



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas

**Estudio de la tecnología PLC como alternativa de  
acceso a Internet para zonas rurales**

**TESINA**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

**AUTOR**

Carlos David OYARCE ARÉVALO

**ASESOR**

Félix Armando FERMÍN PÉREZ

Lima, Perú

2009



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Oyarce, C. (2009). *Estudio de la tecnología PLC como alternativa de acceso a Internet para zonas rurales*. Tesina para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

*Este trabajo esta dedicado a mis padres, hermanos y a cada uno de los miembros de mi familia que siempre me apoyaron en todo y fueron mi sustento y motivación para poder culminar este proyecto.*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme la vida y la fuerza espiritual necesaria para poder cumplir con mis objetivos.*

*Quiero agradecer a mis padres y hermanos que siempre me apoyaron en todo y siempre son una motivación especial para mí .*

*Quiero agradecer a mi asesor Ing. Félix Armando Fermín Pérez ya que fue mi principal guía y tutor a lo largo de la realización de la tesina y siempre estuvo a la altura circunstancia.*

*Quiero agradecer también a todos los profesores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en especial a los profesores de la facultad de ing. de sistemas por sus enseñanzas y compartir sus conocimientos conmigo.*

*Y quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo y elaboración de la presente tesina.*

*A qué le llaman distancia,  
eso me habrán de explicar;  
sólo están lejos las cosas  
que no sabemos mirar.*

*Canción Popular Andina*

# ÍNDICE

## RESUMEN ABSTRACT

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>8</b>
1. INTRODUCCION	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
1.3 OBJETIVOS	10
1.4 JUSTIFICACIÓN	11
1.5 PROPUESTA	14
1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESINA	17
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>18</b>
2.1 Definición	18
2.1.1 Modos de Transmisión de datos	22
2.1.2 Protocolos de Tansmisión	25
2.2 Fundamentos físicos de PLC	27
2.2.1 Teoría de las Líneas de Transmisión	29
2.3 Definiciones Básicas sobre PLC	32
2.4 Beneficios y ventajas de PLC	35
2.5 Modos de Comunicación PLC	35
2.5.1 PLC de línea larga (acceso)	35
2.5.2 PLC interior.	37
2.6 Capacidades de PLC	37
2.7 Desafíos de PLC	39
2.7.1 Atractivo comercial.	39
2.8 Cuestiones de Diseño	39
2.8.1 Configuración de Media Tensión	41
2.8.2 Configuración en Baja Tensión	43
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>44</b>
3. ESTADO DEL ARTE	44
3.1 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA	44
3.1.1 ORIGEN	44
3.1.2 PRUEBAS Y PROYECTOS PILOTO	45
3.1.3 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS	49
3.1.3.1 Retos tecnológicos y estandarización	49
3.1.3.2 Retos económicos	49
3.1.3.3 Factores de crecimiento	51
3.1.3.4 Futuro	51
3.2. BPL Y OTRAS TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA	52
3.2.1 REDES DE BANDA ANCHA	52
3.2.2 TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA EN EL PERÚ	52
3.2.3 DESCRIPCIÓN DE OTRAS TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA	52
3.2.3.1 Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA)	52
3.2.3.2 Línea de Abonado Digital (xDSL)	54
3.2.3.3 Cable módem	57
3.2.4 Redes de banda ancha inalámbricas	59

3.2.4.1 “Wireless Fidelity” (WiFi)	59
3.2.5 Worldwide Interoperability for Microwave Access” (WiMax)	61
3.3 CONCLUSIONES DE LA COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS.	66
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>68</b>
4. RESOLUCION DEL PROBLEMA.	68
4.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES	74
4.1.1 RED BPL	74
4.2 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO BPL	74
4.2.1 ALTERNATIVAS Y PROVEEDORES DE EQUIPOS BPL	74
4.2.1.1 Consideraciones de evaluación	74
4.2.1.2 Aspectos técnicos	75
4.2.1.3 Aspectos financieros	75
4.2.1.4 Sostenibilidad	76
4.2.1.5 Principales fabricantes	77
4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	81
4.3.1 BPL a baja tensión	82
4.3.2 BPL a media tensión	83
4.3.3 Evaluación y definición del proveedor de equipos	84
4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ASCOM POWERL	84
4.4.1 Elementos y productos disponibles	85
4.4.2 Configuraciones ASCOM BPL	86
4.4.2.1 Acceso de banda ancha en la última milla	86
4.4.2.2 Redes interiores	87
4.4.2.3 Ventajas del sistema	87
4.5 DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE EQUIPOS DE LA RED BPL	89
4.6 DISEÑO TIPO ENLACE DEL USUARIO	90
4.6.1 ÁMBITOS Y APLICACIONES	90
4.6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	90
4.6.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	91
4.6.4 EQUIPOS DISPONIBLES	92
4.6.4.1 APC-2000-DB	92
4.6.4.2 APC-2000-VB VII	92
4.6.4.3 API-2000-GW	93
4.7 INSTALACIÓN DE EQUIPOS	93
4.8 SOLUCIONES AVANZADAS	94
4.9 RED DE ACCESO A INTERNET	94
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>96</b>
5. CONCLUSIONES	96
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>97</b>
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

## **RESUMEN**

Esta tesina presenta un estudio de la tecnología PLC como alternativa de acceso a Internet para zonas rurales. Se describen los antecedentes de las tecnologías de las telecomunicaciones en el Perú así como los fundamentos teóricos de la Comunicación por Línea de Energía Eléctrica (Power Line Communication) desde un punto de vista de conocimiento técnico y de su arquitectura de red. Asimismo se muestran algunos de los principios básicos de las telecomunicaciones para la aplicación de PLC y los desafíos y el atractivo comercial de la tecnología PLC. Se analiza cual ha sido la evolución y crecimiento desde su apareamiento y cuáles son las perspectivas a futuro. Con el objeto de situar a BPL en el entorno tecnológico, se describen las principales tecnologías de banda ancha tanto fijas como inalámbricas, en base a lo cual se realiza una comparación de las características, limitantes y potenciales entre éstas y la tecnología que emplea las líneas de poder. Luego se plantea una posible solución del problema y el diseño del sistema de comunicaciones en la zona de servicio en la que la principal aplicación es el acceso de banda ancha a Internet. El desarrollo del diseño se realiza por etapas, las que incluyen equipamiento de la red BPL, opciones de acceso al “backbone” de Internet y requerimientos básicos para el establecimiento de un nuevo proveedor de servicio de Internet.

**Palabras claves:** PLC, BPL.



## **ABSTRACT**

This thesis presents a study of the PLC technology as an alternative Internet access to rural areas. It describes the history of telecommunications technologies in Peru as well as the theoretical foundations of communication Line Power (Power Line Communication) from the standpoint of their technical knowledge and network architecture. It also shows some of the basic principles of telecommunications for the implementation of PLC and the challenges and the commercial attractiveness of the PLC technology. Discusses what has been the evolution and growth since its emergence and what are the prospects for the future. In order to place in the BPL technology, describes the major broadband technologies both fixed and wireless, on the basis of which is a comparison of the characteristics, constraints and potentials between them and the technology used by the lines power. Then there is a possible solution to the problem and designing the communications system within the service area in which the main application is broadband access to the Internet. The design development is done in stages, which includes BPL network equipment, access options to the "backbone" of the Internet and basic requirements for the establishment of a new internet service provider.

**Keywords:** PLC, BPL.

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

Para nuestro país el acceso a internet siempre a sido restringido ya sea por un tema de costo o de cobertura, las primeras tecnologías fueron puestas al servicio solo para usuarios corporativos, en un principio se hacia vía fax modem(56Kbps) en la cual se hacia uso de la línea telefónica y no se podía usar el teléfono al mismo tiempo y el costo era elevado ya que el tiempo que duraba la conexión era facturada como una llamada telefónica. Luego se dio paso al cable modem el cual hacia uso de la infraestructura por el cual se transmitía la señal de TV vía cable pero los cable modem no permitían navegar a grandes velocidades y se presentaban problemas para una configuración tipo LAN. Telefónica del Perú impuso la tecnología ADSL el cual hacia uso de la red de telefonía (par de cobre) para transmitir voz y datos la cual brindaba un mayor ancho de banda y tenia una mayor cobertura, los router que se proporcionaba al usuario permitían conectar mas de una PC, también aparecieron las tecnologías inalámbricas (Wi Fi y Wi Max) los cuales tienen la ventaja de la eliminación del cableado y permite movilidad al usuario pero no tiene gran cobertura. Actualmente y cada vez en mayor medida, existe gran demanda por servicios de banda ancha, esta necesidad conduce al despliegue de nuevas topologías de redes que permitan acceder a los servicios y prestaciones que ofrecen las actuales redes de comunicaciones. El punto más costoso y complicado de desplegar en una red es la denominada “última milla”, que es el tramo final hacia el usuario. Para minimizar los costos de despliegue de redes de banda ancha, la industria planteó la solución de aprovechar las infraestructuras existentes, especialmente la última milla, en redes ya desplegadas como la red telefónica, las redes de cable, o la red eléctrica. La red eléctrica, especialmente en su tramo de distribución hacia los hogares, aún no ha sido lo suficientemente aprovechada, y tiene un enorme potencial dado lo omnipresente de su cobertura en zonas urbanas, así como en zonas urbano marginales y rurales. Cuando la explotación de los servicios sobre estas redes sea económicamente viable, a tarifas que incentiven la suscripción, esta tecnología podría representar otra solución alternativa y muy efectiva para los problemas de acceso a los servicios públicos de telecomunicaciones en el país.

## **1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA**

En la actualidad es creciente la demanda por servicios de comunicación de banda ancha y el establecimiento de redes de computadoras, debido a su importancia en el desarrollo de actividades comerciales y educativas, ya que permiten compartir información y recursos ahorrando tiempo y dinero. Sin embargo, en nuestro país son limitadas y costosas las opciones que permiten alcanzar estos servicios debido a la restringida cobertura de la infraestructura física existente.

Además la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales no es rentable para los operadores de telecomunicaciones, ya que en estas zonas son de alto costo en planta externa y otros (\$10,000 a \$40,000 por localidad rural aproximadamente) y de baja rentabilidad privada.

También debido a lo variado de nuestra geografía, lo difícil del acceso vial, la baja densidad de población y los bajos niveles de ingresos de muchos de sus pobladores, se incurren en altos costos de inversión, operación y mantenimiento. Igualmente se debe tener en cuenta que existen en el país cerca de 108,589 comunidades campesinas y por lo tanto los recursos son escasos en comparación con la necesidad. Mas aún las áreas rurales inicialmente no van a poder pagar las inversiones requeridas, por lo que se necesita el aporte del Estado para que atraiga inversión privada complementaria que pueda comprometerse con proyectos de esta envergadura y a largo plazo.

La mayoría de las zonas rurales se encuentran con bajos niveles de desarrollo social, con pobreza notoria y muy bajos ingresos que dificultan el acceso a este tipo de servicios de banda ancha o de acceso a internet.

Además es notorio el alto grado de analfabetismo a nivel adulto en las diferentes regiones del país que aunado a la marginación aun preponderante respecto a los mismos pobladores de las ciudades hacen necesario mejores medios de comunicación y sobre todo mayor cobertura de telecomunicaciones que coadyuven a disminuir en el más breve plazo los bajos niveles de instrucción y las altas tasas de deserción escolar y universitaria. Por lo cual se plantea introducir como una forma más de comunicación la realizada por las redes eléctricas como medio de transmisión de datos.

### **1.3 OBJETIVOS**

Los objetivos de la solución planteada para resolver el problema en cuestión se pueden resumir en:

Brindar servicio de telefonía fija, publica y acceso a Internet usando la infraestructura eléctrica San Gabán – Puerto Maldonado (231km).

“Incremento de la infraestructura, la eficiencia y calidad de los servicios de telecomunicaciones en los centros poblados de la provincia de Tambopata y Manu de la Región de Madre de Dios”

Contribuir a la reducción de la brecha digital en Madre de Dios a través de la provisión de servicios de telecomunicaciones de telefonía fija, telefonía publica, Internet y acceso a banda ancha a 89 localidades ubicadas en la provincia de Tambopata y Manu.

Servicios a brindar:

–Telefonía Pública: 76 localidades.

–Acceso a Internet: 18 localidades.

–Telefonía Fija: 14 localidades.

Localidades seleccionadas: 89 localidades, ubicadas en distritos de Tambopata, Inambari, Las Piedras, Laberinto, Madre de Dios, Huepetue y Manu.

Población directamente beneficiada: 60,000 habitantes.

Financiamiento FITEL al Operador: S/. 11.14 millones de soles (aprox.)

Estado del Proyecto: El proyecto cuenta con aprobación de viabilidad por parte de la OPI del MTC

## 1.4 JUSTIFICACION

El proyecto tiene como eje de actuación la Línea de Alta Tensión entre San Gabán y Puerto Maldonado y que permitirá que la Hidroeléctrica de San Gabán provea de energía eléctrica de buena calidad a las poblaciones aledañas a la carretera Interoceánica en el tramo que va desde San Gabán a Puerto Maldonado pasando por localidades importantes como Mazuco o Laberinto.

La LT San Gabán – Puerto Maldonado prolonga la que ya existe entre San Gabán y Azángaro que permite conectar a la Hidroeléctrica de San Gabán al Sistema Eléctrico Interconectado del país. La trayectoria de la LT en lo fundamental sigue a la carretera Interoceánica en el ramal que viniendo de Puerto Maldonado pasa por Masuko en el Distrito de Inambari y se prolonga hasta Puno pasando por Azángaro.

La región de Madre de Dios, con 85,873 Km<sup>2</sup> es la tercera más extensa del país, después de Loreto y Ucayali aunque relativamente poco poblada pues tiene una población total, según el INEI al 2005 de 92,024 habitantes. En cuanto a la superficie por provincias, se reporta para Tambopata el 42,58 % de la superficie total, Manu el 32,54% y Tahuamanu el 24,88%.

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDADES
Madre de Dios	Manu	Huepetue	6
Madre de Dios	Manu	Madre de Dios	8
Madre de Dios	Tambopata	Inambari	14
Madre de Dios	Tambopata	Laberinto	16
Madre de Dios	Tambopata	Las Piedras	17
Madre de Dios	Tambopata	Tambopata	28
<b>Total</b>			<b>89</b>

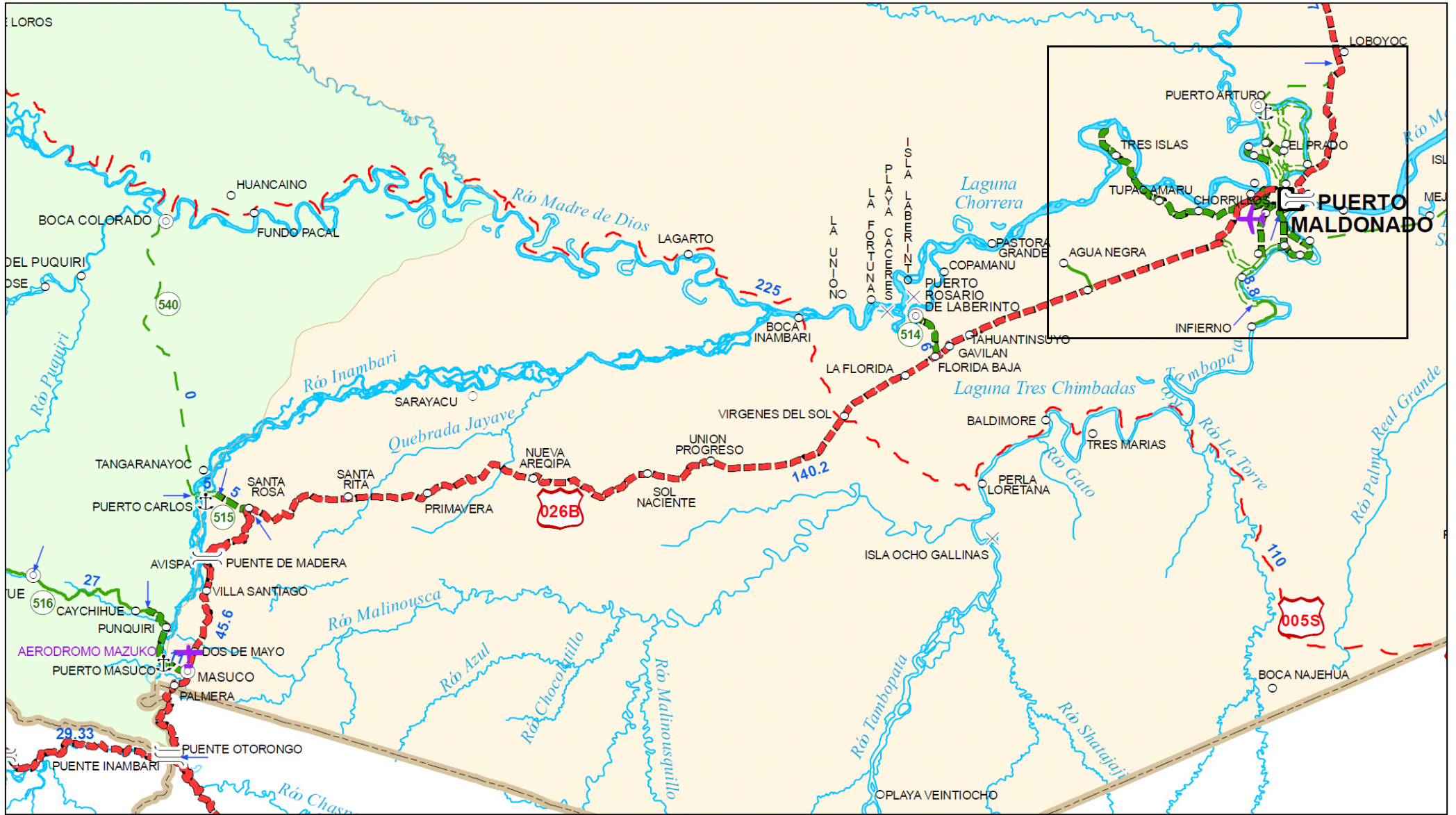
De acuerdo con un análisis realizado empleando herramientas SIG con la finalidad de verificar la línea de vista en los enlaces terrestres, el PROYECTO podría atender a un total de 89 localidades donde se instalará la infraestructura, como se muestra en el cuadro a continuación:

El presente proyecto podría atender directamente a 64,006 habitantes de la zona, e indirectamente a 4456 habitantes.

El cuadro a continuación muestra la población a ser beneficiada por el proyecto:

Rango	Directamente Beneficiada				Indirectamente Beneficiada	
	Localidades	Población	Localidades a 5 Km	Población a 5 Km	Localidades a 10 Km	Población a 10 Km
Hasta 100	5	460	29	1524	31	1048
100 - 200	52	7402	1	110	3	386
200-300	16	3693	1	216	3	772
Más de 300	16	13304	4	37297	3	2250
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>24859</b>	<b>35</b>	<b>39147</b>	<b>40</b>	<b>4456</b>

El área de influencia del Proyecto comprende la zona sur de Madre de Dios cercano a tramos de la carretera Interoceánica que va de Mazuco a Puerto Maldonado y también algunas localidades que se sitúan en el Cusco cercanas a Madre de Dios.



Criterio de selección de localidades:

**Teléfono Público.**- Localidades que dispongan de energía eléctrica convencional o de más de 100 habitantes contaría con un teléfono público.

**Internet.**- Localidades con más de 200 habitantes y que disponga de energía eléctrica convencional contaría con 2 conexiones a Internet a una velocidad de 128/256 kbps.

**Telefonía Residencial.**- Localidades con más de 300 habitantes y que disponga de energía eléctrica convencional contaría con el servicio de telefonía fija, se estima que inicialmente se instalaría el 1% de la población que habita en esa localidad.

Del total de centros poblados a ser atendidos de los cuales 14 tendrían telefonía fija local, 76 tendrían teléfono público y 18 (con dos conexiones) tendrían acceso a Internet con el presente proyecto. Los beneficiados directos serían 22,230 pobladores.

Servicios a ser brindados por el proyecto

PROVINCIA	DISTRITO	Teléfonos públicos	Teléfonos abonado	de	Accesos a Internet	a
Tambopata	Tambopata	27	12		8	
Tambopata	Inambari	12	25		4	
Tambopata	Las Piedras	14	19		8	
Tambopata	Laberinto	14	25		4	
Manu	Madre de Dios	5	19		6	
Manu	Huepetue	4	25		6	
<b>Total</b>		<b>76</b>	<b>125</b>		<b>36</b>	

## 1.5 PROPUESTA

El proyecto emplea como infraestructura del tendido eléctrico de alta tensión de la Empresa Electro Sur Este, para el tendido de un Backbone de fibra óptica, dicho tendido conectara 4 nodos primarios a través de los cuales se brindará acceso a servicios de



telecomunicaciones a un conjunto de centros poblado utilizando medios inalámbricos. Los nodos denominados considerados son:

1. Mazuco
2. Santa Rosa
3. Puerto Rosario
4. Puerto Maldonado

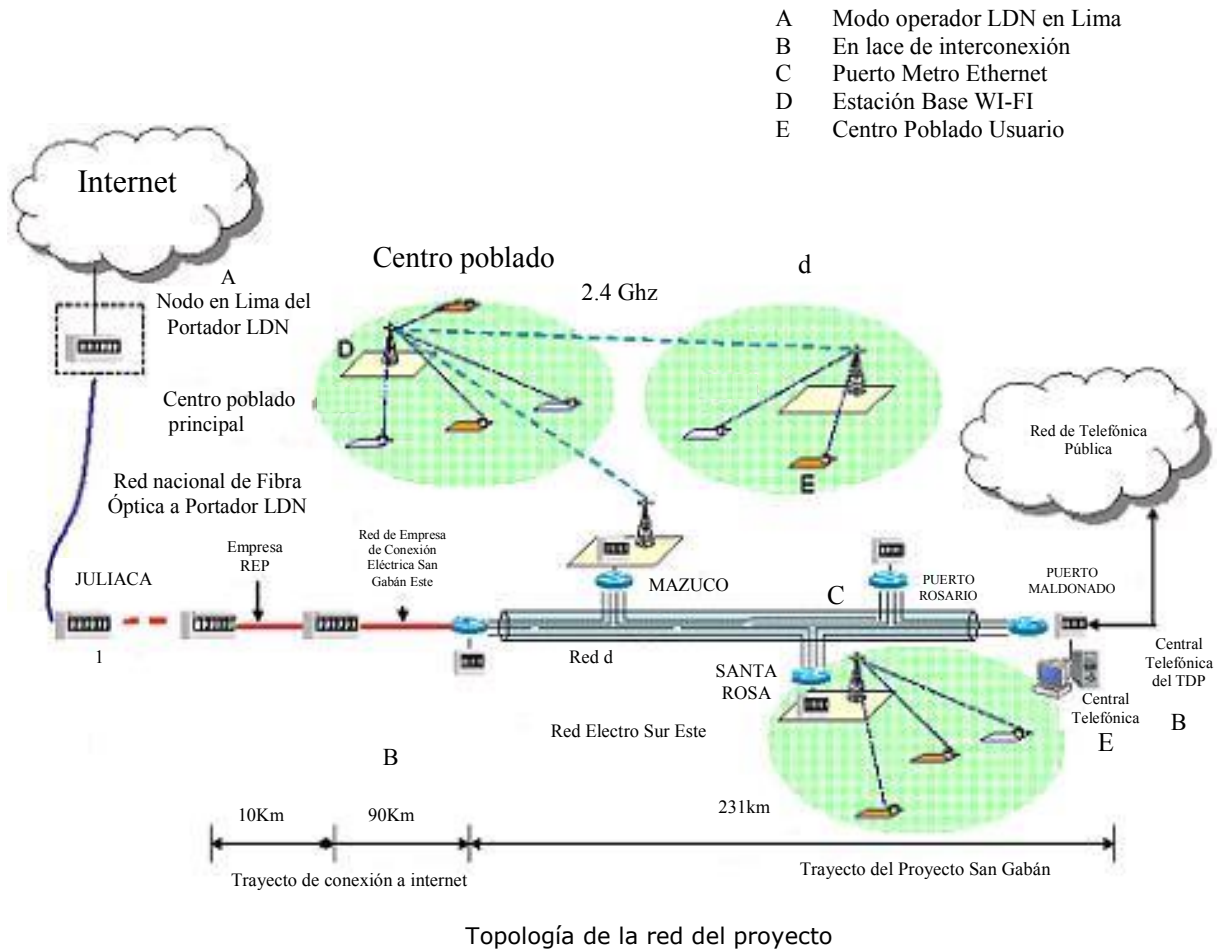
Así mismo para la conexión del backbone con la red de portadores de larga distancia nacional se empleara el nodo de conexión de la Estación Eléctrica San Gabán.

Los nodos primarios proveerán comunicaciones a nodos secundarios y estaciones terminales mediante enlaces inalámbricos en la banda no licenciada de 2.4GHz. El nodo Estación Eléctrica San Gabán servirá como nodo de conexión a Internet a través de la red de comunicaciones de la Empresa de Generación Eléctrica San Gabán y REP, y el nodo Puerto Maldonado se empleara como nodo de interconexión telefónica con la central telefónica de Puerto Maldonado, nodo que dispondrá de una central telefónica IP que se empleara para la conmutación de las comunicaciones telefónica locales y además servirá de interconexión con las redes de servicio portador de LDN y LDI.

