

ESTADO DEL ARTE DE BPL (BROADBAND OVER POWER LINE)

VALENTÍN EDUARDO BARAJAS SANTOS



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2010**

ESTADO DEL ARTE DE BPL (BROADBAND OVER POWER LINE)

VALENTÍN EDUARDO BARAJAS SANTOS

Tesis de Grado para optar el título de Especialista en Telecomunicaciones

**Director:
Msc. Raúl Restrepo Agudelo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2010**

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis Padres, José Valentín y Sonia, gracias por su constante apoyo.

A mis hermanas, Jessica Tatiana y Adriana Carolina, por ofrecerme siempre una sonrisa.

A mis amigos y familiares, por su apoyo, su confianza y su consejo.

A mi director Raúl Restrepo Agúdelo, por su constante apoyo y especial interés en este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 <i>El Sistema De Alimentación Eléctrica Y Sus Propiedades.....</i>	<i>18</i>
1.2 <i>Nivel De Alta Tensión.....</i>	<i>19</i>
1.3 <i>Niveles De Media Y Baja Tensión</i>	<i>19</i>
1.4 <i>Desarrollo Histórico De Comunicación Sobre Las Líneas Eléctricas</i>	<i>20</i>
1.4.1 <i>Nuevas Posibilidades de uso del nivel de bajo voltaje basado en los estándares Europeos</i>	<i>21</i>
1.4.2 <i>Innovación Potencial de Desregulación – Posibilidades y Limitantes de la señal de Transmisión</i>	<i>23</i>
1.4.3 <i>Acceso a Telecomunicaciones sobre la red de baja tensión (Soluciones de última milla)</i>	<i>25</i>
1.4.4 <i>Requerimientos de Ancho de Banda y Asignación de Frecuencias</i>	<i>26</i>
1.4.5 <i>Características de Transmisión a altas frecuencias.....</i>	<i>27</i>
1.5 <i>El Escenario De Interferencia.....</i>	<i>28</i>
1.6 <i>Estimación La Capacidad Del Canal De La Línea Eléctrica</i>	<i>30</i>
1.6.1 <i>Teoría de Shannon para el canal de la línea eléctrica.....</i>	<i>30</i>
1.6.2 <i>Compatibilidad Electromagnética: Problemas y Soluciones.....</i>	<i>30</i>
2. PLC DE BANDA ANGOSTA – APLICACIONES.....	33
2.1 <i>Lectura de Contadores.....</i>	<i>33</i>
2.2 <i>X10.....</i>	<i>35</i>
2.3 <i>Intercomunicadores FM.....</i>	<i>37</i>
2.4 <i>Lonworks Industrial</i>	<i>38</i>
3. BANDA ANCHA SOBRE LAS LÍNEAS DE ENERGÍA BPL	40
3.1 <i>Descripción General.....</i>	<i>40</i>
3.1.1 <i>Evolución</i>	<i>40</i>
3.2 <i>Conceptos Fundamentales.....</i>	<i>41</i>
3.2.1 <i>Operación de Líneas Eléctricas</i>	<i>41</i>
3.2.2 <i>Métodos de Modulación</i>	<i>41</i>
3.3 <i>Tecnologías Competitivas De Acceso A Internet.....</i>	<i>42</i>
3.3.1 <i>Ventajas de BPL</i>	<i>42</i>
3.3.2 <i>PSTN.....</i>	<i>42</i>

3.3.3 Cable Modem	43
3.3.4 DSL	43
3.3.5 Satélite	43
3.3.6 Wimax	44
3.4 <i>Arquitectura Del Sistema Bpl</i>	44
3.4.1 Descripción General de la Arquitectura	45
3.4.2 Líneas de Alta Tensión	45
3.4.3 Líneas de Media Tensión	46
3.4.4 Líneas de Baja Tensión	46
3.4.5 La infraestructura del Servicio Eléctrico	46
3.5 <i>Problemas De La Red</i>	48
3.5.1 Ruido de la Línea y Atenuación	48
3.5.2 Equipos de Tolerancia de Fallos	48
3.5.3 Método de Conexión con la Red Eléctrica	48
3.6 <i>Terminología De Bpl</i>	49
3.6.1 Backbone o Backhaul	49
3.6.2 Componentes de la Red	49
3.7 <i>Arquitecturas De Red Bpl</i>	52
3.7.1 Sistema basado en OFDM	52
3.7.2 Sistema Basado en OFDM – WIFI	53
3.7.3 Sistema Basado En DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	54
3.8 <i>Métodos De Transmisión, Técnicas De Modulación Y Acceso A La Red</i>	55
3.8.1 Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal	56
3.8.2 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa DSSS	59
3.8.3 Acceso Múltiple por División de Código	62
4. INTERFERENCIA Y REGULACIÓN	64
4.1 <i>Interferencia Y Acción Regulatoria</i>	64
4.1.1 Pérdida de Transmisión	64
4.1.2 Radiación RF	64
4.1.3 Atenuación	65
4.1.4 Retardo de Propagación	65
4.1.5 El Efecto del Transformador	65
4.1.6 Efecto Antena	66
4.1.7 Oposición de la ARRL a BPL	66
4.1.8 Prevención de Interferencia	67
4.2 <i>El Esfuerzo Regulatorio</i>	67
4.3 <i>IEEE</i>	69
5. ÚLTIMA MILLA EN BPL	71
5.1 <i>El Estándar HomePlug</i>	71
5.1.1 Evolución	71
5.1.2 Productos HomePlug	72
5.1.3 Aplicaciones	72
5.1.4 HomePlug AV	73
5.2 <i>Lan's Inalámbricas IEEE</i>	73

6. FABRICANTES DE EQUIPOS	75
6.1 <i>Ambient Corporation</i>	75
6.2 <i>Amperion, inc.</i>	76
6.3 <i>Corinex Communications Group</i>	78
6.4 <i>Current Communications Group</i>	79
6.5 <i>DS2</i>	80
6.6 <i>Main.Net Communications Group</i>	81
6.7 <i>Siemens Corporation Y Bpl Global</i>	82
8. BPL EN COLOMBIA – BPL A FUTURO	83
8.1 <i>Bpl En Colombia</i>	83
8.2 <i>Bpl A Futuro</i>	84
CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXO 1 – P1675	89
ANEXO 2 – P1775	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estimación de la Capacidad del Canal en la Última Milla de la Línea Eléctrica	29
Tabla 2. Funciones del Puente (Bridge)	46
Tabla 3. Soporte de Modulación OFDM en IEEE 802.11a	58
Tabla 4. Ejemplo de Codificación DSSS	61
Tabla 5. Características de una buena transmisión	63
Tabla 6. Aplicaciones Comunes de Comunicaciones y sus Frecuencias	66
Tabla 7. Bandas de Transmisión Autorizadas por la FCC para BPL	67
Tabla 8. Bandas de Transmisión Excluidas por la FCC para BPL	67
Tabla 9. Traslape de Bandas de Transmisión autorizadas de BPL con Servicio de Radioaficionados	68
Tabla 10. Productos certificados HomePlug	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del Suministro de Energía Eléctrica	17
Figura 2. Rangos de Frecuencia y Limites de Nivel de Señal especificados en el estándar Europeo EN50065	21
Figura 3. HomePlug Powerline Alliance	23
Figura 4. Ejemplo de una Estructura de una Celda de PLC	25
Figura 5. Recursos Espectrales para Comunicación por la Línea Eléctrica	26
Figura 6. Resultados de Medidas de Atenuación e Interferencia sobre cable de 300m bajo tierra	27
Figura 7. Modelo de Interferencia General	28
Figura 8. Posibilidades de Asignación de Frecuencia	30
Figura 9. Solución de Contador de Electricidad de doble chip con Lectura Automática (AMR) basada en comunicación PLC de Texas Instruments	33
Figura 10. Codificación de Trama X10	35
Figura 11. Códigos Binarios de X10	35
Figura 12. Intercomunicador FM de Thodukonics	36
Figura 13. Grupos LonUser en el Mundo	38
Figura 14. Infraestructura General del Servicio Eléctrico	46
Figura 15. Infraestructura General de Acceso BPL	49
Figura 16. Arquitectura de Red basada en OFDM	51

Figura 17. Sistema basado en OFDM - WIFI	53
Figura 18. Arquitectura de Red basada en DSSS	54
Figura 19. Comparación entre FDM y OFDM usando 9 subportadoras	56
Figura 20. Comparación de una señal de banda base a su ensanchamiento de Banda Ancha	60
Figura 21. Comparación Métodos de Acceso	62
Figura 22. Bandas en el Espectro de Frecuencia	66

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. P1675	89
Anexo 2. P1775	92

GLOSARIO

ADSL: *Asymmetric Digital Subscriber Line*. Línea de Suscripción Digital Asimétrica es un tipo de línea DSL. Consiste en una transmisión de datos digitales (la transmisión es analógica) apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado, siempre y cuando la longitud de línea no supere los 5,5 km medidos desde la Central Telefónica, o no haya otros servicios por el mismo cable que puedan interferir.

AMR: *Automatic Meter Reading* es una tecnología que se encarga de recoger de forma automática el nivel consumo de los contadores de agua, gas o electricidad; transfiriendo la información, a un servidor central para su posterior análisis.

ARRL: *American Radio Relay League*. La liga Americana de Radio es la mayor asociación de radio aficionados en Estados Unidos. Es una organización sin ánimo de lucro, fue fundada en 1914 por Hiram Percy Maxim de Hartford, Connecticut.

BPL: *Broadband Power Line*, aplicación PLC para banda ancha, usa la línea eléctrica para transmitir datos a velocidades de hasta 200 Mbps.

CDMA: *Code División Multiple Access*. Técnica digital de acceso múltiple por división de códigos, usado en las comunicaciones móviles según el estándar US (IS 95) en el intervalo de frecuencias entre los 800 y los 1.900 MHz. Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz.

CENELEC: En francés (*Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*) es el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica. Responsable de la estandarización europea en el área de ingeniería eléctrica, junto a la ETSI y al CEN, forma parte del sistema europeo de normalizaciones técnicas.

CTP: *Carrier Transmission over Powerlines* - Transmisión de Portadoras sobre líneas eléctricas, tecnología desarrollada por las compañías eléctricas desde 1920 para Administrar las operaciones, Monitorear, Limitar y Corregir fallas en las líneas eléctricas.

DSSS: *Direct Sequence Spread Spectrum*. El espectro ensanchado por secuencia directa, también conocido en comunicaciones móviles como DS-SS (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan. Tanto DSSS como FHSS están definidos por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas WLAN. Este esquema de transmisión se emplea, con alguna variación, en sistemas CDMA asíncronos (como por ejemplo UMTS).

HOMEPLUG: Alianza de varias empresas que trabajan en el desarrollo de estándares y tecnología que permita implementar redes de área local usando la instalación eléctrica de baja tensión de las viviendas, oficinas o industrias.

IEEE: *Institute Of Electrical And Electronics Engineers*, corresponde a las siglas de Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros electricistas, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación e Ingenieros en Mecatrónica.

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

P1675: *Estándar para Banda ancha sobre Hardware de Línea Eléctrica*. El PAR está patrocinado por el Comité de Comunicaciones de Sistemas Eléctricos de la Sociedad de Ingeniería Eléctrica IEEE (IEEE Power Engineering Society Power System Communications Committee PES/PSCC). Brindará a las compañías de servicios públicos eléctricos unas directrices integrales para la instalación del hardware requerido sobre líneas de distribución, tanto subterránea como aérea, lo cual proporcionará la infraestructura para sistemas de banda ancha sobre líneas eléctricas (BPL).

P1775: *Standard for Broadband Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements – Testing and Measurement Methods* (Estándar para el Equipo de Comunicación de Banda Ancha sobre la Línea Eléctrica - Requisitos de Compatibilidad Electromagnética - Ensayos y métodos de medición).

P1901: *Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*, Estándar para Banda Ancha sobre redes de Líneas Eléctricas: Especificaciones de Control de Acceso al Medio y Capa Física, es otro de los estándares estudiados en este momento por la IEEE para la estandarización de BPL.

PLC: *Power Line Carrier*. Tecnología que permite transmitir datos usando como portadora la señal de energía eléctrica de 50 o 60 hz.

WIFI: *Wireless Fidelity*, es un sistema de envío de datos sobre redes de computadores que utiliza ondas de radio en lugar de cables, además es una marca de la Wi-Fi Alliance, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11_n.

X10: Es un protocolo de comunicaciones para el control remoto de dispositivos eléctricos. Utiliza la línea eléctrica (220V o 110V) para transmitir señales de control entre equipos de automatización del hogar en formato digital.

RESUMEN

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE DE BPL (BROADBAND OVER POWER LINE)

AUTOR: VALENTÍN EDUARDO BARAJAS SANTOS

FACULTAD: ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES

DIRECTOR: RAÚL RESTREPO AGUDELO

El objetivo general de esta investigación es la elaboración del estado del arte de la tecnología BPL. El proyecto indica la evolución de PLC de banda angosta a PLC de banda ancha (BPL) y sus principales características, desde los métodos de modulación hasta los problemas de interferencia ocasionados.

Este documento está dividido en 8 capítulos, los cuales dan a conocer la tecnología de banda ancha sobre las líneas eléctricas, sus ventajas, sus problemas, sus inconvenientes, sus progresos, su evolución.

Se analiza el avance de BPL y la superación de inconvenientes que se han presentado a través del tiempo, los problemas de interferencia ocasionados y cómo se han logrado disminuir. También se indican las principales estructuras para ofrecer el servicio en la última milla, es decir por medio de la línea eléctrica de baja tensión y por medio de redes inalámbricas WLAN IEEE 802.11.

Se estudian los entes organizados que regulan y estandarizan la transmisión BPL para el servicio de banda ancha, se estudia la asociación HomePlug Powerline Alliance, la regulación por parte de la FCC y el estudio por parte de la IEEE para la estandarización de la tecnología BPL.

En una sección del proyecto se muestran los principales fabricantes de productos y empresas que ofrecen el servicio de BPL, miembros de la asociación HomePlug Powerline Alliance. Por otro lado se estudian desarrollos locales sobre BPL y se da una opinión sobre el posible futuro de esta tecnología.

El proyecto en general informa al lector como se encuentra la tecnología BPL en este momento, sus beneficios, sus inconvenientes y su evolución.

PALABRAS CLAVE: PLC, BPL, PSTN, DSL, RED ELÉCTRICA, EMI, OFDM, WIFI, DSSS, CDMA, HOMEPLUG, IEEE, FCC

ABSTRACT

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE DE BPL (BROADBAND OVER POWER LINE)

AUTOR: VALENTÍN EDUARDO BARAJAS SANTOS

FACULTAD: ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES

DIRECTOR: RAÚL RESTREPO AGUDELO

The general purpose of this research is to develop the state of art of BPL technology. The project shows the evolution of narrow-band PLC to broadband PLC (BPL) and its main characteristics, from the modulation methods to the caused interference problems.

This document is divided into 8 chapters, which make known the technology of broadband over power lines, its advantages, its problems, their drawbacks, its progress, and its evolution.

It is analyzed the advance of BPL and the overcome of inconveniences that have occurred over time, interference issues and how they have decrease. It also identifies the main structures to provide the service in the last mile, i.e. through low-voltage power line and wireless networks using IEEE 802.11 WLAN.

It is studied the organized entities that regulate and standardize the BPL transmission for broadband service, the association HomePlug Powerline Alliance, the regulation by the FCC and the study by the IEEE for standardization of BPL technology.

A section of this project shows the major manufacturers and developers offering BPL service, members of the association HomePlug Powerline Alliance. In another section it's studied local developments of BPL and I give an opinion about the possible future of this technology.

The overall project informs the reader the state of BPL technology at this time, its benefits, its drawbacks and its evolution.

KEYWORDS: PLC, BPL, PSTN, DSL, ELECTRICAL NETWORK, EMI, OFDM, WIFI, DSSS, CDMA, HOMEPLUG, IEEE, FCC

INTRODUCCIÓN

A través de los años se han implementado y desarrollado tecnologías para el acceso a internet, PSTN, Cable Modem, Satélite, DSL, WiMax, son tecnologías que permiten acceder a internet a diferentes velocidades. Actualmente las más utilizadas para internet de alta velocidad son DSL en su forma asimétrica ADSL, y Cable Modem, las cuales son empleadas en la mayoría de las ciudades.

Justo cuando se pensaba que el acceso a internet de alta velocidad estaba limitado por los ya mencionados, se desarrolló una nueva opción para considerar, una tecnología que existía desde hace mucho tiempo pero que no se había implementado y estudiado hasta hace algunos años, esta tecnología es Banda Ancha sobre las Líneas Eléctricas (BPL). BPL habilita las existentes estructuras eléctricas para proveer comunicación de datos de alta velocidad en casas y pequeñas oficinas.

En este documento se analiza la forma en que la tecnología BPL se ha introducido, se ha estudiado y se ha desarrollado para ofrecer el servicio de Internet de Banda Ancha, es decir la transmisión a altas velocidades por la red eléctrica. Se muestran las diferentes arquitecturas adoptadas en campos de pruebas de BPL, y las ofrecidas actualmente por algunas compañías.

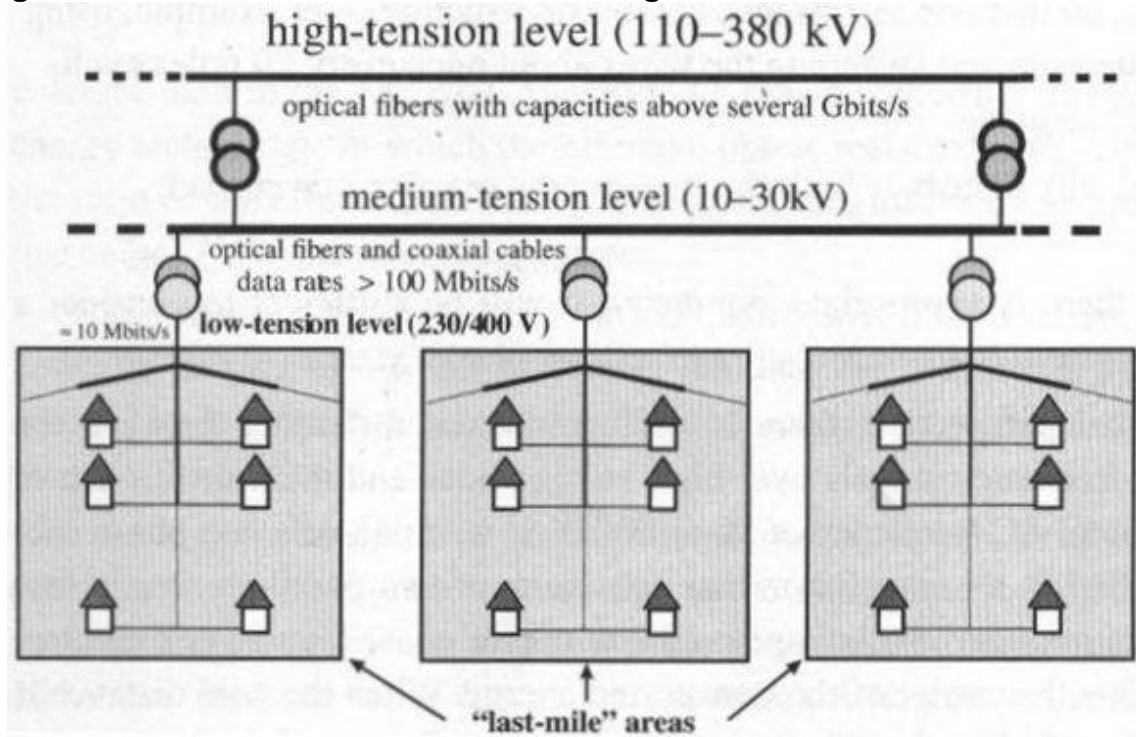
Inicialmente, en este documento se estudiará la tecnología PLC de banda angosta, se verán algunos de los ejemplos de esta tecnología. Luego se indicará la forma en que PLC evolucionó a BPL, es decir PLC de banda ancha y se hará un estudio general de BPL. Posteriormente se analizan los problemas de interferencia y regulación para esta tecnología, el problema de interferencia mostrado por la ARRL, la regulación por parte de la FCC y la estandarización por parte de HomePlug e IEEE. Se mostrarán las dos formas principales de prestar el servicio de BPL en la última milla, se nombrarán algunos de los fabricantes que desarrollan productos BPL, empresas que ofrecen los servicios y la integración de BPL con la tecnología en investigación llamada redes inteligentes. Por último se estudiará brevemente la incursión de esta tecnología en nuestro país, los proyectos llevados por parte de algunas empresas que han trabajado en el tema y para finalizar se hará una apreciación sobre lo que posiblemente sucederá con la tecnología BPL en un futuro.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y SUS PROPIEDADES

El sistema de alimentación eléctrica está dividido en tres niveles de tensión (Ver figura 1). El primer nivel es el nivel de alta tensión (110 – 380 kV), el segundo nivel es el nivel de media tensión (10 – 30 kV), y por último el nivel de baja tensión (0.4 kV). Los segmentos de la red eléctrica con diferentes niveles de tensión están interconectados por transformadores, diseñados de tal forma que las pérdidas sean las menores posibles trabajando en la frecuencia de 50 o 60 Hz dependiendo del país. Estos transformadores son una gran ayuda al momento de comunicar datos a altas frecuencias, ya que causan una perfecta separación entre los niveles de tensión, creando una estructura jerárquica para planear el sistema de comunicación.

Figura 1. Estructura del Suministro de Energía Eléctrica



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p5

1.2 NIVEL DE ALTA TENSIÓN

El nivel de alta tensión permite el transporte de energía eléctrica a largas distancias, desde la estación de energía hasta el consumidor, permitiendo distancias desde metros hasta cientos de kilómetros. Las redes de alta tensión están implementadas en tres fases formadas por tres líneas o cables colgando entre poste y poste. Comparado con otros sistemas polifásicos, el sistema trifásico tiene los menores costos de inversión y el más favorable número de conexiones.

El sistema trifásico es un sistema simétrico de tres fases porque:

- Se usan tres voltajes de la misma amplitud con desfase de 120 grados por cada alimentación.
- Se construyen líneas simétricamente, utilizando el mismo material para los tres cables y usando la misma geometría.

Las redes de alta tensión son diseñadas para optimizar la transmisión de energía y minimizar las pérdidas sobre largas distancias. Estas pérdidas se constituyen principalmente por pérdidas de calor debido a la resistencia óhmica del material del cable y pérdidas de corrientes de escape.

1.3 NIVELES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN

Las redes de media y baja tensión están construidas desde las líneas de alta tensión, donde los cables son generalmente aterrizados y pasados por transformadores. La línea de media tensión tiene voltaje por debajo de los 110 kV, los valores típicos son 10 – 20 kV. La tensión media sobre las líneas aéreas suministra energía eléctrica a zonas rurales, pequeñas ciudades, industrias o plantas individuales. Las distancias típicas de media tensión están entre 5 y 25 Km.

El nivel de media tensión normalmente en los países desarrollados se encuentra bajo tierra, es decir la estructura eléctrica es diseñada por medio de cables bajo tierra que transportan la electricidad de media tensión, en países como Colombia estas estructuras aún no se aplican, el nivel de media tensión se encuentra por medio de cables empotrados en postes transportando la electricidad de media tensión.

Cuando se usa una red de línea eléctrica para la transmisión de información, la impedancia que existe entre los dos cables de la red juega un papel importante. Como regla general, mientras más pequeña sea la impedancia, más energía debe alimentarse para la transmisión de información. Cerca a la frecuencia de la portadora, es decir 50 o 60 Hz, la impedancia de la red de energía eléctrica está determinada significativamente por la carga actual. Sin embargo, la impedancia no es constante sino que varía con respecto al tiempo, esto está influenciado por el

nivel de voltaje, la carga y el comportamiento colectivo de los consumidores. El rango de variación de la impedancia puede ser determinado por la relación entre el pico de la carga y la mínima carga.

