccionamiento IP según la dirección MAC

Para comprobar si la configuración de cada equipo se ha cargado exitosamente, en la pestaña **TFTP** podemos verificarlo.

– **Equipo Master**

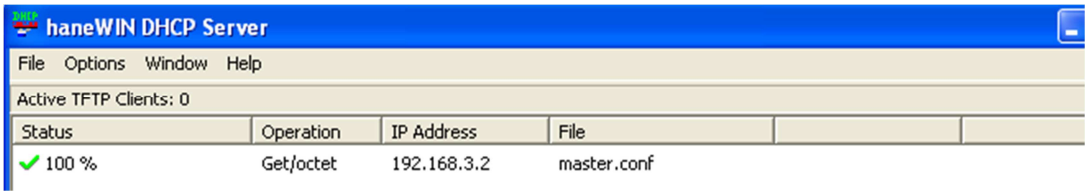


Fig. A.28 Comprobación de carga exitosa del equipo master

– **Equipo Repetidor**

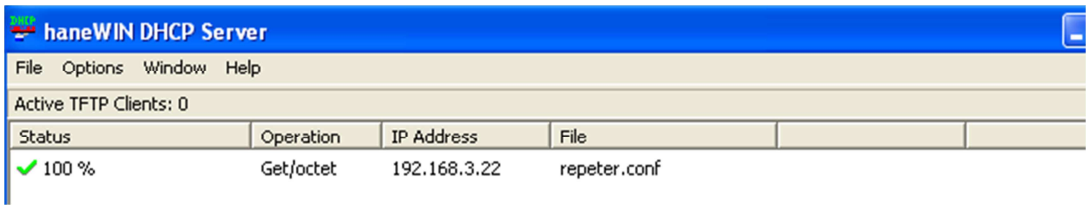


Fig. A.29 Verificación de carga exitosa del equipo repetidor

– **Equipos CPE's**

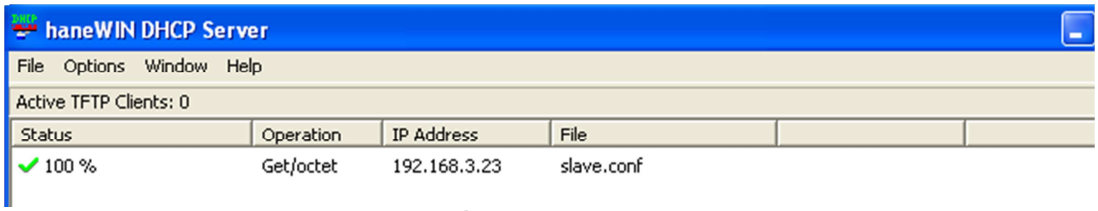


Fig. A.30 Comprobación de carga exitosa del equipo CPE

Por último para comprobar las conexiones entre Master, Repetidor y CPE's es necesario ingresar a cada uno de los equipos y observar su tabla de información para conocer los dispositivos conectados. Los resultados se muestran a continuación:

– **Equipo Master**

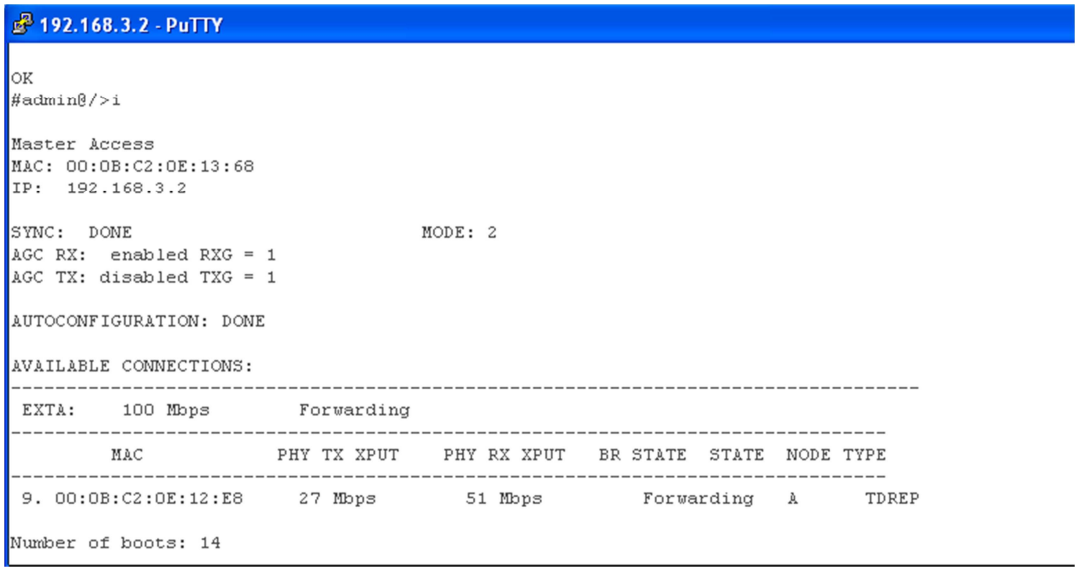


Fig. A.31 Interfaz gráfica de acceso mediante el cliente ssh Putty al equipo master

- **Equipo Repetidor**

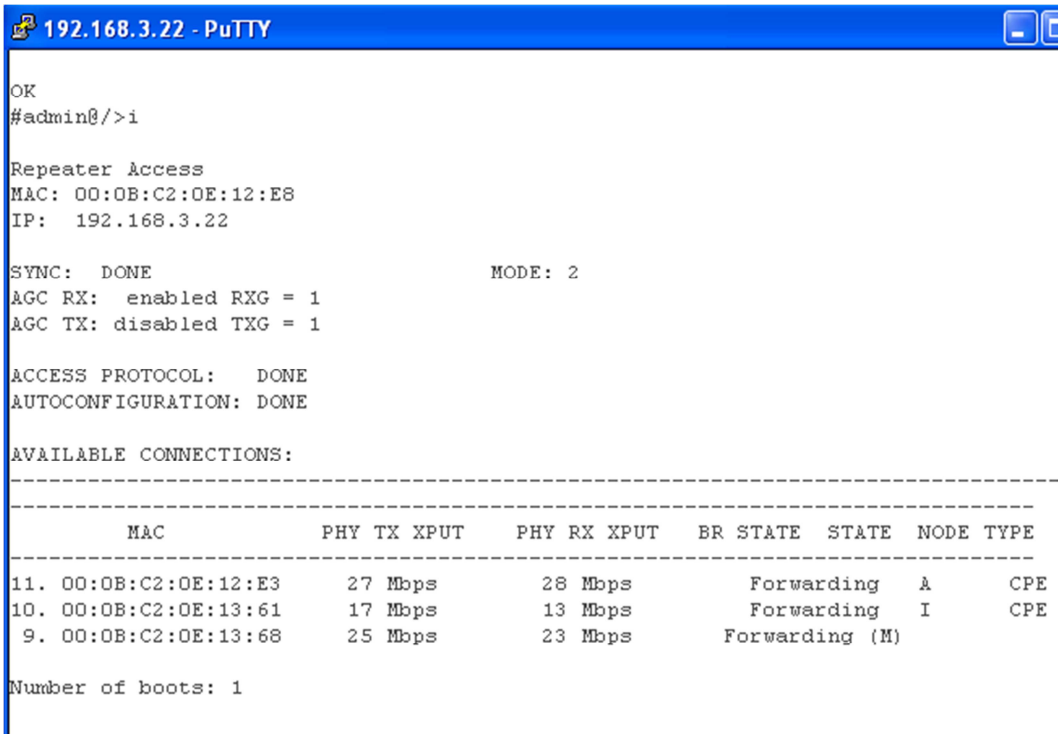


Fig. A.32 Interfaz gráfica de acceso mediante el cliente ssh Putty al equipo repetidor

En la tabla de información, el repetidor muestra todas las conexiones y equipos que forman parte de la red propuesta, así se brinda información sobre el tipo de dispositivo conectado y su dirección MAC.