Los enlaces de radio proveerán servicios de comunicaciones de BANDA ANCHA que permitirán brindar servicios de voz y datos a bajo costo a nivel local además de posibilitar la integración de las localidades consideradas en el proyecto al resto del país y el mundo mediante acceso a Internet y mediante la interconexión con la red de servicios de telefonía de abonado de Puerto Maldonado. En este contexto es fundamental la localización de un operador local que provea con una plataforma tecnológica que permita la convergencia de servicios de voz y datos. Asimismo ha considerado conveniente se disponga de un servidor local de contenidos orientados al desarrollo, educativo, cultural, socioeconómico y mejoras de la calidad de vida en la zona, al cual las 89 localidades tendrían acceso a muy alta velocidad.

Para el proyecto se ha tenido como consideración importante garantizar una adecuada continuidad del servicio, fijándose una disponibilidad de enlace de radio de 99.9885% lo que da una probable indisponibilidad (perdida de comunicaciones) anual de 1 hora

por efecto de desvanecimiento por propagación, considerando el ámbito de Madre de Dios como terreno promedio y zona húmeda.



Situación actual:

El proceso de selección del operador de telecomunicaciones que tendrá a su cargo la implementación del proyecto, ha sido encargado a PROINVERSION.

**Resolución Ministerial N° 363-2008-MTC/03** (publicada el 04/05/08) que encargó a PROINVERSION, la conducción del proceso.

En el marco del SNIP se declaró la viabilidad del proyecto mediante Informe Técnico 1799-2007-MTC/09.02 (11/12/2007), de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto del MTC.

**Resolución Suprema N° 057-2008-EF** (publicada el 21/06/08) que ratificó el acuerdo de la sesión del Consejo Directivo de PROINVERSION del 13 de mayo de 2008, que incorporó al proceso de promoción de la inversión privada al Proyecto.

El mismo acuerdo, encargó al Comité de PROINVERSION en Saneamiento y Proyectos del Estado la conducción del proceso.

**Resolución Suprema N° 084-2008-EF** (publicada el 18/10/08) que ratificó el acuerdo de la sesión del Consejo Directivo de PROINVERSION del 26 de agosto de 2008, que determinó la modalidad bajo la cual se promoverá la inversión privada al proyecto. El mismo acuerdo, aprobó el Plan de Promoción del proyecto.

## **1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESINA.**

La tesina se halla estructura en capítulos, en el primero se introduce el problema a resolver con sus antecedentes, objetivos y justificación pertinentes. En el capítulo 2 se trata el conocimiento necesario básico para comprender el problema en estudio y su solución. Luego se desarrolla el estado del arte en el capítulo 3 para a continuación en el capítulo 4 presentar la solución al problema de manera teórica planteando la topología de red seleccionada. Finalizando con los capítulos 5 y 6 con las conclusiones del trabajo y las referencia bibliográficas.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEORICO

En este capítulo se presenta los fundamentos teóricos de la Comunicación por Línea de Energía Eléctrica (PowerLine Communication) desde un punto de vista de conocimiento técnico y de su arquitectura de red. Asimismo se presentan algunos de los principios básicos de las telecomunicaciones para la aplicación de PLC.

#### Principios de Telecomunicaciones

##### 2.1 Definición

Telecomunicaciones es la transmisión de señales a distancia con la finalidad principal de la comunicación. Las telecomunicaciones está muy extendida y los dispositivos que ayudan a este proceso, tales como la televisión, radio, Internet, y teléfono son comunes en muchas partes del mundo. También existe una gran variedad de redes que conectan a estos dispositivos, incluidos las redes de computadoras, redes de telefonía pública, redes de radio y cadenas de televisión. [6]

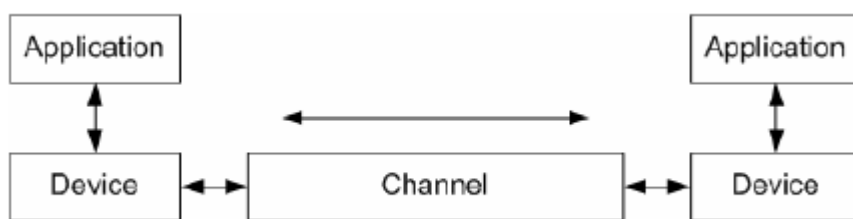


Figura 2-1. Diagrama simple que describe un sistema de telecomunicaciones general. La aplicación es la interfaz de usuario con el servicio que necesita ser interconectado a través de un dispositivo de comunicación sobre una distancia mediante un canal de comunicación.

Hay una gran variedad de sistemas de telecomunicaciones que pueden apoyar a los diferentes servicios como comunicación de datos, comunicación por Internet, Audio y Video Broadcasting, etc. Para todos ellos es común el principio de un sistema de telecomunicaciones como el mostrado en la Figura 2-1. La aplicación es la primera interfaz de usuario cuando el servicio se inicia, procesado por el dispositivo, y transmitido a través del canal para llegar al destino. Un sistema de PLC no es diferente al sistema general de telecomunicaciones. La Figura 2-2 es un simple diagrama de un sistema de comunicación PLC que consiste del medio de transmisión, el dispositivo Terminal del cliente (canal de acceso), y el dispositivo Terminal del backbone (Concentrador).

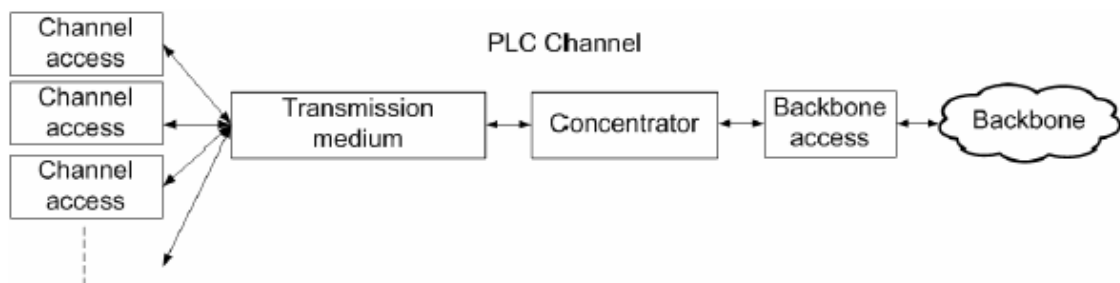


Figura 2-2. Diagrama simple que describe el sistema PLC. El canal de acceso es lo que normalmente se conoce como módem, el medio de transmisión es el de distribución o transmisión cable, y el concentrador es la unidad central que proporciona conectividad del backbone.

Para mayores detalles, echemos un vistazo a la norma internacional para la comunicación entre sistemas informáticos, la interconexión de sistemas abiertos (OSI) definidos por el International Standards Organization (ISO). La Figura 2-3 muestra el modelo general ISO / OSI modelo general para equipos de comunicación. Este modelo se compone de siete capas:

- Capa 7 es la interfaz de usuario.
- Capa 6 encripta / desencripta y comprime / amplía los datos.
- Capa 5 inicia, controla, sincroniza, y administra una sesión de comunicación.
- Capa 4 trata la recuperación de errores, multiplexado y control de flujo.
- Capa 3 se ocupa del enrutamiento de los datos, direccionamiento, y control de la conexión.

- Capa 2 se encarga del control de errores, control de flujo, sincronización, la elaboración, y establecimiento del enlace de datos.
- Capa 1 maneja el acceso a los medios de transmisión, interfases físicas y eléctricas, activación / desactivación de la conexión.

La tecnología PLC se describe como ocupando las capas 1 y 2 del modelo OSI tratando principalmente la evaluación de las tecnologías de conectividad del PLC como medio de transmisión y comunicación de canales de datos, aunque es una buena práctica primero concentrarse y estudiar las tres capas inferiores de OSI (pero especialmente en las capas 1 y 2) ya que éstas son las que representan el canal de comunicación visto en la Figura 2-1.

### Capa 3 (Red)

La capa de red responde a las peticiones de la capa de transporte y las solicitudes a la capa de enlace de datos. Esta capa es responsable de la traducción de direcciones lógicas y del enrutamiento / conmutación así como de la entrega de los paquetes end-to-end.

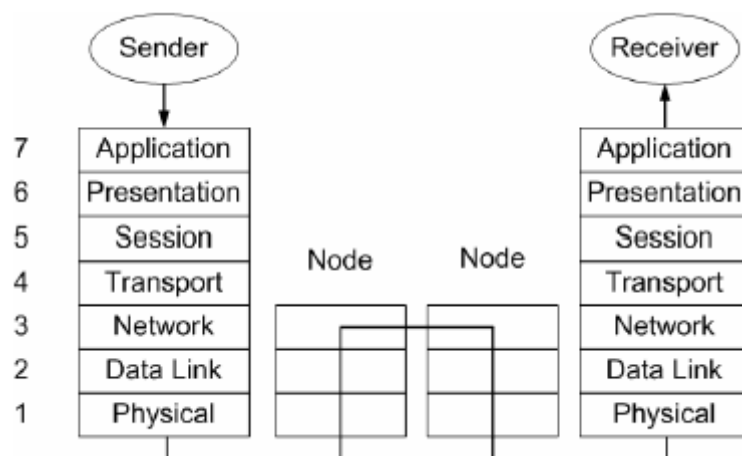


Figura 2-3. Modelo ISO / OSI del equipo de comunicación en general. Resume el protocolo de comunicaciones OSI en siete capas. Capas 1 a 3 representan la comunicación entre dispositivos de red (tarjeta de red en un PC). Estas capas se llaman también medios de comunicación de capas. Las cuatro capas superiores representan los procesos de comunicación en cada Terminal del canal de comunicación. Los nodos de la red son utilizados para interconectar diferentes segmentos y el canal de comunicación se extiende en grandes áreas, básicamente en torno al mundo para redes IP.

## **Capa 2 (Enlace de datos)**

Esta capa recibe las peticiones de la capa de red, los procesa, y emite solicitudes a la capa física. La capa de enlace de datos transfiere datos entre adyacentes nodos WAN y entre los nodos de red de área local LAN). La capa de enlace de datos proporciona medios funcionales y de procedimiento para transferir datos entre las unidades de la red. Además de esto, también podría incluir esquemas de detección y corrección de errores si ocurrieran en la capa física.

## **Capa 1 (física)**

La capa física presta servicios requeridos por la capa de enlace de datos. La capa 1 hace referencia al hardware y cableado de red (ondas electromagnéticas para las redes inalámbricas). Es la capa más baja del modelo de referencia OSI. Sobre esta capa, los datos se modulan en frecuencias portadoras. La frecuencia portadora es la frecuencia central de una señal analógica que porta datos modulados. La señal portadora de datos es detectado por el receptor final de un canal de comunicación. En los sistemas de comunicación digital, los convertidores digital / analógico (DAC) y Analógico / Digital (ADC) son utilizados para convertir las señales de datos digitales a analógica y de analógica a digital, respectivamente. Existe una amplia variedad de esquemas de modulación pertenecientes a esta capa como AM, FM, y de interés relevante para esta tesis, la OFDM.

PLC es una tecnología que ofrece servicios de telecomunicaciones sobre la red eléctrica como medio de transmisión (canal de comunicación). Esto hace que PLC pertenezca a la categoría de canal de cable de telecomunicaciones proporcionando el vínculo físico entre los dispositivos de red. PLC es un medio compartido en un bucle local en el que existe una cierta capacidad disponible que se comparte entre todos los clientes conectados. Decir que un lazo es de 10 Mbps de una capacidad y un total de 10 clientes conectados al bucle significa que en este caso, el proveedor de servicios (servicios públicos) puede garantizar una conexión mínima de 1 Mbps todo el tiempo.

La capacidad de la red PLC es generalmente limitado por las propiedades de los canales

tales como los tipos de cable y topologías de distribución, añadido a la variación en el consumo de electricidad en que la misma red.

### **2.1.1 Modos de transmisión de datos**

En los sistemas de comunicación, la transmisión de datos entre origen y destino puede ser realizada de diferentes maneras. Es importante para todas las aplicaciones que los datos se envíen correctamente en términos de destino y corrupción de los datos. Los datos pueden ser dañados a lo largo de la transmisión medio debido a la atenuación, el jitter, retardo y pérdidas. Se han desarrollado diferentes técnicas de transmisión para asegurar la conectividad, fiabilidad y disponibilidad. En esta sección describiremos los modos circuito y modo paquete.

#### ***Modo Circuito***

Este es el modo de transmisión orientadas a conexión, lo que significa que, se establece una conexión entre dos puntos finales durante la duración de la transmisión. El servicio más común realizado en modo circuito es la red telefónica pública conmutada donde se establece la conexión física de cada conversación telefónica. Este servicio no utiliza ningún medio, ya que cada circuito telefónico tiene su propia línea de par trenzado.

En un medio de transmisión con conectividad compartida son necesarios los sistemas de multiplexación para múltiples circuitos. Este modo de transferencia por lo general utiliza multiplexación por división de tiempo (TDM) o Multiplexación por división de frecuencia (FDM) sobre el mismo medio de transmisión, así se establece una línea de transmisión dedicada entre A y B para la comunicación de datos. Esta línea tiene una cierta capacidad que está disponible todo el tiempo. Con TDM, un circuito tiene una cierta ventana de tiempo donde los datos pueden ser multiplexados en el Terminal remitente y demultiplexado en el Terminal receptor tal como se puede observar en la Figura 2-4. La desventaja de TDM es su insuficiente utilización de la capacidad de tasa de transmisión de datos ya que puede variar de vez en cuando y la capacidad asignada no podrá ser utilizada por otra línea. Con FDM, un circuito tiene



una cierta parte de la capacidad total disponible todo el tiempo tal como se puede observar en la Figura 2-5. La desventaja de FDM es la limitación de ancho de banda disponible por cada circuito. La ventaja de FDM es que soporta full-duplex en servicios de tiempo real garantizando una disponibilidad y seguridad de transmisión de datos constante en términos de alcanzar el destino correcto. Este modo se usa generalmente en sistemas con jerarquía digital sincrónica (SDH).

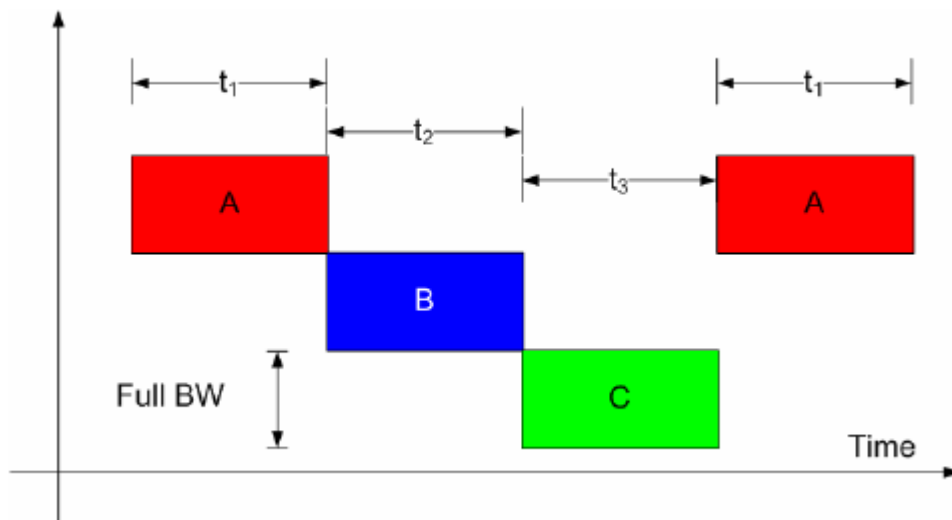


Figura 2-4. Principio TDM. Observe que los circuitos A, B y C tienen plena disposición del ancho de banda en un tercio del tiempo. Este esquema requiere de un preciso tiempo de sincronización.

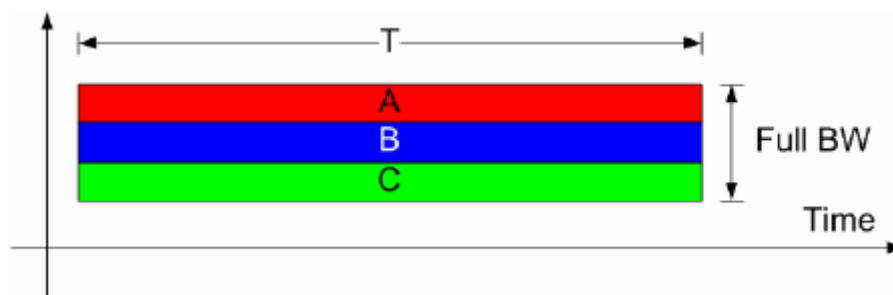


Figura 2-5. Principio FDM. Observe que los circuitos A, B y C tienen una tercera parte del ancho de banda disponible todo el tiempo. Este sistema requiere una precisa frecuencia de detección.

## **Modo Paquete (Modo Conmutación)**

Este modo de transmisión inserta los datos en paquetes de diferente longitud que lleva la carga útil con un encabezado y, a veces, un trailer. La cabecera se utiliza para multiplexar datos a diferentes destinos a través de una línea de conexión compartida. La cabecera contiene información sobre la carga útil, tales como destinos, origen, tipo de servicio (TOS), clase de Servicio (CoS), y los códigos de corrección de errores. Este modo ofrece eficacia en el uso de la capacidad ya que no reserva una conexión física a menos que los datos los necesiten para ser transmitidos de manera que se asigne convenientemente un determinado ancho de banda. Si el ancho de banda no es suficientemente disponible en tiempo de transmisión, los paquetes se ubican en cola en un buffer hasta que el ancho de banda esté disponible. De esta forma se garantiza la recepción de datos, pero también significa que este puede sufrir significativos retardos de tiempo. Por supuesto que además no hay que olvidar los gastos generales en capacidad necesarios para la cabecera y trailers.

Cuando la información va a ser transmitida, ésta se divide en paquetes y enviada a la red, cuando los paquetes llegan a un nodo de red éste lee la dirección de destino de cada paquete y lo envía al destino o la remite a otro nodo hasta que llega al destino.

Los paquetes son una serie de bytes siendo la más pequeña de 18 Bytes de longitud y el mayor de 1024 bytes de longitud. Como se mencionó anteriormente, mucha información además de los datos y la dirección pueden ser embalados en un paquete dependiendo del tipo de protocolo de comunicación de la aplicación. Los paquetes pueden llevar información sobre el control de portadora, la corrección de errores y la retransmisión de datos.

## **Frame Relay**

Frame Relay ha sido desarrollado para alcanzar las ventajas del modo paquete y las redes de conmutación de paquetes reduciendo el tiempo de retraso cuando escasea el ancho de banda.

Frame Relay es una tecnología de conmutación de paquetes orientado a conexión y con variable longitud de paquetes (hasta 1600 [bytes]). Los paquetes experimentan mínimo control en la red para mejorar la calidad del canal. Frame Relay también es conocido

como una línea virtual arrendada, como una línea virtual permanente entre dos puntos. Con Frame Relay, los clientes pueden también alquilar circuitos virtuales permanentes entre un sitio y múltiples otros sitios. Esto necesita de un número de 10 bits en el cuadro adjunto identificando a que circuitos pertenece.

### **ATM (Modo Celda)**

El modo de transferencia asíncrono (ATM) es probablemente el primer modo que admite diferentes servicios que caracteriza a una conexión de banda ancha. Esto es debido a que las células de este modo pueden transportar voz, vídeo y datos y la información tiene un tamaño constante de 53 [Bytes].

El tipo más común de comunicación aplicada con tecnología PLC es la red de conmutación de paquetes compartida entre clientes conectados. Esta opción de comunicación generalmente consume mayor capacidad que las redes de conmutación de circuitos debido al hecho de que, por la misma cantidad de carga útil (datos en bruto), los paquetes llevan cabeceras con información del dato tales como el origen y destino. Es cierto que esta información adicional utiliza capacidad adicional, pero también es cierto que la conmutación de paquetes utiliza los recursos de la red de manera más eficiente que la conmutación de circuitos.

### **2.1.2 Protocolos de transmisión**

#### **Definición 2.2**

En telecomunicaciones, un protocolo es un conjunto de normas unificadas para la representación de datos, señalización, autenticación y detección de errores necesarios para enviar información a través de un canal de comunicación [6].

El protocolo define el comportamiento de la solución de comunicación. El protocolo estandarizado permite una transparencia universal entre las diferentes redes, dispositivos de red, y aplicaciones.

En esta sección presentaremos los dos protocolos de transmisión basados en IP más comunes, a saber, los protocolos TCP y los protocolos UDP.

## **El Protocolo TCP**

El Protocolo de control de transmisión (TCP) es uno de los principales protocolos en el suite IP. TCP proporciona conexión entre los elementos de la red para el intercambio de paquetes de datos. La principal característica distintiva de TCP es la garantía de suministro de paquetes a su destino y en el orden en que fueron enviados desde el host. El dispositivo en el extremo envía un acuse de recibo para cada paquete que se recibe. En el host enviante cada cierto tiempo se emite un reconocimiento si no fue recibida. Además de eso, se comprueban si los paquetes tienen errores de bits con un checksum calculado al remitente y, a continuación, luego de recalculado en el receptor final para la evaluación de la corrección de datos. Esto hace lo hace ideal para servicios sensibles a la pérdida de datos como los servicios de correo electrónico, World Wide Web (WWW), y la banca. Esta característica también da el inconveniente de insuficiente utilización del ancho de banda y del rendimiento. Para asegurar que todos los paquetes se reciban correctamente en el orden original, el emisor debe enviar un número de paquetes (longitud de ventana) y esperar a que un reconocimiento desde el receptor llegue antes de enviar la siguiente ventana. Este mecanismo de handshaking durante el período de sesiones consume ancho de banda y tiempo de transmisión haciendo que el protocolo TCP no sea adecuado para aplicaciones como voz sobre IP (VoIP), y la radiodifusión de señales de audio / vídeo.

El protocolo TCP proporciona los enlaces de seguridad como las tuberías que el protocolo IP carece. Añade esta funcionalidad a las tres capas inferiores del modelo OSI implementándose en la capa de transporte.

Aunque este protocolo no pertenece al canal de comunicación y al medio de transmisión de la tecnología PLC, desempeña un papel importante en la evaluación del PLC la tecnología como una alternativa al GSM. Como se verá más adelante, el canal de comunicación BPL funciona diferentemente con TCP que cuando se transmiten paquetes con UDP como protocolo de transmisión.

## **El Protocolo UDP**

Aplicaciones como VoIP y difusión de audio y video necesitan un protocolo diferente a TCP, un protocolo que puede enviar continuos flujos de datos sin la necesidad del

handshake durante el período de sesiones. Al igual que TCP, Protocolo de datagramas de usuario (UDP) es un protocolo IP comúnmente utilizado para aplicaciones de tiempo crítico. El protocolo no tiene detección de errores ni mecanismos de retransmisión, los paquetes pueden llegar fuera de orden, o incluso ser perdidos sin ser detectado, éstos deberán ser implementados en las capas superiores. El hecho de que UDP no ofrece esquemas de chequeo lo hace menos pesado y pequeño que TCP y por lo tanto más eficiente en términos de capacidad del canal.

## **2.2 Fundamentos físicos de PLC**

Para comprender la parte física de PLC, se tiene que mirar en la naturaleza de la red. Una típica estructura de la red de suministro eléctrico del sistema consta de tres niveles de tensión:

- nivel de alto voltaje (110-400 kV), AT
- nivel de media tensión (10-30 kV), MT
- nivel de bajo voltaje(0.4kV). BT

Cada uno de los tres niveles constituye un medio de transmisión que se ha adaptado a baja pérdida de transmisión de potencia a lo largo de diferentes distancias. Las líneas de transmisión están interconectados con transformadores reductores de voltaje, que también están diseñadas para minimizar las pérdidas de energía en la frecuencia de potencia (50 o 60 Hz). Estos transformadores actúan como naturales filtros de paso bajo para detener las señales de alta frecuencia. Esta naturaleza de la red la sugiere para una similar estructura de un sistema de comunicación.

Al tratar de llevar las señales de mayor frecuencia como señales de comunicación de datos sobre las líneas de potencia, los transformadores actúan como obstáculos ya que la transmisión se ha optimizado para señales de baja frecuencia. También es necesario tener en cuenta que las líneas de transmisión se han optimizado para señales de baja frecuencia, y que las pérdidas a lo largo de las líneas aumentan con el incremento de la frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia, más corta es la longitud de onda de la señal que recibe. Con longitudes de onda comparables a la longitud de la línea de transmisión, las ondas de la radiación electromagnética llegan a ser considerablemente

altos. La Ecuación 2.1 describe la relación entre la longitud de onda y la frecuencia de la señal transmitida donde “Vc” la velocidad de la luz en el vacío, “l” es la longitud de onda y “f” es la frecuencia.

$$\lambda[m] = \frac{v_c[m/s]}{f[Hz]} \quad (2.1)$$

Utilizando la ecuación 2.1, la longitud de onda correspondiente a un intervalo de frecuencia típica BPL (2-40 [MHz]) está entre 7,5 [m] y 150 [m]. Estas longitudes de onda son comparables a la distribución típica de la línea BT que van entre los 100 [m] y 500 [m]. Este hecho plantea problemas de Ondas Permanentes ya que la línea de transmisión es casi siempre mal emparejada (no libre de reflexión de ondas).