Para transmitir cerca a la frecuencia de la red debe usarse una mayor potencia, hacer esto conlleva a algunos problemas, como por ejemplo mayor interferencia, además que transmitir a la frecuencia cercana a la de la red no permite tener un amplio ancho de banda. Al transmitir a alta frecuencia, la impedancia de la red se hace más alta permitiendo de esta forma la transmisión a menor potencia y al mismo tiempo a alta frecuencia se puede ofrecer un mayor ancho de banda.

1.4 DESARROLLO HISTÓRICO DE COMUNICACIÓN SOBRE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

Las redes de alimentación de energía eléctrica comenzaron a ser usadas para transmisión de datos un poco después de que se hizo total cobertura del servicio de electrificación. La transmisión de voz con portadora de frecuencia sobre las líneas eléctricas de alto voltaje empezó en 1920. Las redes de alta tensión siempre han sido atractivas para transmisión de datos por razones históricas. Tareas como monitoreo, administración y solución de problemas han sido llevadas a cabo por comunicación.

Estas tareas requieren un rápido flujo de mensajes bidireccionales, ya sea entre plantas de energía, estaciones transformadoras, equipos de conmutación y puntos de acoplamiento a redes de casas. En esa época no había total cobertura de redes telefónicas, y aún hoy, la disponibilidad de una conexión telefónica no puede ser garantizada a cada punto de una red de alta tensión donde se requiere la transmisión de datos. Por otro lado efectuar las tareas de monitoreo a través de la línea telefónica no es conveniente, porque las interrupciones propias de la línea podrían ser peligrosas, y porque económicamente serían viables solo a corta distancia.

Hacia 1920 se empezó a usar la transmisión de datos sobre las líneas de alto voltaje, por medio de la Transmisión de Portadoras sobre líneas eléctricas, tecnología conocida como CTP. Se hizo una considerable inversión y un rápido progreso en el desarrollo de métodos de comunicación, para reducir las pérdidas en el transporte de energía y tener mayor confiabilidad de la transmisión de información sobre las redes de suministro de energía.

Entre las tareas que debe hacer CTP en las redes de datos de las compañías eléctricas se encuentran: Administración de operaciones, Monitoreo, Limitación y Corrección de fallas.

Las operaciones de administración tienen como objetivo asegurar una distribución óptima de energía, por un lado las capacidades no usadas son mantenidas y por otro lado se hacen suficientes reservas para sobrecargas. En el momento de fallas en el área de alta tensión, el rápido cambio de información entre las plantas de energía y estaciones de transformadores así como las estaciones de distribución es importante para que el impacto de la falla pueda ser minimizado.

Una red de datos dentro de la compañía eléctrica sirve para comunicar estaciones de energía, plantas de transformadores, equipos de conmutación, y puntos de acoplamiento a redes vecinas en el nivel de alta tensión. Además, una red nacional, incluyendo un número de compañías eléctricas, requiere una red de datos remota. En el pasado, la mayoría de datos se transmitían analógicamente a datos de voz. En el transcurso del tiempo, la telemetría automática y el monitoreo remoto sin el uso de operadores han tenido un incremento importante, logrando que la telefonía juegue un papel de subordinado, convirtiendo la comunicación de datos digitales en el sistema dominante.

El rango usado para CTP está entre 15 y 500 kHz. El límite inferior está dado por el costo de acoplamiento de equipos. Por debajo de los 15 kHz, los capacitores requeridos con larga capacidad y con la estabilidad de voltaje requerida son demasiados costosos. El límite superior es esencialmente dado por la atenuación, que crece ampliamente como la frecuencia aumenta. El rango de frecuencia de 300 a 500 kHz no es tolerante al congelamiento y debe ser evitado a largas distancias en continentes del norte.

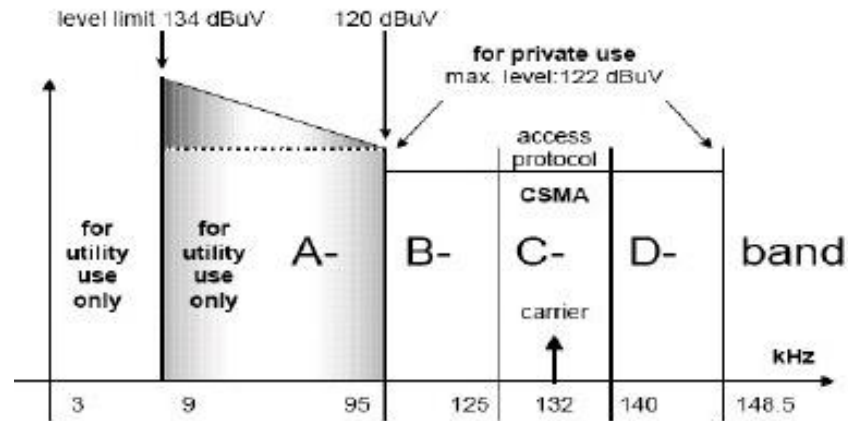
En resumen CTP bajo circunstancias favorables puede soportar una enorme distancia de hasta 900 Km con una potencia de transmisión de tan solo 10W. Aún bajo circunstancias desfavorables alcanza los 300 Km.

1.4.1 Nuevas Posibilidades de uso del nivel de bajo voltaje basado en los estándares Europeos

El estándar Europeo CENELEC EN50065 para el rango de frecuencia por debajo de la banda de Emisión de Onda Larga

El estándar Europeo CENELEC EN50065, regula el uso del rango de frecuencia entre 3 a 148.5 kHz, ha estado ejerciendo desde finales de 1991. La figura 2 proporciona una vista básica de las definiciones de este estándar. EN50065 difiere considerablemente de otras regulaciones, aquellas aplicadas en USA o en Japón, donde el rango de frecuencia disponible es mayor. Debido a la diferencia en los estándares no es posible comprar sistemas PLC en usa o Japón y usarlos en Europa y viceversa. Todos los intentos por modificar equipo importado para ser compatible con EN50065 ha fallado con PLC de banda angosta.

Figura 2. Rangos de Frecuencia y Límites de nivel de señal especificados en el Estándar Europeo EN 50065



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p73

El estándar Europeo 50065 regula las frecuencias en uso y los niveles admisibles de señal para comunicación sobre líneas eléctricas por debajo de la banda de Emisión (Radiodifusión) de onda larga.

La figura 2 está dividida en dos partes, donde las frecuencias por debajo de 95 kHz (Banda A) están reservadas para uso de Unidades de Suministro de Energía (PSU's)¹ mientras que el rango de 95 a 148.5 kHz (Bandas B, C y D) son para uso privado.

El rango de frecuencias de la Banda A está comprendido desde los 9 a 95 kHz, asignado para empresas de servicios eléctricos para el control que necesitan de sus redes.

El rango de frecuencias restante, comprende a las bandas de frecuencias B, C y D, están reservadas para aplicaciones del usuario final. Estas tres bandas difieren principalmente en las regulaciones de los protocolos de cada una de ellas. La banda B se encuentra en el rango de 95 a 125 kHz y no requiere el uso de protocolos de acceso al medio para el establecimiento de las comunicaciones. Por lo tanto es posible que dos sistemas transmitan simultáneamente sobre la banda B, y en consecuencia de ello, puede producirse una colisión de mensajes. Esta banda está diseñada para usarse en aplicaciones tales como intercomunicadores.

La banda C está clasificada en el rango de frecuencia comprendido entre los 125 a 140 kHz y requiere de un protocolo de acceso al medio, para ser usados por los dispositivos de transmisión. Este protocolo apunta a que la transmisión simultánea

¹ PSU's Power Supply Units

de mensajes sea altamente improbable. En consecuencia pueden existir varios sistemas de transmisión, pero solamente uno puede transmitir en cualquier momento. Las aplicaciones de los dispositivos que operan en esta banda incluyen las comunicaciones internas entre PCs de un edificio.

La banda D comprende las frecuencias de 140 a 148.5 kHz., tiene características similares a la banda A, no requiere protocolo de acceso al medio y por ende es factible la colisión de mensajes.

1.4.2 Innovación Potencial de Desregulación – Posibilidades y Limitantes de la señal de Transmisión

El desarrollo de acceso a internet alternativo de última milla ha desempeñado un papel muy importante los últimos años, desde el monopolio de telecomunicaciones que hubo hasta 1998. Comunicación de alta velocidad sobre la línea eléctrica permite la distribución de una tecnología de comunicación de acceso a internet, esta visión de internet sobre la línea eléctrica es interesante y atractiva porque estaría al alcance de todos y a bajo costo. Actualmente, el alto costo de acceso de última milla representa un obstáculo masivo. Mientras que con la comunicación por las líneas eléctricas permite que cualquiera acceda a internet conectando su PC¹ al enchufe de la pared.

La desregulación permite nuevos mercados entrantes para proveer servicios de telecomunicaciones a través de las líneas eléctricas.

1.4.2.1 Transmisión Rápida de datos sobre instalaciones de edificios (Soluciones de Último metro) – La Alianza Homeplug Powerline

Cada vez hay más entes interesados en la transmisión de datos en ambientes cerrados, también llamados “de último metro”, algunas tecnologías como DECT², o BLUETOOTH, o WIFI³, son alternativas sin cableado, pero estas configuraciones se enfrentan a problemas en edificios de muchos pisos por la atenuación. Las líneas de energía no tienen problemas con las paredes y otros obstáculos porque las señales circulan a través de cables y la cobertura es la misma en grandes edificios.

¹ PC Personal Computer

² Digital Enhanced Cord Telephone

³ Wireless Fidelity

1.4.2.2 Misión y Visión de Homeplug Powerline Alliance

Figura 3. HomePlug Powerline Alliance



Fuente: <http://www.homeplug.org/home>

HomePlug Powerline Alliance, Inc. Fue formado en marzo del año 2000 por 13 miembros. HomePlug es una corporación no lucrativa formada para proveer un foro de creación y estándares abiertos y especificaciones para productos y servicios de interconexión por la línea de energía casera, para acelerar la demanda de productos basados en estos estándares mundiales por el patrocinio del mercado y programas de educación. Los propósitos de la corporación podrían organizarse de la siguiente manera:

1. Definir, establecer y dar soporte a especificaciones para interconexiones caseras que proveen la capacidad de interconexiones básicas y al mismo tiempo compatible con otros usos de las líneas de energía caseras. Acoplarse a la rápida adopción de estas especificaciones y estándares por desarrolladores de productos y servicios relacionados.
2. Proveer un foro y un ambiente de plenaria en el cual los miembros de la corporación puedan reunirse para aprobar revisiones sugeridas y mejoras que evolucionan alguna especificación inicial. Para elaborar sumisiones apropiadas a entes y agencias establecidas con el propósito de ratificar estas especificaciones como un estándar internacional. Proveer un foro donde los usuarios puedan encontrarse con proveedores, desarrolladores de productos y servicios de interconexiones caseras para identificar los requerimientos para la interoperabilidad y uso general.
3. Para establecer y educar las comunidades de empresarios y consumidores sobre el valor, beneficios y aplicaciones para interconexiones caseras (productos y servicios) a través de estatutos públicos, publicaciones, demostraciones comerciales, seminarios de patrocinadores y otros programas establecidos por la corporación.
4. Proteger las necesidades de los consumidores e incrementar la competencia entre vendedores y soportar la creación e implementación de uniformidad, que aseguren la interoperabilidad de productos y servicios de interconexiones caseras.

5. Mantener las relaciones y enlaces con instituciones educacionales, institutos de investigación del gobierno, consorcios de otras tecnologías, y otras organizaciones que soporten y contribuyan al desarrollo de especificaciones y estándares de interconexiones caseras.

6. Adoptar la competencia en el desarrollo de nuevos productos y servicios basados en el desarrollo de especificaciones por la conformación con todas las aplicables leyes y regulaciones antimonopolios.

1.4.3 Acceso a Telecomunicaciones sobre la red de baja tensión (Soluciones de última milla)

La figura 4 resume el escenario con nuevas alternativas de soluciones de última milla habilitada para la línea de energía. El nodo central con una red de área local es una estación transformadora, que suministra alrededor de 400 casas en varias vías, generalmente de 3 a 6 cables salientes. La comunicación es controlada por este nodo, llamado “estación base”, creándose de esta forma una estructura de una red Punto – Multipunto.

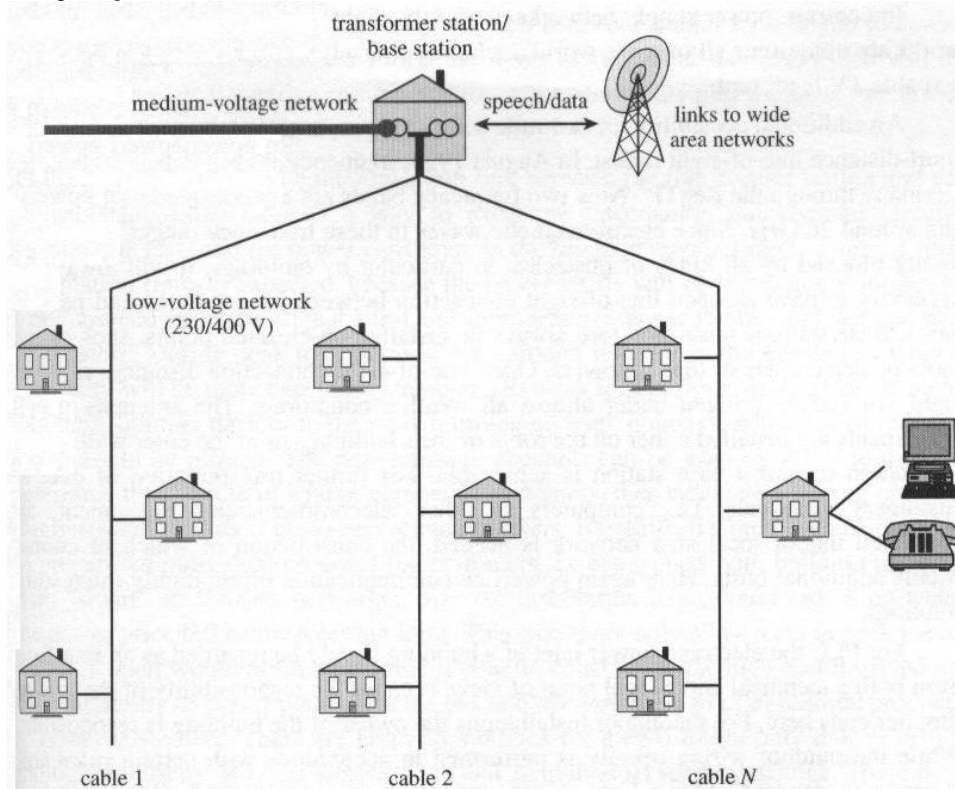
Las redes de telecomunicaciones fijas TCN¹ convencionales, están estructuradas de forma diferente. Es propósito general proveer conexiones punto a punto eficientemente, porque para la telefonía, un participante generalmente necesita una conexión exclusiva con su compañero. Es decir, que el acceso a internet es completamente diferente, no puede satisfacerse más efectivamente por la estructura de punto – multipunto de la red de suministro de energía como cualquier TCN.

La típica red de una estación transformadora, figura 4, representa un sistema de bus lógico. Si varios participantes tienen que ser servidor al mismo tiempo, un protocolo de multiusuario es necesario para manejar el acceso. Esto significa que la capacidad total del canal, es lo más eficiente posible. Así que aún durante periodos de alto tráfico la tasa de datos para cada usuario no cae sobre límites no aceptables.

Las longitudes de los cables típicos para el transporte de energía están restringidas a no más que unos cuantos metros para mantener bajas pérdidas de energía, existe una capacidad considerable del canal, que definitivamente permitirá el acceso a internet desde el conector de la pared a numerosos usuarios.

¹ TCN Train Communication Network

Figura 4. Ejemplo de una estructura de una celda de PLC



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p232

No hay limitaciones físicas que representen obstáculos insuperables. El transporte más lejano de datos desde el concentrador (estaciones bases) con las estaciones de transformadores a redes de área amplia puede ser realizado por convención de enlaces de comunicaciones como fibra óptica, cables de banda ancha, enlaces inalámbricos, o líneas de energía de media tensión.

En contraste, las redes de suministro de energía necesitan solamente modificaciones ligeras, y estas redes están ubicuas alrededor del mundo, incluyendo áreas rurales escasamente pobladas.

1.4.4 Requerimientos de Ancho de Banda y Asignación de Frecuencias

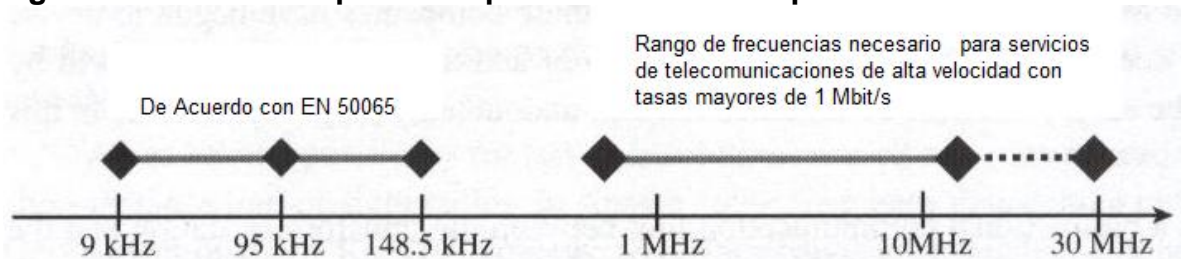
La realización de tasas de datos de hasta varios M/bits es posible a redes de distribución de energía. Esto se ha comprobado por numerosos estudios, soportados por extensas campañas de medidas y también en varios campos de pruebas.

El rango de frecuencia a más de 30 MHz ofrece excelentes posibilidades para rápido acceso a internet y aplicaciones indoor, como por ejemplo audio digital o

distribución de señal de video, lo que se conoce actualmente como BPL. Solo el uso del rango de frecuencia de 3 a 148.5 kHz está regulado para PLC (Figura 5). Esto debido a que el desarrollo de sistemas PLC para este rango de frecuencia ha alcanzado un alto grado de maduración y numerosas aplicaciones se han hecho para automatización de edificios y servicios de información de energía que han estado operando dentro del ambiente legal.

Desde 1998, diferentes grupos de trabajo (PTF¹, ART²) han estado interesados en que la regularización y estandarización se lleve a cabo.

Figura 5. Recursos Espectrales para Comunicación por la Línea Eléctrica



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p236

1.4.5 Características de Transmisión a altas frecuencias

Actualmente una gran base de datos está disponible para el dominio a la red de acceso, la malla de distribución entre la estación del transformador a las conexiones caseras tiene como resultado general que este dominio puede ser explotado para propósitos de telecomunicaciones por encima de frecuencias alrededor de 10 MHz. Algunos filtros especiales se encuentran en áreas residenciales altamente pobladas, filtros FIR (Respuesta a Impulso Infinito), que pueden manejar el rango de frecuencia. Actualmente se trabaja con frecuencias de 40 Mhz.

Las investigaciones claramente confirman que las tasas de datos de Mbits/s son realistas, aún con conexiones críticas. Diferentes tipos de cables no exhiben un comportamiento totalmente diferente. Otro importante resultado es que moderando los niveles de transmisión de potencia pueden evitarse problemas de compatibilidad electromagnética EMC³.

La figura 6 muestra el resultado de una atenuación combinada y medidas de ruido realizadas a 300m por conexiones terrestres sobre el rango de frecuencia de 500 kHz a 20 MHz, obviamente la atenuación se incrementa con la frecuencia, y la característica de filtro pasabaja puede ser observada a todas las conexiones de

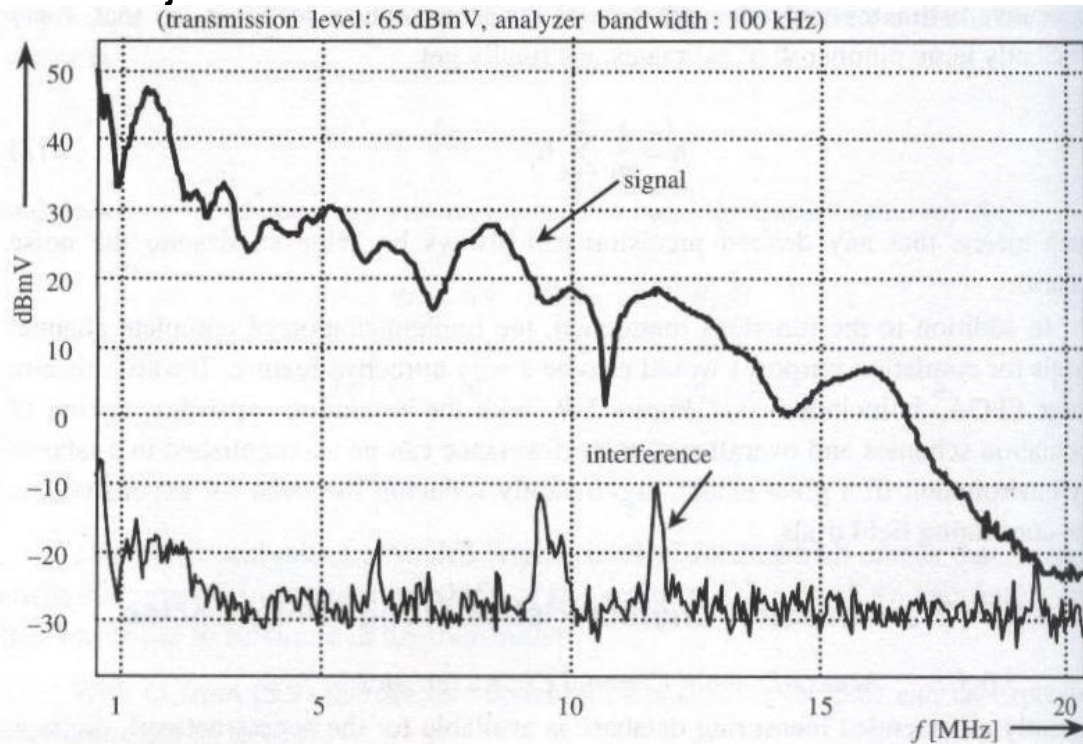
¹ Powerlines Telecommunication Forum

² Arbeitskreis Technische Regulierung in der Telekommunikation

³ EMC - Electromagnetic Compatibility

cables terrestres, por tanto, pueden considerarse como una propiedad sustancial, al menos en el rango de frecuencia por encima de 500 kHz.

Figura 6. Resultados de Medidas de Atenuación e Interferencia sobre cable de 300m bajo tierra



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p252

1.5 EL ESCENARIO DE INTERFERENCIA

El ruido aditivo tiene un efecto degradante en la transmisión de datos, en adición a la distorsión de la señal. A diferencia de muchas otras conexiones de comunicaciones, el canal de energía no representa una adición al ambiente de ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN)¹.

En la figura 7, se puede observar un escenario típico de ruido en la línea eléctrica a altas frecuencias. Donde se encuentran las siguientes clases de ruido.