- **Equipos CPE's**

CPE 1

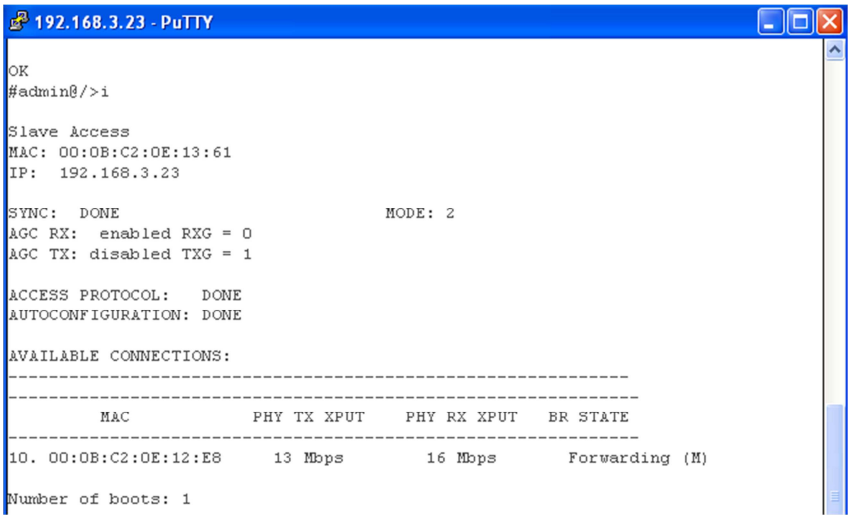


Fig. A.33 Interfaz gráfica de acceso al equipo esclavo 1

CPE 2

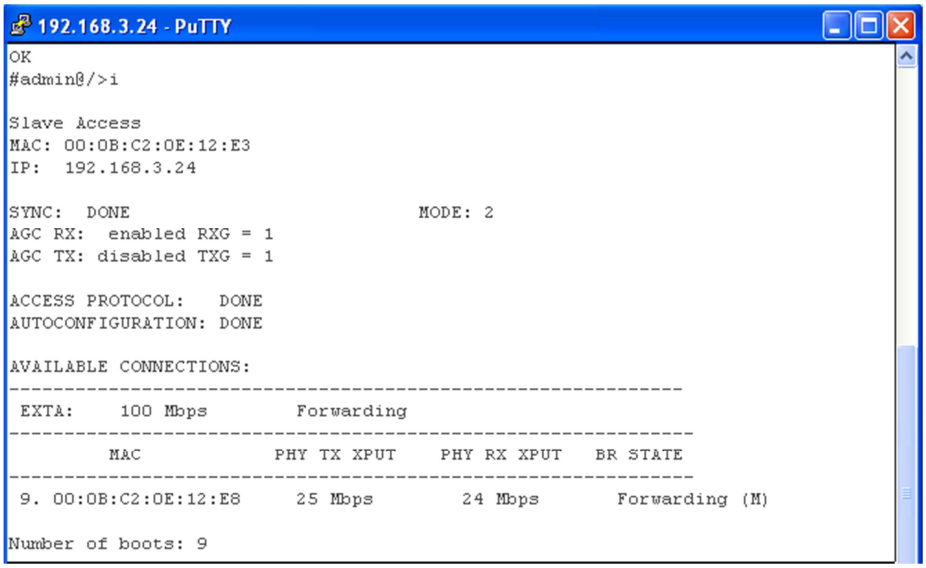


Fig. A.34 Interfaz gráfica de acceso al equipo esclavo 2

Los equipos CPE's muestran en su información general estar conectados a un Master (M) cuya MAC es 00:0b:c2:0e:12:e8, esto se debe a que el repetidor se convierte como Máster para los CPE's que están conectados a través de ellos.

ANEXO 2

ARCHIVOS DE CONFIGURACION DEL SERVIDOR ASTERISK

EXTENSIONS.CONF

```
[general]
static=yes
writeprotect=no
[prueba]
exten => _3600,1, Dial(SIP/3600,20)
exten => _3600,2, Voicemail(u3600)
exten => _3600,102, Voicemail(b3600)
exten => _3600,103, Hangup

exten => _3620,1, Dial(SIP/3620,20)
exten => _3620,2, Voicemail(u3620)
exten => _3620,102, Voicemail(b3620)
exten => _3620,103, Hangup

exten => _3610,1, Dial(SIP/3610,10)
exten => _3610,2, Voicemail(u3610)
exten => _3610,102, Voicemail(b3610)
exten => _3610,103, Hangup

exten => _3611,1, Dial(SIP/3611,11)
exten => _3611,2, Voicemail(u3611)
exten => _3611,102, Voicemail(b3611)
exten => _3611,103, Hangup

exten => _3612,1, Dial(SIP/3612,12)
exten => _3612,2, Voicemail(u3612)
exten => _3612,102, Voicemail(b3612)
exten => _3612,103, Hangup
```

```
exten => _3XXX,1,Dial(IAX2/externo:2143@172.16.50.34/${EXTEN}@local)
exten => _2XXX,1,Dial(IAX2/externo:2143@172.16.50.34/${EXTEN}@local)
exten => _42XXXXXXX,1,Dial(IAX2/externo:2143@172.16.50.34/${EXTEN}@local)
```