Las propiedades de una línea de transmisión difieren sustancialmente en diferentes frecuencias. En términos generales, el aumento de frecuencias incrementa las pérdidas a lo largo de las líneas. Este relación directa entre la naturaleza de la red eléctrica y el comportamiento las señales de alta velocidad transmitidas a través de ella hace relevantes la discusión de algunos de los fundamentos detrás de la teoría de la línea de transmisión.

Antes de eso, es interesante mencionar que los rangos de transmisión y las tasas de datos en una red PLC son reducidas y que la sensibilidad a las perturbaciones se incrementa debido a las siguientes características del canal de transmisión de PLC:

- gran atenuación dependiente de la frecuencia.
- impedancia variable en el tiempo.
- desvanecimiento y desfavorables condiciones de ruido.
- variación de las fuentes de ruido debido a los diferentes dispositivos conectados a la red.

PLC debe aprovechar los eficientes esquemas de modulación, como el espectro ensanchado y la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM). El efecto de las perturbaciones puede reducirse mediante el uso de los bien conocidos esquemas de manejo de errores tales como la corrección adelantada de errores (FEC), y la petición de repetición automática (ARQ). [5]

### 2.2.1 Teoría de las líneas de Transmisión.

En esta sección se introducen brevemente a la teoría de líneas de transmisión para comunicaciones y cómo se comportan las líneas de transmisión respecto a las señales de alta frecuencia. Hay muchos factores y variables que deciden las características de una línea de transmisión. Mencionamos por ejemplo la geometría de las líneas, los materiales utilizados, y el nivel de la red, AT, MT o BT.

Antes de proceder con la teoría de la comunicación digital y la línea de transmisión vale la pena conocer que una señal digital puede describirse como una onda cuadrada compuesta por su frecuencia fundamental y sus armónicos impares, y puede ser descrita por la serie de Fourier de la ecuación 2.2.

$$v(t) = \frac{4}{\pi} \sin(2\pi f_1 t) + \frac{4}{3\pi} \sin(2\pi f_3 t) + \frac{4}{5\pi} \sin(2\pi f_5 t) + \dots \quad (2.2)$$

La Figura 2-6 ilustra la serie de Fourier en la ecuación 2.2, tomando la frecuencia fundamental y la tercera armónica. Es evidente que la onda compuesta se acerca a la onda cuadrada deseada utilizada en la transmisión de datos digitales.

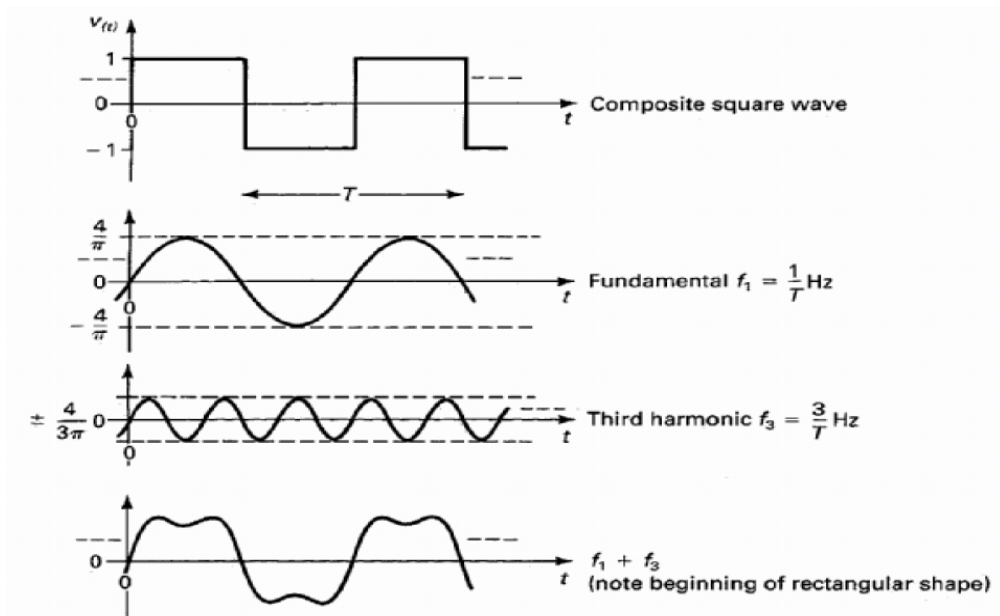


Figura 2-6 Componentes de una forma de onda cuadrada. Observe que la onda cuadrada puede ser reconocida por la adición de la frecuencia fundamental de onda senoidal a la tercera armónica onda sinusoidal. Figura fuente [7].

Para que un canal de comunicación transmita correctamente una señal debe cumplir con los siguientes requisitos:

- igual atenuación en todas las frecuencias y armónicos.
- igual retardo de transmisión en todas las frecuencias y armónicos.

Sólo cuando se cumplen estos requisitos, la señal transmitida mantiene su forma cuando llega a su destino. En otras palabras, la señal llega sin distorsión.

Para que una línea de transmisión cumpla con estos requisitos, su atenuación y velocidad de fase debe ser constante. Esto generalmente no es el caso, por lo tanto, los compromisos deben hacerse entre los costos, la velocidad de los datos, las distancias de transmisión, y la distorsión permitida en el sistema.

El desempeño de una línea de transmisión como una guía de onda se expresa con tres parámetros:

**Velocidad de fase** es una medida de la velocidad de propagación de las ondas a lo largo de la línea de transmisión. Su unidad es [m / s]. Como se mencionó anteriormente, la velocidad de fase se desea como constante para todas las bandas de frecuencia de transmisión para evitar la distorsión de fase.

En caso de variación de la velocidad de fase, la señal recibida se distorsiona. Esta distorsión se conoce como dispersión y como resultado de ella pulsos retrazados pueden interferir con las anteriores. Este efecto se denomina interferencia intersímbolo.

**Constante de atenuación** es una medida de la pérdida de potencia de la señal en la distancia recorrida. Como se mencionó anteriormente, la constante de atenuación se desea como constante para todas las bandas de frecuencia de transmisión para evitar la distorsión de la amplitud y la fase de la señal. Su unidad es nepers por metro [Np / m].

**Impedancia característica** se presenta a la señal mediante la línea de transmisión. Su unidad es ohmios. Normalmente, la impedancia característica  $Z_0$  es complejo con forma



$Z_0 = R_0 + jX_0$ . La parte real del número complejo ( $R_0$ ) es la resistencia componente de la impedancia, mientras que la parte imaginaria ( $X_0$ ) es la reacción inductiva. Para una transmisión sin reflexiones, el canal debe tener componentes cuyas impedancias coincidan con  $Z_0$ . Se desea que  $Z_0$  sea completamente resistiva, es decir,  $X_0 = 0$ , y constante en la banda de frecuencias de transmisión. [7]

Ahora echemos un vistazo a los diferentes niveles de red eléctrica y su influencia en el rendimiento del PLC.

### ***Línea de transmisión de alta tensión***

La red de alta tensión sólo se presenta de interés en la verificación de la tecnología PLC como una solución de conectividad para el acceso (sin extender zonas más amplias que la red de AT) para comunicación de datos a alta velocidad.

La red de AT abarca distancias de varias decenas a varios cientos de kilómetros normalmente entre las centrales eléctricas, centrales y redes de distribución de MT.

La red de transmisión de alta tensión consiste principalmente de líneas aéreas y en menores situaciones de cables de tierra. También vale la pena mencionar que en general tienen líneas de baja atenuación a las señales de alta frecuencia, pero mayor compatibilidad electromagnética (EMC) para actuar como antenas.

### ***Línea de transmisión de MT.***

Es muy difícil encontrar una descripción teórica general del comportamiento físico de PLC, ya que las topologías de red difieren dramáticamente en la utilización de la línea, cables de tierra y combinaciones.

A diferencia de la red de transmisión de alta tensión que consta de sólo líneas generales, las redes transmisión o distribución de MT / BT puede consistir de dos líneas aéreas y cables subterráneo. Las líneas de MT son relativamente de pequeñas secciones transversales en comparación con la sección transversal de las líneas de alta tensión.

Las líneas aéreas y los cables de tierra utilizados en las redes de MT y BT se diferencian en su sección geométrica transversal. Existen redondos, sectorizados, ovalados en estructuras de uno o varios hilos. Los materiales utilizados son el cobre y el aluminio. El material de aislamiento es por lo general PVC o cloruro de polivinilo vulcanizado de polietileno de VEP o también de polietileno de enlace transversal XPLE para las líneas de MT. Estos hechos desempeñan un papel importante en las propiedades de PLC para las redes MT / BT.

Echemos un vistazo a las redes trifásicas actuales donde distinguimos entre transmisión de electricidad y distribución de electricidad. En términos generales, la funcionalidad de la distribución de la red eléctrica se incrementa con la disminución del nivel de voltaje o tensión. Los nodos de las redes de MT generalmente tienen radios de abastecimiento que varían entre 5 y 25 [km]. Se considera que el radio de suministro para redes de BT (estación de transformadores) está entre 100 y 500 m.

Las propiedades de la línea de transmisión dependen de los criterios de red mencionados antes y más ciertamente de la gama de frecuencias de transmisión de datos.

### **2.3 Definiciones básicas sobre PLC**

Powerline Communication (PLC), también conocido como Comunicaciones mediante red eléctrica, utiliza las líneas de la red eléctrica para proporcionar acceso a diferentes servicios secundarios en lugar de establecer una infraestructura dedicada como medio de transmisión para cada servicio tales como líneas telefónicas, conexión a Internet, televisión o cable.

PLC es un grupo de tecnologías que libera a los clientes de la dominación de la compañía telefónica. PLC puede ofrecer conectividad de banda ancha que no está disponible a través de las líneas eléctricas.

Los productos PLC están diseñados para proporcionar acceso de datos utilizando la red de distribución de electricidad como medio de transmisión. PLC es similar a la Línea

de abonado digital (DSL) en el sentido de que ofrece señales de datos de alta frecuencia usando la infraestructura existente en los cables de una manera secundaria.

Con el fin de comprender que es PLC, veamos la Figura 2-13. La electricidad sale de la estación de generación de energía a través de las subestaciones de transmisión con voltajes muy altos (400 kV y 132 [kV]) para la transmisión a gran distancia. Cerca a la zona de consumo, las tensiones se reducen a media tensión (10 kV), dentro de la red de distribución.

En esta sección se puede desplegar PLC para la transmisión de datos entre los proveedores de servicios (SP) y los clientes a través de la conectividad Backbone a transformadores

AT / MT o directamente en la línea de MT. Como alternativa y más aparentemente, PLC es primero desplegado entre los transformadores MT / BT y los clientes, donde la conectividad entre los transformadores MT / BT y las redes troncales está establecido. De esta manera se evitan los obstáculos de puentear señales digitales de alta velocidad a través de transformadores de potencia (hasta el día de hoy, esto es principalmente hecho puentando la estación de transformadores). En la red de BT se necesita acoplar las señales PLC a las tres líneas para asegurar la conectividad a todos los clientes. Téngase en cuenta que las señales PLC puede ser inyectadas a BT e incluso a MT, no sólo en los transformadores, como se muestra en Figura 2-13, sino en cualquier punto en el que la conectividad básica está disponible aunque esto también depende de los límites en distancia para la señal y los requerimientos de capacidad.

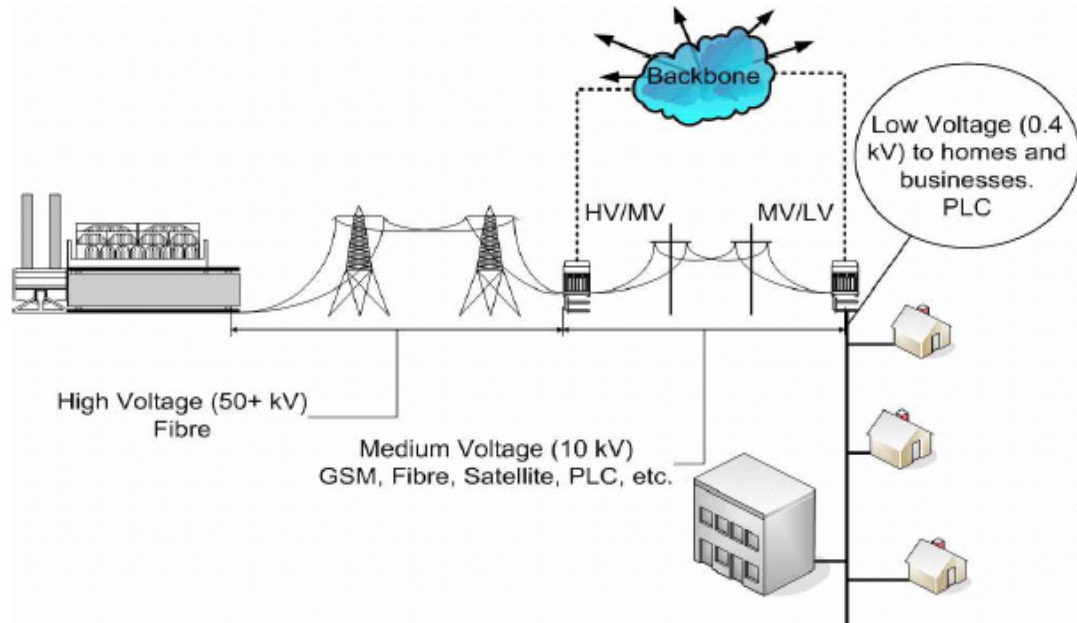


Figura 2-13. Muestra el sistema de suministro de electricidad con PLC. Observe que el acceso a la conectividad la red básica se pueden desplegar ya sea en el MT / BT en los transformadores o AT / MT transformadores.

Entre los transformadores y los clientes, PLC está desplegado en proporcionar acceso a la red de base. Entre las principales redes y los transformadores, otros medios de comunicación se puede aplicar como la fibra óptica, acceso inalámbrico, etc.

Dado que la tecnología PLC depende directamente de la red eléctrica, la red PLC a implementarse debe ser cuidadosamente estudiada para el buen diseño y dimensionado de la red PLC. Algunas características, como la densidad de clientes por zona por ejemplo, son elementos clave para asegurar el buen funcionamiento del negocio y garantizar la viabilidad del proyecto. Por lo general, la red de suministro eléctrico está diseñado para satisfacer las demandas de los clientes. En zonas de alta densidad de clientes, la red es redundante y tiene un alto entrega de capacidad. Este no es el caso de las zonas rurales o remotas, donde las líneas de energía corren las largas distancias entre los clientes locales muy distantes entre sí. Estas diferencias dentro de la red eléctrica tiene un impacto significativo en el despliegue de los sistemas de PLC tales como la distancia y el acoplamiento de transformadores que afectan directamente a las señales de comunicación de alta velocidad. Sin mencionar la diferencia entre los gastos generales y las líneas eléctricas subterráneas especialmente cuando se considera la

interferencia de radio frecuencia con bandas de radio protegidas como la banda de Radioaficionado. [3]

## **2.4 Beneficios y ventajas de PLC**

El PLC tiene varios beneficios y ventajas como por ejemplo:

- El potencial de proporcionar a cada casa, una rápida conexión de datos a los proveedores de servicios, dado que casi todas las casas están en una red de suministro eléctrico.
- El uso de cableado dentro de los locales del cliente proporciona un punto de acceso de datos en cada enchufe.
- Suministro de un servicio similar a DSL y cable módem.
- Para la compañía eléctrica, PLC ofrece, la mejora de la seguridad de la red de energía y eficiencia con mando a distancia, vigilancia de aparatos, gestión de la demanda, automatización de sistemas, gestión de activos, control de calidad del suministro, control de carga, y lecturas remotas. [4]

## **2.5 Modos de Comunicación PLC.**

PLC básicamente tiene dos modos:

- Para el hogar, también llamada PLC de línea larga.
- Dentro del hogar, también llamado en PLC interior.

Ambas formas implican la conversión de los contenidos digitales a una señal de frecuencia de radio que comparten el mismo cable que suministra energía eléctrica a clientes locales y en los mismos .

### **2.5.1 PLC de línea larga. (acceso)**

Esta tecnología proporciona conectividad de última milla para los clientes locales a través de la red eléctrica para proporcionar electricidad de los generadores a los clientes. El contenido digital es convertido a transmisiones de frecuencia de radio mediante pasarelas ubicados en los principales nodos de las redes eléctricas como las centrales

eléctricas o estaciones de distribución de energía. Estas pasarelas conectan la red de acceso PLC a internet y la telefonía pública conmutada a través de enlaces convencionales de alta velocidad como fibras ópticas. Estas pasarelas pueden ser la Cabecera Terminal de BT y la Cabecera Terminal de MT en la Figura 2-14.

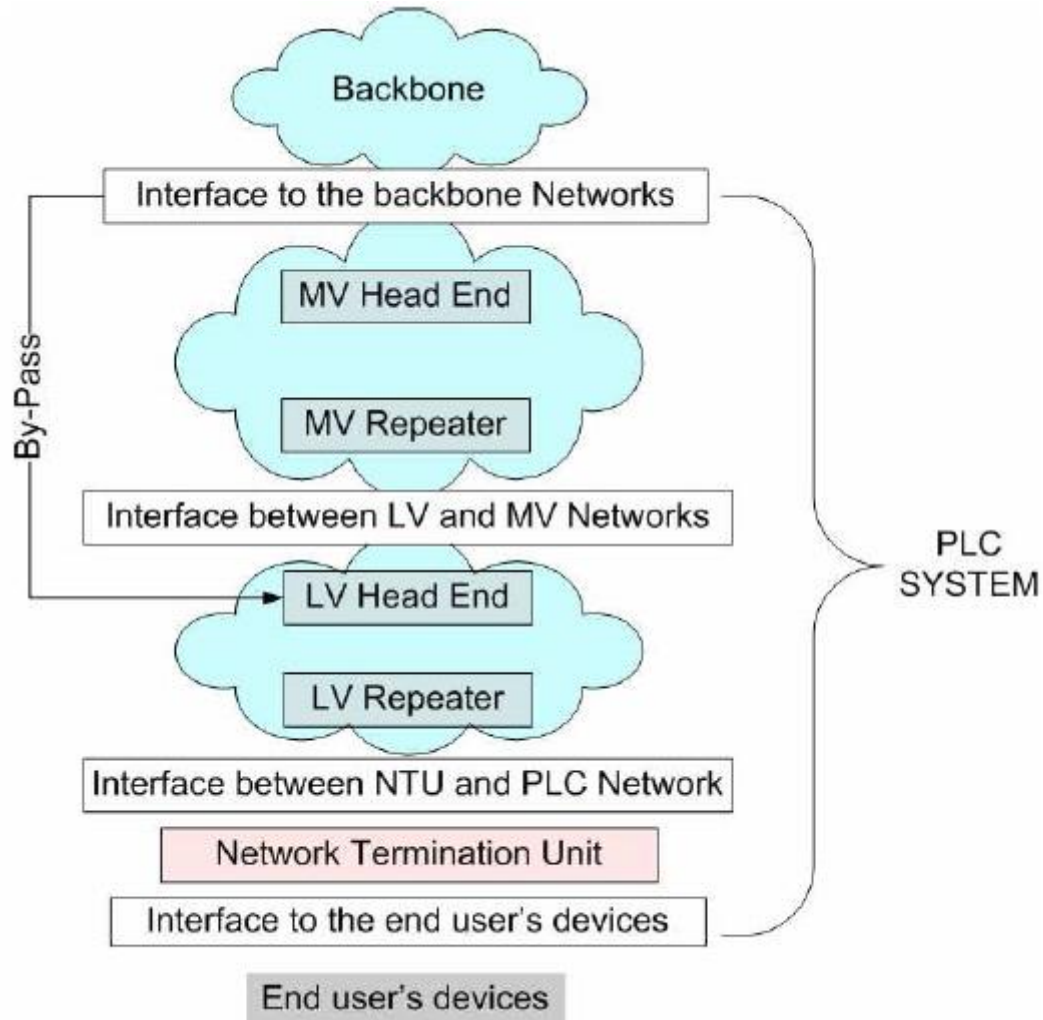


Figura 2-14. Panorama de la arquitectura general de un sistema de acceso PLC. Observe que la red de Media Tensión se puede evitar y el PLC-sistema puede ser aplicado en la red de Baja Tensión.

En las instalaciones del cliente, las transmisiones por radio son filtradas por la terminación de la red Unidad y convencionales a través de la red de área local que no recircula potencia a otros dispositivos eléctricos.

### **2.5.2 PLC interior.**

Esta tecnología se denomina en ocasiones comunicación por enchufe eléctrico. Utiliza los mismos principios para entregar el contenido de los datos a través del cableado eléctrico existente en locales del cliente. Con esta tecnología, cada enchufe puede ser un punto de acceso de datos. Un dispositivo de puerta de enlace puede asegurar un puente entre, por ejemplo, la Internet y los locales de la red eléctrica interna. [4]

## **2.6 Capacidades de PLC**

La tecnología actual permite la comunicación de datos sobre la línea de alimentación a niveles tales que la red se creía imposible no hace mucho tiempo. Tasas de transmisión de hasta 200 Mbps son comercialmente disponibles en el mercado. Algunos desarrolladores de tecnología y proveedores están trabajando en velocidades de hasta 600 [Mbps]. Estas tecnologías se aplican en diferentes partes del mundo en proyectos piloto y despliegue comercial de empresas. En esta sección se estudiarán las capacidades de los PLC y BPL específicamente como lo es hoy y las hojas de ruta de mañana. Así hoy en día, es posible proporcionar una amplia gama de servicios de telecomunicaciones sobre la base de Tecnologías PLC. Veamos algunos de los servicios que participan hoy en proyecto pilotos y ensayos comerciales.

### ***Domótica***

Las tecnologías PLC proporcionan una puerta de enlace de datos para la automatización y el control del hogar. Los sistemas domóticos existentes y los sistemas de control puedan ser gestionados con PLC. Sistemas desarrollados totalmente en PLC también puedan beneficiarse de las capacidades de la red integrando en casa soluciones de automatización y control.

### ***La creación de redes locales.***

Utilizando la instalación eléctrica como medio de transmisión, PLC puede proporcionar soluciones de creación de redes locales para una gran variedad de aplicaciones. Con PLC interior pueden interconectarse televisores, juegos de audio, altavoces, etc mediante la instalación eléctrica sin necesidad de una una fuente de alimentación y un

cable adaptador de corriente para hacer funcionar estos dispositivos, no hay necesidad de hubs, switches, routers, ni sus cables si tiene un local con red PLC.

### ***Internet***

Uno de los principales servicios que puede ofrecer hoy PLC es un acceso a Internet a todo el mundo. BPL ha llegado a sorprendentes velocidades de procesamiento que lo convierten en un rival para la tecnología de otras soluciones, como DSL por ejemplo.

### ***Streaming digital***

Con el cada vez mayor de ancho de banda ofrecido por BPL, ahora también ya son posibles brindar servicios de audio streaming y de vídeo digital. Anchos de banda de hasta 200 [Mbps] comparten la capa física que está comercialmente disponible y los proveedores ya están trabajando para proveer de 600 [Mbps] en el futuro.

### ***VoIP***

La demanda de servicios de red tales como Voz sobre IP son ahora también soportados con el apoyo de las nuevas soluciones BPL. Estos servicios requieren de una alta fiabilidad y disponibilidad de la red de comunicación.

### ***MOA***

Ahora también en diferentes partes del mundo se implementan sistemas de gestión de medición automática con tecnologías PLC.

### ***Comunicaciones remotas***

Añadiremos a todo esto, la capacidad inherente de llegar con los servicios de telecomunicaciones a casi todos los clientes conectados a la red eléctrica. Esto es debido a la bien establecida infraestructura de red eléctrica que aprovechan las soluciones de PLC como medio de transmisión de datos.



## ***2.7 Desafíos de PLC***

El PLC tiene algunas limitaciones que podrían explicar su ausencia en el mercado a gran escala en la actualidad. Es después de todo una tecnología que se conoce desde hace muchas décadas pero sin embargo, todavía está en evolución. Algunas de las limitaciones mencionadas a continuación pueden finalmente evitarse en cierta medida con la ayuda de las nuevas, potentes y asequibles procesadores dedicados de señal digital PLC.

### ***2.7.1 Atractivo comercial.***

Por lo general, es difícil para las soluciones PLC competir comercialmente con otras tecnologías de comunicación maduras que ya se han aplicado en la misma zona. Esto es simplemente debido a que las infraestructuras existentes ya han recuperado su inversión y ya son rentables. Por supuesto que la tecnología PLC tiene la ventaja inherente de su implementación en infraestructuras de bajo costo ya que comparte los mismos medios de transmisión con una aún más madura y bien establecida infraestructura, la red de distribución eléctrica. En términos generales, PLC es comercialmente atractiva si es:

- implementado en áreas con baja concentración de accesibilidad a troncales de comunicación.
- implementado en áreas con pocas alternativas de telecomunicaciones.
- implementado en áreas con alta densidad de población.