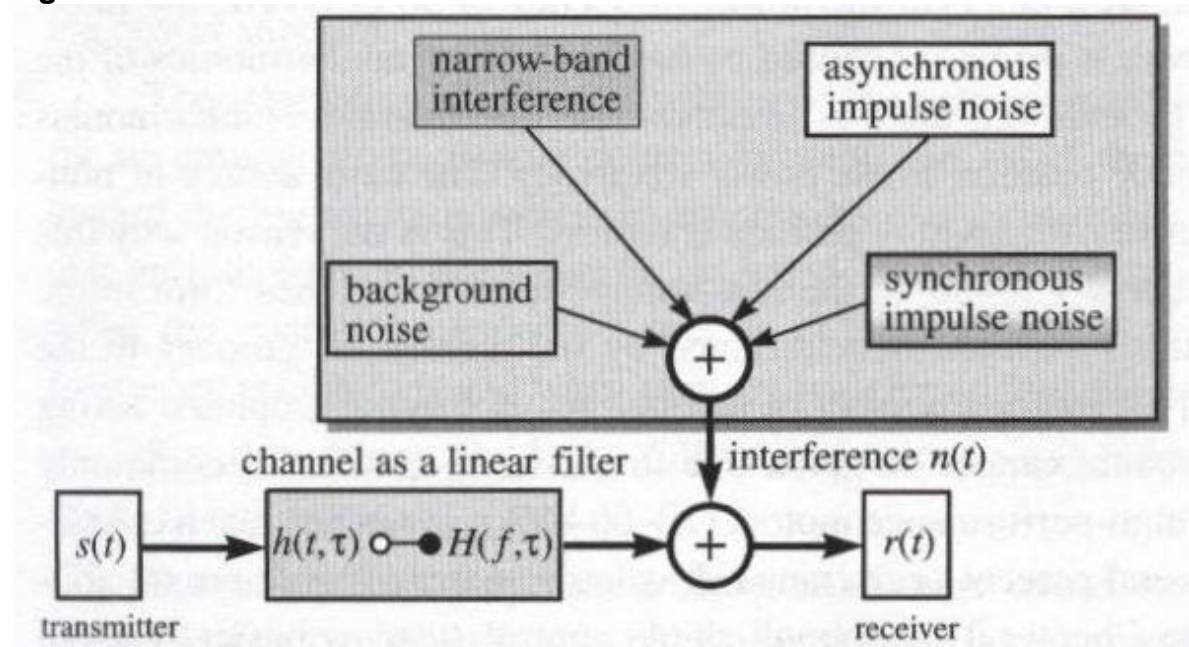
1. El ruido de fondo, exhibe relativamente baja densidad de potencia espectral (PSD)², variando con la frecuencia y consistiendo principalmente en la suma de numerosas fuentes de ruido de baja potencia. El PSD es variante en el tiempo, en términos de minutos hasta horas.

¹ AWGN - Additive white Gaussian noise

² PSD - Power Spectral Density

2. El ruido de banda estrecha consiste en su mayoría en señales de ondas continuas con amplitud de modulación. Este tipo de ruido es causado principalmente por el ingreso de estaciones de Emisión operando en las bandas de onda media y onda baja. Los niveles generalmente varían con la hora del día.
3. Ruido Asincrónico Periódico Impulsivo a la Frecuencia de la Red; En este tipo de ruido la mayoría de los casos los impulsos son encontrados con una tasa de repetición entre 50 y 200 kHz, produciendo un espectro con líneas discretas espaciadas de acuerdo con la tasa de repetición. Este tipo de ruido es generalmente causado por las fuentes de alimentación conmutadas.
4. Ruido Sincrónico Periódico Impulsivo a la Frecuencia de la Red; Aquí los impulsos tienen una tasa de repetición de 60 a 120 Hz respectivamente en USA y son síncronos con el ciclo de la red. Son de corta duración (10 – 100 us) y el PSD decrementa con la frecuencia. Este tipo de ruido es causado principalmente por aparatos tal como los atenuadores de luz.

Figura 7. Modelo de Interferencia General



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p252

1.6 ESTIMACIÓN LA CAPACIDAD DEL CANAL DE LA LÍNEA ELÉCTRICA

1.6.1 Teoría de Shannon para el canal de la línea eléctrica

La habilidad de transferir datos puede ser estimada por cualquier canal con conocimiento de los parámetros esenciales usados por la fórmula de Shannon.

$$C = \beta \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

C indica la máxima tasa de datos (en bits/s), para una transmisión hipotética posible, se han encontrado valores teóricos de hasta 250 Mbits/s teóricos en el mejor de los casos y 100 Mbits/s experimentales en el mejor de los casos. Estos valores se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Estimación de la Capacidad del Canal en la Última Milla de la Línea Eléctrica

	Tasa de Datos		Longitud del Enlace
	Mejor Caso	Peor Caso	
Teórico	250 Mbits/s	14 Mbits/s	100 a >300 m
Realizable	100 Mbits/s	5 Mbits/s	100 a >300 m

Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p272

1.6.2 Compatibilidad Electromagnética: Problemas y Soluciones

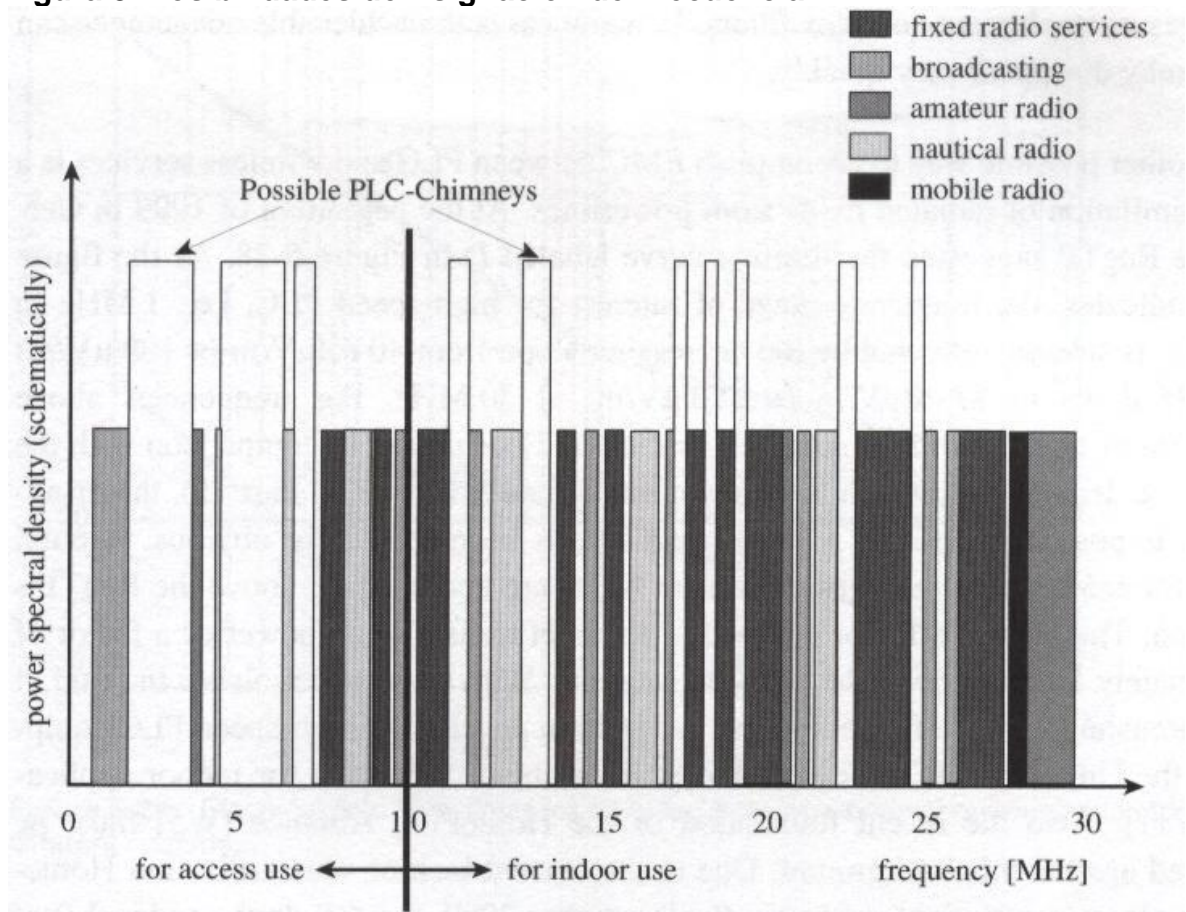
Cuando se usan redes de distribución de energía eléctrica como medio compartido para diferentes servicios de telecomunicaciones y propósitos de transmisión rápida de datos, debe mantenerse en mente que ellos representan estructuras (electromagnéticamente abiertas), insuficientemente protegida contra el ingreso o emisión de señales con altas frecuencias. Así como señales de transmisión de PLC que afectan por una parte otros sistemas PLC en el mismo segmento de red directamente sobre los cables conectados, y por otra parte diferentes servicios inalámbricos. La compatibilidad electromagnética significa la coexistencia tanto de diferentes sistemas PLC en cercana proximidad y la coexistencia con servicios inalámbricos.

1.6.2.1 Compatibilidad con Servicios Inalámbricos

La compatibilidad de los servicios de radio y PLC son básicamente un problema bidireccional. Por un lado los campos electromagnéticos de los transmisores de radio producen voltajes o corrientes correspondientes en la red de distribución de energía, porque las líneas con blindaje operan a más o menos eficiencia como antenas de propagación. Por otro lado las señales PLC irradian los campos electromagnéticos, que pueden dañar los receptores de radio.

Mientras que los receptores de señales de radio en las líneas eléctricas tienen que ser dominados por técnicas apropiadas de PLC, es necesario limitar la radiación desde PLC, así los primeros usuarios de servicios inalámbricos, quienes las frecuencias compartidas tienen que ser asignadas, permanecen sin verse afectadas como la figura 8 indica, para el rango de frecuencia por encima de 30 MHz el escenario es más complejo. De acuerdo a los estatutos de RegTP¹, un espectro total de 7.5 MHz mayor al rango de frecuencia de 30 MHz puede ser usado en un principio para PLC, que fue como se optó inicialmente para BPL.

Figura 8. Posibilidades de Asignación de Frecuencia



Fuente: DOSTERT, Klaus; Powerline Communications; Prentice Hall; p277

Como se observa en la figura 8, el espectro no es continuo. Algunos huecos de diferente ancho, distribuidos arbitrariamente en la banda de frecuencia descrita, se usan para PLC. Puede notarse que la representación en la figura 8 es solo esquemática.

¹ RegTP - Autoridad Reguladora de Telecomunicaciones y Correos Alemania

Es factible asignar los huecos abiertos a los servicios PLC, permitiendo un incremento de densidad de transmisión de potencia espectral dentro de estos "huecos". Para aprovechar de mejor manera la eficiencia del espectro, se modula con OFDM¹, seguido por esquemas de multipotadora de banda ancha.

Desafortunadamente, los huecos de la figura 8 no son realmente libres, están dedicados a ciertos usuarios primarios de servicios inalámbricos a través de tratados y acuerdos de la red mundial. Una asignación PLC sin embargo, significa que los dueños actuales tendrán que dar algunos de sus derechos, al menos parcialmente.

¹ OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

2. PLC DE BANDA ANGOSTA – APLICACIONES

Se llama PLC de banda angosta a las aplicaciones PLC que funcionan entre el intervalo de frecuencia de 9 a 148.5 Khz, donde las velocidades de transmisión no son tan altas. Algunas de las aplicaciones de PLC de banda angosta se ven a continuación.

2.1 LECTURA DE CONTADORES

La siguiente información se tomó de la página http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=A4771_0_1_0_C&page=6385

Mientras que el mercado de contadores de electricidad ha evolucionado de los dispositivos mecánicos a los electrónicos, la tendencia actual es utilizar la lectura automática de contadores (AMR¹).

(EOL/Artículo Contribuido, Markus Pfeiffer, Texas Instruments Deutschland GmbH).- Durante los últimos diez años, el mercado de contadores eléctricos ha experimentado un cambio importante de los dispositivos mecánicos a los electrónicos. Esta nueva tecnología no sólo permite realizar mediciones básicas de la energía consumida, sino que además ofrece funciones adicionales a través de una plataforma flexible y versátil. Un elemento clave de los diseños más recientes es la función de lectura automática (AMR).

Para los contadores digitales, existen diversas maneras de transferir los datos a un concentrador u otro dispositivo. Un método sencillo para la lectura de contadores desde una distancia corta consiste en utilizar enlaces ópticos (infrarrojos) o de radiofrecuencia. No obstante, estas tecnologías todavía requieren que alguien se desplace físicamente hasta el lugar en el que están instalados los contadores.

Para diferenciar un contador de electricidad, se precisan nuevos métodos de comunicación para la lectura automática. El primer reto consiste en realizar la lectura sin tener que enviar expresamente a una persona para ello. El segundo reto es implantar funciones que permitan al proveedor de energía reducir el coste o que brinden nuevas prestaciones al consumidor final. Esto sólo es posible si el contador es capaz no sólo de enviar, sino también de recibir datos u órdenes. Es decir, se requiere un enlace de comunicación bidireccional.

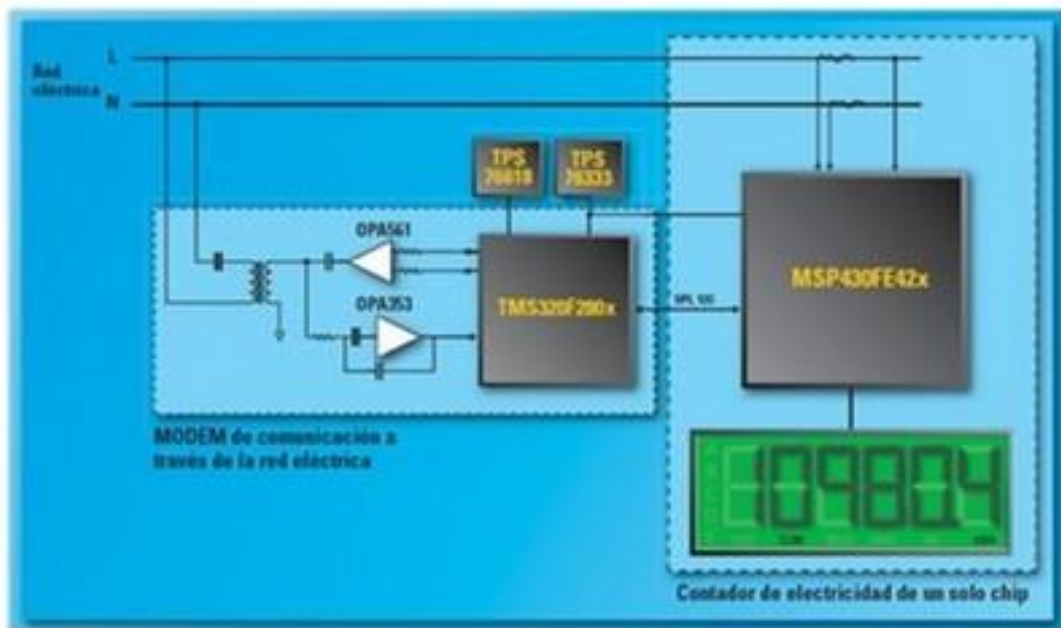
Lectura automática de contadores (AMR) sin cables ni enlaces inalámbricos adicionales.

¹ AMR - Automated Meter Reading

Actualmente existe una amplia gama de tecnologías para la lectura automática de contadores digitales de electricidad. La mayoría de ellas utilizan cables o enlaces de radiofrecuencia adicionales. Una tecnología completamente diferente es la transmisión de datos a través de la red eléctrica (PLC), en la que se utiliza el cableado eléctrico como medio de comunicación.

A pesar de que la tecnología PLC existe ya desde hace unos años, todavía no hay ningún estándar oficial para la lectura automática de contadores de electricidad. En Europa se han impuesto sobre todo dos estándares: la norma IEC 61334, más conocida por su modulación SFSK, y la norma CEA709.2 de Echelon LonWorks, aunque también hay una serie de sistemas independientes en funcionamiento. La principal dificultad de la tecnología PLC es, sin duda alguna, la mala calidad del canal de la línea eléctrica. Para superar este problema, resulta imprescindible un complejo procesamiento de señal.

Figura 9. Solución de contador de electricidad de doble chip con lectura automática (AMR) basada en comunicación PLC de Texas Instruments



Fuente: <http://www.electronicosonline.com/noticias/images/uploads/NFigura1TI.jpg>

En el diseño del contador de la figura 9, pueden apreciarse los siguientes elementos:

TPS 76618: Regulador de voltaje de ultra baja corriente de reposo de 250 mA de baja deserción.

TPS 76333: Regulador lineal de baja potencia 150 mA de baja deserción

OPA561: Amplificador Operacional de alta corriente, alta velocidad

OPA353: Amplificador Operacional de Alta velocidad, alimentación única, rail-to-rail.

MSP430FE42x: Microcontrolador de Señales Mixtas.

2.2 X10

X-10 es un protocolo de comunicaciones creado en Escocia entre los años 1976 y 1978, con el objetivo de transmitir datos por las líneas de baja tensión a baja velocidad. Se usa en aplicaciones de domótica y se logra una velocidad de (60 bps en USA y 50 bps en Europa), a costos muy bajos.

El protocolo X-10 es un protocolo abierto, es decir cualquier fabricante puede producir dispositivos X-10, a lo único que está obligado el fabricante es a usar los circuitos del fabricante escocés que diseñó la tecnología

Esta tecnología se encuentra en un estado de madurez de más de 20 años en el mercado, tiene precios muy competitivos y es líder en el mercado norteamericano residencial y de pequeñas empresas. Este protocolo es la tecnología más empleada para realizar instalaciones de domótica no muy complejas.

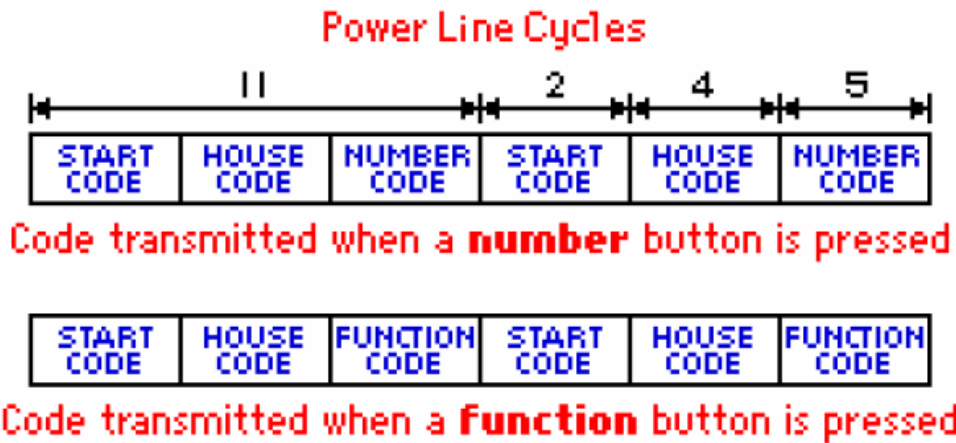
El protocolo X-10 utiliza una modulación muy sencilla. El transceptor X-10 se encarga de identificar los pasos por cero de la onda senoidal de 60 Hz para insertar un instante después una ráfaga muy corta de señal a una frecuencia fija.

Esta señal se inserta en el semiciclo positivo y el negativo de la onda senoidal. Un 1 binario se representa por un pulso de 120 kHz durante 1 milisegundo y el 0 binario se representa por la ausencia de ese pulso de 120 kHz. En el sistema trifásico se transmite tres veces para que coincida con el paso por cero en las tres fases. Por lo tanto, el tiempo de bit coincide con los 20 ms que dura el ciclo de la señal, de forma que la velocidad de 60bps viene impuesta por la frecuencia de la red eléctrica.

La trama completa del protocolo X10 necesita 11 ciclos de corriente. Esta trama se divide en tres campos de información: (ver figura 10)

1. Dos ciclos representan el Código de Inicio.
2. Cuatro ciclos representan el Código de Casa (letras A-p)
3. Cinco ciclos representan el código numérico (1-16) o el código de función (encender, apagar, aumento de intensidad, etc).

Figura 10. Codificación de Trama de X10



Fuente: <http://www.x10.com/technology1.htm>

La Figura 11 muestra los códigos binarios a ser transmitidos para cada código de casa y códigos claves.

Figura 11. Códigos Binarios de X10

	HOUSE CODES				KEY CODES					
	H1	H2	H4	H8	D1	D2	D4	D8	D16	
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0
				All Units Off	0	0	0	0	1	
				All Lights On	0	0	0	1	1	
				On	0	0	1	0	1	
				Off	0	0	1	1	1	
				Dim	0	1	0	0	1	
				Bright	0	1	0	1	1	
				All Lights Off	0	1	1	0	1	
				Extended Code	0	1	1	1	1	
				Hail Request	1	0	0	0	1	①
				Hail Acknowledge	1	0	0	1	1	
				Pre-Set Dim	1	0	1	X	1	②
				Extended Data (analog)	1	1	0	0	1	③
				Status-on	1	1	0	1	1	
				Status-off	1	1	1	0	1	
				Status Request	1	1	1	1	1	

Fuente: <http://www.x10.com/technology1.htm>

Entre las aplicaciones de X10 de automatización del hogar se encuentran las siguientes:

- Timbre Inalámbrico
- Conmutación remoto de luces
- Conmutación inalámbrico de luces
- Módulos X10
- Termostatos X10
- Control remoto de luces
- Control remoto de iluminación
- Timer de conmutación de luces

2.3 INTERCOMUNICADORES FM

Es otra aplicación de PLC de banda angosta, un ejemplo de esta aplicación la tiene la empresa Thodukonics que tiene un equipo con marca Powerfone. La principal ventaja de este equipo de avanzada comunicación, es que esta intercomunicación no requiere cableado adicional, ya que puede trabajar a través de las líneas de suministro de energía eléctrica. Y cualquier tensión alterna de 90V a 250V es adecuado para su funcionamiento. Se puede obtener el mejor rendimiento y larga distancia, cuando los Powerfones están conectados en el mismo transformador de distribución de energía y la misma fase de líneas.

Usa componentes de alta calidad, oscilador sintonizado, circuitos electrónicos y la tecnología avanzada de FM en sus sistemas. El estricto control de calidad en el proceso de fabricación, asegura la durabilidad y el mejor rendimiento del producto, lo que lo hace muy atractivo a las personas, ver figura 12.

Figura 12. Intercomunicador FM de Thodukonics



Fuente: <http://www.thodukonics.com/cs/index.html>

2.4 LONWORKS INDUSTRIAL

LonWorks viene trabajando ya hace varios años en la tecnología PLC, ha mejorado la fiabilidad debido a numerosas inversiones en grandes proyectos, entre los que se encuentran la monitorización de 27 millones de contadores en Italia, el control de miles de postes de luz en el centro de Europa o la automatización de varios edificios en Japón.

Esto se ha debido gracias a Echelon creadora de la tecnología LonWorks que ha trabajado durante 13 años en la tecnología LonWorks-PLC y logra que cientos de fabricantes LonWorks puedan incorporar estos avances en sus equipos y comunicarse por la red eléctrica.

Dentro de las técnicas propuestas se encuentra el uso de doble frecuencia de operación, donde al estar ruido presente, la frecuencia principal de funcionamiento cambia automáticamente a una frecuencia secundaria no contaminada. Se emplea procesamiento digital para eliminar el ruido y corregir distorsiones propias de la línea provocada por equipos electrónicos conectados.

Las velocidades en LonWorks-PLC dependiendo de la banda de frecuencia de funcionamiento dispuesto por CENELEC van de 3600 bps en banda A a 5400 bps en banda C.

Otra ventaja de los equipos LonWorks es que en caso de fallo eléctrico, es posible transmitir aunque hayan fallado los 220V de ac, de manera que para aplicaciones de seguridad sea posible que un sensor de presencia de alimentación con pilas siga transmitiendo y que nodos estándar con una pequeña batería puedan transmitir una última orden de fallo de energía al centro de control.

Echelon Corporation lanzó la nueva plataforma de LonWorks® 2.0, la plataforma de la generación siguiente de redes de datos y productos, cuyo objetivo fue principalmente reducir el consumo de energía. Mejora las características de la plataforma anterior, logrando mayor velocidad, menos consumo de energía y mayor rentabilidad para ambientes más inteligentes. Además la nueva plataforma es compatible con los millones de dispositivos ya creados anteriormente.