SIP.CONF

```
[general]
port=5060
bindaddr=0.0.0.0
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
contex=prueba
; Clientes SIP: 3600 y 3620
[3600]
type=friend
username=3600
secret=12345
host=dynamic
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=prueba
[3610]
type=friend
username=3610
secret=12345
host=dynamic
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=prueba
[3611]
type=friend
username=3611
```

secret=12345
host=dynamic
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=prueba
[3612]
type=friend
username=3612
secret=12345
host=dynamic
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=prueba
[3620]
type=friend
username=3620
secret=12345
host=dynamic
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
context=prueba

IAX.CONF

[general]
autokill=yes
calltokenoptional=0.0.0.0/0.0.0.0
maxcallnumbers=16382
register => externo:2143@172.16.50.34/local
[b-bpl]
type=friend
secret=wifibpl

context=prueba
trunk=yes
qualify=1000
disallow=all
allow=gsm
allow=ulaw
allow=alaw
deny=0.0.0.0/0.0.0.0
permit=172.16.50.34/255.255.255.0
host=172.16.50.34

ANEXO 3

SCRIPT BPL

```
#!/bin/sh
#
# Corinex TCP Window Size Tweak
#

if [ "$#" -eq 0 ]
then
        echo "Usage: $0 <window size in KB>"
        exit
fi

WIND=`expr $1 \* 1024`

echo $WIND > /proc/sys/net/core/rmem_default
echo 8388608 > /proc/sys/net/core/rmem_max
echo $WIND > /proc/sys/net/core/wmem_default
echo 8388608 > /proc/sys/net/core/wmem_max

echo 4096 $WIND 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_rmem
echo 4096 $WIND 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_wmem
echo 8388608 8388608 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_mem
```

RESUMEN

Las nuevas tecnologías de la comunicación pretenden entre sus enfoques disminuir la brecha digital y encontrar así mismo tecnologías que mejor se adapten a la realidad de cada ciudad según sus necesidades. Broadband Over Powerline precisamente permite implementar servicios IP sobre la infraestructura del cableado eléctrico y brindar el servicio de Internet y Voz sobre IP para el sector de Jipiro Alto donde aún no existe infraestructura telefónica ni la penetración de las telecomunicaciones en general aún es incipiente.

En el Capítulo Uno se realiza un estudio general de las tecnologías Wi-Fi y Broadband Power Line (BPL), características técnicas en capa PHY y capa MAC además de otros aspectos técnicos, incluye además el estudio del marco legal vigente en el Ecuador para tecnología BPL.

En el Capítulo Dos se realiza el diseño de las redes Wi-Fi y BPL, se selecciona el lugar de emplazamiento y se presenta un presupuesto referencial para la implementación de la red híbrida Wi-Fi - BPL.

En el Capítulo Tres se encuentran los diseños de los servicios de VoIP y del acceso a Internet, se realiza el cálculo de ancho de banda necesario para los servicios a implementarse, además se presenta las tecnologías y software necesario para la implementación de servidores y su posterior análisis.

En el Capítulo Cuatro comprende los resultados de las pruebas en las fases eléctricas realizadas en el edificio de aulas N°3 de la Universidad Técnica Particular de Loja así como también los resultados obtenidos de las pruebas de Mean Opinion Score (M.O.S) realizadas en el servidor de VoIP con interconexión a la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).

Como anexos se encuentran los manuales de operación de los equipos BPL Corinex AV200 y sus archivos de configuración. Se incluye además los scripts implementados en el servidor de VoIP con interconexión hacia la PSTN así como el script para mejorar el servicio de BPL en equipos con plataforma Microsoft Windows y GNU/Linux.