Los nuevos desarrollos en tecnologías DSP (DS2 es un ejemplo) y su cada vez menores precios dan como resultado soluciones PLC más eficaces en la superación de los retos presentada por la misma ventaja del PLC, es decir, la red eléctrica.

## ***2.8 Cuestiones de Diseño***

El diseño y dimensionamiento de las redes de acceso PLC / BPL depende de varios factores. Uno de ellos es la topología de la red de suministro eléctrico propio. Otros factores son comunes para PLC así como otras tecnologías de acceso. Estos son:

### ***Ubicación de red***

Las redes PLC se pueden aplicar en zonas residencial (rural y urbana), industriales y de negocios. Las zonas residenciales por lo general tienen menos densidad de población que las áreas de negocio. Los tres sub categorías tienen diferentes perfiles de carga. La densidad de los clientes no es el único parámetro de diseño a especificarse por la ubicación de red. Las demandas de los clientes también varían de acuerdo a la ubicación del cliente. Clientes en el sector industrial y tienen diferentes requisitos para sus áreas de negocio que los clientes residenciales. Clientes industriales, en comparación a clientes residenciales, por lo general tienen mayores exigencias a las redes de PLC en términos de la capacidad, seguridad y disponibilidad.

### ***Longitud de la Red***

En la red de distribución de BT , la distancia más larga entre un transformador MT / BT de la estación y un cliente es diferente de una zona a otra. Normalmente, las líneas de distribución BT en las zonas rurales son más largos que en las urbanas. Estas diferencias son decisivas para instalar repetidores de señal PLC a lo largo de las líneas de distribución o no.

Por lo tanto, es casi imposible llegar a un diseño óptimo para el despliegue de PLC en todas las redes eléctricas. El sistema PLC depende directamente de la infraestructura específica de la red que se aprovecha. También hay una directa dependencia con la distribución de la población de los clientes conectados. En zonas altamente pobladas, metropolitanas, zonas urbanas y suburbanas, la red de suministro eléctrico se diferencia por la redundancia de la cuadrícula, el número de clientes por transformador de BT, menor distancia del cliente a las estaciones transformadoras y las grandes posibilidades de interconexión troncal. En áreas menos pobladas tales como las zonas rurales y remotas, la red eléctrica es normalmente diseñado para cumplir otras exigencias como la transmisión a larga distancia. Por lo tanto, no es sorprendente encontrar a algunos clientes directamente conectados a la red MT. También se espera que el número de clientes por transformador sea mucho menor que en zonas con alta densidad de población.

Esas variaciones en la red de suministro eléctrico juegan un papel muy importante en el diseño del sistema de PLC que ofrece datos de alta velocidad de conexión a los clientes. La Figura 2-16 muestra lo que por lo general se evoca como dos posibles configuraciones PLC que podrían ser desplegados de acuerdo con el mencionado diseño y dimensionamiento.

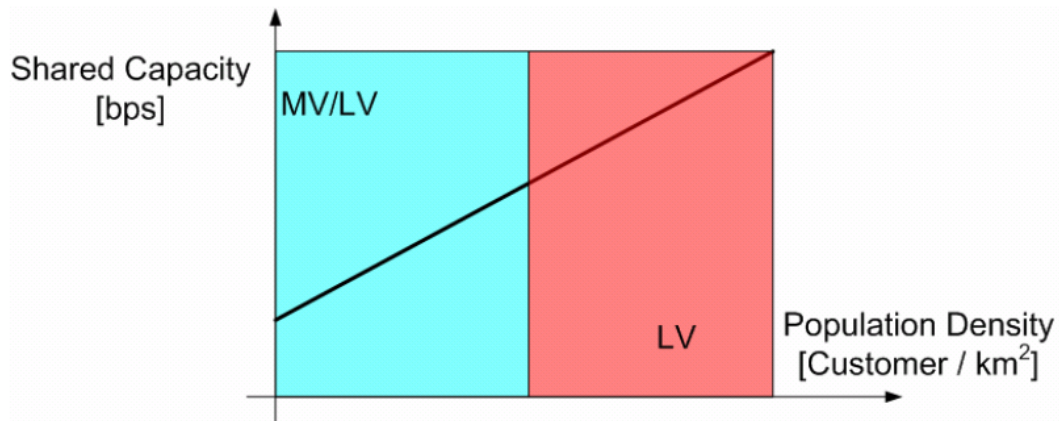


Figura 2-16. Ilustración de la dependencia de la capacidad compartida de la conexión PLC con la densidad poblacional de la zona. Cuanto mayor es la densidad, mayor capacidad compartida es necesaria para satisfacer las necesidades del cliente. También muestra que la red de electricidad es la más adecuada para el despliegue de acceso PLC. En áreas de baja densidad poblacional, la señales de datos necesitan recorrer largas distancias entre la interconexión backbone y los clientes, utilizando la red MT / BT como medio de transmisión, mientras que, en zonas de alta densidad poblacional, la red de BT es adecuada como medio de transmisión entre la interconexión backbone y los clientes.

### ***2.8.1 Configuración de Media Tensión***

Esta configuración despliega la red de MT y BT como medio de transmisión de señales de datos de alta velocidad. En algunos casos, especialmente en zonas rurales y remotas donde la densidad poblacional es extremadamente baja, pocos clientes locales están conectados directamente a la red de distribución de MT a causa de la larga distancia y la consiguiente caída de tensión. En esas zonas, la accesibilidad Backbone, por GSM, fibra o satélite, simplemente no es factible debido a la baja densidad poblacional. Por lo tanto, la única manera viable es transmitir las señales de los datos sobre las líneas de MT tanto como sea posible de una zona con mayor densidad de población y una mejor

oportunidad de interconexión backbone como la mostrada en la Figura 2-17. Esta configuración necesita equipos diseñados especialmente para PLC que proporcionan altos SNR para viajes de larga distancia y repetidores de señal. Por otro lado, la capacidad de conexión no es una cuestión de diseño como la línea PLC normalmente compartida por varios clientes. Observe que con esta configuración, las señales de datos necesitan puentear los transformadores de MT / BT, tal como se observa en la zona marcada como MT / BT en la Figura 2-16.

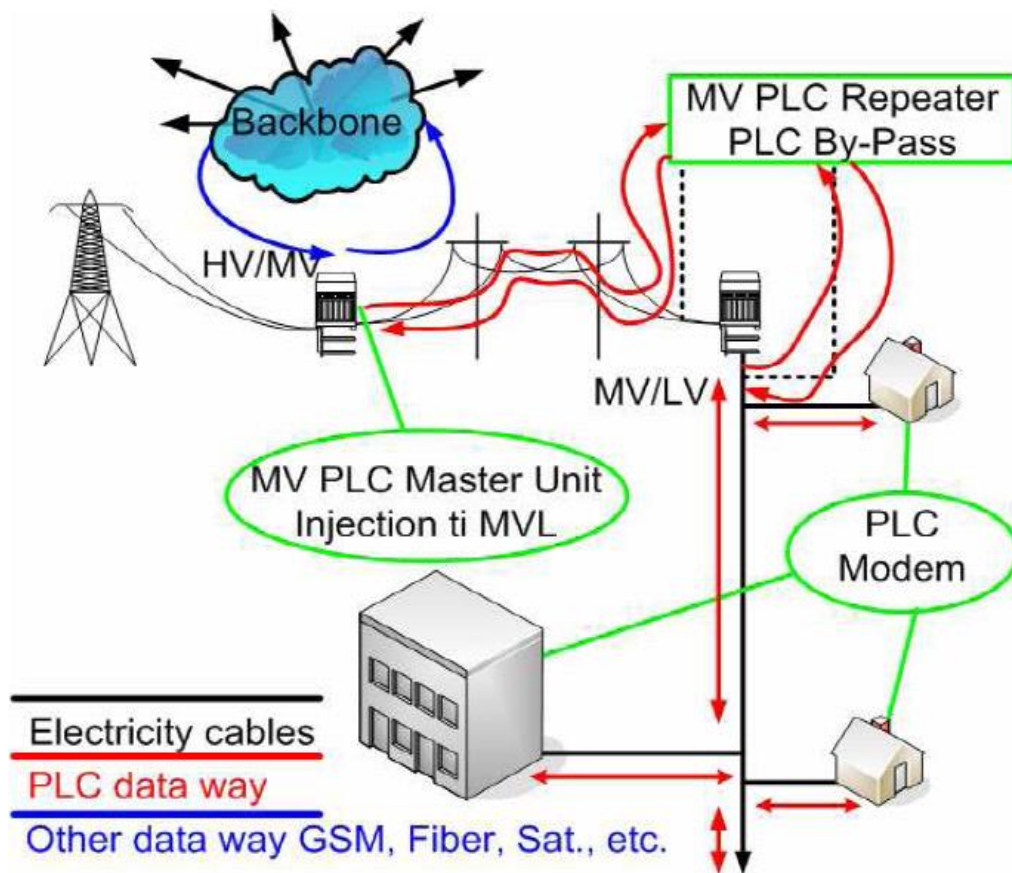


Figura 2-17. Instalación de PLC incluyendo la red de MT. Esta configuración corresponde a la zona marcada como MT / BT en la Figura 2-16. Téngase en cuenta que se necesitan más unidades PLC se necesitan para cubrir una mayor área de red. Al menos dos unidades MT deben estar instaladas en la línea de MT, una para proporcionar accesibilidad al backbone y otra para la repetición de la señal y puentear el transformador MT / BT y la inyección de señal.

### 2.8.2 Configuración en Baja Tensión

Esta configuración es la más sencilla y es apto para la mayoría de las zonas densamente pobladas. Aquí, los datos viajan distancias más cortas entre el cliente y los puntos de acceso Backbone disponibles en los transformadores de BT. Esto simplemente se debe a la bien establecida infraestructura básica en las áreas metropolitanas, zonas urbanas y suburbanas. Debido al mismo hecho, PLC debe proporcionar conectividad de alta capacidad por línea, con el fin de satisfacer la densa presencia de clientes. Esta configuración se observa en parte de la figura 2-16 marcada con BT.

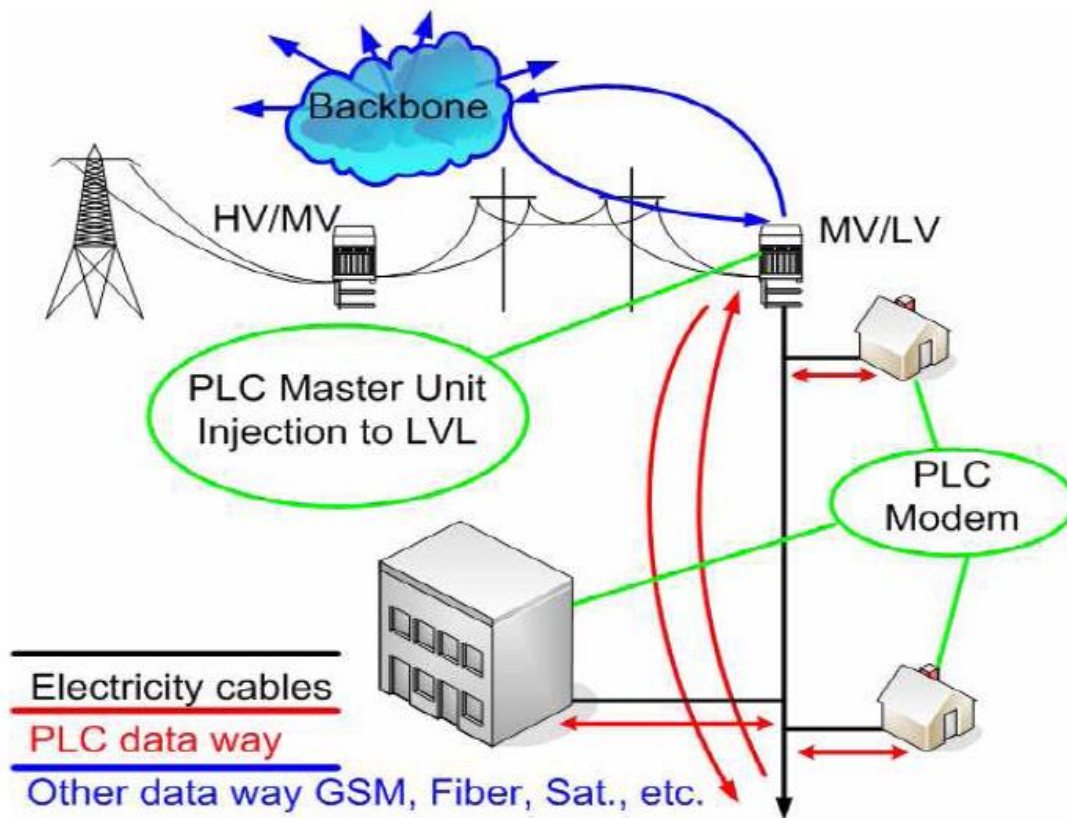


Figura 2-18. Instalación de PLC en la red BT. Esta configuración corresponde al área marcada como BT en la Figura 2-16 donde se toma en consideración la alta densidad de clientes para proporcionar conectividad PLC de alta capacidad dentro de áreas pequeñas y, por tanto, no tener que inyectar señales de datos en la red MT.

## **CAPITULO 3**

### **3. ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1 EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA**

##### **3.1.1 ORIGEN**

La tecnología que permite ofrecer servicios de comunicaciones a través de la red eléctrica no es reciente. Las compañías eléctricas llevan utilizando este tipo de tecnología desde hace muchas décadas, para poder comunicarse con las ubicaciones mas remotas de sus redes de generación, como son las centrales hidroeléctricas o los transformadores remotos, en donde por supuesto no llega la red telefónica.

En los años 50 se había creado un sistema en el cual como objetivo principal permitía a las empresas de energía eléctrica controlar el consumo, el encendido del alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas. Es así que por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) y a velocidades de 9.6 kbps. Se utilizaban pues, las líneas de alta tensión para transmitir datos, con unas velocidades muy pequeñas, pero suficientes para el telecontrol (mantenimiento, control y gestión de las redes eléctricas, detección de averías en las líneas eléctricas, transmisión de datos procedentes de la lectura de los contadores). Sin embargo se presentaron varios inconvenientes entre ellos la baja velocidad y la transmisión en una sola dirección. A mediados de los 80 se iniciaron investigaciones sobre el empleo de los cables eléctricos como medio de transmisión de datos y a fines de esa década ya se conseguía transmitir información en ambas direcciones, es así que compañías eléctricas de países europeos, tales como Inglaterra y Alemania empezaron a utilizar sus redes de distribución para la transmisión de datos de modo interno.

A finales de los 90 se consiguió que esta transmisión se realizara a velocidades suficientemente elevadas. Esto permitió vislumbrar una aplicación en el campo de las telecomunicaciones: el acceso a Internet, los proyectos e investigaciones se

incrementaron, el objetivo era conseguir velocidades más altas y mejorar la calidad de la señal.

Durante el desarrollo de esta tecnología se experimentó la capacidad de transmitir datos a 1 Mbps e incluso a 10 Mbps en cortas distancias. Fue así como en el año 2000 se crea el protocolo NISCOM, el primero que permitía operar en las líneas de distribución eléctrica como una verdadera red de comunicaciones. Esta tecnología fue conocida en ese entonces como **PLC** “Power Line Communications”.

La atracción que despertó esta tecnología se puso en evidencia con las alianzas estratégicas y el apareamiento en el mercado de nuevos productos. En el año 2001, Polytrax una empresa alemana y la japonesa Hitachi presentaron un prototipo de módem específico para líneas eléctricas, el cual permitía el acceso a Internet a una velocidad de 1.5 Mbps y empleaba como sistema de modulación **OFDM** “Orthogonal Frequency Division Multiplex”.

Por lo tanto el PLC ha tomado distintos alcances según su posición dentro de los sistemas de comunicaciones tal cual se describe a continuación:

- **Power Line Carrier:** telecontrol, supervisión, AMR (Medición Automática y Remota) en líneas de AT – MT (Kbps)
- **Power Line Communication:** transmisión de datos AT – MT (< 1 Mbps)  
(Distancias Medias)
- **Power Line Communication:** Banda Ancha (>10 Mbps)

### 3.1.2 PRUEBAS Y PROYECTOS PILOTO

El rápido desarrollo de nuevas formas de modulación y técnicas de transmisión, además del crecimiento de la demanda por servicios de banda ancha, motivó a importantes compañías a nivel mundial ha emprender proyectos de investigación y pruebas piloto para trabajar con la tecnología PLC.

Inicialmente, las pruebas de campo se realizaron con pequeños grupos de usuarios para luego emplear la tecnología para comunicar ciudades enteras.

Durante el período de duración de las pruebas se llevaba a cabo un monitoreo continuo de parámetros de calidad, tales como tiempo de indisponibilidad, máximo caudal de datos y **BER** (Bite Error Rate). Además se obtenía información sobre el tiempo de despliegue de la red, comportamiento, hábitos de los usuarios e índice de concurrencia; lo que permite caracterizar tanto la red de distribución eléctrica, los módems PLC y las principales necesidades del usuario.

Los proyectos piloto desarrollados a nivel mundial son varios, no todos concluyeron con éxito, pero fueron una importante contribución para conocer las posibilidades de esta tecnología e identificar los problemas que actualmente están siendo superados.

A continuación se detalla las principales pruebas y proyectos realizados:



**Tabla 3.1 a Principales proyectos piloto a nivel mundial**

PAÍS	AÑO	OPERADORA	PROVEEDORA	DESCRIPCIÓN
<b>EUROPA</b>				
Alemania	1998	EnBW-Tesion	Siemens/ NOR.WEB	Las pruebas empezaron con 150 clientes, El sistema se basa en topología estrella, usa modulación OFDM, que distribuye a 400 portadores a lo largo de una banda que va de los 0 a los 10 MHz.
	2000	RWR	ASCOM/KEVIN	Se empleó PLC como tecnología de acceso desde el transformador de bajo voltaje a 200 hogares, de los cuales 150 fueron equipados con tecnología ASCOM y 50 con KEYIN.
	2000	MVV	ABB/ALCATEL	Fuchs Petreolub es el primer cliente industrial. Además en Mannheim se realizó una prueba en 100 hogares.
	2000	VEBA/Avacon Online	Online/Enikia	Se realizó una prueba en 8 hogares, para probar servicios de alta velocidad para transmisión de voz y datos.
Italia	2000	Evicom Sydkraft	ASCOM	Se empleó tecnología PLC desde los hogares a la subestación y fibra óptica para el tramo restante.
Suecia	2000	ELMU/Novaco	ASCOM	Se experimentó con equipos LC de segunda generación.
Hungría	2000	R-KOM	Siemens	Pruebas piloto en la ciudad de Budapest
Dinamarca	2000	R-KOM	Alcatel	Participaron clientes corporativos como la empresa Danone.
Austria	2001	EVN	ASCOM	Permitía velocidades de transmisión de 3 Mbps. Empleaba un innovador chip que evita interferencias eléctricas.
Francia	2001	France Telecom	ASCOM	Pruebas de los servicios potenciales aceptación de los clientes.
Rusia	2002	Energomegasbit	ASCOM	Se desarrolló en 20 mil usuarios.
Inglaterra	2003	SST Telecom	MAIN NET	Plan piloto comercial con mil usuarios en la ciudad de Winchester.
España	2000	Iberdrola/NAMS	NAMS	El proyecto denominado Niscom1 probó el acceso a Internet, voz y videoconferencia. En el proyecto Niscom2 se alcanzó velocidades de hasta 10 Mbps.
	2000	Endesa	ASCOM	Se desarrolló en Barcelona, alcanzó 3 Mbps e incluyó el servicio de telefonía.
	2001	Endesa	DS2	Fue realizada en Sevilla, incluyó acceso a Internet, video, música, telefonía IP y videoconferencia a 12 Mbps.

**Tabla 3.1 b Principales proyectos piloto a nivel mundial**

PAÍS	AÑO	OPERADORA	PROVEEDORA	DESCRIPCIÓN
<b>AMÉRICA</b>				
Estados Unidos	2002	Cinergy	ASCOM	Se realizó en Cincinnati y con pequeñas compañías municipales de zonas rurales.
	2002	Nortel	NORWEB	Se realizó en la escuela “Seymour Park” y en dos localidades cercanas a la subestación Stanley en Manchester.
Chile	2002	Emel	TECNOCOM	Emplea un sistema de acceso a Internet por medio de satélite y para la distribución entre los usuarios usa PLC de segunda generación a 3 Mbps.
Brasil	2001	CEMIG	ASCOM	Incluye 40 puntos de Belo Horizonte y permite acceso a Internet de banda ancha empleando la red de baja tensión.
	2002	Electropaulo	ASCOM	Los datos se transmiten a incluso 45 Mbps en el rango de frecuencia de 5 a 30 MHz.
Costa Rica	2003	ICE	MAIN NET	Las pruebas se realizaron en la localidad de Cartago y Heredia a través de RAC, una subsidiaria del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La proyección de usuarios de la zona es de 67000 abonados. La velocidad por transformador empleada fue de 2.5 Mbps. Los resultados mostraron que no existió problemas de interferencia con los servicios VHF y bandas AM y FM de radio.
México	2006	CFE/AXTEL	DS2	Las pruebas iniciarán a partir de enero, en el área metropolitana de Monterrey y utilizarán la red eléctrica de media y baja tensión de la CFE.

### **3.1.3 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS**

#### **3.1.3.1 Retos tecnológicos y estandarización**

Las redes de comunicación experimentan transformaciones encaminadas a proveer servicios más amplios y universales. Así, este cambio se refleja en la mayor capacidad de las redes, la alta demanda por servicios de banda ancha, la liberalización que abre las puertas a nuevos operadores y la reducción de precios. La necesidad de contar con redes alternativas y el desarrollo de sistemas complejos de modulación de espectro expandido para reducir el ruido en las líneas eléctricas, promovió a que una tecnología que acumulaba años de experiencia, alcanzara un entorno que hoy la convierte en atractiva.

La tecnología “Power Line Communications” pasó a ser considerada como una tecnología de banda ancha cuando ofrecía una velocidad igual o superior a 2 Mbps. A partir de esta velocidad fue posible ofrecer servicios multimedia y acceso de un mayor número de usuarios a Internet, especialmente en las áreas rurales. En el año 2004, la FCC “Federal Communications Commission” inicia el proceso de estandarización de esta nueva generación de la tecnología PLC a la cual denomina: BPL “BROADBAND OVER POWER LINE”.

Varias han sido las organizaciones involucradas en la regulación de esta tecnología, es así como para el año 2005 el estudio de las comunicaciones de banda ancha a través de la línea de poder BPL forma parte de la agenda de los más importantes comités consultivos. Entre los cuales se destaca el aporte de la Unión Europea y de los Estados Unidos.

#### **3.1.3.2 Retos económicos**

Las condiciones que permitirán un impulso económico de BPL incluyen, topología de la red eléctrica de baja y media tensión, oferta de tecnologías similares en el mercado, penetración de los servicios de comunicaciones y el grado de desarrollo de la población en la región o país en el que se implementará. Debido a ello cada empresa previa a la incursión en este mercado han cumplido con una etapa de análisis de factibilidad y pruebas que permitan identificar las posibles ventajas y desventajas. Con ello es posible conocer cual será la adecuada estrategia y el segmento de mercado a cubrir.

La tecnología “Power Line Communications” pasó a ser considerada como una tecnología de banda ancha cuando ofrecía una velocidad igual o superior a 2 Mbps. A partir de esta velocidad fue posible ofrecer servicios multimedia y acceso de un mayor número de usuarios a Internet, especialmente en las áreas rurales. En el año 2004, la FCC “Federal Communications Commission” inicia el proceso de estandarización de esta nueva generación de la tecnología PLC a la cual denomina: BPL “BROADBAND OVER POWER LINE”. Varias han sido las organizaciones involucradas en la regulación de esta tecnología, es así como para el año 2005 el estudio de las comunicaciones de banda ancha a través de la línea de poder BPL forma parte de la agenda de los más importantes comités consultivos. Entre los cuales se destaca el aporte de la Unión Europea y de los Estados Unidos.

En la actualidad, varias empresas a nivel mundial ofertan servicios de banda ancha basados en los sistemas BPL de una manera comercialmente viable. Entre las principales tenemos las siguientes:

**Tabla 3.2 Principales despliegues comerciales a nivel mundial**

PAÍS	AÑO	OPERADORA	PROVEEDORA	DESCRIPCIÓN
<b>EUROPA</b>				
Alemania	Mainnet	NW	200 clientes	De acceso: Internet para segmento residencial.
	Ascom	EnBW	700 clientes	De acceso e “In-home”: Internet en hoteles y escuelas.
Austria	Mainnet	Linz StromAG	800 clientes	De acceso e “In-home”: servicios minoristas de Internet y telefonía
	Ascom	Tiwag	250 clientes	De acceso: Internet a nivel residencial, en hoteles y escuelas.
Suiza	Ascom	EFF	1000 clientes	De acceso: servicios mayoristas de Internet
Suecia	Mainnet	Vattenfall	500 clientes	De acceso: Internet para segmento residencial
España	DS2	Endesa	2200 clientes	De acceso: servicios mayoristas de Internet y telefonía.
	ASCOM-DS2	Iberdrola	200 Clientes	De acceso: servicios mayoristas de Internet

Los nuevos sistemas BPL pueden operar dentro de edificios o en el exterior usando líneas eléctricas de voltaje bajo y medio. Dentro de los edificios se pueden lograr redes de computadoras sin necesidad de nuevas líneas y mediante las líneas exteriores se pueden hacer conexiones de Internet. Adicionalmente, las compañías eléctricas pueden continuar usando estos sistemas para monitorear su red de distribución y servicios para manejarlos de forma más eficiente.