Actualmente varias compañías trabajan sobre el estándar de LonWorks ofreciendo una gama de productos PLC. En la figura 12 se puede observar una tabla con los miembros por países del grupo LonWorks, junto con algunas de las compañías más importantes que hacen parte del grupo.

Figura 13. Grupos LonUser en el mundo

Lon Users groups en el Mundo	Miembros
Austria	28
Australia	20
Belgium	15
China	30
Denmark	100
Finland	21
France	50
Germany	169
Japan	50
Italy	27
Korea	10
Netherlands	40
North America	140
Spain	10
Sweden	124
Switzerland	48
UK	49
TOTAL	941



Fuente:

http://www.lonmark.es/Ator_User/media/documentos/PRESENTACIONES/05_14_04%20-%20LonUsers%20Espa%C3%B1a%20y%20LonWorks%20-%20Arturo%20Garc%C3%ADa_Elva.pdf

3. BANDA ANCHA SOBRE LAS LÍNEAS DE ENERGÍA BPL

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Banda ancha sobre las líneas eléctricas, es una tecnología emergente que puede proveer acceso a alta velocidad a internet en la casa u oficina a través del uso del conector de energía eléctrica. Refiriéndose a BPL, la banda ancha sobre las líneas eléctricas teóricamente tiene la habilidad de permitir que los datos sean transmitidos sobre las líneas eléctricas a casas u oficinas a una tasa de datos entre los 500Kbps y 3Mbps, que es equivalente a las tasas de transmisión de DSL (Digital Subscriber Line) actuales. Así que BPL provee una alternativa emergente a los métodos convencionales de acceso a internet de alta velocidad.

La razón principal o más atractiva de BPL como ya se ha dicho es el hecho que virtualmente cada casa u oficina está conectada a una red de energía eléctrica y contiene conexiones eléctricas. Así, cualquier mecanismo que provee el potencial de transmitir datos a alta velocidad sobre las existentes redes eléctricas tiene el potencial de proveer un verdadero método ubicuo de acceso a internet. Todos conectados.

3.1.1 Evolución

La tecnología PLC lleva años en desarrollo, hace 25 años, cuando las redes de área local (LAN's) estaban aún en su infancia y el método más común usado para compartir lo que eran las costosas impresoras fue el uso de switches paralelos o seriales. Luego se fue evolucionando en tecnología de redes, cableadas e inalámbricas.

En PLC se fue avanzando hasta que Homeplug creó su estándar, cuando se creó y desarrolló el puerto USB se creó un nuevo interés en las redes caseras sobre el cableado eléctrico. La combinación de la microelectrónica y la habilidad de conectarse al puerto USB de alta velocidad de PC's de escritorio y portátiles resultó que varios fabricantes se unieran y formaran HomePlug Powerline Alliance, el cual ha venido desarrollando especificaciones para la creación de redes de alta velocidad que permite las mismas operaciones de una red Ethernet sobre la línea eléctrica.

3.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La habilidad de transmitir datos sobre las líneas eléctricas está basado en el concepto de que compañías telefónicas observaron que el estándar de dos hilos enrutado en casas y oficinas podían ser usados para transmitir datos a una velocidad más allá de 1Mbps. Las compañías telefónicas reconocieron el hecho de que el par trenzado de la línea telefónica era capaz de soportar un rango de frecuencia por encima de 1Mhz.

3.2.1 Operación de Líneas Eléctricas

Usando la línea telefónica como un punto familiar de referencia, miremos las operaciones en las líneas de energía y la manera en que los datos pueden transmitirse concurrentemente con la electricidad. En las líneas eléctricas las frecuencias por debajo de 148.5 KHz no tenían uso, así que se aprovecharon para PLC de banda angosta y posteriormente las frecuencias por encima de 148.5KHz para PLC de banda ancha, es decir BPL.

3.2.2 Métodos de Modulación

La IEEE está trabajando en un estándar que cubrirá las 2 capas inferiores de conjunto de protocolos usados para transmisión de datos sobre las líneas eléctricas. Mientras en Norte América y Europa se han montado campos de pruebas y han usado varios métodos de modulación, siendo los dos primarios CDMA (Acceso Múltiple por División de Código - Code Division Multiple Access) y OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal - Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

3.2.2.1 CDMA a Grandes Rasgos

Representa un método de modulación empleado con celulares. Originalmente, la tecnología de telefonía móvil fue desarrollada usando técnicas análogas, y los primeros sistemas fueron conocidos como sistemas de teléfonos móviles análogos. Debido a la necesidad de soportar una creciente base de usuarios de teléfonos móviles, los fabricantes de equipos desarrollaron tecnologías que permitieron que el espectro licenciado para operaciones de telefonía celular fuera usado más eficientemente, una de estas tecnologías desarrolladas fue CDMA.

3.2.2.2 OFDM a Grandes Rasgos

Un segundo método de modulación usado en los campos de pruebas de desarrollo de sistemas para transmitir datos sobre las líneas de energía de media y baja tensión es OFDM. OFDM ha evolucionado y su primer uso fue en redes inalámbricas locales IEEE 802.11a y 802.11g para proveer una capacidad de

comunicación de datos a alta velocidad en las bandas de frecuencia de 2.4Ghz y 5Ghz.

Cuando se compara CDMA y OFDM, deben considerarse varias compensaciones. Puede notarse que CDMA puede proveer una mayor capacidad de transmisión de datos que OFDM. Sin embargo, como OFDM usa múltiples portadoras ortogonales entre sí, tienen una mayor resiliencia al ruido que CDMA.

3.3 TECNOLOGÍAS COMPETITIVAS DE ACCESO A INTERNET

Se verán las tecnologías actuales de acceso a internet y se comparara cada tecnología con el uso de BPL, para así poder tener una apreciación de los beneficios de la tecnología BPL, y luego poder fácilmente compararlas con otras tecnologías de acceso a internet.

3.3.1 Ventajas de BPL

El uso de esta tecnología habilita el uso de las líneas eléctricas como medio para la transmisión de datos, permitiendo utilizar las infraestructuras actuales. Dentro de las casas los datos pueden ser llevados sobre el cableado eléctrico existente, lo que significa que cada cuarto en la casa tiene la capacidad de acceder a internet. Así, el uso de cableado interno y externo para transmisión de datos provee la habilidad para que los propietarios de viviendas o de pequeños negocios usen el cableado eléctrico dentro de sus instalaciones sin ninguna modificación.

Entre las tecnologías que pueden ser consideradas como competencia para BPL se tienen las siguientes: PSTN, Cable Modem, DSL, Satélite, Wimax.

3.3.2 PSTN

El uso de la red telefónica pública conmutada (PSTN) para obtener acceso a internet es universal en casas y oficinas, generalmente se usan módems de capacidad de transferencia de 56 Kbps, y en realidad las tasas de transferencia obtenidas están típicamente entre 41 y 44 Kbps. La principal ventaja asociada con el uso de la PSTN es su disponibilidad. Un suscriptor a un plan de acceso a internet por PSTN puede obtener una conexión en cualquier parte. Así se puede acceder a internet desde cualquier parte, casa, oficina o aun viajando, con una sola cuenta de internet. El costo de esta tecnología es el más económico de todas las tecnologías de acceso a internet, y también tiene la más baja capacidad de transferencia de datos.

3.3.3 Cable Modem

Actualmente el acceso a internet de alta velocidad está dominado por el uso de la tecnología del cable modem. A finales de los 90 los operadores de cable gastaron billones de dólares mejorando sus infraestructuras para soportar la amplificación de la señal en dos vías, que permitió habilitar la tecnología de cable modem para acceder a internet.

En comparación con BPL se tiene lo siguiente, no todos los hogares pueden acceder a cable modem, por ejemplo en Estados Unidos el 60 o 65% no pueden suscribirse a este servicio, y los que pueden tal vez tienen que hacer conexiones adicionales mientras que con BPL no pasa lo mismo. Por otro lado BPL como se había dicho proporciona velocidades entre 500 Kbps y 3 Mbps, mientras que varios operadores de cable ofrecen una tasa de acceso más rápida de aproximadamente 5Mbps. Aunque debe tenerse en cuenta que uno de los pioneros de BPL, Media Fusion, prometió algún día alcanzar la velocidad de 2.5 Gbps, entonces se considera como un trabajo en progreso así como para el cable modem que actualmente maneja velocidades de 8Mbps.

3.3.4 DSL

La tecnología de Línea de Suscripción Digital (DSL) actualmente representa el segundo método más popular para obtener un acceso a internet de alta velocidad. Algunas limitaciones son el hecho de que el suscriptor debe estar no más lejos que aproximadamente 5 Km de una oficina telefónica, limitando el número de hogares y oficinas capaces de soportar el servicio de DSL. En comparación, el hecho de que cada casa y oficina tiene servicio eléctrico significa que BPL tiene el potencial de llegar a áreas donde DSL no llega.

Esta tecnología funciona similarmente que cable Modem, con la pequeña ventaja para DSL que es más fácil de establecer conexiones debido a que en las casas y oficinas hay más tomas telefónicas que de cable.

Mientras más lejos esté el suscriptor de la oficina de servicio telefónico, más baja es la transmisión de datos. Actualmente las tasas de datos están en aproximadamente 4 a 8 Mbps, con el más popular servicio de DSL, ADSL (Línea de Suscripción Digital Asimétrica).

3.3.5 Satélite

Actualmente, el acceso a internet vía satélite representa un nicho de mercado, con un poco menor porcentaje de todos los accesos a internet, es usado comúnmente en áreas rurales donde ni el cable modem o DSL están disponibles.

Uno de los aspectos más inusuales asociados con el acceso de internet satelital es su integración con una malla inalámbrica para proveer acceso a internet de alta velocidad a pequeñas comunidades. Esto con el objetivo de reducir los altos costos que conllevarían enlaces satelitales casa por casa.

En un análisis individual, una comparación entre el uso de un satélite y BPL para el acceso a internet no es nada sencillo. Algunos proveedores de satélites ofrecen antenas integradas que permite al suscriptor obtener capacidad de video y transmisión de datos. Como el uso de satélite para el acceso a internet de alta velocidad es primariamente localizado en áreas rurales y representa un pequeño porcentaje de todos los métodos de acceso a internet, es poco probable tener algún efecto material en BPL una vez sea ofrecido en áreas rurales.

3.3.6 Wimax

Wimax representa una tecnología de redes de área extensa que puede ser usado para transmitir señales de banda ancha inalámbricamente en distancias de aproximadamente 50Km. Basado en el estándar 802.16a Wimax implica el uso de estaciones cliente que usan antenas para comunicarse con una estación centralizada, esa estación centralizada se refiere a una estación base de radio central que es diseñada para proveer un acceso alternativo a redes de cable, como sistemas de cable coaxial, o DSL.

Aunque Wimax se ve como competencia para BPL, puede también verse como una tecnología suplementaria. Esto resulta en el hecho que el desarrollo de estaciones de base central de radio en áreas rurales requiere un mecanismo para conectar cada estación base con internet, y como ya se ha dicho en zonas rurales cable y DSL no se ofrece debido a la poca densidad de clientes potenciales por área geográfica. En tales situaciones el uso de Wimax conectado a un sistema de transmisión de datos de alta velocidad establecido por el uso de las líneas eléctricas representa un mecanismo para proveer acceso a internet económico a casas y oficinas sobre áreas rurales.

3.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA BPL

Banda ancha sobre líneas eléctricas representa una tecnología que permite que los datos puedan ser transmitidos sobre las líneas de energía eléctrica. Los suscriptores residentes en zonas residenciales y oficinas comúnmente instalan un tipo especial de modem que se conecta a una toma corriente normal de la pared para obtener la habilidad de usar las líneas de alimentación eléctrica para conectarse a internet. Similar a los suscriptores de DSL o cable modem, los suscriptores de BPL pagan una suscripción mensual y, en general, no les concierne acerca de la infraestructura del servicio del proveedor, mientras ellos no pierdan su capacidad de comunicación o necesiten información acerca del servicio

para hacer una adquisición inteligente. A continuación se examinara tanto la arquitectura usada para proveer el mecanismo de instalación de transporte de datos, tanto las técnicas de modulación usadas en varios campos de pruebas en más detalle.

3.4.1 Descripción General de la Arquitectura

Actualmente, los vendedores de equipos de BPL y utilidades eléctricas usan varias arquitecturas de red para proveer transmisión de datos a través de una infraestructura de energía eléctrica. Aunque existen considerables diferencias en la forma en cómo ocurre la transmisión desde el punto más cercano de la infraestructura central, hasta el suscriptor en la casa u oficina, mientras nos movemos hacia arriba en la infraestructura hacia la planta de generación de energía, las diferencias se vuelven insignificantes. Para cada arquitectura, BPL trabaja modulando las ondas de radio de alta frecuencia, sin embargo, el método de transmisión y la técnica de modulación pueden variar basándose en la arquitectura empleada.

Esas ondas moduladas viajan a través de las líneas eléctricas hasta que ellas alcanzan un transformador o una locación donde las ondas requieren amplificación. Con respecto a los transformadores, fueron diseñados para dejar pasar bajas frecuencias cerca a los 60Hz en Norte América y 50Hz en Europa. Son una especie de circuito abierto para el paso de señales de alta frecuencia y adversamente afectan el flujo de datos a través de las líneas eléctricas.

Como se sabe los transformadores son obstáculos para el flujo de datos, así que, una arquitectura que se va a examinar es con puntos de acceso inalámbricos LAN posicionados en lugares estratégicos para aliviar la necesidad para pasar los transformadores que están instalados en las redes eléctricas a bajos voltajes en las líneas eléctricas dirigidas a casas y oficinas.

La infraestructura de la empresa de red eléctrica puede dividirse en tres categorías de voltaje que corresponde a los voltajes en sus líneas eléctricas. Esas categorías de voltaje son Alta Tensión (HV), Media Tensión (MV), y Baja Tensión (LV), resultando en la infraestructura de una empresa de energía eléctrica que consiste en líneas de alta, media y baja tensión.

3.4.2 Líneas de Alta Tensión

Las líneas de alta tensión son enviadas desde una estación generadora de energía a una subestación. Las líneas de alta tensión forman el sistema de distribución de energía eléctrica y comúnmente transportan desde 155000 a 765000 voltios. Como esa cantidad de energía contiene mucho ruido, las líneas de alta tensión no son usualmente usadas para transmisión de datos. En cambio, es usual que las compañías instalen fibra óptica en las líneas para monitoreo y

control. Aunque algunos fabricantes terceros están desarrollando equipos que podrían permitir la transmisión sobre las ruidosas líneas de alto voltaje.

3.4.3 Líneas de Media Tensión

Las líneas de media tensión están enrutadas desde una subestación a un transformador de barrio. Como las líneas de media tensión transportan una cantidad más manejable de voltaje (7000 a 15000 voltios), comúnmente forman la columna vertebral de la infraestructura de la comunicación de datos sobre las líneas eléctricas. De hecho, algunos campos de prueba conectan cada línea de media tensión a internet en vez de conectar las líneas de media tensión con fibra óptica para ir en paralelo con las líneas de alta tensión.

3.4.4 Líneas de Baja Tensión

Desde el transformador del barrio, el voltaje es reducido a 120V, la baja tensión es transportada a las casas o pequeños negocios. Así que es la línea de baja tensión la que es enrutada al cliente.

3.4.5 La infraestructura del Servicio Eléctrico

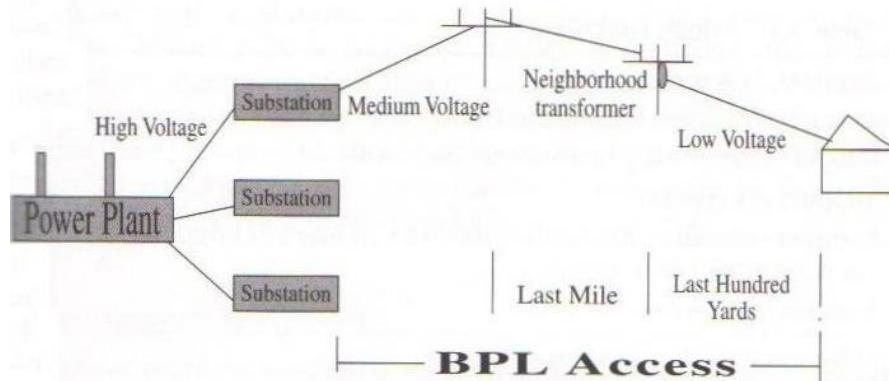
La figura 14 ilustra la infraestructura general del servicio eléctrico que ha evolucionado durante el siglo pasado. Examinando la estructura de la línea eléctrica mostrada en la figura 14, puede notarse que las líneas de alta tensión comúnmente corren directamente de una planta generadora a subestaciones. Las subestaciones distribuyen la energía a los barrios usando las líneas de media tensión, considerando que el uso de transformadores en los barrios resulta como las líneas de baja tensión para distribuirse en las instalaciones de los clientes. Puede notarse también que el término “BPL Access” es usado para denotar la ruta desde las líneas de media y baja tensión hasta los suscriptores en casas y oficinas, es también posible para la ruta extenderse hasta la ruta de alta tensión. Sin embargo, como se comentó previamente, las actuales líneas de fibra óptica localizadas en paralelo con las líneas de alta tensión son usadas para transportar datos debido a que el ruido en las líneas de alta tensión, hace inadecuado el uso de estas líneas como transporte.

Las líneas eléctricas representan una configuración que llevan instalándose hace un siglo, como se sabe las líneas de alta tensión son convertidas a líneas de media tensión y luego a líneas de baja tensión mediante el uso de transformadores, como se mencionó anteriormente los transformadores bloquean las señales de comunicación transmitidas con frecuencias por encima al ciclo de la energía eléctrica.

Para aliviar el efecto de bloqueo de los transformadores el paso de datos se requiere de una instalación de acoplamiento entre las líneas eléctricas de media y

baja tensión, ese acoplador es un acoplador inductivo, otra forma de aliviar el efecto es aumentando la potencia de la señal para poder pasar por el transformador.

Figura 14. Infraestructura General del Servicio Eléctrico



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p47

En los postes de los barrios otro dispositivo es comúnmente instalado, es llamado puente (bridge). Dependiendo del vendedor de este producto, el bridge puede incluir una o más de las funciones de comunicación mostradas en la tabla 2. Estos bridges se montan en los postes que contienen un transformador que provee energía de baja tensión a un conjunto de casas u oficinas.

Tabla 2. Funciones del Puente (Bridge)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Soporte de Enrutamiento de Datos - Administrar la Información del Suscriptor - Soporte de Asignación DHCP¹ para direccionamiento IP² - Soporte de Encriptación - Soporte de transmisión de datos simétrico a todos los tomacorrientes en la casa del suscriptor - Soporte de acceso Wifi |
|---|

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p48

Viendo las funciones mostradas en la tabla 2, se aparenta que el bridge representa el corazón de un sistema de transmisión BPL. Este dispositivo, que soporta el estándar IEEE 802.11 WIFI habilita productos básicos de bajo costo como por ejemplo adaptadores LAN inalámbricos para ser usados por clientes. El bridge gestiona la transmisión de datos y permite que los módems que se conectan en el enchufe de las líneas eléctricas de las casas y oficinas se

¹ DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol – Protocolo de Configuración de Host Dinámico

² IP: Internet Protocol

comuniquen directamente con la estructura del cableado eléctrico. Así que el bridge puede ser considerado como el mecanismo que controla la arquitectura de red básica en la que los datos fluyen a casas y oficinas.

3.5 PROBLEMAS DE LA RED

En adición a los problemas con los transformadores, hay problemas adicionales asociados con la comunicación de datos sobre la infraestructura. Estos problemas se ven a continuación.

3.5.1 Ruido de la Línea y Atenuación

Las líneas de alta tensión crean ruido y atenúan la comunicación, en la mayoría de las plantas eléctricas se instalan líneas de fibra óptica en paralelo con las líneas de alta tensión para solucionar este problema, formando un backbone de comunicaciones para la mayoría de las compañías de energía eléctrica.

La instalación de líneas de fibra óptica usualmente ocurre como un mecanismo para proveer a las empresas una instalación de control y monitoreo de telecomunicaciones.

3.5.2 Equipos de Tolerancia de Fallos

Un segundo problema asociado con las redes de energía eléctrica involucra la seguridad y las características de tolerancia de fallos construidas en las modernas plantas eléctricas. Esas características pueden resultar en un alto nivel de atenuación de la señal, que podría requerir el uso de amplificadores adicionales. Como los amplificadores son costosos, superar la atenuación de la señal puede ser costoso.

3.5.3 Método de Conexión con la Red Eléctrica

Un tercer problema asociado con la estructura de la red de utilidad eléctrica concierne con la manera en que las casas y oficinas se conectan a los transformadores del barrio. En Europa, la mayoría de las compañías eléctricas estructuraron sus redes eléctricas de tal forma que hay cientos de casas y oficinas conectadas a un mismo transformador, esta estructura permite una conexión económica para ser hecha desde la columna vertebral de comunicaciones, ya que hay pocos transformadores a conectar con las líneas de fibra óptica. En comparación con USA, las compañías eléctricas tienen solamente una docena o menos de casas y negocios por transformador, así que la columna vertebral debe engancharse en la línea de media tensión, la cual requiere comunicaciones por la línea eléctrica para evitar saltar el transformador del barrio.

En los campos de pruebas realizados en USA, el método primario para pasar los transformadores es comúnmente logrado a través del uso de acoplamientos inductivos. En términos técnicos, el acoplamiento inductivo representa la transferencia de energía desde un circuito a otro debido a la inductancia mutua entre los circuitos. El acoplamiento inductivo es causado por el movimiento de corriente en un cable o en el equipo metálico, las corrientes en movimiento generan campos magnéticos, que crean otras corrientes en movimiento en conductores o cables adyacentes. Así, que el posicionamiento de un cable cerca a la línea de media tensión detrás del transformador del barrio permite al acoplamiento inductivo pasar la señal de comunicación y saltar o evitar el transformador. Aunque este método de saltar el transformador del barrio es relativamente fácil de implementar, es una labor intensiva e incrementa el costo asociado con proveer capacidad de comunicación usando la red eléctrica.

3.6 TERMINOLOGIA DE BPL

3.6.1 Backbone o Backhaul

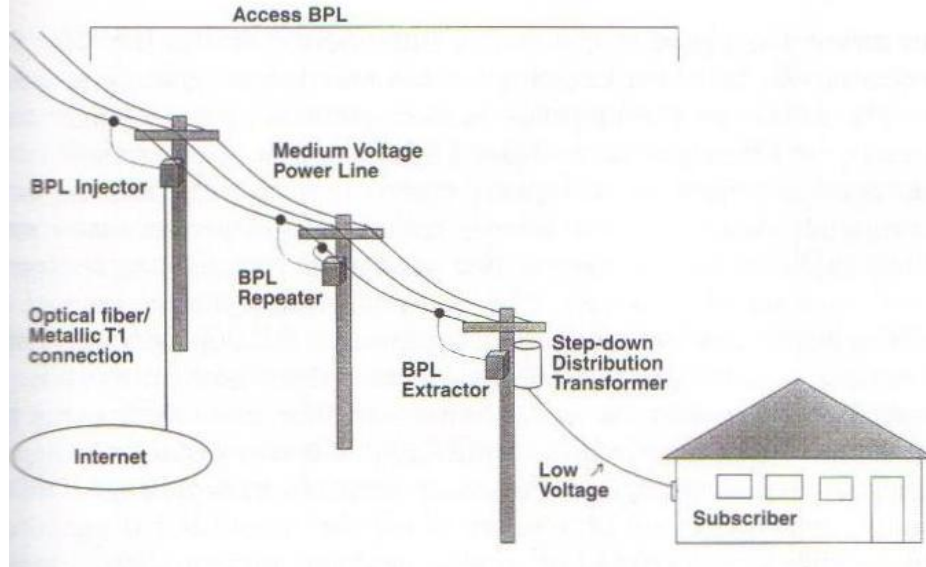
En la figura 14 se examinó la infraestructura eléctrica general. Se observó que el uso de las líneas de fibra óptica previamente instaladas para usos internos pueden ser fácilmente mejoradas para los requerimientos de transmisión de los clientes. Esa fibra puede servir como el backbone o backhaul de la red de datos de telecomunicaciones para una planta eléctrica que ofrezca BPL.