### **3.1.3.3 Factores de crecimiento**

Adicionalmente a las características propias de la tecnología BPL, las cuales se describen más adelante, existen otros factores externos que propician su desarrollo, entre ellos tenemos los siguientes:

- Avances en las técnicas de VLSI, lo que permite integrar funciones complejas en los circuitos integrados, tareas que debían hacerse vía software tienen ahora la posibilidad de ser integradas en el mismo chip lo que incrementa la velocidad de ejecución.
  
- Estandarización de los protocolos de comunicación en torno al modelo OSI “Open System Interconnection”. Lo que permite establecer un estándar básico e independiente del medio físico sobre el que se realiza la transmisión de datos.
  
- El crecimiento de Internet y la proliferación de nuevos servicios sobre el protocolo IP, tales como la voz sobre IP (VoIP), vídeo bajo demanda (VoD) y difusión de señal de televisión sobre IP.

### **3.1.3.4 Futuro**

BPL se encuentra en una etapa de crecimiento y en importantes regiones es considerada como una de las posibilidades de mayor proyección en las técnicas de banda ancha. Su mayor uso se encuentra difundido en las redes de baja tensión, las cuales ofrecen condiciones favorables para el sistema europeo.

Sin embargo, con los avances futuros se esperan mayores oportunidades a través de BPL en media tensión, lo cual será una alternativa a las redes de transporte tradicionales y permitirá costos competitivos para el sistema eléctrico americano.

En lo referente a nuevas aplicaciones, las principales tendencias incluyen la prestación del servicio de vídeo a través de BPL y como canal de retorno interactivo para las

plataformas de televisión digital y vía satélite, teniendo en cuenta que actualmente es posible alcanzar velocidades de hasta 200 Mbps.

## **3.2. BPL Y OTRAS TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA**

### **3.2.1 REDES DE BANDA ANCHA**

“Una tecnología de banda ancha es aquella que ofrece una velocidad igual o superior a 2 Mbps, a partir de la cual es posible ofrecer con calidad aceptable, servicios multimedia e interactivos, que combinen voz, datos e imágenes.”. Los tiempos actuales exigen un concepto de banda ancha en el que se ponga de manifiesto la importancia de ser transparente al usuario, la integración de varias tecnologías en torno a un núcleo común y la posibilidad de múltiples servicios sobre el mismo medio de transmisión.

### **3.2.2 TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA EN EL PERÚ**

La tendencia mundial al incremento de las aplicaciones multimedia y sitios interactivos en Internet aumenta también la necesidad de conexiones de mayor ancho de banda.

Las transformaciones e innovaciones tecnológicas de las redes de telecomunicaciones han permitido incrementar la oferta de servicios en el mercado y corresponder con el crecimiento de la demanda.

Sin embargo, en nuestro país la oferta actual de servicios de banda ancha es limitada, generalmente está restringida a zonas específicas y tiene altos costos, lo que hace necesario la investigación sobre la factibilidad técnica para la implementación de sistemas alternativos.

### **3.2.3 DESCRIPCIÓN DE OTRAS TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA**

Con el objeto de conocer algunas características, ventajas y desventajas de otras importantes tecnologías de banda ancha, a continuación se describen las principales.

#### **3.2.3.1 Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA)**

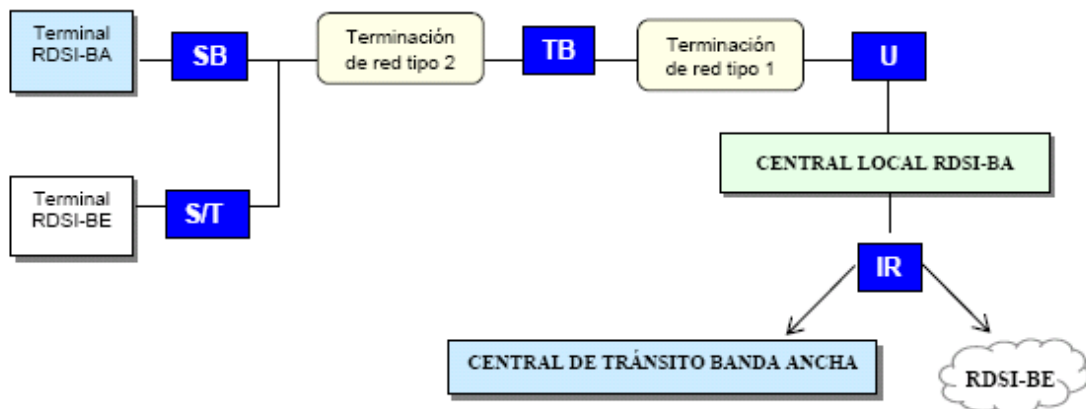
El Sector de Normalización de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), define la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) como una red que ha evolucionado, en general, a partir de la Red Digital Integrada (RDI) para telefonía y que proporciona una conectividad digital de extremo a extremo

para apoyar una amplia gama de servicios vocales y no vocales, a los cuales los usuarios tienen acceso mediante un conjunto limitado de estándares multipropósito usuario – red. De acuerdo a la velocidad de transmisión, RDSI se clasifica en:

- Red Digital de Servicios Integrados de Banda Estrecha (RDSI-BE)
- Permite el establecimiento de conexiones a 64 kbps para ofrecer a los usuarios capacidades de servicio de hasta 2 Mbps.
- Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA)
- Proporciona velocidades superiores a 2 Mbps y conectividad extremo a extremo soportando múltiples servicios (voz, datos, vídeo, etc.) independientemente del ancho de banda requerido.

**Características.-**

- Los principales servicios de RDSI-BA son: videocomunicación de alta calidad, transmisión de datos de alta velocidad, servicios de distribución de vídeo y programas musicales de alta fidelidad (HI-FI) e interconexión con la banda estrecha.
- El modelo de referencia RDSI-BA es semejante al establecido para la RDSI-BE, sin embargo las características técnicas y tecnologías implicadas son diferentes (ATM y fibra óptica monomodo). La figura siguiente muestra un esquema general de este modelo de referencia.



**Figura 1.12 Modelo de referencia RDSI-BA**

- Para la RDSI-BA se ha adoptado internacionalmente el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). Este procedimiento consiste en la segmentación del flujo de información en bloques de longitud fija (53 octetos) denominados células que se emiten de acuerdo con los requisitos y necesidades de la fuente de tráfico que las genera, lo que permite que la capacidad de transferencia sea asignada por demanda para cada llamada o comunicación.
- Aunque se plantea el uso generalizado de ATM en la RDSI-BA, durante las fases de introducción de las comunicaciones de banda ancha ATM podría coexistir con la técnica STM (Modo de Transferencia Síncrono). La cual es utilizada actualmente en los sistemas de conmutación digital de la RDI y RDSI-BE, dando lugar a las denominadas técnicas híbridas ATM/STM.
- La fibra óptica monomodo es el soporte físico fundamental de la RDSI-BA en todas sus partes: nivel de tránsito, nivel de acceso y en la propia red de la instalación de abonado. Por lo tanto es necesario disponer de portadores ópticos en el bucle de abonado, capaces de soportar el flujo de información generado por los usuarios en las interfaces de acceso a la red pública.

### **3.2.1.2 Línea de Abonado Digital (xDSL)**

La red telefónica de acceso está constituida por pares de cobre y tiene serias limitaciones para soportar aquellos servicios que requieren un gran ancho de banda debido a que están diseñados para ofrecer un canal analógico de 4 kHz. Sin embargo, xDSL permite convertir las líneas analógicas convencionales en digitales de alta velocidad, aprovechando el bucle de cobre existente siempre que éste reúna un mínimo de requisitos en cuanto a la calidad del circuito y distancia entre el abonado y la central telefónica.

#### **Características.-**

- Permite descongestionar las centrales y la red conmutada ya que el flujo de datos se separa de la señal telefónica y se reencamina por una red de datos.



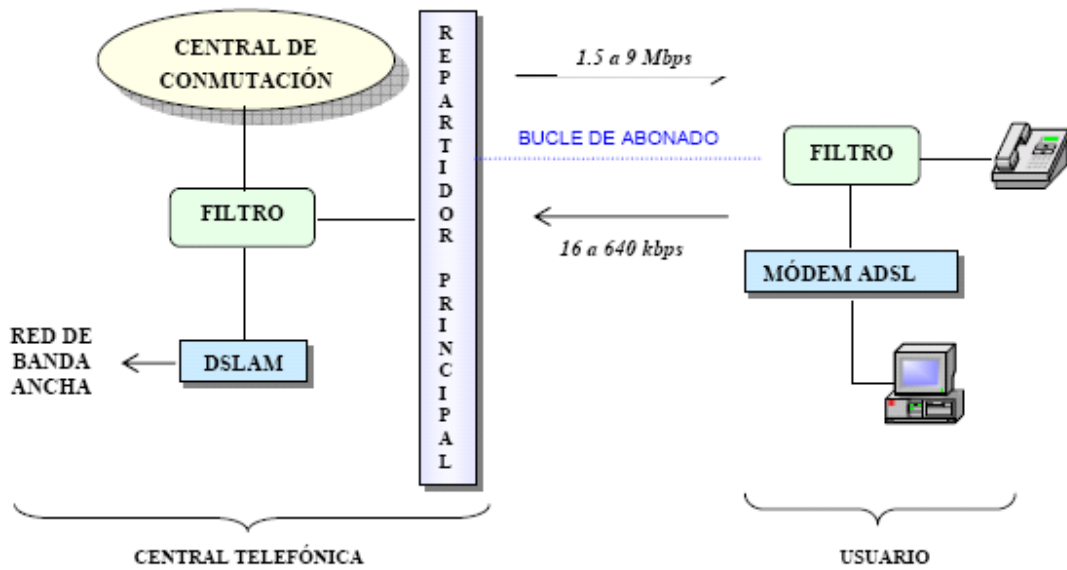
- Se puede ofrecer el servicio de manera individual sólo para aquellos clientes que lo requieran, sin necesidad de reacondicionar todas las centrales locales.
- Es una opción para ofrecer tarifa plana para Internet. xDSL está formado por un conjunto de tecnologías, cada diseño especifica fines y necesidades particulares, como se indica en la Tabla 1.8.
- Algunas formas de xDSL son modelos teóricos y otras son usadas como estándar. De las tecnologías antes descritas ADSL es la más difundida y ofertada en el mercado. Esta tecnología ha tenido éxito en usuarios domiciliarios ya que es la más sencilla y permitir
- aplicaciones como video bajo demanda, acceso a Internet, acceso remoto a LAN y multimedia funcionando perfectamente bien con una relativamente baja tasa de datos ascendente.

**Tabla 3.3. Características de las Tecnologías xDSL**

NOMBRE		VELOCIDAD		DISTANCIA MÁXIMA (m)	DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES
		Ascendente	Descendente		
ADSL	Línea de Abonado Digital Asimétrica	16 a 640 kbps	1.5 a 6 Mbps	5847	Proporciona acceso asimétrico a Internet, aplicaciones multimedia, video bajo demanda, servicios telefónicos tradicionales.
RADSL	Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable	272 kbps a 1 Mbps	640 kbps a 2.2 Mbps	5847	Funciona en similares condiciones que ADSL, pero tiene la ventaja de ajustarse de forma dinámica al estado y longitud de la línea.
UDSL	Línea de Abonado Digital de Pequeña	512 kbps	1.3 Mbps	5486	Es una versión ADSL de bajo costo y velocidad limitada. Permite el acceso a Internet pero no aplicaciones de video.

<b>VDSL</b>	Línea de Abonado Digital de Tasa muy Alta	1.5 Mbps a 2.3 Mbps	13 Mbps a 52 Mbps	1371	Permite altas velocidades pero distancias cortas. Es independiente del medio físico empleado. Es una opción para el último tramo hacia el abonado y alternativa para redes híbridas HFC.
<b>HDSL</b>	Línea de Abonado Digital de Alta Tasa de Datos.	T1: 1.5 Mbps E1: 2 Mbps	T1: 1.5 Mbps E1: 2 Mbps	4572	Permite transmitir tramas T1 o E1 sobre líneas de cobre, mediante el empleo de técnicas avanzadas de modulación. Está enfocado hacia usos empresariales, interconexión de nodos proveedores de Internet, redes privadas de datos, enlaces entre centrales.
<b>SDSL</b>	Línea de Abonado Digital de Simétrica	1.5 Mbps	1.5 Mbps	5500	Es la versión de HDSL para la transmisión sobre un único par, soporta el servicio telefónico básico, servicios interactivos y extensión de LANs. Es ideal para empresas pequeñas y medianas.
<b>MDSL</b>	Línea de Abonado Digital de Simétrica Multitasa	128 kbps a 2 Mbps	128 kbps a 2 Mbps	9000	Soporta cambios operacionales en la tasa del transmisor.
<b>IDSL</b>	Línea de Abonado Digital ISDN	128 a 144 kbps	128 a 144 kbps	5486	Se implementa sobre una línea de ISDN y se emplea como conexión al Internet para la transferencia de datos.

En el modelo de conexión ADSL se pueden distinguir tres canales de información: uno descendente, otro ascendente y el propio canal telefónico. Este último se separa del módem digital mediante filtros, lo que garantiza su funcionamiento ante cualquier falla del mismo.



**Figura 1.13 Modo de conexión ADSL**

### 3.2.3.3 Cable módem

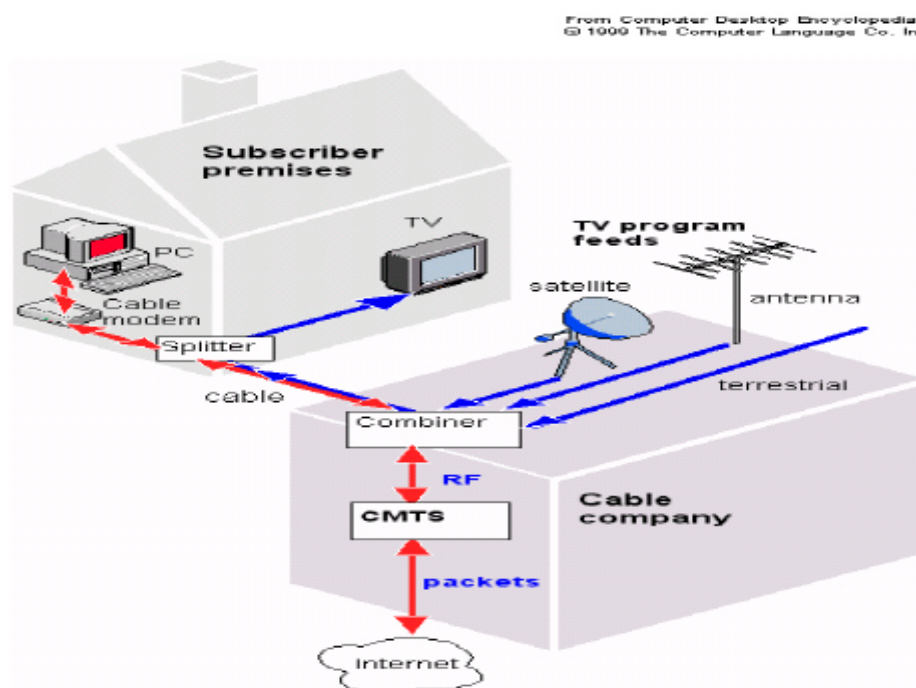
Originalmente las redes de cable se diseñaron para proporcionar servicios de difusión de televisión en zonas de difícil acceso por el método tradicional y se denominaron Cable Televisión o “Community Antenna Television” (CATV).

Los primeros sistemas de esta tecnología empleaban como medio de transmisión cable coaxial y permitían tráfico en un sólo sentido, es decir la difusión de señales de televisión del proveedor al usuario. Los sistemas más evolucionados probaron emplear otros medios de transmisión como la fibra óptica, lo que permitió conseguir mayores ventajas. Adicionalmente, ya se consiguió un flujo de datos bidireccional, aunque a distintas velocidades.

Es así como se originó esta tecnología que a través de un módem específico (cable módem) permite acceder a servicios de banda ancha empleando la red de televisión por cable.

## Características.-

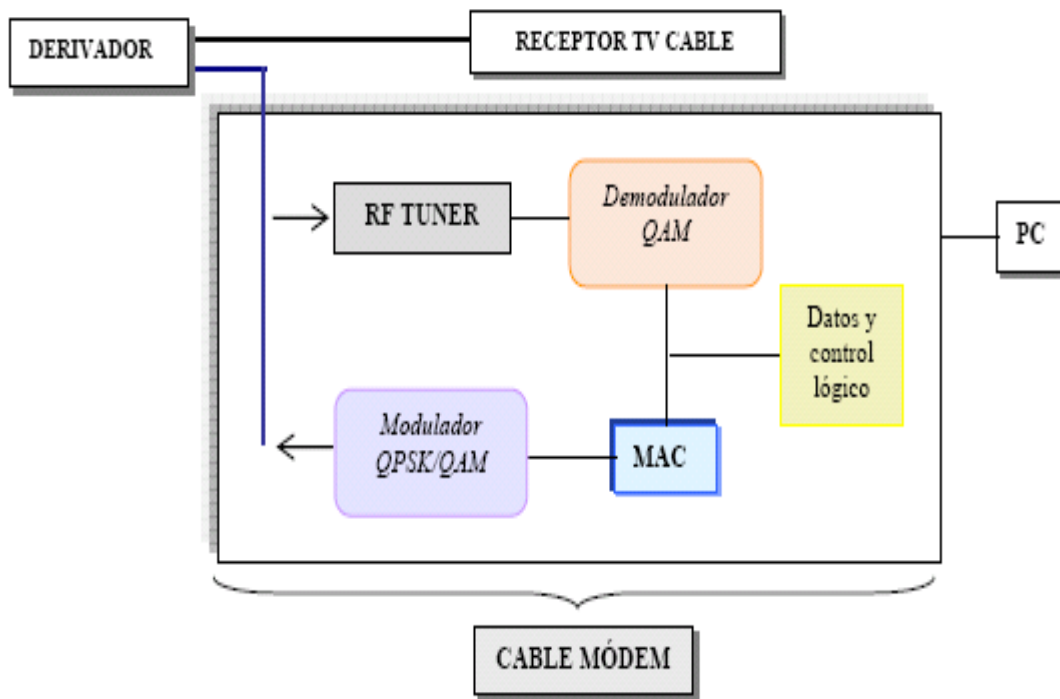
- El cable módem opera en el nivel físico y de enlace del modelo de referencia OSI, siendo transparente al nivel de red, por lo que protocolos como IP pueden ser suministrados sin problema. Así el acceso a Internet puede realizarse como si fuese una conexión a través de la red telefónica pública pero a mayor velocidad.
- La técnica de modulación y la velocidad de transmisión es diferente desde el proveedor hasta el usuario final (subida) que en el sentido contrario (bajada).II
- Al usar una línea compartida la velocidad de conexión a través de esta tecnología varía dependiendo del número de usuarios que empleen el servicio al mismo tiempo. Adicionalmente existe el riesgo de pérdida de privacidad, para evitar este problema se emplean técnicas de encriptación y otras características especificadas en el estándar DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification).
- Uno de los principales elementos de la red de cable es el equipo de cabecera que combina la señal de datos de bajada con el video, audio y los programas que son recibidos por los suscriptores de televisión. La señal combinada es luego transmitida a través de la red de distribución de cable.
- En el sentido inverso los datos provenientes de los usuarios son filtrados y procesados por un sistema terminal de red que los enruta sobre un interfaz multiplexor y encamina hacia las redes exteriores.



**Figura 1.14 Elementos de un sistema de cable módem**

- Un suscriptor puede continuar recibiendo el servicio de televisión por cable mientras simultáneamente recibe datos por el cable módem a ser usado en su computador mediante la ayuda de un derivador. El servicio de datos ofrecido por un cable módem puede ser compartido por incluso 16 computadores en una configuración tipo LAN. La figura siguiente muestra el esquema interior de un equipo terminal de usuario para un sistema cable módem.

**Figura 1.15 Cable módem en el lugar del usuario**



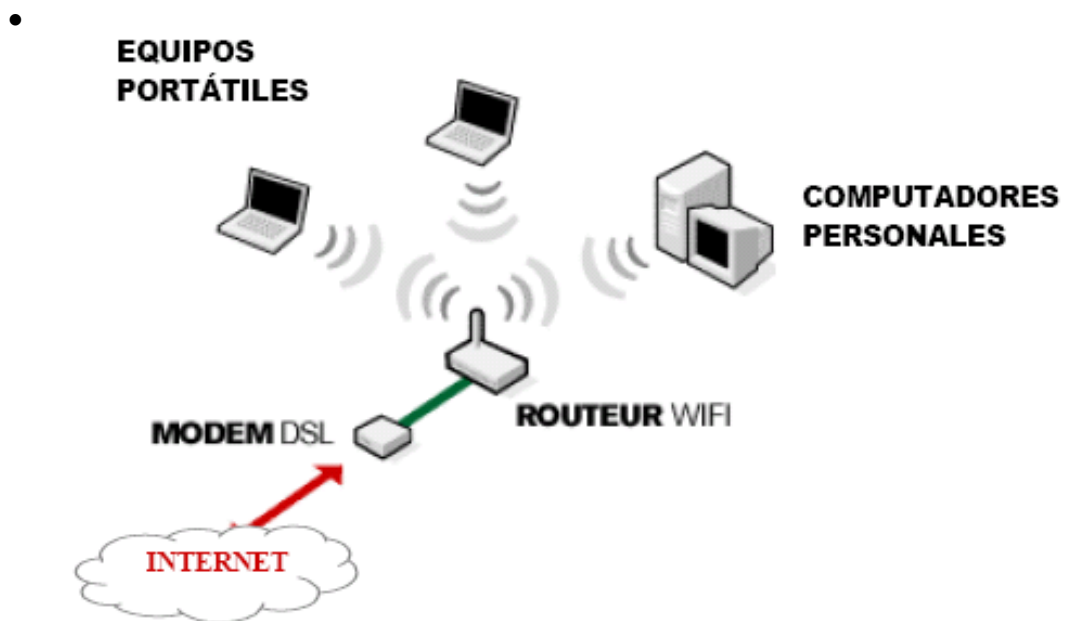
### 3.2.4 Redes de banda ancha inalámbricas

#### 3.2.4.1 “Wireless Fidelity” (WiFi)

Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11. La tecnología WiFi, en términos generales facilita la interconexión de redes de datos en un entorno local sin la utilización de cables físicos sino empleando el espectro radio-eléctrico para su conexión.

### Características.-

- WiFi se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet, transmisión de datos y voz sobre IP.
- Ofrece ventajas como la eliminación del cableado, máxima movilidad dentro de su cobertura, fácil instalación, adaptabilidad y escalabilidad.



**Figura 1.16 Elementos de una red WiFi**

- Uno de los problemas de esta tecnología es la seguridad, por lo cual se debe garantizar con la utilización de protocolos de encriptación de datos como WEP y WPA, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos, o IPSEC (túneles IP) y 802.1x, proporcionados por otros dispositivos de la red de datos

**Tabla 3.4 Especificaciones 802.11**

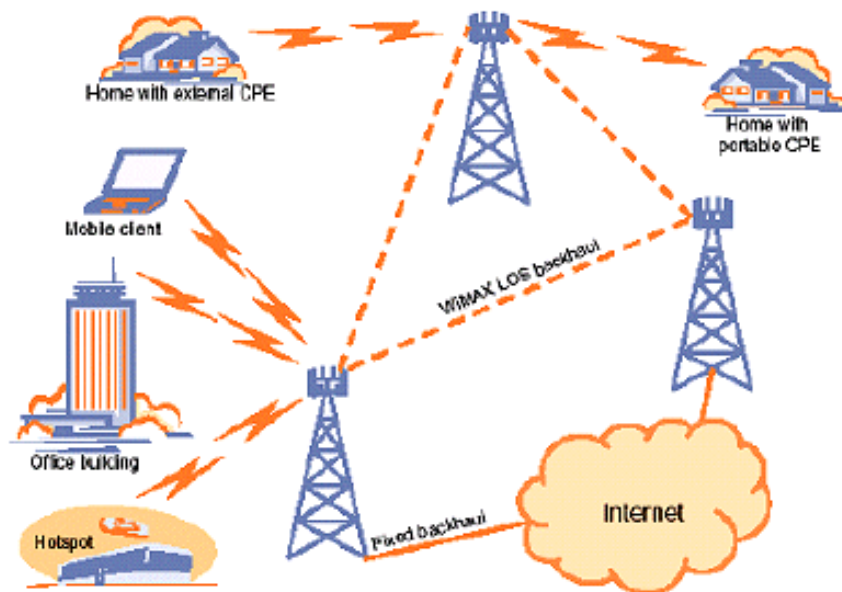
<b>ESTÁNDAR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
802, 11b	11 Mbps, cobertura de celda de 100 m, opera en la banda de 2.4 GHz.
802, 11a	Evolución del 802.11b, a mayor velocidad, 54 Mbps en la banda de 5.7 GHz.
802, 11d	Versión del 802.11b, con translación de frecuencia para aquellos países en donde la banda 2.4 GHz esta siendo utilizada.
802, 11e	Añade al estándar 802.11 a, b y g calidad del servicio (priorización).
802, 11f	Añade al estándar 802.11b factores de movilidad, similares a los usados en las redes móviles.
802, 11g	Equivalente al 802.11a (velocidades hasta 54 Mbps) pero trabajando en la banda de 2.4 GHz
802, 11h	Ofrece mejoras en la potencia de transmisión y en la selección de canales en el estándar 802.11a
802, 11i	Aporta elementos de seguridad agregando nuevos métodos de encriptación y autenticación al estándar básico a, b y g.
802, 11j	Permite la coexistencia del 802.11a y el estándar europeo HiperLAN2

### **3.2.5 Worldwide Interoperability for Microwave Access” (WiMax)**

Corresponde al estándar 802.16, el cual describe la "Interfaz Aérea para Sistemas Fijos de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha". Su objetivo es la transmisión de datos a alta velocidad (70 Mbps) con largo alcance (50 km), trabajando en bandas del espectro tanto licenciado como no licenciado. El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas que permiten intercambiar ancho de banda por alcance.

## Características.-

- Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio, que se transmiten por el aire, mediante una red de estaciones base que transmiten hasta una antena receptora situada en el exterior de la ubicación del usuario.



**Figura 1.17 Elementos de una red WiMax**

- Sus aplicaciones permitirán ofrecer banda ancha sin necesidad de tender cableado a los ISPs y a los operadores telefónicos, para que a su vez la ofrezcan a sus clientes. Así como el servicio de conexión y acceso del suscriptor de manera directa mediante “hot spots” WiFi que migren a WiMax.
- Su estándar está siendo desarrollado por el Foro WiMax, un grupo más de 300 compañías del sector de la informática y las telecomunicaciones, cuyos dos miembros más representativos son Intel y Nokia. De esta forma, en la actualidad Intel fabrica procesadores basados en el estándar IEEE 802.16a con certificación WiMax para 80% de las computadoras del mundo.



- Por otro lado, Nokia y Siemens diseñan circuitos integrados para sus futuras versiones de teléfonos móviles y PDAs.
- Usa modulación OFDM, soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).
- Su instalación es sencilla y su precio será competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico.
- El proyecto para la creación del estándar IEEE 802.16 surgió, sin embargo no fue hasta el año 2002 cuando se publicó la primera versión del estándar. Desde entonces se han generado varias actualizaciones y desarrollos, hasta la última publicación de finales del 2004.

A continuación se definen las características de las tres principales versiones del estándar:

**Tabla 3.5 Especificaciones 802.16**

CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR		
	802.16a	802.16	802.16e
BANDA DE FRECUENCIA [GHz]	2-11	2-66	2-6
VELOCIDAD MÁXIMA [Mbps]	75	32-124	15
ANCHO DE BANDA [MHz]	1.25 o 20	10	5
MODULACIÓN	256 OFDM	256 OFDM	256 OFDM
RADIO DE CELDA TÍPICO [km]	5-10	5-10	2.5
ALCANCE MÁXIMO [km]	50	70	1.5
REQUIERE LÍNEA DE VISTA	NO	NO	NO
SISTEMA MÓVIL	NO	NO	SI
PUBLICACIÓN	Enero 2003	Junio 2004	Em desarrollo

Así luego de haber conocido muy rápida y en forma resumida cuales son las características de las tecnologías utilizadas hasta ahora para el acceso a Internet procedemos a realizar una breve comparación de algunas características tal como se puede observar en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6a BPL y otras tecnologías de banda ancha fija**

Características	TECNOLOGÍA			
	BPL	RDSI-BA	ADSL	CABLE MÓDEM
Rango de frecuencia	1.6 a 30 MHz		4 KHz a 2.2 MHz	42 a 850 MHz
Velocidad de transmisión	45 Mbps	155-622 Mbps	Subida: 64 a 640 kbps Bajada: 1.5 a 9 Mbps	Subida:320 kbps-10 Mbps Bajada: 30-40 Mbps
Medio Físico	Líneas de distribución eléctrica	Fibra óptica	Par de cobre	Fibra óptica y cable coaxial
Modo	Full dúplex	Full dúplex	Full dúplex	Asimétrico
Modulación	OFDM	PCM/PAM	DMT	Subida:QPSK/16 QAM Bajada:64/256 QAM
Estándar	En proceso	1.121	ANSI T1.413	IEEE 8021.14
Limitaciones	Su buen funcionamiento depende directamente de las condiciones y topología de la red de distribución eléctrica.	Altos costos, configuración e instalación complicada.	Está limitada por la distancia máxima desde el usuario a la central telefónica (5000 m)	Conexión compartida e interrumpida
Ventajas	Emplea una red que se encuentra ya desplegada y cuya cobertura es muy amplia.	Velocidad alta, servicios integrados, rapidez en el establecimiento de la conexión.	Es aplicable a líneas existentes, no requiere nuevo cableado.	Es una opción importante en países donde la cobertura de esta red es amplia.

**Tabla 3.6b BPL y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica**

Características	TECNOLOGÍA						
	BPL	WiFi			WiMax		
		802.11b	802.11a	802.11g	802.16a	802.16	802.16e
<b>Rango de frecuencia</b>	1.6 a 30 MHz	2.4 GHz	5.7 GHz	2.4 GHz	2-11 GHz	2-66 GHz	2-6 GHz
<b>Velocidad de transmisión</b>	45 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	75 Mbps	32-124 Mbps	15Mbps
<b>Medio físico</b>	Líneas de distribución eléctrica	Ondas de radio			Ondas de radio		
<b>Modo</b>	Fulldúplex	Fulldúplex			Fulldúplex		
<b>Modulación</b>	OFDM	DSSS	OFDM	OFDM	256 OFDM	256 OFDM	256 OFDM
<b>Estándar</b>	En proceso	802.11b	802.11a	802.11g	802.16a	802.16	802.16e
<b>Limitaciones</b>	Su buen funcionamiento depende directamente de las condiciones y topología de la red de distribución eléctrica.	Bajo alcance (100 metros)			Interferencia		
<b>Ventajas</b>	Emplea una red que se encuentra ya desplegada y cuya cobertura es muy amplia.	Movilidad y fácil instalación			Instalación sencilla y precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico		

### 3.3 CONCLUSIONES DE LA COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS.

En base a la breve descripción antes realizada para otras tecnologías de acceso y su comparación con BPL, podemos destacar lo siguiente:

- El tiempo invertido para el despliegue de un sistema de acceso a Internet que emplea tecnología BPL, es menor con relación a sistemas de comunicación que requieren de la instalación de un medio de transmisión. Adicionalmente, la red de distribución eléctrica ya está desplegada y su cobertura es superior al ADSL, fibra óptica y cable módem.
- Las tecnologías ADSL, cable módem y BPL tienen una característica común, ya que el ancho de banda del usuario está determinado por la cantidad de abonados que comparten un mismo enlace.
- BPL es una tecnología complementaria y abierta, ya que es posible su combinación con otras tecnologías del mercado, tales como: Wi-Fi, Ethernet, o incluso enlaces satelitales. La definición de la topología del sistema de comunicaciones y la tecnología adecuada para cada tramo de la red, tendrá relación directa con las condiciones propias de la zona a servir.
- En lo referente a la instalación de equipos, el sistema BPL tiene cierta complejidad, debido a que requiere disponer de terminales de cabecera en cada uno de los transformadores de media a baja tensión, a través de los que se vaya a proveer del servicio, lo que dependiendo del sistema puede llegar a un número elevado.  
Mientras que con xDSL las operadoras sólo deben colocar equipos en las centrales telefónicas, donde llegan los pares de cobre telefónico y que favorablemente permite servir a miles de abonados.
- El nivel de radiación de la señales en un sistema BPL es similar a lo que sucede en ADSL. Adicionalmente, para esta tecnología no existen límites de radiación que estén regulados.

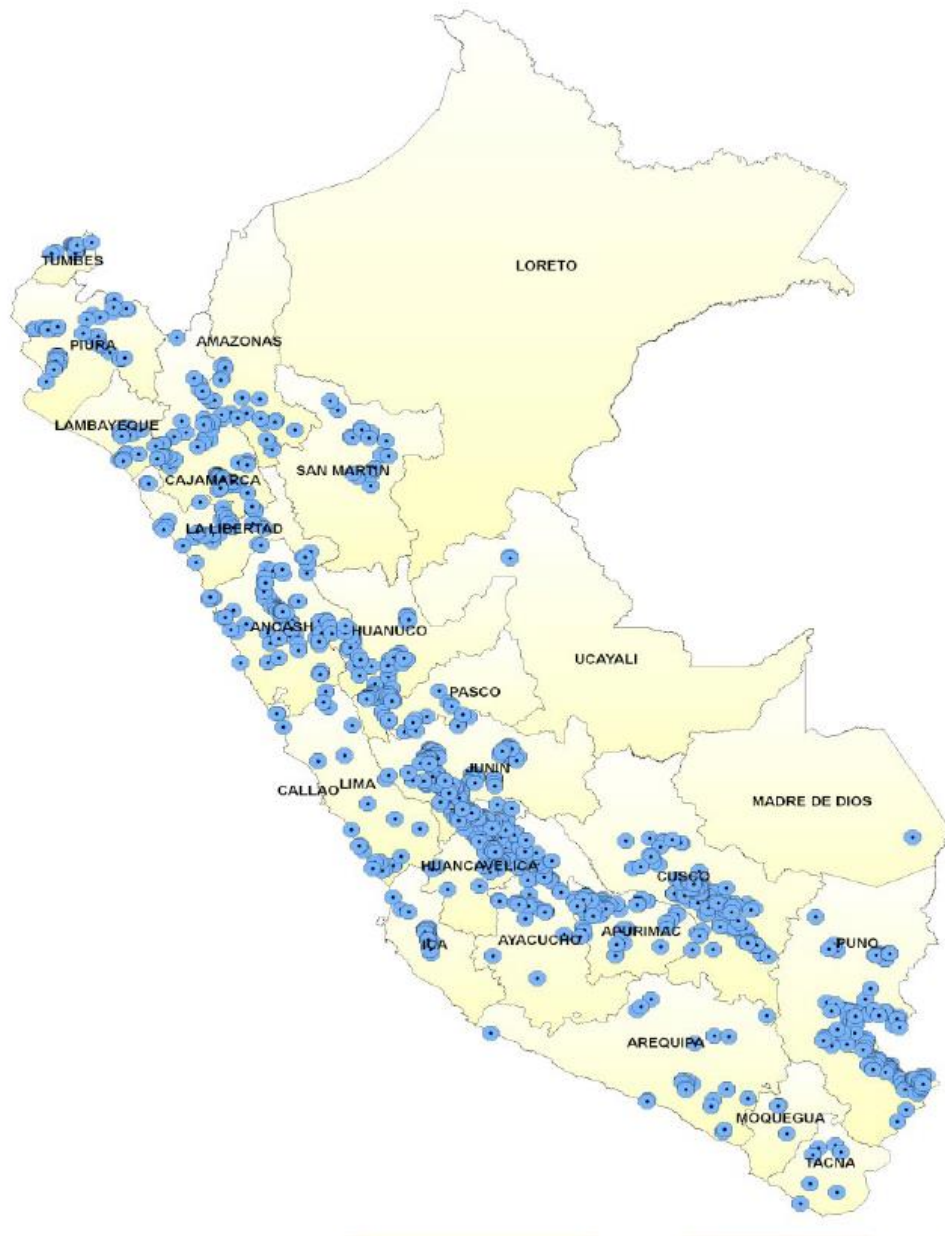
- El rendimiento del xDSL varía dependiendo directamente del estado de la red de cobre y de la distancia entre el abonado y las centrales locales y regionales.
- En relación al establecimiento de redes locales, una red “powerline” es una opción válida. Debido a su fácil instalación, nuevos equipos y protocolos disponibles.
- El principal obstáculo del cable coaxial es que el tráfico de entrada es a menudo lento, puesto que las infraestructuras de TV por cable se construyeron históricamente para la radiodifusión. Muchas de las redes de cables antiguas no son, por tanto, capaces de ofrecer un canal de retorno y será necesario mejorarlas antes de que puedan ofrecer servicios interactivos de banda ancha.
- El crecimiento de los abonados de este tipo de servicio aún es limitado, lo que deja un margen de acción a otros operadores de telecomunicaciones para desplegar y potenciar sus sistemas.
- La aplicación de la fibra óptica a los hogares es el modo más eficiente y perdurable de suministrar anchos de banda elevados. Sin embargo, su difusión a escala nacional implica inversiones y costos de implementación prohibitivos.
- La falta de infraestructura en nuestro país es una limitante para el crecimiento de redes de banda ancha, por lo cual la tecnología BPL es una opción válida que permitiría dar servicio a usuarios que por su ubicación actualmente no tienen acceso.
- El mercado BPL tiene ventajas e inconvenientes y encontrará su nicho de aplicación donde sea capaz de competir con otras modalidades de transmisión, entre ellos, la transmisión por medio de líneas de media tensión, entornos domésticos y zonas de población densas en cuanto a usuarios de Internet.

## CAPITULO 4

### 4. RESOLUCION DEL PROBLEMA.

La técnica a emplear será la tecnología BPL ya que el reciente desarrollo y comercialización de la misma añade una nueva alternativa de conectividad para las redes de comunicación. Adicionalmente como se expuso en el **capítulo 1 y 3** son varias las ventajas que motivan a emplear la red eléctrica de distribución como medio de transmisión, debido a que presenta una capilaridad superior a cualquier red de telecomunicaciones. Además la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales no es rentable, ya que estas zonas son de alto costo y baja rentabilidad privada.

El Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL) es, en Perú, el fondo destinado a la provisión del Acceso Universal a las telecomunicaciones. Fue creado mediante el Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones (D.S. N° 013-93-TCC del 6 de Mayo de 1,993), como un mecanismo de equidad que financie la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales y lugares considerados de preferente interés social y tiene por misión promover el acceso y uso de los servicios públicos de telecomunicaciones esenciales para los pobladores rurales y de lugares de preferente interés social, formulando y evaluando proyectos de inversión en telecomunicaciones y supervisando su correcta ejecución, contribuyendo así a la reducción de la brecha digital. Uno de los proyectos es el de **INTERNET RURAL** que tiene por objetivo disminuir la brecha digital entre población urbana y rural, a través de implementación de **acceso a Internet de Banda Ancha** en 1,050 localidades a nivel nacional beneficiándose en forma directa 1.1 millones de habitantes aproximadamente.

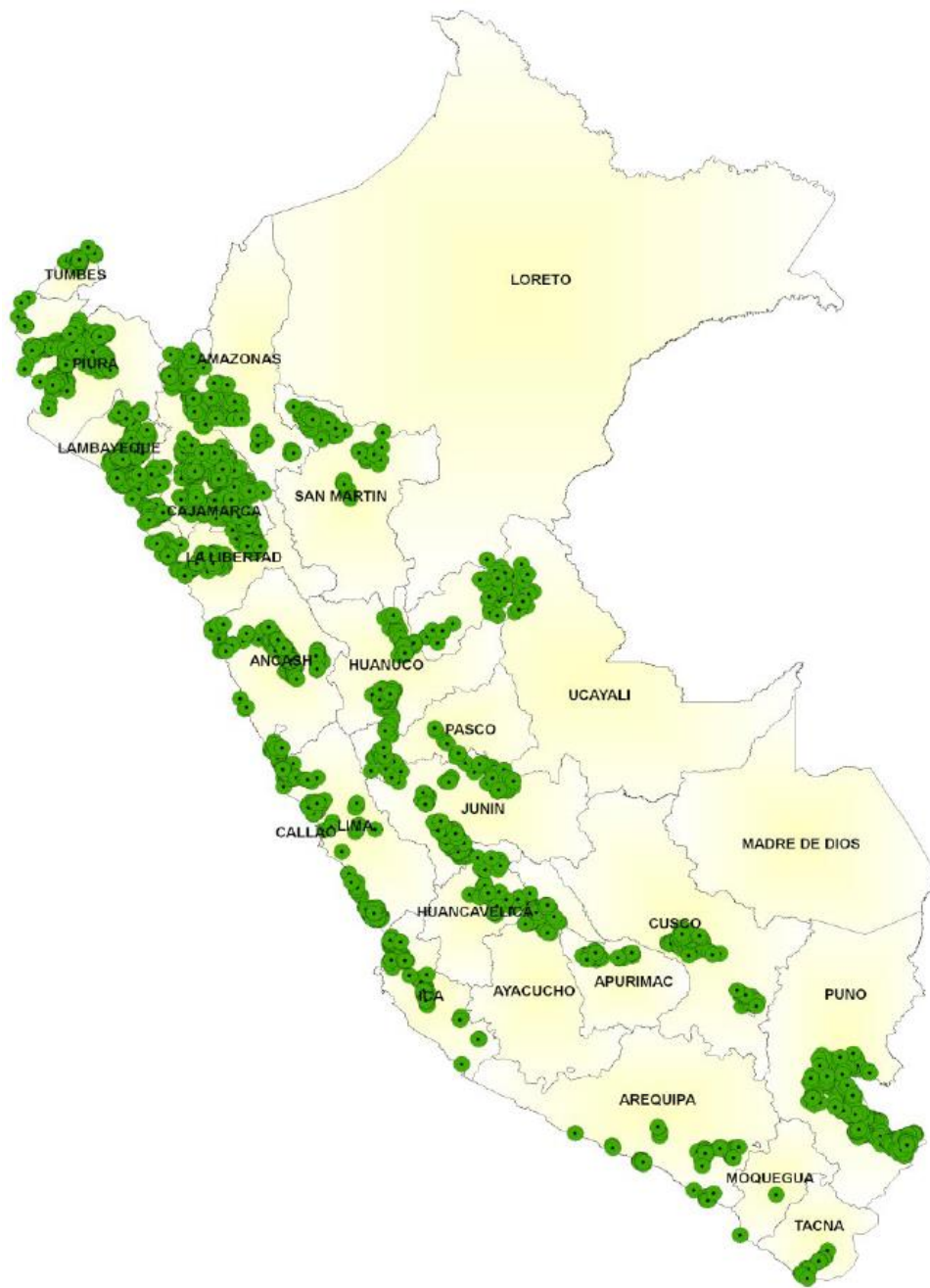


FITEL también cuenta con el proyecto **BANDA ANCHA RURAL BAR** que es un programa de implementación del servicio de banda ancha rural a nivel nacional y tiene por objetivo disminuir la brecha digital interna, extendiendo el acceso de banda ancha existente en las principales ciudades beneficiando a 4,048 localidades a nivel nacional.

• **Servicios a implementar:**

- 3202 localidades con acceso a internet
- 2,903 localidades con telefonía pública
- 285 localidades con telefonía residencial

Beneficiándose en forma directa a 2.9 millones de pobladores.



El programa esta dividido en seis proyectos:

**Centro:** Huánuco, Lima, Junín, Pasco y Ucayali.

**Centro Norte:** Amazonas, Ancash, La Libertad, Loreto y San Martín.

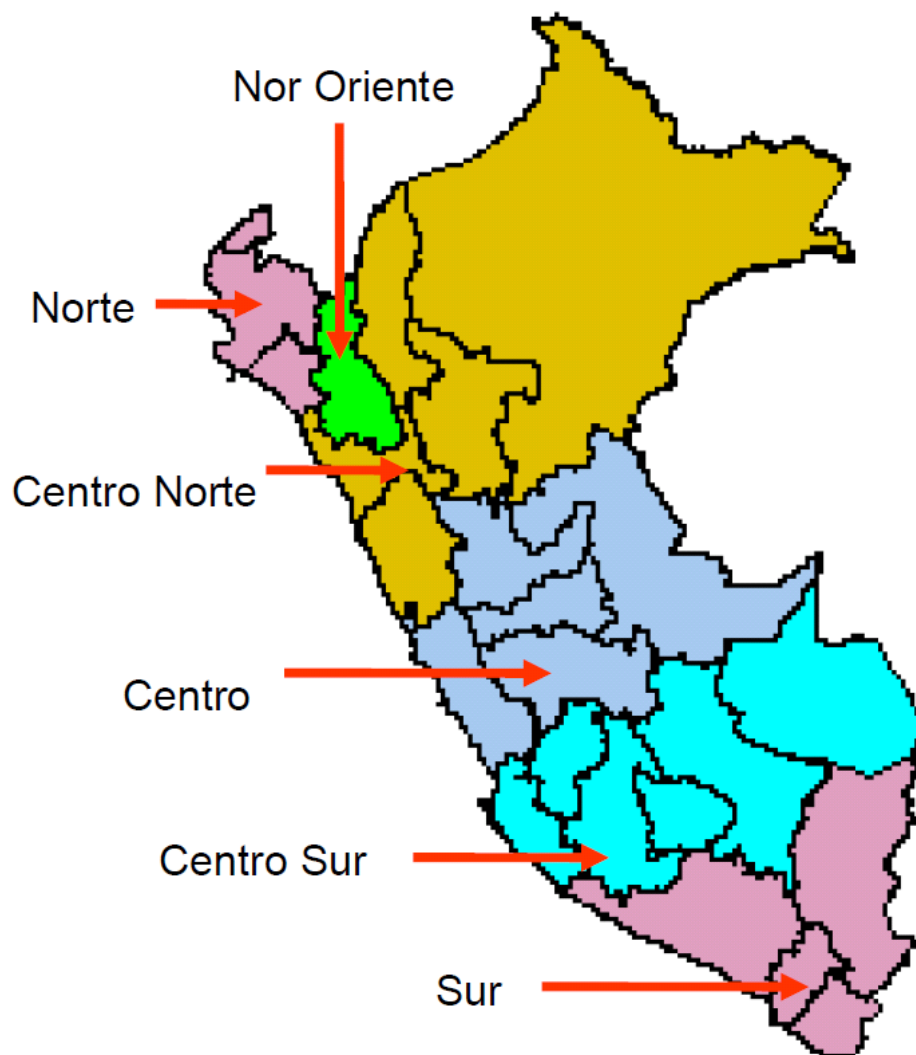
**Centro Sur:** Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Ica.

**Nor Oriente:** Cajamarca

**Norte:** Lambayeque, Piura y Tumbes.

**Sur:** Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna.





PROYECTO (REGION)	DEPARTAMENTO	REGIONES / LOCALIDADES / SERVICIOS A BRINDAR			
		LOCALIDADES	TELEFONIA PUBLICA	TELEFONIA RESIDENCIAL	INTERNET
CENTRO	Huánuco, Junín, Lima, Loreto*, Pasco, San Martín* y Ucayali.	714	416	89	587
CENTRO NORTE	Amazonas, Ancash, Cajamarca*, La Libertad, Loreto y San Martín.	542	291	40	454
NOR ORIENTE	Amazonas*, Cajamarca y La Libertad*.	672	389	19	613
<b>Total general RURAL TELECOM</b>		<b>1928</b>	<b>1096</b>	<b>148</b>	<b>1654</b>
CENTRO SUR	Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica e Ica.	795	580	44	474
NORTE	Cajamarca*, Lambayeque, Piura y Tumbes.	1057	731	62	604
SUR	Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna.	729	496	31	470
<b>Total general (Operador por adjudicar)</b>		<b>2581</b>	<b>1807</b>	<b>137</b>	<b>1548</b>
<b>Total Programa</b>		<b>4509</b>	<b>2903</b>	<b>285</b>	<b>3202</b>

Dentro de este proyecto de envergadura nacional se encuentra el proyecto de **BANDA ANCHA-LOC AISLADAS** que es un proyecto de provision de Datos y Voz en banda ancha para localidades aisladas del Peru y tiene por objetivo reducir la brecha digital urbano-rural, extendiendo la banda ancha a 3,539 localidades a nivel nacional.