Aunque la utilidad de un backhaul de fibra óptica puede mejorarse y usarse, en algunos casos será más económico conectar líneas arrendadas de vendedores terceros de comunicaciones a la línea de medio voltaje y pasar el backhaul. Así que no existe una sola arquitectura adecuada para todas las compañías eléctricas. En cambio, varias arquitecturas pueden considerarse por las compañías eléctricas.

3.6.2 Componentes de la Red

Similar a una red de comunicaciones normal, la transmisión de datos sobre la línea eléctrica requiere el uso de varios tipos de componentes de red. Esos componentes tienen terminología específica cuando se refiere a comunicaciones sobre líneas eléctricas. Estos componentes son el inyector, el repetidor y el extractor.

Figura 15. Infraestructura General de Acceso BPL



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p51

La figura 15 ilustra la estructura básica de la infraestructura de acceso a BPL, que permite el flujo tanto de energía y comunicaciones a las casas y pequeñas oficinas. Como se dijo anteriormente las líneas de media y baja tensión se refieren como “Acceso BPL” por la FCC¹ como un mecanismo de separar la transmisión sobre las líneas eléctricas de las comunicaciones in-building. Se usara la figura como referencia para denotar los términos inyector, repetidor y extractor asociados con el movimiento de datos sobre las líneas eléctricas así como los términos fase única y 3 fases.

3.6.2.1 Inyector BPL

Observando la figura 15 puede notarse el inyector BPL a la izquierda, el inyector BPL es conocido también como concentrador, se monta típicamente a plena vista de los postes de energía localizados en las aceras de los barrios. Una fibra óptica o línea metálica T1, que es conectada a internet, es enrutada como una conexión de entrada al inyector. El inyector es ubicado dentro de una caja grande gris o negra montada en un poste de luz. Dentro del inyector hay una sección de transmisión y recepción así como un convertor de señal. El transmisor y receptor operan en diferentes frecuencias, que en efecto permite la transmisión full dúplex sobre la línea eléctrica. El inyector convierte la señal en la fibra o la línea metálica T1, al formato de la señal usado para la transmisión sobre la línea eléctrica de media tensión. Típicamente, esta acción resulta en la generación de una señal por Multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM, que consiste en una

¹ FCC – Federal Communications Commission

serie de portadoras moduladas usando modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) u otro método de modulación. Las portadoras son ubicadas dentro de la línea eléctrica en dos bloques de frecuencia, con un bloque usado para transmisión de descarga (downlink) y el otro para proveer capacidad de transmisión de carga (uplink). El inyector BPL también acopla la señal OFDM con una fase de la línea de energía de media tensión. Esto se muestra en la figura 15 por la conexión de la caja del inyector de BPL con una de las tres líneas del poste de la izquierda de la figura. Como el inyector es bidireccional, también convierte el flujo de señales de la línea de media tensión al formato usado por el backbone de internet.

3.6.2.2 Repetidor BPL

El repetidor BPL es instalado aproximadamente cada 300 a 750m a lo largo de la línea eléctrica de media tensión. El propósito del repetidor es amplificar y estabilizar las señales de transporte de datos sobre la línea eléctrica de media tensión.

3.6.2.3 Extractor BPL

El tercer dispositivo principal utilizado para el acceso a BPL es el extractor. Los extractores proveen la interfase entre las líneas de energía de media tensión y el transporte de señales BPL a casas y pequeñas oficinas en el área de servicio. Los extractores BPL están típicamente localizados en cada transformador de baja tensión, que provee alimentación de baja tensión a un grupo de hogares. Algunos extractores incluyen un repetidor incorporado, que aumenta la fuerza de la señal a un nivel suficiente para permitir la transmisión que se produzca a través del transformador de baja tensión.

En comparación, los extractores sin un repetidor incorporado usan en su lugar acopladores en las líneas de media y baja tensión. Un tercer tipo de interfase extractora sin dispositivo BPL, es el punto de acceso inalámbrico IEEE 802.11 de LAN inalámbrico, que permite a la red BPL extenderse a un grupo de usuarios.

3.6.2.4 Líneas de Fase

Observando la figura 15 puede notarse que hay 3 líneas usadas para distribuir la media tensión en la red eléctrica. El uso de tres líneas está basado en la generación eléctrica de tres fases, BPL puede usarse sencillamente en una sola fase y el neutro, o también puede usarse en las tres fases pero no es conveniente por motivos económicos y de configuración.

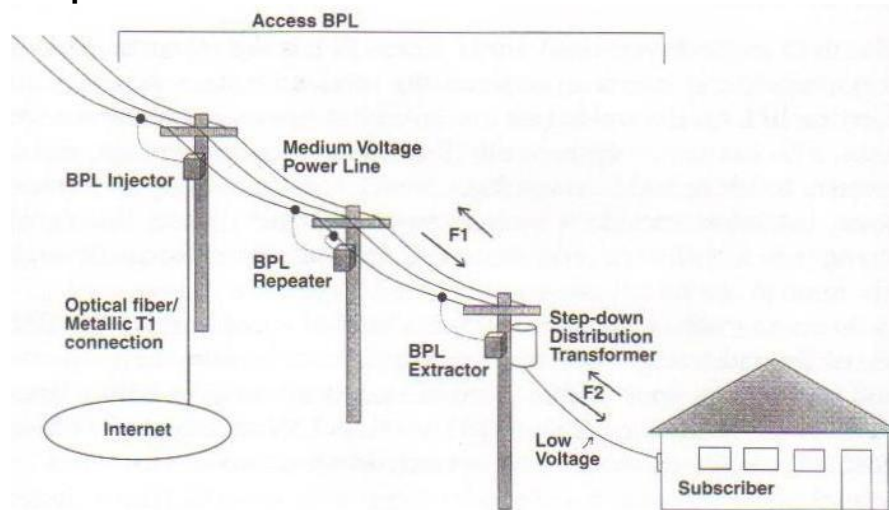
3.7 ARQUITECTURAS DE RED BPL

3.7.1 Sistema basado en OFDM

Arquitectura basada en el uso de Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) para distribuir la señal de BPL sobre banda ancha usando numerosas subportadoras de banda estrecha.

La figura 16 ilustra una arquitectura basada en sistema OFDM. Examinando el flujo de datos mostrado en la figura 16, se observa que la conexión de la red del backbone con internet es convertido al formato de señal OFDM en el inyector de BPL. La salida del inyector BPL es acoplado a una de las fases de la línea eléctrica de media tensión. En la dirección opuesta, las señales de BPL en la línea eléctrica de media tensión son convertidas al formato usado en la conexión del backbone a internet.

Figura 16. Arquitectura de red basada en OFDM



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p54

Como los datos fluyen en las líneas de media tensión hacia el cliente, los extractores son usados para enrutar y convertir las señales de datos por medio de la señal de OFDM, y el formato de la señal BPL dentro de la casa. Dependiendo de la distancia entre el inyector BPL y los extractores en los que sirve, uno o más repetidores pueden ser requeridos para periódicamente impulsar la señal.

Tanto el inyector y el extractor comparten una banda de frecuencia común en las líneas de media potencia. Esta banda de frecuencia, que se denota como F1 en la figura 16, difiere de la frecuencia usada por los clientes en los dispositivos BPL dentro de la casa (in-house), que es mostrado como el flujo F2 en las líneas de

baja tensión. Actualmente, si OFDM es usado, las frecuencias mostradas en la figura 16 representan bloques del espectro. Como los repetidores (localizados periódicamente en las líneas de media tensión pero generalmente en menos de 750m una de otra) son alcanzados, cada bloque de frecuencia es convertido a un nuevo espectro de frecuencia. El nuevo bloque de frecuencia es usado para aproximadamente otros 750m. Bloques del espectro no pueden ser reusados por varios 750m en las líneas eléctricas. Sin embargo, después de 1500m, un bloque puede usualmente ser reusado sin crear interferencia con un bloque de frecuencia usado previamente.

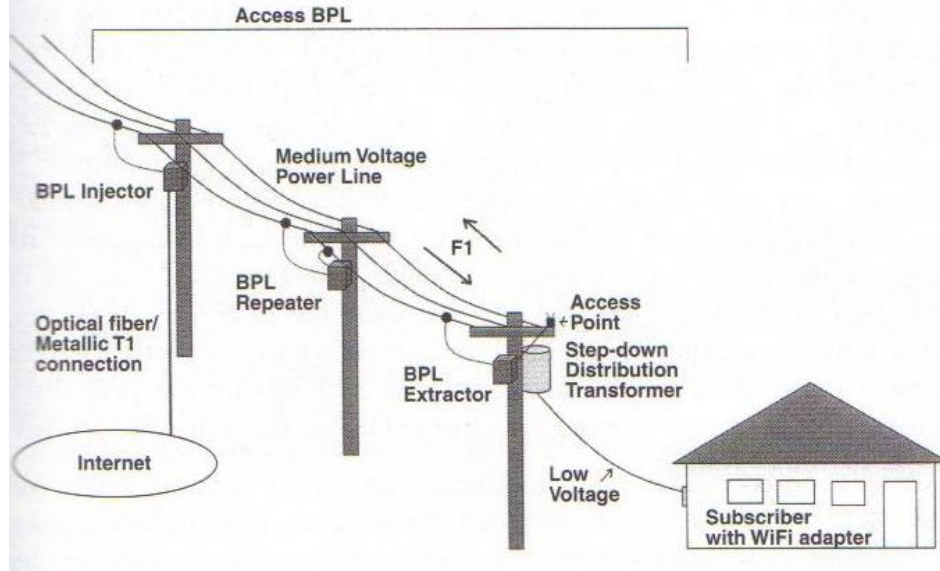
Para minimizar la contención, el protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evasión de Colisiones (CSMA/CA) es empleado. Aunque las señales BPL están acopladas a una línea de fase, si la señal se incrementa demasiado puede tolerar la interferencia entre los canales, pero es posible y más práctico implementar dos o tres fases de estos sistemas para operar independientemente del otro en líneas adyacentes de media potencia.

3.7.2 Sistema Basado en OFDM – WIFI

Una segunda arquitectura que opera sobre las líneas eléctricas usa OFDM como método de transmisión pero en vez de comunicar sobre las líneas de baja tensión a clientes de hogares y oficinas se comunica por medio de una conexión inalámbrica IEEE802.11. La figura 17 muestra la arquitectura de un sistema basado en OFDM – WIFI.

Observando la figura 17 puede notarse que un extractor BPL es usado para convertir el flujo de la señal BPL en la línea de media tensión en una señal IEEE802.11 el cual provee una señal inalámbrica a los usuarios. En una serie de campos de pruebas realizados durante finales del 2004 y 2005 se usaron puntos de acceso IEEE802.11b para proveer la señal inalámbrica a un grupo de clientes localizados de forma estrecha. Aunque los puntos de acceso IEEE802.11g son mejores debido a la mayor tasa de datos y mayor distancia no se usaban aún en esa época en los campos de pruebas, de todas formas lo importante de esta arquitectura es que no se usa BPL en las líneas eléctricas de baja tensión. En adición, también porque un punto de acceso tiene un radio circular de transmisión, por lo tanto es capaz de proveer conexión de banda ancha a un grupo de suscriptores reduciendo de esta forma los costos de utilidad.

Figura 17. Sistema Basado en OFDM - WIFI



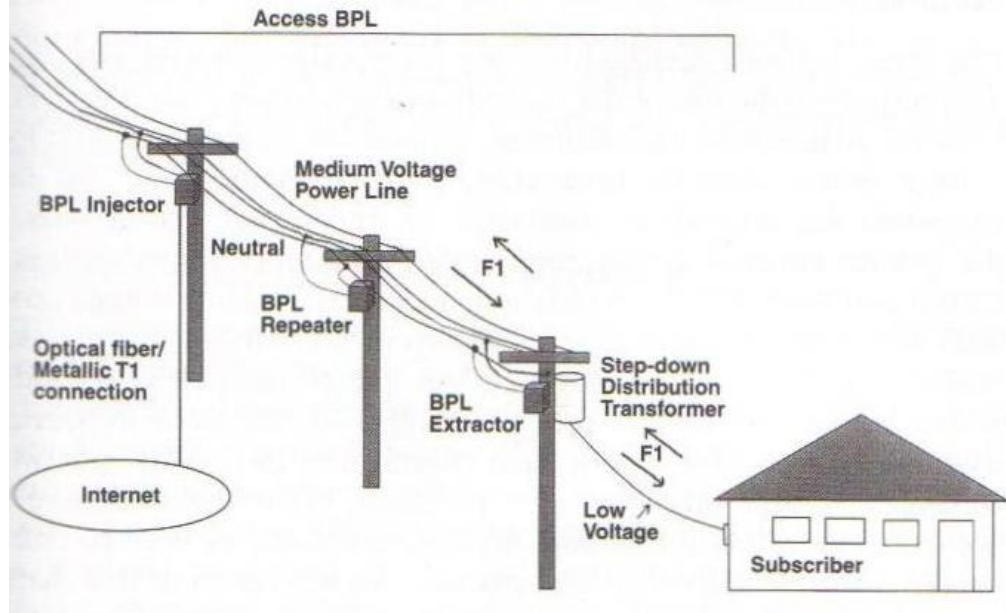
Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p55

La arquitectura de red de comunicaciones OFDM – WIFI esta superpuesta en la misma estructura de línea eléctrica mostrada en la figura 16. Sin embargo, hay significativas diferencias entre las dos. Primero, el sistema OFDM – WIFI puede utilizar ambos repetidores y extractores para proveer una conexión a un punto de acceso WIFI. Cuando un repetidor provee una conexión a un punto de acceso WIFI, incluye la capacidad de un extractor sin su caja (cubierta). Una segunda diferencia entre un sistema OFDM y un sistema OFDM – WIFI consiste en el no uso de las líneas de baja tensión, ya que soluciona el problema de tener que pasar el transformador del barrio para que la señal de banda ancha no se atenúe, reduciendo de esta forma el costo de la arquitectura, y también se reduce el costo porque un punto de acceso WIFI puede soportar más de un usuario.

3.7.3 Sistema Basado En Dsss (Direct Sequence Spread Spectrum)

Una tercera arquitectura de red usada para transmitir datos sobre las líneas eléctricas, es la transmisión DSSS. Esta arquitectura representa un método de transmisión en el cual una señal es modulada y ensanchada sobre un rango de frecuencias, con múltiples copias de cada bit de información transmitido. En el receptor se cumple la regla de redundancia o mayoría la cual consiste en que si se transmite el bit '0' en 5 frecuencias diferentes, y en el receptor demodulador resultan 4 frecuencias con el bit '0' y una frecuencia con el bit '1' entonces el receptor asume que el bit transmitido fue el bit '0'.

Figura 18. Arquitectura de red basada en DSSS



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p57

La figura 18 ilustra en forma esquemática una arquitectura de red DSSS bajo el cual ese protocolo es usado para transmitir datos BPL sobre las líneas de media tensión. Bajo esta arquitectura de red, todos los usuarios dentro de una celda BPL comparten una banda común de frecuencia. Similar a la arquitectura de red OFDM, CSMA/CA se usa para minimizar la contención de un canal. Cada celda BPL consiste en un inyector (concentrador) que provee una interfase para la fibra o conexión metálica a internet, un número de repetidores que compensan la pérdida de la señal, así como el flujo de datos sobre las líneas eléctricas, y los transformadores del barrio que alimentan agrupaciones de casas y oficinas.

Varios campos de pruebas asociados con arquitecturas de red DSSS fueron implementados con ligeras modificaciones. Aunque algunos campos de pruebas con arquitectura de red DSSS acoplaban la señal BPL con las líneas de media tensión usando un par de acopladores en una fase y en la línea neutro, un despliegue de prueba resultó en el uso de dos fases de las mismas 3 fases de la línea eléctrica de media tensión.

3.8 MÉTODOS DE TRANSMISIÓN, TÉCNICAS DE MODULACIÓN Y ACCESO A LA RED

Los campos de pruebas de BPL concluyeron en el uso de dos métodos de transmisión para enviar la información sobre las líneas eléctricas. El primero,

Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM), puede ser trazado a mediados de los 80 cuando fue usado en el primer modem de alta velocidad desarrollado para usarse sobre la red telefónica conmutada. El segundo método, Secuencia Directa de Espectro Ensanchado (DSSS), tuvo sus orígenes durante la segunda guerra mundial para superar las interferencias enemigas.

3.8.1 Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal

OFDM representa uno de los dos métodos de transmisión usados en los campos de pruebas de BPL. Esta tecnología existe desde los 80 en la tecnología del Modem, con el primer modem de 9600bps desarrollado por la corporación telebit para el uso sobre la red telefónica conmutada basado en el uso de múltiples portadoras para transmitir información sobre la línea de voz telefónica. Antes de la creación de este modem la modulación se basaba en la variación de una única portadora.

3.8.1.1 Descripción General

OFDM está basado en la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM). FDM representa una tecnología que permite transmitir múltiples señales simultáneamente sobre un enlace de transmisión único, tal como un cable coaxial, una línea eléctrica o un sistema inalámbrico. Bajo FDM, cada señal ocurre con una sola banda o rango de frecuencia.

En OFDM un gran número de portadoras son usadas, estas portadoras están separadas aparte a frecuencias precisas, proveyendo de esta forma la ortogonalidad asociada con el término y previniendo a los demoduladores de ver frecuencias diferentes a las que deben demodular.

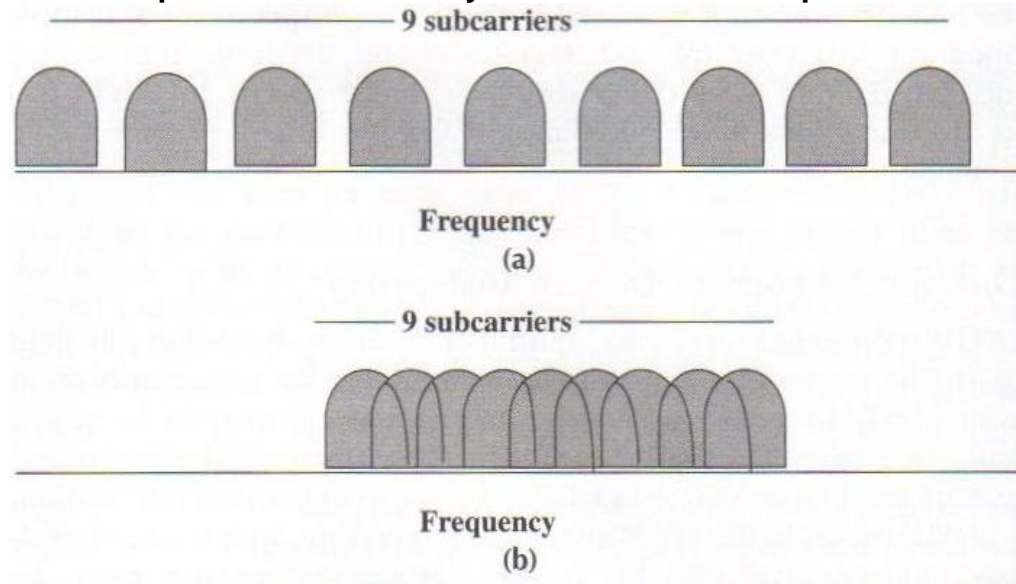
3.8.1.2 Eficiencia Espectral

Aunque OFDM es similar a FDM, OFDM es más eficiente espectralmente. Para obtener esta eficiencia espectral, OFDM separa subportadoras más cercanamente hasta que se traslapan unas sobre otras, esta diferencia entre FDM y OFDM se puede observar en la figura 19. La figura 19a ilustra un sistema FDM con nueve subportadoras, cada una aparte de una frecuencia de otra.

En comparación, la figura 19b muestra un sistema OFDM que también consiste en 9 subportadoras; comparando las dos puede observarse que las subportadoras de los sistemas OFDM no solo están más cerca uno del otro, sino que se traslapan. La habilidad de las subportadoras de traslaparse ocurre localizando frecuencias que son ortogonales entre sí, esto significa que matemáticamente sean perpendiculares, lo que permite que el espectro de cada subcanal se traslape sobre otro sin causar interferencia en el canal. Como se puede notar comparando

la figura 19b con la figura 19a OFDM también reduce la cantidad de ancho de banda requerida para transportar información.

Figura 19. Comparación entre FDM y OFDM usando 9 subportadoras



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p55

El traslape de señales sobre OFDM es un desafío en el momento de la demodulación. Para demodular la señal se requiere una Transformación Discreta de Fourier (DFT). Afortunadamente, varios fabricantes de chips ofrecen microcontroladores con la Transformación Rápida de Fourier (FFT), y el uso de estos micros con los módems facilita el proceso de demodulación.

Como OFDM se basa en portadoras múltiples, se refiere algunas veces como Modulación Multiportadora o Multitonos Discretos. Es la técnica de modulación usada para televisión digital en Europa, Japón y Australia, así como las series IEEE802.11 de LAN's inalámbricas de alta velocidad, y constituyen la base para el estándar de DSL asimétrico (ADSL), entre otras cosas el método de acceso a internet más usado en Colombia.

3.8.1.3 Modulación

La modulación representa el proceso donde una onda portadora operando a una frecuencia particular es modificada para grabarle información. Hay 3 tipos básicos de modulación, modulación de amplitud, frecuencia y fase. Uno de los más interesantes tipos de modulación que supera algunos problemas asociados con demasiados cambios en los ángulos de fase resulta combinando la modulación de amplitud con la modulación de fase. El método de modulación resultante se conoce como Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) o desplazamiento de

amplitud – fase (APK), resulta en la habilidad de codificar varios bits en cada cambio de señal que representa un cambio de fase y amplitud.

3.8.1.4 Implementaciones OFDM

Hay varios métodos para implementar OFDM, la mayoría comienzan con el uso de un esquema de corrección de errores para proteger los elementos de datos de corrupción o reconocer la ocurrencia de uno o más errores dentro de un paquete de datos. Para proteger los elementos de datos de corrupción, la trama de datos se opera usando un código de corrección de error progresivo. En comparación, si el método de corrección de error es diseñado simplemente para retransmitir paquetes cuando uno o más errores de bits son detectados, los datos son paquetizados y un algoritmo de comprobación es usado para agregar un carácter de chequeo al final del bloque de datos.

En el receptor, se aplica el mismo algoritmo a los datos en el paquete, la suma de control local calculada se compara con la suma de control recibida, si coinciden el paquete se asume recibido sin errores, si no coinciden, uno o más errores de bit son asumidos de haber ocurrido y el receptor transmite un ‘reconocimiento’ negativo que informa al transmisor de retransmitir el paquete. Si los datos a ser transmitidos necesitan protección, entonces se aplica un algoritmo de encriptación a la trama de datos.

Una vez que la trama de datos se codifica y se empaqueta, se modula. Sobre las últimas décadas varias versiones de QAM fueron usadas con OFDM. En el estándar IEEE802.11a que define la operación de LAN's inalámbricas en la banda de frecuencia de 5Ghz pueden verse dos versiones de QAM. Bajo ese estándar, cuatro métodos de modulación son definidos como se indica en la tabla 3, la versión Binaria (BPSK), Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, y dos versiones de QAM. Dependiendo del método de modulación, tipo de codificación y número de bits codificados por subportadora, las versiones de OFDM de IEEE802.11a pueden soportar tasas de datos en los rangos entre 6Mbps a 54Mbps.

Tabla 3. Soporte de Modulación OFDM en IEEE802.11a

Tasa de Datos (Mbps)	Método de Modulación	Tasa de Codificación	Bits de Código / Subportadora	Bits de Código / Símbolo OFDM	Bits de Datos / Símbolo OFDM
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	6	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	1/2	4	192	144
48	16-QAM	3/4	4	288	192
54	64-QAM	2/3	6	288	216

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p63

3.8.1.5 Capacidad de Acceso Múltiple

Una de las ventajas adicionales asociadas con el uso de OFDM es el hecho de que permite a subportadoras ser asignadas a usuarios diferentes. Por ejemplo, las subportadoras 1, 3, 5 y 7 pueden ser asignadas al usuario A, y las subportadoras 2, 4, 6 y 8 pueden ser asignadas al usuario B. Así, OFDM puede también considerarse para representar una técnica de múltiple acceso porque un tono individual o grupo de tonos pueden ser asignados a diferentes usuarios. Los usuarios pueden ser asignados a un número predefinido de tonos cuando tienen información para transmitir o pueden ser asignados a un número variable de tonos basados en la cantidad de información a transmitirse. La asignación de tonos es controlada en la capa de Control de Acceso al Medio (MAC), que usa un algoritmo de programación para asignar recursos basados en las demandas del usuario.

3.8.2 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa DSSS

DSSS representa el otro método de transmisión, sus orígenes datan desde los inicios de los 40 y fue desarrollado para superar los efectos de la interferencia enemiga, en los 80 hacia adelante las comunicaciones de espectro ensanchado fueron adaptadas para el uso de LAN's inalámbricas, sistemas de posicionamiento satelital, Bluetooth y otras aplicaciones. Considerando que FHSS (Salto de Frecuencia de Espectro Ensanchado) fue adoptado para comunicaciones de baja velocidad, DSSS es adoptado en el uso de comunicaciones de alta velocidad, tal como los métodos de transmisión LAN inalámbrica 802.11a, 802.11b y 802.11g.

3.8.2.1 Descripción General

Las comunicaciones de espectro ensanchado DSSS representan un método de transmisión, no una técnica de modulación. Esto se debe a que usando DSSS se puede transmitir una señal usando FSK, PSK u otro método de modulación.

DSSS combina cada señal de datos en la estación de transmisión con una secuencia mayor de tasa de bits de datos. Esa secuencia es referida como el código chipping (Chipping Code)¹ y funciona como un patrón de bits redundante para cada bit que es transmitido. Así, en vez de transmitir un solo bit de datos a la vez, una serie de bits redundantes se transmiten. Entonces, si uno o más bits en el patrón de bits se dañan durante la transmisión, la composición original del bit puede ser recuperada debido a la redundancia en la transmisión del bit. Se aplica la regla de la mayoría, si por ejemplo se envía el dato binario '0' y el código chipping de 5 resultados en la transmisión de '0' binarios son recibidos como '10010', por estar el '0' binario en mayoría se asume que el dato transmitido es '0'.

3.8.2.2 Justificación de Uso

Debido a que DSSS transmite una señal ensanchada sobre una frecuencia más amplia que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir solamente bits de datos, una implicación de este método es si este ensanchamiento es justificado. Esto se investiga por la ley de Shannon's la cual describe la capacidad del canal en términos de relación señal a ruido (SNR) del canal. Esto es

$$C = W * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Donde:

C = Capacidad del Canal en bps

W = Ancho de Banda en Hz

S = Potencia de la Señal

N = Potencia de Ruido

De la anterior ecuación se observa que incrementando el ancho de banda (W), se puede disminuir la relación señal a ruido SNR sin decrementar la capacidad del canal (C). Así, la ganancia del proceso (G), que representa el incremento del rendimiento para un sistema de banda ancha se describe matemáticamente como

$$G = \frac{B}{I}$$

Donde

B = Ancho de Banda de Radiofrecuencia (RF) en HZ

¹ Chippin Code: Patrón de bits que sustituye a los originales

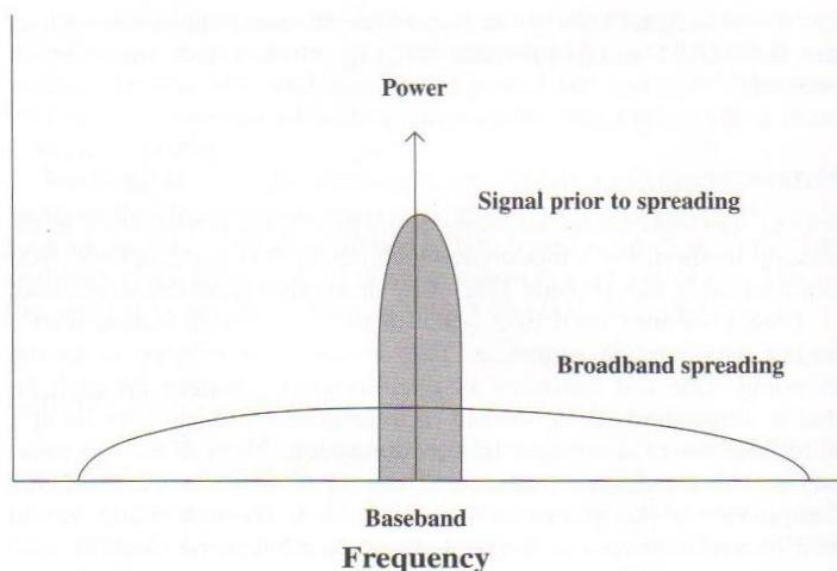
$I =$ Tasa de Información en bps.

Esto muestra que el rendimiento puede incrementarse sin requerir un SNR mayor.

Bajo las comunicaciones de espectro ensanchado, la señal de banda base, que representa los datos originales modulados a una frecuencia particular, son ensanchados sobre el amplio rango de frecuencias. La figura 20 ilustra la relación entre una señal de banda base y su ensanchamiento sobre un rango de frecuencias.

Una vez que una señal es ensanchada sobre un rango de frecuencias, el receptor tiene la función de estrechar de nuevo la señal recibida, para hacerlo, el receptor usa el mismo algoritmo de ensanchamiento para recuperar la información.

Figura 20. Comparación de una señal de Banda Base a su ensanchamiento de Banda Ancha



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p66

3.8.2.3 Ventajas

De la figura 20 se observa que es obvio que la técnica de espectro ensanchado requiere un uso de una amplia banda de frecuencia que cuando una señal de banda base es directamente modulada. Afortunadamente el requerimiento de más frecuencia es compensado por una serie de ventajas, entre las cuales se encuentran la resistencia al desvanecimiento, y resistencia a las interferencias.

Como el espectro ensanchado usa un algoritmo ensanchado, la transmisión ensanchada sobre un rango de frecuencias, minimiza cualquier potencial de

interferencia, porque la interferencia normalmente ocurre dentro de un rango cerrado de frecuencias. Con respecto al desvanecimiento, la transmisión inalámbrica puede reflejarse en varios objetos, resultando en varios caminos por los cuales la señal se propaga hacia el receptor. Esos caminos reflejados interfieren con el camino de transmisión directa, repercutiendo en un fenómeno llamado desvanecimiento. Como el receptor de espectro ensanchado usa el mismo algoritmo de ensanchamiento que en el transmisor, es posible aceptar el camino directo y rechazar las señales reflejadas, de esta forma se proporciona resistencia al desvanecimiento. La tercera ventaja importante consiste en la interferencia, como la señal se transmite sobre un rango de frecuencias, se vuelve más difícil interferir la señal transmitida que en una sola frecuencia.

La tabla 4 muestra un ejemplo de transmisión en DSSS con código chipping 10101, y con información a transmitir 11000.

Tabla 4. Ejemplo de Codificación DSSS

Bits de Información	11100
Código Chipping	10101
Bits Transmitidos (adición módulo2)	
Para el Primer bit de Información	10101
Para el Segundo bit de Información	10101
Para el Tercer bit de Información	01010
Para el Cuarto bit de Información	01010
Para el Quinto bit de Información	01010

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p68

3.8.3 Acceso Múltiple por División de Código

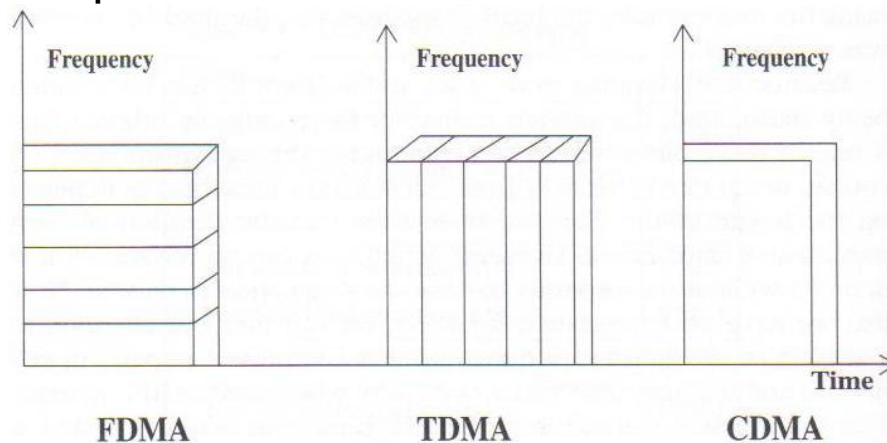
CDMA representa un método de transmisión donde las tramas de datos individuales son codificadas y transmitidas sobre todo el espectro asignado para esa tecnología digital celular. CDMA fue originalmente conocido como IS-95 y compite con la tecnología GSM (Sistema Global para Móviles) para dominar las comunicaciones celulares.

3.8.3.1 Descripción General

En un ambiente RF (Radio Frecuencia), dos recursos pueden usarse para separar la transmisión de usuarios individuales, la frecuencia y el tiempo. Cuando la división de frecuencia es usada, cada comunicador es asignado para una frecuencia particular. Este método de comunicación se conoce como Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) y se muestra en la parte izquierda de la figura 21. El segundo recurso de RF es el tiempo, puede ser subdividido en

ranuras que son asignadas a diferentes comunicadores, este tipo de sistema es Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y se muestra en otra porción de la figura 21. En comparación a FDMA y TDMA, CDMA usa un esparcimiento único para extender la señal sobre todo el espectro, como se observa en la parte derecha de la figura 21.

Figura 21. Comparación Métodos de Acceso



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p70

3.8.3.2 Codificación

Los códigos de programación usados por CDMA representan una secuencia binaria cuidadosamente diseñada por unos y ceros que crean una singularidad para identificar cada llamada particular. Similar a DSSS, la tasa del código de ensanchamiento está referida como la tasa del código chipping. En el receptor, un correlacionador es empleado para desensanchar la señal que se quiere, que luego se pasa a través de un filtro pasabanda estrecha. Las señales no deseadas sencillamente no son desensanchadas ni pasadas a través del filtro.

3.8.3.3 Ventajas

El uso de CDMA permite las ventajas mencionadas con DSSS. En adición, posibilita que más usuarios compartan un rango de frecuencias dado, una importante consideración tanto para operadores celulares como para sistemas BPL ya que se tiene un gran número de clientes potenciales dentro de una pequeña área geográfica y éstos se soportan por el uso de una celda CDMA.

4. INTERFERENCIA Y REGULACIÓN

Las líneas eléctricas no fueron diseñadas para la transmisión de datos, en cambio fueron construidas para el transporte de energía a 50 Hz y 60 Hz en Europa y América respectivamente, este diseño elaborado hace 100 años no se creó considerando la necesidad de aislar la energía de radio frecuencia (RF) asociada con la transmisión de datos. Así que la transmisión de datos sobre la línea eléctrica convierte la línea en una especie de antena, generando interferencia de radio frecuencia no deseada.

4.1 INTERFERENCIA Y ACCIÓN REGULATORIA

Existen varias características que permiten que los datos en el receptor sean recuperados con poca probabilidad de error y que el sistema genere poca interferencia a otras transmisiones cerca de las instalaciones. La tabla 5 nombra 6 de las principales características de una instalación de transmisión que sirven para minimizar las tasas de error y el nivel de interferencia.

Tabla 5. Características de una buena transmisión

Bajo Nivel de Pérdida de Transmisión
Bajo Nivel de Radiación Electromagnética
Inmunidad a Interferencia Externa
Nivel Constante de Atenuación
Nivel Constante de Retardo de Propagación
Bajo Nivel de Ruido

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p74

4.1.1 Pérdida de Transmisión

Una de las características es la pérdida de transmisión, se requiere un bajo nivel de pérdida de transmisión para no requerir demasiados amplificadores y recibir la señal de forma correcta. Al no requerir tantos amplificadores se reduce el costo de la transmisión y también la probabilidad de error.

4.1.2 Radiación RF¹

Existen dos métodos primarios para minimizar la radiación electromagnética. El primero es el blindaje de los conductores, y el segundo el balanceo de los conductores no blindados o recubiertos. Este último se logra típicamente girando o torciendo el conductor de tal forma que la radiación electromagnética en diferentes ubicaciones se cancela a sí misma. Si se examinan ciertos tipos de conductores,

¹ RF: Radio Frecuencia

como por ejemplo el cable CAT5, se puede observar que tiene pares de cables trenzados, esta especificación define el número de giros de tal forma que el cable provee un buen balance en proximidad con otros conductores. Así, tanto los conductores blindados o trenzados pueden usarse para minimizar la radiación electromagnética de un conductor, así como para proveer al conductor inmunidad de interferencia externa.

Fabricantes compatibles con HomePlug han desarrollado este tipo de cable para la transmisión BPL en la red eléctrica, pero el inconveniente es que la mayoría de usuarios ya tienen instalada su infraestructura eléctrica, haciendo que la implementación de un nuevo cableado sea más costoso. Los productos BPL de nueva generación traen incorporado inmunizadores que acoplan las cargas reduciendo la emisión electromagnética ocasionada por BPL.

4.1.3 Atenuación

La atenuación consiste en la reducción de la fuerza de la señal debido a la resistencia, inductancia y capacitancia de un conductor. Una buena transmisión posee un nivel uniforme de atenuación a través del espectro de frecuencia.

Una forma de minimizar el efecto de atenuación es reducir las distancias de transmisión. Otro método es usar amplificadores que aumentan la señal atenuada. En los campos de pruebas instalados en USA las señales viajaban a menos de 1.5Km. Esto porque la subestación típicamente sirve como delimitador para cada subred de BPL y la distancia entre subestación y una casa es aproximadamente 1.5Km. Las frecuencias más altas se atenúan más rápidamente que las bajas frecuencias sobre largas distancias, pero como la distancia en transmisión BPL es relativamente corta se alivia la necesidad de ecualizar la atenuación, habilitando el uso de amplificadores a distancias entre 305 y 760 metros para aumentar la señal modulada.

4.1.4 Retardo de Propagación

Los retardos de propagación a diferentes frecuencias son insignificantes a pequeñas distancias, el retardo de propagación no es un problema en las arquitecturas BPL, serían un problema si las distancias fueran cientos o miles de Km.

4.1.5 El Efecto del Transformador

Existen 3 métodos usados actualmente para compensar el efecto de circuito abierto asociado con la distribución de transformadores. El primero, es el uso de acopladores inductivos, el segundo es amplificar la señal hasta un nivel suficiente para poder sobrepasar el transformador. El tercero es usar un punto de acceso Wifi que elimina la necesidad de pasar a través del transformador.

Los dos primeros métodos son un arma de doble filo, esto debido a que cada técnica está diseñada para permitir que las señales sean transportadas en las líneas eléctricas de media tensión a las líneas eléctricas de baja tensión, pero generando cierto grado de interferencia electromagnética. Aunque Wifi también genera señales RF, estas se encuentran en la banda de frecuencia de 2.4 Ghz, la banda ISM (Industrial, científica y médica). Así que las señales Wifi solo intervienen con otras señales Wifi, aunque esta interferencia es mínima ya que IEEE802.11 está basado en el método de transmisión DSSS.

4.1.6 Efecto Antena

Debido a que las líneas eléctricas se comportan igual que una antena, la transmisión de datos modulados pueden ocasionar una considerable cantidad de RFI¹, la cual disminuye a medida que la distancia desde la línea eléctrica aumenta. Algunas pruebas en campos de BPL resultaron que RFI ocurre a distancias de hasta 75 metros para radios móviles y a distancias de 150m para radios de fijación local. En adición, varios elementos de estructuras asociados con líneas eléctricas, como lámparas de calles, pueden volverse radiadores de RF a las altas frecuencias usadas en los campos de pruebas de BPL. Esto provocó que varias organizaciones se colocaran en contra de BPL, como por ejemplo la ARRL² (Liga Americana de Radioenlace).

4.1.7 Oposición de la ARRL a BPL

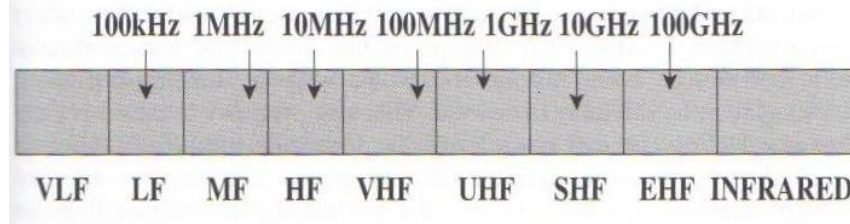
Uno de los grupos con mayor voz en contra de la emisión de BPL es la Liga de Radioenlace Americana ARRL, una organización mundial de operadores radio aficionados con oficina principal en Newington, Connecticut, USA. La ARRL notó en el 2004 que los sistemas BPL causaban interferencia a servicios licenciados, incluyendo la transmisión de radio aficionados. De hecho, la ARRL patrocinó el monitoreo de varios campos de pruebas de BPL para determinar el nivel de interferencia generado por dichos campos. Durante el 2005, la ARRL documentó la interferencia causada por varios campos de pruebas de BPL y registraron la interferencia causada por estos sistemas operando entre 2 y 80Mhz, que resultaba en considerables problemas con la banda de alta frecuencia HF de radio aficionados, varios videos se encuentran en la página oficial de ARRL y también en Youtube. HF comprende entre 3 y 30Mhz y están referidos a frecuencias de onda corta. La figura 22 muestra el espectro de frecuencia, que incluye las bandas de frecuencia desde la baja frecuencia (VLF) hasta infrarrojo. La tabla 6 indica las frecuencias usadas por seis sistemas de comunicación comunes.

¹ RFI: Interferencia de Radio Frecuencia

² ARRL: American Radio Relay League)

Uno de los problemas principales concernientes a la interferencia causada por BPL son las frecuencias que afectan negativamente la transmisión en la banda HF. Como esta banda es tan importante debido a que la usan millones de radioaficionados la ARRL se volvió el grupo líder en contra de BPL.

Figura 22. Bandas en el Espectro de Frecuencia



Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p81

Tabla 6. Aplicaciones Comunes de Comunicaciones y sus Frecuencias

Aplicación	Frecuencia
Radio AM	535 kHz a 1.7 Mhz
Radio de Onda Corta	5.9 Mhz a 26,1 Mhz
Radio CB (Banda Ciudadana)	26.96 Mhz a 27.41 Mhz
Televisión	54 Mhz a 88 Mhz (Canales 2 al 6)
Radio FM	88 Mhz a 108 Mhz
Televisión	174 Mhz a 220 Mhz (Canales 7 al 13)

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p81

4.1.8 Prevención de Interferencia

Varios métodos pueden ser usados para prevenir tanto para reducir la interferencia ocasionada por BPL a otros servicios RF. Entre los métodos se encuentra por ejemplo minimizar la potencia RF permitida para transmisión BPL, evitar las frecuencias usadas localmente, inyectar señales que balanceen la transmisión y reducir de esta forma la interferencia. Otro método es usar solamente una línea de fase porque de esta forma solo se tiene un punto de inyección de señal reduciendo también la interferencia.

4.2 EL ESFUERZO REGULATORIO

La FCC al recibir todas los reclamos de la ARRL tomó cartas en el asunto, permitió la incursión de BPL siempre y cuando no afectara otros medios de transmisión ya licenciados, y listó unas bandas de frecuencias que pueden ser usadas por BPL y otras que no pueden ser usadas por BPL para evitar la interferencia con otros ya licenciados. La tabla 7 provee una lista de bandas autorizadas para BPL y la tabla 8 una lista de bandas no autorizadas.

Tabla 7. Bandas de Transmisión Autorizadas por la FCC para BPL

1705 a 2850 Mhz
3025 a 3400 Mhz
3500 a 4650 Mhz
4700 a 5450 Mhz
5680 a 6525 Mhz
6685 a 8815 Mhz
8965 a 10005 Mhz
10100 a 11275 Mhz
11400 a 13260 Mhz
13360 a 17900 Mhz
17970 a 21924 Mhz
22000 a 74800 Mhz
75200 a 80000 Mhz

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p86

Tabla 8. Bandas de Trasmisión Excluidas por la FCC para BPL

2850 a 3025 Khz
3400 a 3500 Khz
4650 a 4700 Khz
5450 a 5680 Khz
6525 a 6685 Khz
8815 a 8965 Khz
10005 a 10100 Khz
11275 a 11400 Khz
13260 a 13360 Khz
17900 a 17970 Khz
21924 a 22000 Khz
74.8 a 75.2 Mhz

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p87

La tabla 9 muestra bandas superpuestas entre BPL y radio aficionados, los radioaficionados han pasado informes a la FCC donde indican que los sistemas BPL han causado interferencia con sus sistemas de radio aún cuando estos se encuentran a casi 3 Km de distancia. La tabla 9 muestra las bandas que comparten y las distancias a las que los radio aficionados pueden transmitir desde su base.

Tabla 9. Traslape de Bandas de Transmisión Autorizadas de BPL con Servicios de Radio Aficionados

Banda	Servicio de Radio Aficionado
1705 a 2850	160 metros
3500 a 4650	80 metros
4700 a 5450	60 metros
6685 a 8815	40 metros
10100 a 11275	30 metros
13360 a 17900	20 metros
17920 a 21924	15 metros, 15 metros
22000 a 74800	12 metros, 10 metros, 6 metros

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p88

4.3 IEEE

El esfuerzo de la IEEE en el proceso de estandarización de BPL data desde abril 26 de 2004, cuando una solicitud de autorización de proyecto (PAR) fue archivada con el número de proyecto P1675. El título formal del PAR es “Estándar para Banda ancha sobre Hardware de Línea Eléctrica”. El PAR está patrocinado por el Comité de Comunicaciones de Sistemas Eléctricos de la Sociedad de Ingeniería Eléctrica IEEE (IEEE Power Engineering Society Power System Communications Committe PES/PSCC).

La norma IEEE P1675 brindará a las compañías de servicios públicos eléctricos unas directrices integrales para la instalación del hardware requerido sobre líneas de distribución, tanto subterránea como aérea, lo cual proporcionará la infraestructura para sistemas de banda ancha sobre líneas eléctricas (BPL). De igual manera, incluirá requisitos de instalación para la protección de las personas que trabajen con equipo BPL y garantizara que tales sistemas no representen un riesgo para el público. Ver Anexo 1, para más información acerca de este PAR.

La norma IEEE P1775 es otro PAR siendo desarrollado para la estandarización por parte de la IEEE para BPL. El título para este PAR es “Standard for Broadband Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements – Testing and Measurement Methods” (Estándar para el Equipo de Comunicación de Banda Ancha sobre la Línea Eléctrica - Requisitos de Compatibilidad Electromagnética - Ensayos y métodos de medición). Este PAR expira el 31 de diciembre del presente año. Este PAR está patrocinado de igual manera que el P1675 por la PES/PSCC. Ver Anexo 2, para más información acerca de este PAR.