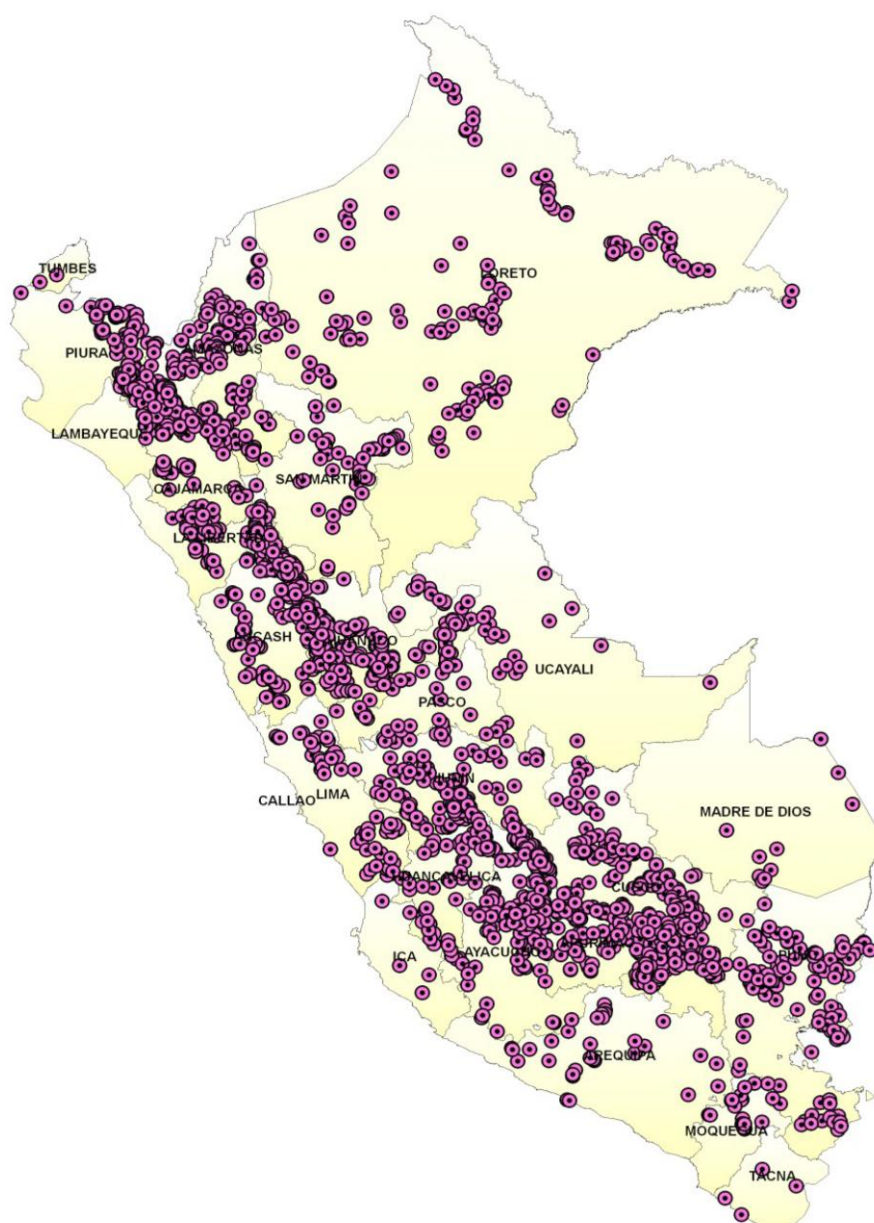
- Servicios a implementar:

- 867 localidades con acceso a Internet

- 2,776 localidades con telefonía pública

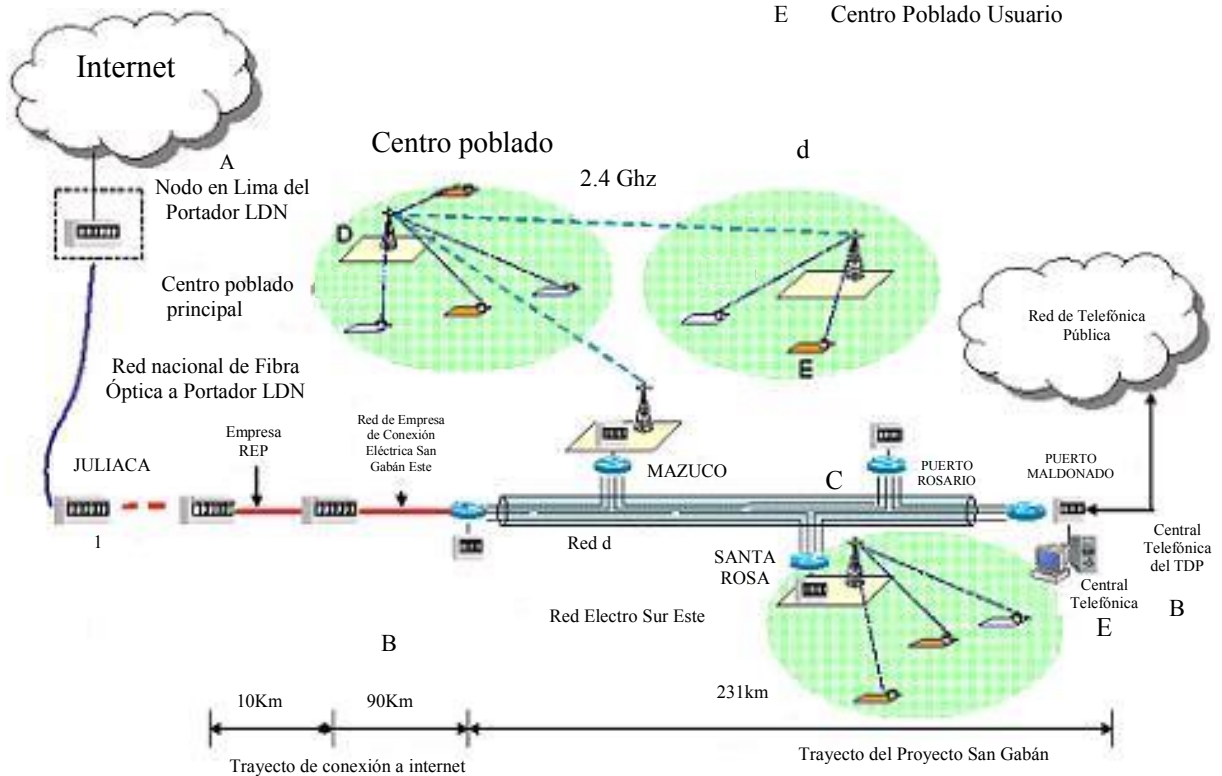
- 462 localidades con telefonía residencial

- Beneficiarios directos 1.5 millones de pobladores.



Con Financiamiento del FIDEL por US\$ 43 millones, y uno de estos proyectos es el proyecto de **BANDA ANCHA RURAL SAN GABAN-PUERTO MALDONADO** el cual tiene como objetivo brindar servicio de telefonía fija, publica y acceso a Internet usando la infraestructura eléctrica San Gabán – Puerto Maldonado (231km) para el cual se plantea la siguiente topología .

- A Modo operador LDN en Lima
- B En lace de interconexión
- C Puerto Metro Ethernet
- D Estación Base WI-FI
- E Centro Poblado Usuario



Topología de la red del proyecto

El nodo Estación Eléctrica San Gabán servirá como nodo de conexión a Internet a través de la red de comunicaciones de la Empresa de Generación Eléctrica San Gabán y REP (Red de Energía del Perú)

## **4.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES**

El diseño del sistema de comunicaciones de este proyecto involucra dos etapas principales: la red BPL y la red de acceso a Internet, cada una de las cuales corresponden a diferentes tramos del sistema, por lo que tienen sus propios requerimientos y opciones de servicio.

Considerando el objetivo de realizar un diseño integral y definir los principales lineamientos para el establecimiento de una red de comunicaciones que emplee tecnología BPL, a continuación se describe y dimensiona cada tramo de la red.

Sin embargo, es importante anotar que la necesidad de implementar e invertir en cada segmento de la red, depende de manera directa de la forma en que la empresa proveedora del servicio ingrese a operar en el mercado. Ello significa que es posible abaratar los costos, principalmente en lo referente a la red de acceso a Internet, por medio de modelos de negocio que involucren la creación de sociedades compartidas.

### **4.1.1 RED BPL**

Corresponde al tramo constituido entre la subestación eléctrica y los usuarios del servicio. El medio de transmisión empleado en esta etapa es la red de distribución eléctrica de media y baja tensión. Su diseño involucra la definición y dimensionamiento de los equipos que posibiliten la transmisión de las señales de datos a través de este medio.

## **4.2 DISEÑO DE LA RED DE ACCESO BPL**

### **4.2.1 ALTERNATIVAS Y PROVEEDORES DE EQUIPOS BPL**

#### **4.2.1.1 Consideraciones de evaluación**

Al tratarse de una tecnología en crecimiento como BPL, los proveedores que promueven la interconexión de sus equipos han diseñado sus propias arquitecturas de red.

Una arquitectura de red incluye la descripción y especificaciones de los componentes en el sistema de comunicación, rutas de transmisión, protocolos, medidas de seguridad y métodos de interconexión.

Por ello son varios los aspectos que influyen y deben ser considerados previos a la decisión de la alternativa de solución adecuada para el diseño de este proyecto.

Los principales criterios se describen a continuación.

#### **4.2.1.2 Aspectos técnicos**

**Topología.-** La disposición de los equipos en la red de comunicaciones debe ser aquella que permita la mayor cobertura de la manera más práctica, rápida y rentable.

**Servicios.-** La inclusión del servicio de voz en la oferta de conectividad por medio de la tecnología BPL es un gran atractivo para su implantación. La voz en un sistema BPL será transmitida sobre un protocolo de red, por lo cual es recomendable emplear protocolos que permitan asegurar una calidad mínima en el servicio de voz. Adicionalmente es necesario considerar que el presente proyecto tiene como finalidad prestar servicios de banda ancha, por lo cual la velocidad de transmisión definida por cada fabricante debe permitir cumplir con este objetivo.

**Alcance.-** El alcance de la señal para una adecuada recepción es un parámetro que no se encuentra normalizado, por lo cual debe analizar cual es la máxima distancia propuesta por los fabricantes.

**Seguridad.-** En los sistemas BPL debe realizarse un análisis de seguridad en la red, debido al alto riesgo inherente a esta solución. La inseguridad puede afectar la confidencialidad de los datos de los clientes e incrementar las tentativas de fraudes por acceso indebido a servicios no autorizados.

#### **4.2.1.3 Aspectos financieros**

**Terminales de red.-** Dependiendo de las características de alcance de los equipos, el fabricante puede requerir equipos adicionales para evitar que se afecte la calidad de la señal. Ello puede incrementar de manera significativa el costo final de implementación del proyecto.

**Costos.-** Se debe realizar una evaluación previa del mercado y de los precios para conocer cual es la solución que se ajuste de mejor forma al sistema a diseñar, ofertando no sólo calidad sino precios asequibles.

**Número de usuarios.-** La mayor rentabilidad del proyecto está sujeta al mayor número de dispositivos a instalar por cada usuario, porque se optimiza la red y se obtienen mayores réditos económicos.

#### **4.2.1.4 Sostenibilidad**

**Estándares.-** Pese a que no existe una norma definida de manera universal, es importante que los equipos operen según las recomendaciones internacionales actualmente vigentes. III

**Interoperabilidad.-** La interoperabilidad entre los equipos se obtiene de manera natural cuando se trata con elementos del mismo fabricante. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de los productos ofrecidos por los fabricantes no son compatibles entre sí y la presencia de diferentes tecnologías en la misma red eléctrica afecta el funcionamiento y desempeño de los equipos instalados. La señal transmitida por un equipo de una tecnología es interpretada como ruido por equipos de otra distinta, degradando la relación señal/ruido del enlace.

**Coexistencia.-** La tecnología BPL provee soluciones aplicables a diferentes ámbitos de operación, tal es el caso de redes de acceso y redes locales. Por ello es necesario considerar la posibilidad de que se empleen equipos de diferentes fabricantes en cada uno de los segmentos, debiendo los mismos operar de manera independiente garantizando su coexistencia.

Organismos internacionales, como ETSI PLT y PLC FORUM están trabajando activamente en el desarrollo de modelos para evitar problemas de coexistencia.

**Escalabilidad.-** Se refiere a la facilidad de un sistema para expandir o disminuir su capacidad de acuerdo a la demanda del servicio. Para el despliegue de una red BPL y en relación a este aspecto, el principal problema consiste en elegir la ubicación del equipo de cabecera donde se efectúa la conversión de la red de transporte de telecomunicaciones convencional a la tecnología BPL.

El costo del punto de conversión debe ser repartido entre el mayor número de usuarios posible. En Europa, el punto adecuado es el transformador de media a baja tensión, al que se conectan en promedio 200 usuarios del servicio eléctrico, de los cuales con una estimación de penetración optimista el 30% contratarían el servicio BPL. En Estados Unidos, la media de usuarios por transformador de media a baja es 15, luego si se sitúa la cabecera en este punto los costos por usuario serán mucho mayores que en Europa.

Adicionalmente, si se colocan los puntos de interconexión en los transformadores de media a baja, es necesario llegar a ellos con la infraestructura de telecomunicaciones que dirija el tráfico hacia Internet y esta capilaridad incrementa los costos por usuario.

De acuerdo a la zona de servicio, es posible que el problema que se presente sea inverso, es decir que un segmento comprendido entre el transformador de media a baja y los usuarios tenga demasiado tráfico. En este caso será necesario segmentar a los usuarios, formando varios sistemas de transmisión, por ejemplo entre cada fase y neutro.

Por ello es importante emplear una tecnología que pueda ser utilizada tanto en media como en baja tensión, y que se acople de manera óptima a las condiciones propias de cada zona y a la concentración de usuarios de la red BPL.

#### **4.2.1.5 Principales fabricantes**

Debido al crecimiento de la tecnología BPL, cada vez se han ido incorporando más empresas a su desarrollo y comercialización en el mercado.

En la actualidad, existen múltiples proveedores de equipos que permiten emplear la red eléctrica como una red de comunicaciones. Entre estos se encuentran diseñadores de circuitos integrados específicos para esta tecnología, fabricantes de equipos exclusivamente para redes en el hogar y opciones más completas que incluyen aplicaciones de acceso y conectividad interna.

A continuación se mencionan las empresas que actualmente proveen equipos con tecnología BPL:




- 1. Ambient Corp <http://www.ambientcorp.com/plc.html>**
- 2. Adaptive Networks <http://www.adaptivenetworks.com>**
- 3. Amperion Inc. <http://www.amperion.com>**
- 4. Ascom Powerline Communications <http://www.ascom.com>**
- 5. Asoka USA Corporation <http://www.asokausa.com>**
- 6. Aztech Systems Ltd <http://www.aztk.com/employment.html>**
- 7. Belkin Corporation <http://www.belkin.com/uk/>**
- 8. Corinex Communications <http://www.corinex.com>**




9. Current Technologies, LLC <http://www.currenttechnologies.com>
10. Devolo AG <http://www.devolo.co.uk>
11. Design of Systems on Silicon <http://www.ds2.es>
12. Dese <http://www.dese.ar>
13. EBA <http://www.ebapl.com>
14. Main net Communications <http://www.mainnet-plc.com>

Por medio de la *Tabla 3.6* se describen las principales características de las empresas más destacadas y con mayor número de instalaciones a nivel mundial.



Tabla N° 4.1: Principales fabricantes de equipos con tecnología BPL

FABRICANTES DE EQUIPOS BPL							
Proveedor							
Años en el mercado	4			9			4
Países que la usan	Estados Unidos			Estados Unidos, Canada, Colombia, Argentina y Europa			Estados Unidos
Elementos del sistema	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Terminal de usuario
	Falcon 1000 MV-I Lynx 1000 MV-I	Falcon 1000 MV-RE Lynx 1000 MV-RE	Falcon 1000 MV-E Lynx 1000 MV-E	API-2000-MV/LV	API-2000-GW	APC-2000-DB/VB	
Velocidad de transmisión [Mbps]	24	N.E.	N.E.	205	205	2.5-4.5	14
Usuarios	N.E.			64	32	N.E.	16
Interfaces externos	802.11b			Ethernet, RJ45, RJ11	Ethernet, RJ45, RS232		RJ 45, USB
Protocolos	SNMPv2, CLI			SNMP V2, TCP/IP, DHCP, FTP, VLAN, HTTP, STP, 802.1p QoS			TCP/IP
Estándares	N.E.			EN55022, EN55024, EN60950	EN55022, EN55024, EN60950	EN55022, EN55024, EN60950	HomePlug v1.01 Certified Windows 98SE, ME, 2000, XP Compatible , IEEE 802.3 UL, Aprobación FCC
Distancia estándar [m]	609.6			1500	300	100	1000
Frecuencia [MHz]	N.E.			2-34			4.3-20.9
Seguridad	SSH, PPPOE, WEP			802.1Q VLAN, Encriptación DES			N.E.
Técnica de modulación	OFDM			OFDM			OFDM

FABRICANTES DE EQUIPOS BPL								
Proveedor								
Años en el mercado	15		3			4		
Países que la usan	N.E.		Latinoamérica y Estados Unidos			América, Australia		
Elementos del sistema	Terminal de usuario	Ruteador	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario
	Cable Adapter, Ethernet Adapter, USB Adapter, Wall Mount Adapter	Corinex Powerline Router	N.E.	N.E.	N.E.	NmPLUS	RpPLUS, CuPLUS, CtPLUS, AmrPLUS	NtPILUS, TelPLUS
Velocidad de transmisión [Mbps]	50		200			N.E.	N.E.	2.5
Usuarios	5		254	N.E.	N.E.	10		
Interfaces externos	RJ45, USB, ETHERNET, WIFI		RJ45, Ethernet, USB, RJ 11, RS232		Ethernet, RJ45, RJ11, USB	USB, RJ11, RS232		
Protocolos	SNMP v.1, SNMP v.2		SNMP, DHCP			100BaseT, xDSL, T1 and E1		
Estándares	HomePlug 1.0.1, IEEE 802.3		N.E.			N.E.		
Distancia entre repetidores [m]	200		300			N.E.		
Frecuencia [MHz]	4.3-20.9		1.6-18		18-36	N.E.		
Seguridad	N.E.		VLAN 802.1q			N.E.		
Técnica de modulación	OFDM		OFDM			N.E.		

Mediante el análisis de la información preliminar se observa que:

- La topología de red para un sistema con tecnología BPL es un aspecto que no varía de manera radical entre los proveedores.
- Proveedores como: ASOKA, CORINEX y ST&T emplean la tecnología “powerline” sólo para el desarrollo de redes emergentes tipo LAN, cuya cobertura se limita al hogar o la oficina. No incluyen equipos para el acceso de banda ancha a Internet, sino que mencionan equipos de interconexión genéricos.
- Es posible distinguir dos generaciones de equipos para la tecnología BPL. La primera generación emplea esquemas de modulación variados (GMSK, DSS, FHS), mientras que la segunda generación incluye el sistema de modulación OFDM y permite mayores velocidades de acceso (200 Mbps), por lo que es considerada como la mejor opción para el diseño del sistema de comunicaciones.
- Entre los proveedores de equipos más importantes, sólo AMPERION, ASCOM, EBA, y MAIN NET ofertan productos que permiten emplear la línea de media tensión como medio de transmisión para las señales BPL. Este aspecto es importante para nuestra topología de la red eléctrica San Gaban.

### **4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Al diseñar sistemas de acceso a Internet de banda ancha, generalmente la mayor dificultad se encuentra en el punto de interconexión entre las residencias y los puntos de servicio del proveedor, ya que el costo de interconectar múltiples puntos individuales encarece el proyecto.

Fue ésta una de las razones para el desarrollo de la tecnología BPL, pues en el sistema eléctrico los usuarios ya se encuentran interconectados y lo que en otras tecnologías es un problema, en BPL es una ventaja.

Sin embargo, existen problemas para implementar el proyecto si el número de usuarios conectados por transformador es mínimo y más en nuestro país, donde de manera general el índice de penetración de servicios de comunicaciones es limitado.

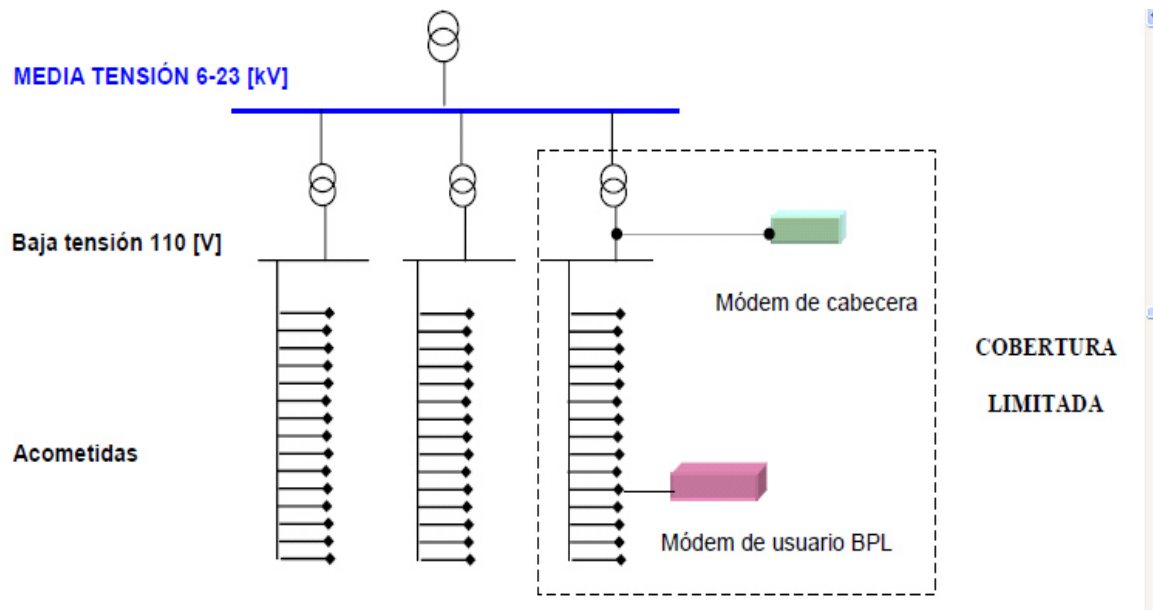
En este punto es necesario analizar la mejor opción de topología BPL para el diseño en la zona de servicio del presente proyecto, la que sin descuidar el grado de servicio al cliente permita costos de operación moderados.

A continuación se detallan las topologías posibles para nuestros cuatro nodos principales los cuales serán análogos tanto para Mazuco , Santa Rosa, Puerto Rosario y Puerto Maldonado.

#### 4.3.1 BPL a baja tensión

En esta topología el equipo de cabecera se ubica en el transformador de distribución de media a baja tensión y tiene que ser situado después del transformador, lo cual involucra dificultades, debido a que cada dispositivo de cabecera trabajará en su mínima exigencia sin retribuir su costo para la red. Para esta opción de conexión se requiere emplear un módem de cabecera, un módem de usuario y un punto de acceso hacia la red de comunicaciones que transporta los datos hacia Internet por cada transformador.

Es una solución óptima para aquellos escenarios en los que el número de usuarios del segmento de baja tensión conectados a un mismo transformador es alto, lo que permite garantizar a su vez un número de usuarios BPL importante.



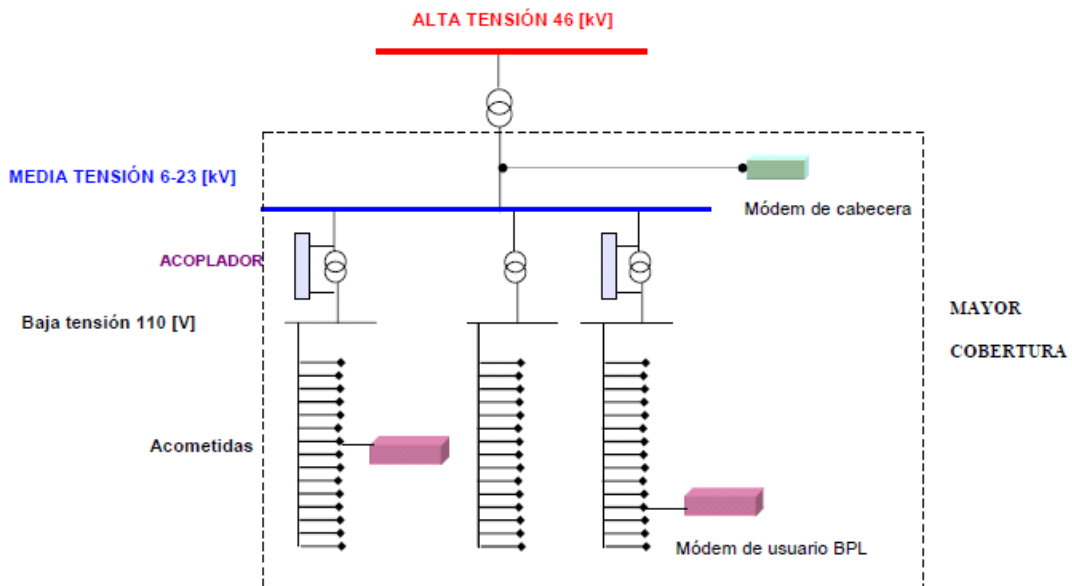
Ubicación del equipo de cabecera en el sistema BPL de baja tensión.

### 4.3.2 BPL a media tensión

Esta topología establece que los equipos ubicados en la instalación del usuario transmitan la información por medio de la red eléctrica de baja tensión hasta un equipo ubicado en el transformador de media a baja, el cual sirve de acoplador entre las líneas de diferente voltaje.

Estos elementos de la red se conectan de manera directa con equipos de cabecera de medio voltaje, los cuales se interconectan en un anillo redundante de media tensión formando una red que agrupa las señales de los usuarios hasta un punto central en el que se realiza el enlace con la red de comunicaciones mediante fibra óptica u otro servicio portador para enlazar la red BPL con Internet.