Otra de las normas en desarrollo por la IEEE es la norma IEEE P1901, cuyo nombre es “Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications” (Estándar para Banda Ancha sobre redes de Líneas Eléctricas: Especificaciones de Control de Acceso al Medio y Capa Física). En el reporte de de la última reunión llevada a cabo en Enero en Santa Mónica, California, USA, se pronostica que para Septiembre de este año se apruebe P1901 como un estándar de la IEEE. Lo anterior tiene como fundamento la siguiente fuente: http://grouper.ieee.org/groups/emc/emc/ieee_emcs_-_sdcom_active_stds.htm.

Este estándar se ha llevado a cabo de una forma más rápida que los anteriores, debido a que es más necesario para las redes inteligentes ofrecidas por varias compañías actualmente, y cuyo estudio está llevándose a cabo por el PAR P2030.

5. ÚLTIMA MILLA EN BPL

Las compañías eléctricas como se ha mencionado ofrecen dos métodos para cubrir la comunicación desde las líneas de media tensión hasta las casas, el primer método es a través de las líneas de baja tensión y el segundo usando transmisión inalámbrica. El primer método requiere el uso de módems de líneas eléctricas para proveer compatibilidad con el equipo BPL usado en las compañías eléctricas. Se mencionaran equipos compatibles con el estándar HomePlug. Ya que todos los campos de pruebas realizados en Estados Unidos funcionaron bajo este estándar. El segundo método corresponde al protocolo IEEE802.11n sobre LAN's Inalámbricas.

5.1 EL ESTÁNDAR HOMEPLUG

En la historia de PLC existe una tecnología llamada PassPort, creada por Intelogis, la cual se basaba en el uso de FSK¹ (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia) para enviar datos sobre el cableado eléctrico. Era una tecnología económica y fácil de implementar pero estaba limitada a una velocidad de 350Kbps, luego Intelon creó una nueva tecnología usando OFDM que permitía una mayor velocidad, esta tecnología fue seleccionada por HomePlug Alliance como estándar para redes de datos por la línea eléctrica.

El estándar HomePlug fue desarrollado como tecnología para redes caseras que permitiría a los circuitos eléctricos existentes proveer el medio de transmisión para interconectar dispositivos electrónicos. Este estándar data del 2000.

5.1.1 Evolución

El estándar HomePlug, data de marzo del 2000, cuando HomePlug Powerline Alliance fue fundado por 13 compañías y empezó el trabajo para el desarrollo de especificaciones de transmisión de datos sobre líneas eléctricas. Este esfuerzo resultó en el desarrollo de la especificación HomePlug 1.0 en Junio de 2001. Esta especificación definió los requerimientos de tecnología y operación para transmitir datos idealmente a 14Mbps, sobre el cableado eléctrico encontrado en casas y pequeñas oficinas.

El desarrollo de la especificación HomePlug 1.0 fue seguida en Febrero de 2003 en trabajo del desarrollo de una versión de mayor velocidad que permitiría velocidades mayores de hasta idealmente 200Mbps, este esfuerzo se refiere a HomePlug AV.

¹ FSK: Frequency Shift keying

Una tercera especificación desarrollada por HomePlug Alliance es HomePlug BPL pero aún no se ha terminado. Los equipos por ser de la misma tecnología son compatibles entre sí, es decir usuarios con la especificación HomePlug 1.0 pueden comunicarse con equipos con las especificaciones HomePlug AV o HomePlug BPL.

5.1.2 Productos HomePlug

Desde la especificación inicial HomePlug 1.0 definida en 2001, millones de productos de HomePlug han sido desarrollados por todo el mundo. Cada producto que cumple con la especificación HomePlug es considerado a representar un producto certificado. La tabla 10 enlista las categorías comunes de productos certificados de HomePlug disponibles para comprar.

Tabla 10. Productos Certificados HomePlug

Puentes
Routers
Adaptadores (Línea Eléctrica a USB)
Adaptadores (Línea Eléctrica a Ethernet)
Puntos de Acceso Inalámbricos
Cámaras de Seguridad
Teléfonos de Voz IP
Puntos Finales de Audio y Altavoces

Fuente: HELD, Gilbert; Understanding Broadband over Power Line; Auerbach Publications; p93

5.1.3 Aplicaciones

Como las casas y oficinas tienen ranuras eléctricas en todos lados, es más económico usar el cableado eléctrico existente que instalar más cable de línea telefónica o cable coaxial. Debido a esta situación un considerable número de fabricantes desarrollan equipos compatibles con HomePlug que facilitan la comunicación de redes en las casas y oficinas. Por ejemplo, Bell South ofrece un modem DSL con adaptadores powerline que pueden usarse para extender la conectividad de internet comunicando desde el modem DSL a otras áreas que no puede alcanzar DSL. Similarmente Cox Communications provee control remoto de redes caseras usando adaptadores Ethernet de red eléctrica de Cisco. Otros proveedores de servicios (AOL, Comcast, Earthlink,...etc) usan adaptadores powerline-ethernet o powerline-usb para extender las redes desde una locación central a otros lugares en el edificio.

5.1.4 HomePlug AV

HomePlug Powerline Alliance reconoció la necesidad de soportar entretenimiento de multitransmisión de audio y video dentro de un edificio por medio del cableado eléctrico. El resultado de este reconocimiento para transmisión de aplicaciones multimedia, incluyendo televisión de alta definición HDTV, fue el principio de una nueva especificación referida como HomePlug AV.

5.1.4.1 Características Operacionales

En adición de ser compatible con la especificación HomePlug 1.0, HomePlug AV agregó funcionalidad avanzada para transportar tramas de datos de audio digital y video sobre el cableado eléctrico. HomePlug AV está diseñado para proveer una tasa de datos ideal de 200Mbps, que es suficiente para transportar múltiples programas HDTV alrededor de una casa. Otras funciones incluidas en la especificación HomePlug AV son la avanzada capa física que provee mayor desempeño así como comunicación más robusta sobre las líneas con mucho ruido, una mayor eficiente capa MAC que garantiza mejor QoS y vías de contención usando CSMA/CA. Además, como se había mencionado, HomePlug AV es compatible con los demás productos de la familia HomePlug.

5.2 LAN'S INALÁMBRICAS IEEE

La entidad dedicada al desarrollo de estándares internacionales Electrical and Electronics Engineers (IEEE) constituyó un grupo de trabajo dedicado a desarrollar la especificación de un estándar que permitiera a las LAN inalámbricas (WLAN) operar a velocidades máximas de 100 Mbps. El resultado fue el estándar, denominado 802.11n, cuenta con las aportaciones de Atheros Communications "Super G" y "Super A/G", técnicas propietarias utilizadas en sus chipset wireless que permiten conseguir capacidades de proceso de 100 Mbps.

Los fabricantes de chips han potenciado las capacidades de proceso de las WLAN hasta alrededor de 100 Mbps, y estos ya se encuentran incorporados en todos los PC's portátiles de hoy día. Las velocidades alcanzadas normalmente son de 22 Mbps en los portátiles con el estándar 802.11g.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que la cifra de 100 Mbps no se ha de identificar con la capacidad de proceso sino con la velocidad de los datos, que representa la velocidad raíz antes de sustraer el overhead asociado o sobrecarga de información que añade un protocolo a los datos a transmitir. Y, en el caso de 802.11, el overhead a añadir es muy elevado; típicamente supone más de la mitad de la velocidad de los datos. Así, un punto de acceso 802.11b, con velocidades de 11 Mbps, proporciona generalmente una capacidad de proceso de menos de 6 Mbps. Por su parte, el hardware 802.11a y 802.11g pueden dar a los usuarios

capacidades de proceso de 18 a 22 Mbps, a partir de su velocidad estandarizada en 54 Mbps.

La capacidad de proceso de las WLAN se reduce a medida que los dispositivos cliente se desplazan de un punto de acceso a otro, dependiendo de factores como los materiales de construcción. Además, lo más común es que un punto de acceso sea compartido por varios usuarios, entre los que se repartirá la capacidad de proceso de la que es capaz de suministrar. Por ello, los responsables de redes inalámbricas de determinados entornos wireless ya conocen las quejas de los usuarios por las reducciones de capacidad de proceso que se suelen experimentar con las WLAN.

No obstante, no todo el mundo ve una necesidad inmediata de disponer de tan elevados anchos de banda como los que proporciona 802.11n, salvo para soportar aplicaciones del tipo de las de streaming de vídeo.

Multimedia wireless

IEEE también trabaja en la especificación de 802.15.3, estándar que permite servir streaming multimedia a través de LAN inalámbricas a un máximo de 245 dispositivos fijos o portátiles wireless y a distancias de hasta cien metros. Al igual que 802.15 y 802.11b, opera en la banda de frecuencias de 2,4 GHz, y especifica anchos de banda de 11, 22, 33, 44 y 55 Mbps.

En sus mayores velocidades, la norma 802.15.3 soporta conexiones multimedia de baja latencia y transferencias de grandes archivos, mientras que 11 y 22 Mbps estarán más indicadas para transmisiones de radio. Para conseguir calidad de servicio, emplea TDMA (Time Division Multiple Access).

El estándar está siendo apoyado por la ZigBee Alliance, y ya ha conseguido el respaldo de WiMedia Alliance, entidad similar a la Wi-Fi Alliance, encargada de certificar y difundir la tecnología 802.11.

La tecnología Wifi usada en los campos de prueba de BPL fue la 802.11b, ya que en ese tiempo no había sido consolidada la mejorada versión 802.11g. Actualmente las nuevas arquitecturas de sistemas BPL se manejan con el estándar 802.11g que provee mayor velocidad y mayor cobertura, entre otras mejoras en comparación con el antes usado 802.11b.

6. FABRICANTES DE EQUIPOS

Como se ha dicho anteriormente existen demasiados fabricantes de equipos en BPL, se verán solo algunos de los más importantes fabricantes y sus principales productos BPL.

6.1 AMBIENT CORPORATION

Sitio web: <http://www.ambientcorp.com/>

Es una empresa creada con la visión de desarrollar plataformas de tecnología y comunicación que transformen la infraestructura de distribución de energía a una red inteligente, segura, de alta calidad y con productos y servicios de alta confiabilidad.

Esta compañía ofrece una plataforma completa con las diferentes arquitecturas de conexión de BPL, ofrecen los productos necesarios para instalar la red y conformar las plataformas. Su producto más importante en este momento, es The Ambient® X-3100, un producto de red inteligente de nodos, algunos de sus principales beneficios son:

- Provee entradas de datos en cualquier punto del sistema de distribución eléctrico.
- Habilita la lectura o recolección de datos eléctricos o gas via remota.
- De fácil instalación, resistente y con NEMA-4¹ para instalaciones externas.
- Cada X-3100 usa una sola dirección IP
- Permite una gran variedad de aplicaciones

X-3100 permite la conexión con cualquier dispositivo con puerto serial o Ethernet, puede entregar comunicaciones de datos a alta velocidad usando las tecnologías existentes y en desarrollo incluyendo celular, PLC, Wi-Fi, o cualquier combinación de estos protocolos de comunicación.

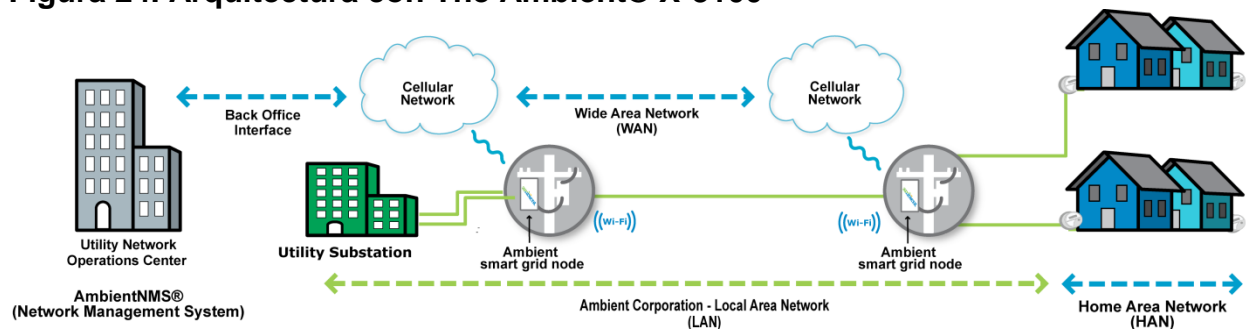
¹ NEMA-4: Especificación para productos en ambientes abiertos que aseguran la resistencia contra el agua, la temperatura y otros factores propios de ambientes abiertos.

Figura 23. The Ambient® X-3100



Fuente: <http://www.ambientcorp.com/DocManager/GetDoc.php?&doc=24>

Figura 24. Arquitectura con The Ambient® X-3100



Fuente: <http://www.ambientcorp.com/DocManager/GetDoc.php?&doc=24>

6.2 AMPERION, INC.

Sitio web: <http://www.amperion.com/>

Fundada en el 2001 por American Electric Power (AEP), una de las más grandes de servicios eléctricos en USA, y Cisco la más grande compañía de redes en el mundo, Amperion tiene profundas raíces en energía y comunicaciones. Actualmente es dueña de la fundación de patentes de Banda Ancha sobre las líneas eléctricas (BPL) y tiene un historial de innovaciones en las comunicaciones por la línea eléctrica. Algunas de las patentes incluyen métodos de alimentación de la red, acoplamiento de señales de RF, filtro de señales RF, agilidad de frecuencia, redes híbridas de BPL e inalámbrico, cambio de algoritmos entre inalámbrico y BPL, y transmisiones sobre líneas de alta tensión.

Sus productos BPL trabajan sobre la frecuencia de 2 y 34 Mhz, uno de sus principales productos es Griffin® 1000 Hybrid Gateway, el cual provee una robusta plataforma de comunicaciones soportando múltiples protocolos fijos o

inalámbricos, diseñado con redundancia y alta confiabilidad, calidad de servicio de inicio a fin de transmisión, arquitectura de red híbrida, con administración basada en Web, en fin una solución completa de red inteligente. En la figura 25 pueden observarse las especificaciones de este producto.

Figura 25. Especificaciones de Griffin® 1000 Hybrid Gateway



WIRELESS NETWORK SPECIFICATIONS

Interfaces	Wifi, WiMax, Zigbee
Tx Power	Up to 600mW (28dBm)
Sensitivity	802.11 a -94dBm at 6Mbps; -74dBm at 54Mbps
	802.11 g -94dBm at 6Mbps; -74dBm at 54Mbps
	802.11 b -97dBm at 1Mbps; -92dBm at 11Mbps
Frequencies	802.11 b/g 2.4GHz
	802.11 a 5GHz
Security	WEP, WPA-PSK

FIXED NETWORK SPECIFICATIONS

BPL:	
Standard	IEEE 802.3u
Frequency	2 – 34 MHz
Frequency Agility	5MHz band pass filters; 6 software selectable non overlapping channels
External Connector	50 ohm N connector

OTHER INTERFACES

Ethernet	10/100Mbps weather proof external; RJ45
Serial to IP	RS-232, RS-485

MANAGEMENT

Options	HTTPS, SSH CLI, SNMPv2c
Logging	Syslog

COMPLIANCE

Regulatory	EU R&TTE and LV Directives
	ETSI EN 301 489-1, ETSI EN 301 489-17
	CENELEC EN 60950-1
	ANSI/UL 60950-1, CAN/CSA C22.2 60950-1
CE Mark	Compliant

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	40cm x 23cm x 17cm (15.75" x 9.05" x 6.69")
Weight	8kg (16.62 lbs)
Mounting	Overhead pole mounted

ENVIRONMENTAL

Operating Temperature	-40C to 85C
Operational Humidity	10% to 80% non-condensing
Packaging	Sealed weatherproof enclosure rated for outdoor use

ELECTRICAL

Input	110VAC/60Hz; Range: 90VAC-136VAC 220V/50Hz; Range: 180VAC-264VAC
Consumption	40W
HV Specifications	
HV Line Voltage	69KV to 138KV
MV Specifications	
MV Line Voltage	6KV to 46KV
LV Line Voltage	110V, 220V
Line Current	Up to 300A
Line Frequency	50Hz or 60Hz

STANDARDS

Security	NERC CIP, AES, 802.1x
----------	-----------------------

PACKAGE CONTENTS

Dual BPL Modem,
Griffin Gateway 1-4 Wireless radios.

PACKAGE OPTIONS

Antennas	802.11 a/b/g selected per customer application
Application Kits	Mounting brackets and cable assemblies
Battery Backup	24AH SLA battery Option available for lightning protection on all RF ports (wireless and BPL)
Lightning Arresters	

Protected by multiple US and International Patents:
US 5,684,450; US 5,929,750; US 5,933,071; US 6,172,597; US 6,144,192; US 6,282,405; US 6,756,776; US 6,885,674; US 6,985,715; US 6,993,317; US 7,307,357; US 7,492,245; US 7,535,685; US 5,864,284; US 6,040,759; US 7,319,717 and other patents pending.

Fuente:

http://www.amperion.com/product_datasheet/Amperion_Griffin_DataSheet.pdf

6.3 CORINEX COMMUNICATIONS GROUP

Sitio web: <http://www.corinex.com/>

Corinex Communications Group se especializa en el desarrollo de sistemas de comunicación IP de alta velocidad que corren sobre cableado eléctrico (Powerline), cables coaxiales, líneas telefónicas, comunicaciones sobre cualquier cableado. Corinex tiene 8 años de experiencia desarrollando y desplegando productos y servicios de redes para extensas compañías, incluyendo 40 Telecom ubicados en 5 continentes. Clientes de Corinex están llevando a la empresa a ser líder en productos y servicios para crear redes de acceso de Triple Play a 200Mbps,

Entre los productos más vendidos de Corinex se encuentran los siguientes.

- **Red de Hogar Inalámbrica 802.11n - Homeplug AV 200**

Extiende la cobertura inalámbrica a cualquier toma eléctrico en la casa, combinando las tecnologías HomePlug AV y WiFi. El producto usa el último estándar HomePLug AV 200 soportando 200Mbps y proveyendo un puente a los computadores usando los existentes cables eléctricos en las casas.

Figura 26. Corinex Wireless-N HomePlug AV 200



Fuente: <http://www.corinex.com/product/1673.html>

- **HD200 HomeNet Power – Dual Pack**

Es la última edición de la familia Corinex. Usando la tecnología AV200, HomeNet puede usarse para crear redes caseras mejoradas, soportando múltiples tramas de señales de video de alta definición, IPTV, audio en tiempo real, etc. Sin experimentar retraso o pérdidas de tramas, entregando acceso a internet estable hasta de 200Mbps de velocidad idealmente.

Figura 27. HD200 HomeNet Power – Dual Pack



Fuente: <http://www.corinex.com/product/1547.html>

6.4 CURRENT COMMUNICATIONS GROUP

Sitio Web <http://www.currentgroup.com/>

“La inversión que estamos haciendo hoy creara una nueva y más inteligente red que permitirá un uso más amplio de energía alternativa. Nosotros construiremos en lugares como Boulder, Colorado, una comunidad que está a un paso de convertirse en la primera ciudad del mundo con Red Inteligente.” – Presidente Barack Obama. 4.5 billones de dólares se invirtieron para transformar la nación a redes inteligentes.

Uno de los productos más importantes es Opengrid™, el cual es la fundación de Software que habilita el desarrollo de aplicaciones de redes inteligentes desarrolladas hoy y en el futuro. La plataforma Opengrid provee el sistema de administración de datos para integrar cualquier dispositivo de red, incluyendo sensores inteligentes, bancos de capacitores, conmutadores, switches, dispositivos de subestaciones y mediciones de baja latencia; basado en sistemas de comunicaciones IP incluyendo Fibra Óptica, Inalámbrico 3G, DSL, Cable, WiMax y BPL. La plataforma OpenGrid combina datos en tiempo real y le dice a un dispositivo o a una persona de tomar una acción específica en un tiempo específico y lugar específico para mejorar la eficiencia y confiabilidad de la red de distribución.

6.5 DS2

Empresa española con sitio Web <http://www.ds2.es/>

Fundada en 1998, DS2 es líder en innovación de tecnología y es proveedor global de soluciones de semiconductores para comunicaciones por la línea eléctrica, tecnología que convierte cualquier cable instalado en un medio de red de alta velocidad inteligente. En 2004, DS2 introdujo el primer circuito integrado de comunicación de Línea Eléctrica de 200Mbps. Su misión es mantener a sus consumidores a la vanguardia de innovación creando las más avanzadas, sostenibles y exitosas soluciones de tecnología de comunicación en línea eléctrica, coaxial y línea telefónica. DS2 trabaja de la mano con otra compañía española de PLC llamada EKOPLC.

La empresa DS2 desarrolla circuitos integrados, para BPL específicamente se tienen como más importantes los siguientes productos.

- **DSS9001**

DSS9001 es un circuito integrado diseñado para ejercer como un repetidor o como un nodo final en la solución de comunicación de red DS2. La unidad puede manejar hasta 32 CPE's (clientes de ubicación fija) directamente conectados y 64 direcciones MAC, que lo hace una elección ideal en una red Ethernet sobre cable coaxial, o como repetidor en BPL dentro de una red inteligente.

El DSS9001 provee las siguientes ventajas

- 200 Mbps de velocidad de datos
- Calidad de Servicio (QoS)
- Configuración flexible de frecuencia
- Cobertura Amplía
- Protocolo Simple de Administración de red SNMP

La figura 28 indica algunas características del producto.

Figura 28. Características de DSS9001

Area	Value
Bit Rate	200 Mbps
MAC Scheme	TDMA (Time Division Multiple Access)
Modulation	OFDM
Frequency Range	2-32 MHz
Max Modem Connections	32
MAC Table Size	64
Encryption	3DES
Quality of Service Priorities	8
Interfaces	Ethernet(MII),UART,SPI,TDM
Temperature Range	-40°C - +85°C
Package	HSBGA196

Fuente: <http://www.ds2.es/subsecciones-web/subsecciones-web-ficha.aspx?ID=11>

- **DH10P**

El diseño del conector de pared DH10P ha sido optimizado como un CPE de alta velocidad para acceder a redes como redes inteligentes, BPL, Ethernet sobre coaxial.

El dispositivo provee conectividad Ethernet de alta velocidad y soporta velocidades de transmisión de hasta 200Mbps. El diseño es basado en una solución con 2 boards PCB, una board de señal y la otra de alimentación eléctrica.

Ventajas:

Calidad de Servicio para tramas simultáneas de tráfico en tiempo real.

Configuración Flexible de Frecuencia.

Fácil Administración de Red.

Seguridad Avanzada.

Programación dedicada a objetos flexible y Software de herramientas de desarrollo.

6.6 MAIN.NET COMMUNICATIONS GROUP

Fundada en 1999, MainNet es un proveedor líder de sistemas y soluciones de banda ancha sobre la red eléctrica (BPL/PLC), habilitando el acceso de banda ancha inteligente y aplicaciones de red inteligente sobre cualquier red eléctrica.

6.7 SIEMENS CORPORATION Y BPL GLOBAL

Siemens y BPL Global dos compañías fuertes en investigación y desarrollo de energía eléctrica y comunicación están expandiendo su relación en Norte América para proveer un portafolio exhaustivo de redes inteligentes.

Siemens invierte en BPLG (BPL Global) y es un mercadólogo cooperativo de sus monitoreos de transformadores, y ahora Siemens trabajará con BPLG para integrar y revender la gestión de la carga de BPLG y distribuir soluciones de administración del recurso de energía.

Siemens y BPLG integraran soluciones de red inteligente, aplicaciones de automatización, incluyendo su sistema de administración de distribución DMS¹, SCADA² y soluciones de automatización de subestaciones.