Este tipo de configuración es clave en la evolución de los sistemas BPL, porque permite enlazar múltiples usuarios y que con una sola conexión todos accedan a redes de datos complementarias; evitando así llevar un terminal a cada uno de los transformadores de media a baja. El diagrama siguiente muestra la topología de una red BPL de medio voltaje y su interconexión con los puntos de usuario.



Ubicación del equipo de cabecera en el sistema BPL de media tensión.

### **4.3.3 Evaluación y definición del proveedor de equipos**

Cada compañía proveedora de equipos BPL presenta su propuesta a través de su página WEB, donde generalmente se describe con mayor amplitud los aspectos favorables del producto y no se profundiza en los elementos que podrían estar en desventaja frente a otros proveedores. Por tal motivo, se presentan dificultades en el momento de la selección de propuestas. Para evitar estos inconvenientes se ha analizado con detenimiento la información publicada y datos adicionales que han sido solicitados de manera específica a los proveedores.

Adicionalmente, la tecnología BPL está en una fase de crecimiento, lo cual hace que los fabricantes de productos se encuentren en etapas de baja escala y no en volumen en cuanto al desarrollo de equipos y la información sobre los mismos es muy restringida. Por ello se ha optado por una evaluación en base a parámetros básicos de funcionamiento que permitan las mayores facilidades y el mejor acoplamiento a la red eléctrica descrita para el sistema BPL a diseñar.

Entre las opciones de proveedores que operan con sistemas de media tensión, se destacan: **AMPERION** y **ASCOM**.

AMPERION es una alternativa válida por acoplarse al sistema americano y presentar una solución de acceso híbrida que combina BPL con WiFi, sin embargo se descarta para este proyecto porque cada punto de interfaz entre la red BPL y la red de comunicaciones hacia Internet permite introducir velocidades relativamente bajas (24 Mbps). Por ello esta opción requiere múltiples puntos de acceso al proveedor encareciendo de manera importante los costos.

ASCOM emplea tecnología basada en el sistema europeo, su mayor experiencia está en proyectos que emplean la red de baja tensión, pero es seleccionada como la mejor opción para este proyecto porque ofrece equipos de segunda generación y alto rendimiento. A continuación, se describe de manera más amplia este sistema, para luego en base a los requerimientos determinar la configuración específica de la red a diseñar.

## **4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ASCOM POWERLINE**

Es una empresa suiza con operación desde 1996. Su historia refleja continua innovación y presencia en amplios mercados como muestra la figura.

El perfeccionamiento de su sistema BPL para el acceso de banda ancha y la transmisión de datos permite que las redes eléctricas integren múltiples posibilidades.



Instalaciones ASCOM a nivel mundial

#### **4.4.1 Elementos y productos disponibles**

El sistema ASCOM BPL ofrece los siguientes tipos de unidades:

Unidad máster: **API-2000-MV/LV**

Es un dispositivo diseñado para operar como cabecera de red y controlar el acceso a la red. Permite una velocidad de 205 Mbps, maneja hasta 1024 direcciones MAC y 64 dispositivos conectados en paralelo. Existen dos versiones: API-2000-MV para ser empleado en líneas eléctricas de media tensión y API-2000-LV para el caso de baja tensión.

Además cada uno de estos equipos puede ser configurado como unidad máster, repetidor o esclavo de acuerdo a los requerimientos y configuración de la red.

**Repetidor: API-2000-GW**

Es un dispositivo empleado como repetidor entre el equipo de cabecera de las líneas de bajo voltaje y los usuarios. Maneja 64 direcciones MAC y 32 conexiones en paralelo.

### Módem de usuario: APC-2000-DB/VB

Captura la señal de datos en cada toma de energía eléctrica y la pone a disposición del usuario. Existen dos versiones de este equipo: APC-2000- DB empleado como interfase para datos, voz, video o tráfico desde Internet y APC-2000-VB que provee además de las funciones anteriores un interface a los tradicionales puertos telefónicos.

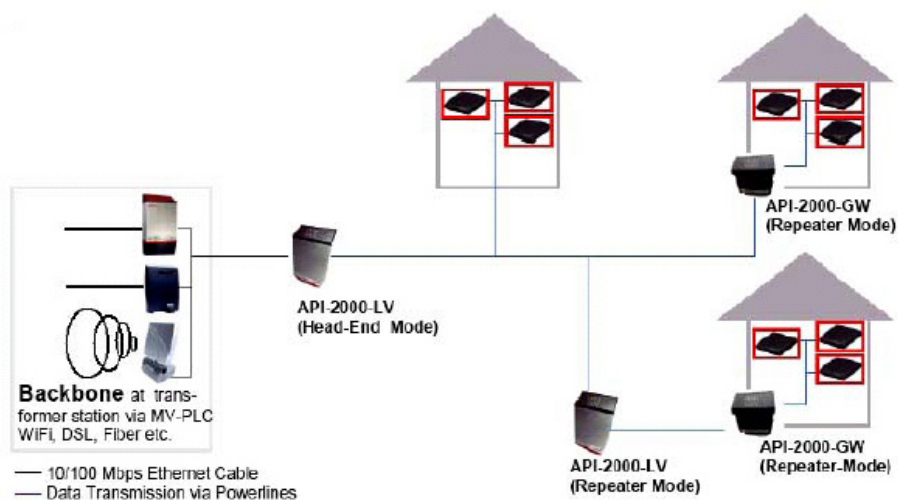
### 4.4.2 Configuraciones ASCOM BPL

ASCOM ofrece equipos para el despliegue de redes sobre líneas de medio y bajo voltaje. La actual generación de productos permite aplicaciones tales como:

#### 4.4.2.1 Acceso de banda ancha en la última milla

Los dispositivos de usuario (APC-2000) localizados a cortas distancias son conectados directamente al equipo de cabecera (API-2000-LV) o por medio de un repetidor (API-2000-GW) para amplias zonas de transmisión.

El acceso al canal está administrado por medio del equipo de cabecera, el cual distribuye las capacidades entre los usuarios de acuerdo con la demanda instantánea, de modo de proporcionar la máxima demanda posible. Ello es posible porque se trata de transmisión de datos orientada a paquetes. Los equipos requeridos y su ubicación en la red se muestran en la *Figura*.



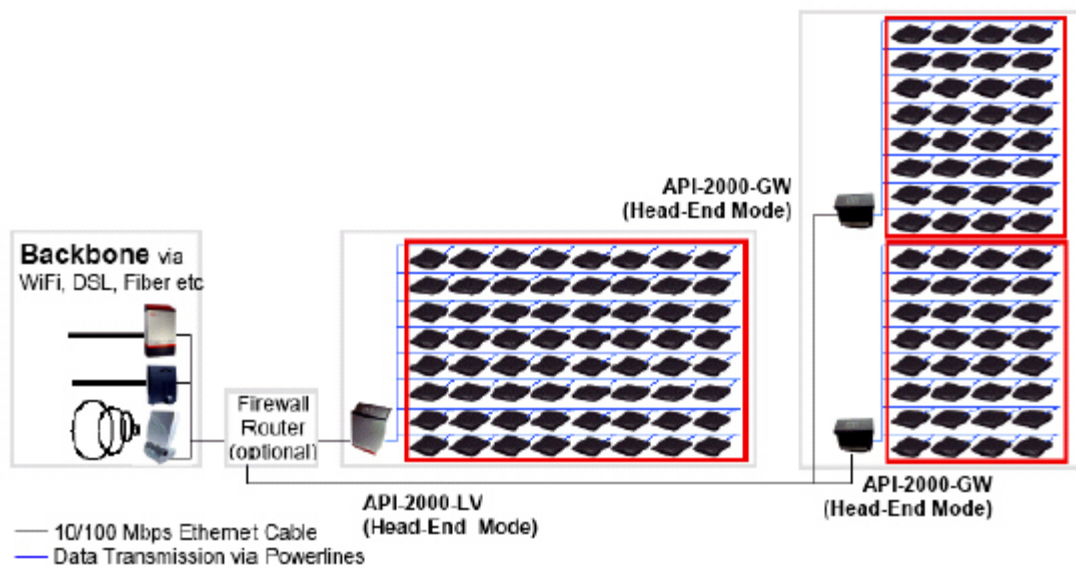
Instalación de equipos ASCOM para sistemas "outdoor"



#### 4.4.2.2 Redes interiores

El establecimiento de redes internas y la distribución de servicios multimedia en instalaciones de escuelas, hoteles y apartamentos son posibles por medio de equipos máster (API-2000-LV) configurados como cabecera de red a los que se conectan los módems de usuario que sean necesarios.

Los repetidores (API-2000-GW) también pueden ser empleados como cabecera de red, ampliando las posibilidades de servicio. La distribución de equipos en la red se muestra en la *Figura*.



Instalación de equipos ASCOM para sistemas “indoor”

#### 4.4.2.3 Ventajas del sistema

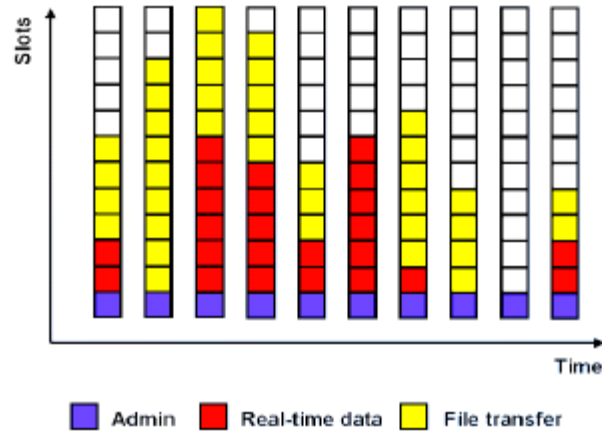
La línea de productos ASCOM es muy variada, pues existen equipos de primera y segunda generación. Los cuales pueden integrar tráfico tanto de voz como de datos.

Cada sistema BPL opera simultáneamente en 3 frecuencias, cada una de las cuales provee al usuario una tasa entre 750 y 1500 kbps, lo que resulta en una capacidad de entre 2.25 y 4.5 Mbps, tanto para el sistema interno como para el externo.

Todos los equipos BPL usan niveles variables de potencia de transmisión hasta un parámetro máximo, de esta forma es posible adaptar automáticamente la potencia de transmisión mínima de acuerdo a la distancia para mantener la calidad del enlace. Esta característica minimiza la irradiación global del sistema.

Los dispositivos ASCOM dan prioridad a los datos en tiempo real, asegurando de esta forma una buena calidad de audio y video. El sistema distingue automáticamente

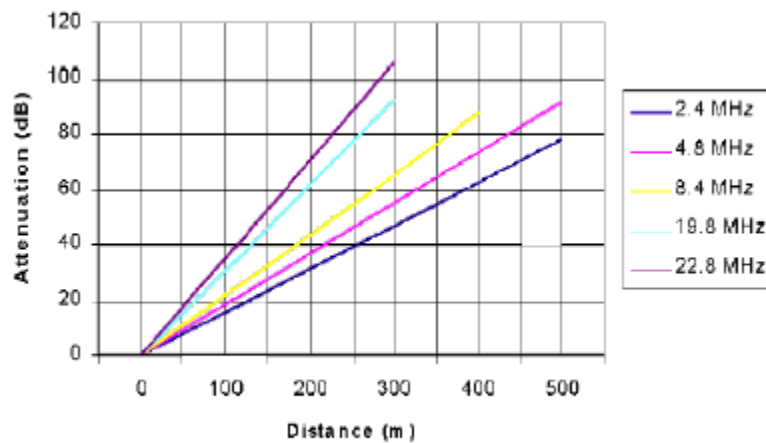
paquetes de datos (TCP) de paquetes de datos en tiempo real (UDP) debido a la distribución de los datos en paquetes o tramas como muestra la figura siguiente.



Distribución de datos en tramas según su naturaleza

Los módulos BPL incluyen agentes “Simple Network Management Protocol” (SNMP) con las características necesarias para el monitoreo y control de manera remota.

La figura siguiente relaciona la distancia media alcanzada por el sistema BPL de ASCOM, de acuerdo a la banda de frecuencia utilizada.



Alternación de la señal vs. Distancia en sistemas ASCOM

#### 4.5 DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE EQUIPOS DE LA RED BPL

A continuación, se especifican las principales consideraciones para la definición del número de equipos y su distribución en la red BPL:

El número de usuarios utilizado para dimensionar la red es el definido para la etapa de introducción del servicio, debido a la fácil escalabilidad que permite la topología de red y que en lo referente a la concentración de usuarios, se considera las condiciones menos favorables. Ello significa que al tener una densidad de usuarios por transformador muy limitada (1 usuario BPL cada 5 transformadores de media a baja tensión), los equipos acopladores instalados en la red inicialmente operarán en su mínima capacidad y permitirán sin inconveniente la futura instalación de nuevos usuarios hasta operar con toda su capacidad.

La topología de la red incluye dos tipos de unidades: equipos de cabecera (API-2000-MV/LV) y terminales de usuario (APC-200- DB/VB). Los equipos de cabecera son aquellos que permiten el manejo, control y conexión de los usuarios, ya que actúan como acopladores de la señal al medio eléctrico y los terminales de usuario son los módems BPL.

El centro principal de gestión de la red se ubica en la Subestación San Rafael y Sangolquí, ya que a partir de este punto se establece la conexión con el “backbone” de Internet. A partir de aquí, los equipos de media tensión API-2000-MV se ubicarán a lo largo de los primarios de la red de distribución formando una red “powerline” que distribuya la señal durante todo el tramo. La cobertura máxima de estos equipos es 1500 m. Sin embargo, por razones de seguridad en el diseño se ubican en intervalos de 1200 m.

Por lo que, el cálculo del número de equipos por primario, correspondiente a la columna 5 de la **Tabla 3.4** está definido por la relación siguiente:

$$M = \frac{L_p}{D}$$

**Donde:**

*M*: Número de equipos API-2000-MV por primario

*L<sub>p</sub>*: Longitud del primario en kilómetros

*D*: Distancia máxima entre equipos

- Los equipos de cabecera API-2000-LV sirven de interface entre el
- equipo de medio voltaje y el terminal de usuario. Para la
- implementación se requiere una unidad por usuario, debido a la
- consideración de que los usuarios no están concentrados, sino
- distribuidos a lo largo de la red.
- Con el futuro crecimiento de la demanda del servicio, los usuarios se
- enlazarán a estos equipos, que pueden manejar incluso 64
- conexiones en paralelo.
- Los equipos repetidores API-2000-GW no se emplean en esta
- sección del diseño, debido a que estos sirven como repetidores en el
- caso de que la distancia entre el equipo de cabecera de bajo voltaje
- y el abonado sea mayor a 300 m. Lo cual no es el caso, debido a
- que la acometida de cada usuario tiene un valor inferior, 100 m en
- promedio.
- Para los terminales de usuario existen dos opciones de equipo. En
- este diseño se escoge el modelo APC-2000-VB, ya que permite
- manejar voz y datos y para la estimación inicial de equipos se define
- una unidad por abonado.

## **4.6 DISEÑO TIPO ENLACE DEL USUARIO**

### **4.6.1 ÁMBITOS Y APLICACIONES**

La tecnología ASCOM BPL permite aplicaciones internas para varios entornos como: multifamiliares, edificios, escuelas, hoteles, hospitales, áreas de convenciones. Las principales aplicaciones disponibles a los usuarios son establecimiento de redes locales, servicio de telefonía basada en VoIP, servicios multimedia como video bajo demanda, aprovechando adicionalmente la ventaja de una fácil instalación y sin necesidad de cableado adicional.

### **4.6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Cuando las señales han sido transmitidas por la red “powerline” de media tensión y llegan a los transformadores (MV/LV) existen dos opciones para la transmisión de los datos hacia los hogares: sistemas cableados o inalámbricos.

Compañías como ASCOM consideran la opción cableada empleando la red de baja tensión para comunicar un equipo de cabecera con el módem especial conectado en la ubicación del usuario.

Otras compañías han diseñado sus productos basados en comunicaciones inalámbricas y colocan estaciones bases que manejan el estándar IEEE 802.11b.

Posteriormente, una vez que la señal ingresa en el hogar y para que pueda ser interpretada y utilizada por el computador el usuario debe disponer de un módem BPL, aparato encargado de demodular los datos provenientes de la línea e incorporarlos al equipo.

Estos equipos BPL se comunican con los usuarios a través de interfaces Ethernet y USB, entregando una fácil y simple conexión con los equipos centrales.

Adicionalmente, la red “powerline” interior permite conectar los computadores existentes en la ubicación del usuario empleando las tomas eléctricas y sin cableado adicional, siendo ésta una de las tecnologías más económicas para establecer redes locales.

#### **4.6.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS**

En la tecnología BPL el medio de transmisión es compartido, por lo que varios usuarios están accediendo a la red al mismo tiempo. Para proteger la privacidad del tráfico individual, los sistemas ASCOM están basados en los estándares de redes VLAN IEEE 802.1Q para separar las especificaciones de usuarios de los datos, dando como resultado la protección de éstos.

Los sistemas BPL pueden ser manejados vía DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) y SNMP (Simply Network Management Protocol). Esto permite la administración de la red, monitoreo del tráfico y la localización de los errores que se produzcan.

El módem BPL provee conexiones Ethernet (RJ45), USB y conexión análoga para teléfono (RJ11). La velocidad máxima de transferencia ofrecida por el sistema es de 45 Mbps. Esto significa que si dentro del hogar existen dos o más módem BPL, la red podría trabajar con un desempeño máximo de 45 Mbps utilizando la red de baja tensión. La distancia máxima entre el módem y el equipo de usuario (computador, teléfono) es 100 m.

Los sistemas ASCOM BPL “In Home” emplean la banda de 15 a 30 MHz acorde a la normativa europea y son compatibles con las tecnologías más importantes para el establecimiento de redes internas y para la conexión con el “backbone”.

#### **4.6.4 EQUIPOS DISPONIBLES**

Hay varias clases de equipos terminales, algunos diseñados para aplicaciones de acceso a Internet, telefonía o ambas.

Los proveedores de equipos están desarrollando equipos cada vez más competitivos y continúan mejorando el diseño exterior (dimensiones, peso y forma) para hacerlos más amigables al usuario.

Los terminales de usuario del proveedor ASCOM disponibles son:

##### **4.6.4.1 APC-2000-DB**

Es la versión de equipo para datos. Actúa como puente de los datos sobre la interfaz Ethernet y la red “Powerline”. Los datos pueden ser voz, video o tráfico proveniente de Internet.



*Terminal de usuario APC-2000-DB*

Entre las características importantes del equipo se incluyen:

- Permite servicios “triple play”
- Fácil instalación (“plug&play”)
- No requiere configuración adicional por parte de los usuarios
- Encriptación de los datos transmitidos
- Provisión de soporte automático (DHCP)
- Administración remota (SNMP)

##### **4.6.4.2 APC-2000-VB**

Es la versión para manejo de voz. Además de soportar todas las funciones del equipo APC-2000- DB provee interfaz a los tradicionales puertos telefónicos analógicos (RJ11). Este dispositivo se ajusta mejor a despliegues donde la voz digital no es disponible y los usuarios terminales aún usan puntos de servicio analógicos.



*Terminal de usuario APC-2000-VB*

Las características del equipo incluyen todas las mencionadas anteriormente para el APC-2000-DB y adicionalmente provee las siguientes funciones para el tratamiento de la voz.

- Posibilidad de escoger entre H323 o SIP
- Detección de voz
- Control de la generación de ruido

#### **4.6.4.3 API-2000-GW**

Su principal ventaja es la configuración dual, puede ser usado como repetidor entre el equipo de cabecera de bajo voltaje y los módems de usuario y adicionalmente puede actuar como equipo de cabecera para permitir el establecimiento de redes locales, a través de la red de distribución eléctrica de un edificio, una oficina o un establecimiento público.



*Equipo repetidor API-2000-GW*

Entre las características importantes del equipo se incluyen:

- Permite 32 conexiones simultáneas (esclavos).
- Posibilidad de manejo de 64 direcciones MAC.
- Alta sensibilidad del receptor para asegurar su cobertura.
- Fácil sistema que emplea el concepto de VLAN y servicios QoS.
- Consola de línea de comando industrializada como medio alternativo de configuración.
- Señalización BPL para minimizar los parámetros de configuración y mejorar la robustez del sistema.

### **4.7 INSTALACIÓN DE EQUIPOS**

El proceso de instalación de los terminales de usuario es fácil, simplemente se conecta el equipo a la toma eléctrica sin cable adicional.

El computador necesita un interfaz de red Ethernet o USB y la usual configuración para acceder a servicios de Internet. El teléfono no requiere instalación especial.

Independientemente de la naturaleza heterogénea de la red eléctrica y la obsolescencia de ella, las soluciones han sido desarrolladas para superar problemas generales, incluyen

nuevas funciones para facilitar el proceso de instalación (autoconfiguración), manuales de operación y asistencia del proveedor.

#### **4.8 SOLUCIONES AVANZADAS**

El potencial que se obtiene con el establecimiento de redes locales en el hogar, permite optar por soluciones más avanzadas, que proporcionarán un bienestar directamente proporcional a la capacidad de equipar la red doméstica con interfaces BPL.

Hace algún tiempo que existen en el mercado tecnologías para el control de dispositivos eléctricos por el mismo enchufe que proporciona la energía. Los cuales están basados en el estándar X-10. Sin embargo, BPL se basa en este protocolo, pero sin muchas limitaciones, más comodidad y fácil instalación.

En el futuro, se espera que los electrodomésticos del hogar, al igual que otro tipo de aparatos eléctricos y electrónicos, pasen a formar parte de un todo, de forma que cada entidad sepa del estado del resto, y se comporte en consecuencia, estableciendo relaciones e incluso aprendiendo de las preferencias del dueño del hogar.

Algunas aplicaciones relativas al control de dispositivos en el hogar son:

- Seguridad: control de intrusos, accidentes.
- Ahorro energético: regulación lumínica, control de temperatura.
- Telegestión: alarmas técnicas, averías, etc.
- Programación horaria para riego, persianas, aire acondicionado.

#### **4.9 RED DE ACCESO A INTERNET**

BPL es una tecnología complementaria, ya que para cumplir con uno de sus objetivos, la distribución del servicio de Internet, requiere de una red de soporte denominada “backbone”. El “backbone” es una plataforma que permite brindar todo tipo de servicios, como transmisión de datos, voz, interconexión con redes de alta velocidad y aplicaciones multimedia.

Este tramo de la red es independiente de la tecnología BPL, involucra la conexión desde la subestación de distribución eléctrica hacia un proveedor de acceso a Internet. De acuerdo a los servicios y requerimientos de los usuarios que integren el sistema BPL se define el tipo de enlace más conveniente. Las opciones empleadas para este enlace son varias, entre ellas:



- La conexión por medio de líneas alquiladas es la solución más simple, pero involucra un alto número de enlaces por lo que es potencialmente costoso.
- Un sistema inalámbrico permite reducir costos por servicio, pero incrementa los costos de hardware.
- El despliegue de líneas de banda ancha paralelas a las líneas eléctricas y que integren las subestaciones de distribución. Estas líneas pueden ser fibra óptica, ATM o cable coaxial de banda ancha.

Esta opción evita los gastos de servicio pero incrementa los costos por equipos.

El actual desarrollo de BPL involucra el uso de alternativas mixtas, en las cuales de acuerdo a las características propias de la zona de servicio se pueda optimizar costos.

## CAPITULO 5

### 5. CONCLUSIONES.

Teóricamente, PLC puede enlazarse con cualquier equipo de abonado que se halle conectado a la red eléctrica centralizada que porte señales de datos.

PLC que nació en las dos primeras décadas del siglo pasado sigue siendo de mucho interés para diversos países, instituciones de investigación y desarrollo, empresas de servicios públicos y vendedores que han estado tratando de integrar los servicios de telecomunicaciones a la infraestructura de la red eléctrica.

La infraestructura de la red eléctrica puede soportar funcionalidades adicionales a la portar solo energía, al punto de poder ser una infraestructura que pueda proveer dos servicios esenciales, el servicio de electricidad y el servicio de telecomunicaciones.

La posibilidad de implementar una solución completa PLC con alta performance en el orden de los Megabits por segundo es posible, pero aun está lejos de la realidad para garantizarse como solución mas que la de proyecto piloto ya que la tecnología está aun en vías de convertirse en un estándar de tecnología de comunicación como las ya maduras.

PLC está en la capacidad de llevar a cabo comunicaciones de datos con ancho de banda compartida de hasta algunos Megabits por segundo, aunque estas mediciones aún son muy específicas a cada entorno.

## CAPITULO 6

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Diccionario “The Penguin Dictionary of Electronics”. 3ra. edición.  
Valerie Illingworth.
  
- [2]. Diccionario “Chambers Dictionary of Science and Technology”.
  
- [5]. PB Associates. “Technology Review of Powerline Communications (PLC),  
Technologies and Their Use in Australia”. Final Report.
  
- [6]. Caslon Analytics. “Powerline Communication”. Tomado de  
<http://www.caslon.com.au/powerlinenote4.htm>
  
- [7]. “Broadband over Power Lines”. Canada’s National Amateur Radio Society.  
<http://www.rac.ca/regulatory/plc.htm>
  
- [14]. <http://www.wikipedia.org/>
  
- [16]. Practical Digital and Data Communications, With LSI Applications.  
Paul Bates, P. ENG.