BPLG desarrolla y emplea soluciones de red inteligente para modernizar las redes eléctricas del mundo direccionando aplicaciones a través de la red desde la subestación a las instalaciones del consumidor.

BPLG demanda software de soluciones integradas de administración, hardware y servicios que permiten que la utilidad sea directamente administrada sin carga crítica para necesidades operacionales y monetización del mercado.

La solución provee utilidades eléctricas con control directo de carga dispensable con administración verificativa y predictiva de cargas individuales.

Siemens ofrece soluciones de redes inteligentes a lo largo de toda la cadena de transformación de la energía, desde la planificación y consulta, a los productos y servicios necesarios para que la red pueda operar de manera inteligente.

La compañía también incorpora soluciones para aplicaciones comerciales e industriales así como hogares inteligentes, incluyendo automatización de edificios, integración de servicios IT, tecnología avanzada de iluminación y ampliaciones de energía eficiente, para una completa solución de red inteligente.

¹ DMS: Distribution Management System

² SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

8. BPL EN COLOMBIA – BPL A FUTURO

8.1 BPL EN COLOMBIA

Es una gran noticia para Colombia que desde el 29 de Octubre del año pasado el gobierno decidiera liberar el espectro electromagnético para impulsar las telecomunicaciones en el país, permitiendo el acceso de tecnologías como BPL de forma legal en el país. En Colombia, el ministerio de TICs¹ incluyó PLC, WiMax, radio y televisión digitales como temas de estudio desde el 2006 como programa de tecnologías alternativas para la disminución de la brecha digital.

Para Colombia no es indiferente el beneficio que tiene la tecnología PLC. Desde algún tiempo atrás se ha venido trabajando la tecnología enfocada a aplicaciones de banda angosta, es decir, automatización de fábricas y hogares en aspectos de domótica. El ministerio de TICs ve a BPL como otra alternativa a tecnologías existentes para prestar el servicio de comunicación en zonas rurales donde los métodos tradicionales no pueden ser prestados, es decir el ministerio de TICs adopta a BPL de la misma forma como lo han adoptado gobiernos como Brasil.

Desde el 2008 se había pronosticado y hecho alianzas para ofrecer el servicio de BPL en Latinoamérica, una de las grandes empresas de desarrollo BPL Global contrató a BPLC Latin America como socio para la distribución de smart grid en Latino América. En algunas partes del país se hicieron pruebas piloto con buenos resultados por parte de BPLC Latin America. En Cundinamarca, Boyacá, Huila se llevaron a cabo diferentes pruebas para un pequeño grupo de usuarios, los convenios se realizaron con las empresas de energía EEC (Empresa de Energía de Cundinamarca) y con EBSA (Empresa de Energía de Boyacá) para las pruebas realizadas en Cundinamarca y Boyacá. Las pruebas concluyeron buenos resultados, es claro para las empresas que es rentable ofrecer estos servicios, pueden reducir robos, el principal problema regional, y administrar la red eléctrica de manera más eficiente, pero tienen que evolucionar sus estructuras actuales para poder tener una cobertura total en todas sus redes, y estos procesos se llevan a cabo lentamente debido a la gran inversión que esto implica.

EPM (Empresas Públicas de Medellín) es otra de las empresas interesadas en ofrecer acceso a internet por la red eléctrica. La idea es ir progresando de la forma como lo ha hecho las Empresas Públicas de Medellín EPM, que fusionaron los servicios a un solo ente agua, luz, teléfono y servicio de aseo/alcantarillado, la idea es ofrecer los mismos servicios más el de televisión, e internet en la misma empresa. Generando ahorro y desarrollo en el departamento de Antioquía.

¹ TIC: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Existen otras empresas que ofrecen el servicio de BPL para redes locales donde adquieren el servicio de internet de forma diferente como por ejemplo ADSL, y la distribuyen en la red local del usuario de forma BPL. Un ejemplo de este tipo de empresa es Redes Inteligentes. Redes Inteligentes es una División tecnológica en telecomunicaciones que pertenece al Grupo Total, que ofrece sus servicios a Colombia en todo lo relacionado a productos BPL, como accesibilidad, distribución de datos de alta velocidad, señales de audio, vídeo, y voz. La función principal de esta empresa es adquirir equipo desarrollado por empresas vistas en el capítulo anterior e integrarlo formando arquitecturas para suplir las necesidades de los usuarios, ofreciendo el servicio de redes Lan para pequeñas casas u oficinas.

Entre las empresas similares que ofrecen PLC y BPL se encuentran: InnovaTecnología, Redes Inteligentes, Smart People, EEC, EPSA, EPM, entre otras.

8.2 BPL A FUTURO

Predecir el futuro de BPL no es tarea fácil, aun cuando la tecnología PLC tiene grandes beneficios, también tiene inconvenientes que no permiten que un mayor número de usuarios usen este método de acceso a banda ancha. Para analizar esto, debe hacerse una comparación entre las ventajas y las desventajas de BPL descubiertas en esta investigación.

Entre las ventajas de BPL se tiene:

- Es un recurso reutilizable: Ya que se usan las ya instaladas redes eléctricas.
- Los equipos son compatibles entre sí mientras se usen bajo la misma frecuencia.
- Las empresas eléctricas solo tienen que adecuar sus existentes redes para poder prestar el servicio de banda ancha.
- El ancho de banda ofrecido es similar al de las tecnologías existentes.
- Se combina con otras formas de transmisión como Ethernet, WiFi, Cable, Fibra según los requerimientos del usuario.

Entre las desventajas de BPL se tiene:

- Modelo económico incierto.
- Asuntos de Interferencia.
- Asuntos de Regulación aún no resueltos.
- Competencia.
- La Inversión es mayor en países en vía de desarrollo.

Analizando las ventajas y desventajas principales de BPL puede verse que las desventajas no son definitivas, es decir, tienen solución y si no la tienen en este momento se está trabajando en ellas.

Modelo Económico Incierto; es solo cuestión de tiempo para que los gobiernos regulen precios que deben cobrarse a los usuarios.

Asunto de Interferencia; a lo largo de estos años, desde del 2003 cuando la ARRL publicó todas las quejas a la FCC debido a la gran interferencia que ocasionaba a sus sistemas, se ha hecho un gran avance, hasta tal punto que la FCC ha comprobado que varias de las quejas interpuestas por la ARRL ya han sido solucionadas, la interferencia se ha reducido considerablemente de diferentes formas, como se vio en los capítulos anteriores. Podría decirse que estas acusaciones de la ARRL ayudaron a que los investigadores mejoraran las condiciones de transmisión sobre las líneas eléctricas, logrando mejorar la tecnología PLC de banda ancha, es decir BPL. Aunque los sistemas BPL aún causan interferencia, es tarea diaria de los fabricantes e investigadores reducir esta interferencia poco a poco.

Asuntos de Regulación aun no resueltos; HomePlug creó el estándar HomePlug 1.0, HomePlug AV y HomePlug BPL, lo cual permite estandarización de los productos desarrollados por fabricantes de BPL. Por otro lado la IEEE también está en proceso de estandarizar la transmisión BPL, tomando como base los protocolos desarrollados por HomePlug, los estándares están en desarrollo, como los vimos anteriormente P1675, P1775 y P1901, así que es cuestión de tiempo que el servicio de BPL esté estandarizado por la IEEE.

Competencia; el método actualmente más utilizado para acceder a internet es DSL en su forma ADSL. ADSL tiene el mayor porcentaje de usuarios de los métodos de acceso a internet visto en los primeros capítulos, es decir sería la mayor competencia de BPL en las ciudades donde está presente ADSL. Aún así, existen varios usuarios a los cuales tecnologías como ADSL no puede llegar, principalmente en las zonas rurales, las cuales han sido los primeros clientes potenciales de BPL, es cuestión de tiempo de que la tecnología tenga más usuarios, aunque esto no quiere decir que BPL se convierta en el método de acceso a internet más utilizado, esto tal vez no llegaría a pasar porque la competencia es grande. Por otro lado la competencia ayuda a que los precios de los servicios de comunicación bajen como lo han venido haciendo desde el año 1998, desde un punto de vista del usuario, esta competencia es sana y saludable para los sistemas de comunicación y no sería considerada como una desventaja.

La Inversión es mayor en países en vía de desarrollo; cuando hablamos de países en vía de desarrollo nos referimos a países como Colombia, la inversión es mayor sencillamente porque tienen que importar los productos BPL a la frecuencia de 60Hz de otros países. Es mayor la inversión porque las estructuras eléctricas Colombianas tienen que adecuarse, evolucionar para poder prestar el servicio, aunque algunas empresas ya han empezado a hacerlas, aún hay camino por delante.

En poco tiempo el servicio de BPL se va a estandarizar por la IEEE, cuando finalicen las normas P1675, P1775 y P1901. En Colombia, una vez estandarizado BPL, las compañías eléctricas que no han empezado a trabajar con BPL empezaran a hacerlo y ofrecerán el servicio a zonas rurales, las cuales serían las zonas más estratégicas inicialmente, en algunos años se tendrá mayor penetración y algunas empresas ofrecerán el servicio en las ciudades, más o menos se seguirá el proceso que se ha llevado a cabo en USA.

En USA, Europa, Australia una vez estandarizado BPL por parte de la IEEE, mayores compañías adoptaran esta forma de transmisión como otro método de comunicación y esto a través del tiempo hará que BPL esté entre las tecnologías de acceso a internet más utilizadas. Es decir, BPL estará entre las opciones de acceso a internet vistas en la sección 3.3. Además puede decirse que BPL indudablemente será desarrollado a gran escala en países como USA porque hace parte de las redes inteligentes que están siendo evaluadas y desarrolladas en todo el país americano. El gobierno de USA actual está invirtiendo considerables sumas de dinero en el desarrollo de las redes inteligentes (smart grids) para evolucionar el sistema eléctrico, lo que permite que BPL tenga un lugar asegurado en el futuro, por lo menos a pequeña escala.

En resumen en el peor de los casos, si BPL no logra la penetración en las ciudades o no se pueden acabar los problemas de interferencia, BPL se seguirá utilizando en pequeñas locaciones rurales, es decir locaciones como donde se hicieron los campos de pruebas en Estados Unidos, Australia y Europa como solución a la comunicación. Aún así en el peor de los casos la tecnología BPL seguirá utilizándose, solo que con menos adeptos y menos penetración en el mercado. En el mejor de los casos BPL lograra estar en las principales ciudades y zonas rurales, compitiendo a la par con las demás tecnologías de acceso a internet, con un gran número de usuarios y con grandes avances en el desarrollo y evolución de la tecnología BPL.

CONCLUSIONES

BPL es una tecnología emergente que ofrece comunicación de datos a alta velocidad usando las existentes redes eléctricas, su principal fortaleza en comparación a demás tecnologías de acceso a banda ancha radica en la cualidad de no necesitar cableado adicional o instalaciones adicionales en las casas para recibir el servicio.

La FCC en este momento cataloga a BPL como un método de acceso a internet, es una de las tecnologías usadas en el proyecto llamado “National Broadband Plan – Connecting America” cuyo objetivo es que toda América tenga acceso a internet de banda ancha.

Aún cuando la tecnología de banda ancha por la red eléctrica se considera como un gran cambio a la forma en que se presta el servicio de banda ancha, lo más probable es que solo se utilice en zonas rurales o en pequeñas porciones en las ciudades ya que las demás tecnologías de acceso a internet ya están en su etapa más madura, logrando que probablemente la inversión para incursionar BPL en todas las casas y hogares no sea económicamente lo más viable.

Las acusaciones por parte de la ARRL por la interferencia causada por los campos de pruebas de BPL, lograron que fabricantes e investigadores trabajaran arduamente en la evolución de BPL, logrando que la interferencia disminuyera considerablemente, hasta tal punto que la FCC considera a BPL como un método de acceso a internet de banda ancha.

Aunque el futuro de la tecnología es incierto, puede pronosticarse que BPL será uno de los métodos más importantes para el acceso a internet de banda ancha, y será muy utilizado en zonas rurales.

BIBLIOGRAFÍA

DOSTERT, Klaus. Powerline Communications. 1era Edición. USA. Prentice Hall, ©2001.

HELD, Gilbert. Understanding Broadband over Power Line. 1era Edición. USA. Auerbach Publications, ©2006.

www.ieee.org

www.fcc.gov

www.bplglobal.net

www.ds2.es

www.currentgroup.com

www.corinex.com

www.amperion.com

www.ambientcorp.com

ANEXO 1 – P1675

PAR FORM

https://spadev.ieee.org/cgi-bin/sadb/print_par?print:1486

PAR FORM

PAR Status: New PAR (Unapproved PAR)
PAR Approval Date: 0000-00-00
PAR Signature Page on File: Yes

1. Assigned Project Number: 1675
2. Sponsor Date of Request: 2004-04-26
3. Type of Document: Standard for
4. Title of Document:
Draft: Standard for Broadband over Power Line Hardware
5. Life Cycle: Full-Use
6. Type of Project:
 - 6a. Is this an update to an existing PAR? No
 - 6b. The Project is a: New Standard
7. Working Group Information:
Name of Working Group: Broadband over Power Line Working Group
Approximate Number of Expected Working Group Members:30
8. Contact information for Working Group Chair:
Name of Working Group Chair: Terrence Burns
Telephone: 602-371-6443 FAX: 602-371-6321
Email: terrence.burns@aps.com
9. Contact information for Co-Chair/Official Reporter, Project Editor or Document Custodian if different from the Working Group Chair:
Name of Co-Chair/Official Reporter, Project Editor or Document Custodian:
Telephone: FAX:
Email:
10. Contact information for Sponsoring Society or Standards Coordinating Committee:
Name of Sponsoring Society and Committee: Power Engineering Society Power System Communications
Name of Sponsoring Committee Chair: John E Newbury
Telephone: 44-61-956-6857 FAX: 44-61-956-6811
Email: j.e.newbury@open.ac.uk
Name of Liaison Rep. (if different from the Sponsor Chair): Miriam P Sanders
Telephone: 954-344-9822 x 215 FAX: 954-340-6676
Email: miriam.sanders@pulsartech.com

Name of Co-Sponsoring Society and Committee:
Name of Co-Sponsoring Committee Chair:
Telephone: FAX:
Email:
Name of Liaison Rep. (if different from the Sponsor Chair):
Telephone: FAX:
Email:
11. The Type of ballot is: Individual Sponsor Ballot
Expected Date of Submission for Initial Sponsor Ballot: 2005-11-01

12. Fill in Projected Completion Date for Submittal to RevCom: 2006-05-01

Explanation for Modified PAR that completion date is being extended past the original four-year life of the PAR:

13. Scope of Proposed Project:

The scope of this standard will be to provide testing and verification standards for the commonly used hardware, primarily couplers and enclosures, for Broadband over Power Line (BPL) installations, and provide standard installation methods to ensure compliance with applicable codes and standards. This project will not cover repeater/node hardware, data transmission, protocols, or other aspects of BPL related to the internal workings of this technology.

Is the completion of this document contingent upon the completion of another document? No

14. Purpose of Proposed Project:

The Broadband over Power Line (BPL) industry in the United States is in its infancy. For this technology to become widespread, standards must be put in place that will enable utilities to quickly develop a BPL program without the tedious task of investigating every possible hardware solution for safety and useability. A BPL standard will give both the utilities and the BPL industry the ability to confidently pursue a BPL installation. In addition, because of the nature of BPL, non-utility personnel will be working in close proximity to areas that are commonly considered off-limits to all personnel except for qualified linemen. This standard will provide the boundaries of what is strictly the working area for linemen only in the utility environment, and detail construction practices that will provide adherence to applicable codes and standards.

14a. Reason for the standardization project:

There are multiple problems this Standard will solve. Utilities require testing and verification of hardware installed on distribution lines for the safe operation of the system and the protection of personnel. Non-utility workers will be working with equipment connected to distribution equipment and require a safe working environment. The target users will be electric utilities, BPL equipment manufacturers, and ISP's who will use the BPL technology to reach customers.

15. Intellectual Property:

Has the sponsor reviewed the IEEE patent policy with the working group? Yes

Is the sponsor aware of copyrights relevant to this project? No

Is the sponsor aware of trademarks relevant to this project? No

Is the sponsor aware of possible registration of objects or numbers due to this project? No

16. Are there other documents or projects with a similar scope? No

Similar Scope Project Information:

17. Is there potential for this document (in part or in whole) to be adopted by another national, regional or international organization? Do not know at this time

If yes, please answer the following questions:

Which International Organization/Committee?

International Contact Information?

18. If the project will result in any health, safety, or environmental guidance that affects or applies to human health or safety, please explain in five sentences or less.

This standard will define guidelines for communications equipment that will be installed on or in proximity to electric power system equipment. The standard will provide information on installation of BPL equipment in adherence to NEC, NESC, and other sources.

19. Additional Explanatory Notes: (Item Number and Explanation)



Terrence.Burns@aps.com

06/15/2004 01:23 PM

To: j.haasz@ieee.org, Ken.hanus@ieee.org, p.nikolich@ieee.org,
jestey@sandc.com, j.carlo@ieee.com, w.b.dietzman@tuelectric.com,
c.tom@ieee.org, j.e.newbury@open.ac.uk
cc:
Subject: PAR P1675 - BPL Standard

Concerning the subject PAR I would like to make following comments on behalf of the BPL Study Group.

1. The issue of Safety. During our meeting in Denver on Tuesday morning, we resolved this issue to the satisfaction of IEEE-SA. Jodi was present and helped us out. We did two things, we removed the words "and Personnel Safety" from the title, and added the text in part that stated, "The Standard will provide information on installation of BPL equipment in adherence to NEC, NESC and other sources.

2. Broad Scope. The group discussed at length the observation the scope is too broad and would like to make the following comments. The hardware involved in a BPL installation to be covered by the standard is quite limited, consisting of couplers, both inductive and capacitive, and an enclosure which houses the repeaters/nodes. Note the repeaters/nodes themselves are specifically labeled as being out of the scope of the document. Below is a very preliminary draft of the outline of Standard, which shows the issues intended to be covered by the Standard.

- 4. Component Standards
 - 4.1 Capacitive Couplers
 - 4.2 Inductive Couplers
- 5. Cabinets and Enclosures
- 6. Grounding and Bonding

The vendors/manufacturers throughout the BPL industry have indicated time and again that this is precisely what is needed at this time to allow a quick and easily executable installation of BPL by utilities or ISPs new to the technology. So there is a tremendous support for the proposed Standard as written.

3. Delay of PAR. Any delay of this PAR for whatever reason would be detrimental to the momentum built up and the enthusiasm displayed by the group members. The representatives of the industry who are part of this group, or have knowledge of it, will ultimately be the determiners of future Standards, and they have indicated that there would be no benefit served by holding up this Standard based on the outcome of the impending task force results. Regardless of what other standards needs will be determined in the future, this standard is needed today and work on it should proceed in all haste.

If you have further concerns or comments, please let me know.

Terry Burns
Arizona Public Service Co.
Chair - BPL Standards Study Group

ANEXO 2 – P1775

PAR FORM

https://spadev.ieee.org/cgi-bin/sadb/print_par?print:163

PAR FORM

PAR Status: New PAR

PAR Approval Date: 2005-05-10

PAR Signature Page on File: Yes

1. Assigned Project Number: P1775

2. Sponsor Date of Request: 2005-03-11

3. Type of Document: Standard for

4. Title of Document:

Draft: Powerline Communication Equipment - Electromagnetic Compatibility (EMC)
Requirements - Testing and Measurement Methods

5. Life Cycle: Full-Use

6. Type of Project:

6a. Is this an update to an existing PAR? No

6b. The Project is a: New Standard

7. Working Group Information:

Name of Working Group: PLC EMC Working Group

Approximate Number of Expected Working Group Members:10

8. Contact information for Working Group Chair:

Name of Working Group Chair: Aron Viner

Telephone: +1 617 614 6729 **FAX:** +1 617 332 7260

Email: aviner@ambientcorp.com

9. Contact information for Co-Chair/Official Reporter, Project Editor or Document Custodian if different from the Working Group Chair:

Name of Co-Chair/Official Reporter, Project Editor or Document Custodian:

Telephone: **FAX:**

Email:

10. Contact information for Sponsoring Society or Standards Coordinating Committee:

Name of Sponsoring Society and Committee: Power Engineering Society Power System Communications

Name of Sponsoring Committee Chair: John E Newbury

Telephone: 44-61-956-6857 **FAX:** 44-61-956-6811

Email: j.e.newbury@open.ac.uk

Name of Liaison Rep. (if different from the Sponsor Chair): Miriam P Sanders

Telephone: 954-344-9822 x 215 **FAX:** 954-340-6676

Email: miriam.sanders@pulsartech.com

Name of Co-Sponsoring Society and Committee: Electromagnetic Compatibility Society Standards Development Committee

Name of Co-Sponsoring Committee Chair: Stephen Berger

Telephone: 512-864-3365 **FAX:** 512-869-8709

Email: stephen.berger@ieee.org

Name of Liaison Rep. (if different from the Sponsor Chair):

Telephone: **FAX:**

Email:

11. The Type of ballot is: Individual Sponsor Ballot

Expected Date of Submission for Initial Sponsor Ballot: January 2007

12. Projected Completion Date for Submittal to RevCom: June 2007

Target Extension Request Information for a Modified PAR whose completion date is being extended past the original four-year life of the PAR:

13. Scope of Proposed Project:

The scope of this standard will be electromagnetic compatibility (EMC) criteria, and consensus test and measurements procedure for broadband Power Line Communication (also known as BPL) equipment and installations. The standard will reference existing national and international standards for BPL equipment and installations. It will not include the specific emission limits, which are subject to national regulations.

Is the completion of this document contingent upon the completion of another document?

No

14. Purpose of Proposed Project:

By providing test and measurement guidance as well as EMC criteria, this proposed EMC standard will serve as a bridge between national spectrum regulations, power utility practice and other interested party concerns. It is also will clearly identify the basic definitions of the applicable EMC parameters for BPL equipment and installations as well as measurements conditions and settings.

15. Reason for the Proposed Project:

The proposed standard is a part of a planned IEEE series of BPL standards which will cover major aspects of broadband powerline communication technology: safety, EMC, media, coexistence, interoperability and education. BPL technology has the potential for both enhanced communications capabilities and increased emissions. Owing to an absence of widely accepted EMC criteria and test methods, the industry - investors, BPL equipment manufacturers, electric utilities and ISP providers - are reluctant to move forward. The proposed project will address the most critical issue impeding the deployment of BPL technology. The resulting EMC standard will increase the level of confidence between interested parties. It will also be instrumental in guiding the design and maintenance of EMC characteristics for BPL equipment and installations.

16. Intellectual Property:

- a. Has the IEEE-SA policy on intellectual property been presented to those responsible for preparing/submitting this PAR? Yes 2005-01-14
 - b. Is the sponsor aware of copyright permissions needed for this project? No
 - c. Is the sponsor aware of trademarks that apply to this project? No
 - d. Is the sponsor aware of possible registration activity related to this project? No
17. Are there other documents or projects with a similar scope? No

Similar Scope Project Information:

18. Is there potential for this document (in part or in whole) to be adopted by another national, regional or international organization? Do not know at this time

If yes, the following questions must be answered:

Organization Name?

Technical

Committee

International

Contact

Information?

19. Will this project result in any health, safety, or environmental guidance that affects or applies to human health or safety? No

If yes, please explain:

20. Sponsor Information

- a. Is the scope of this project within the approved/scope/definition of the Sponsor's Charter? Yes
If no, please explain:
- b. The Sponsor's procedures have been accepted by the IEEE-SA Standards Board Audit Committee? Yes

21. Additional Explanatory Notes: (Item Number and Explanation)

A liaison will be established between P1775 and P1901 - Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications.