



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

## **ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

**Mario Filiberto Barrera Dávila**

**Asesorado por la Inga. Susan Verónica Gudiel Herrera**

**Guatemala, abril de 2008**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**MARIO FILIBERTO BARRERA DÁVILA**

ASESORADO POR LA INGA. SUSAN VERÓNICA GUDIEL HERRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS**

GUATEMALA, ABRIL DE 2008



## UNIVERSIDA DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
EXAMINADOR	Inga. Floriza Ávila Pesquera de Medinilla
EXAMINADOR	Inga. Sonia Yolanda Castañeda Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias y Sistemas, con fecha de enero de 2007.

**MARIO FILIBERTO BARERA DÁVILA**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS**

Porque fue Él quien me dio la fortaleza, la perseverancia y la voluntad para alcanzar éste anhelo.

### **MIS PADRES**

Antonio Barrera y María Salome Dávila, por su paciencia y apoyo incondicional.

### **MIS HERMANOS**

Marco Tulio, Marta María, Eduardo Antonio y María Guadalupe, por su comprensión.

### **MIS AMIGOS**

Por los gratos momentos que compartimos y por su ayuda y apoyo en los momentos difíciles.

### **MI ASESORA**

Inga. Susan Verónica Gudiel Herrera, por su colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación.



# INDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>1. HISTORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INFRAESTRUCTURA BASE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FUNCIONAMIENTO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA .....</b>	<b>9</b>
3.1. Comunicación a través de la línea eléctrica ( <i>Power Line Communication PLC</i> ) .....	9
3.2. Tipos de modulación de señal .....	10
3.2.1. Modulación de espectro ensanchado de secuencia directa ( <i>Direct Sequence Spread Spectrum Modulation DSSSM</i> ) .....	11
3.2.2. Multiplexación Ortogonal por división en Frecuencia ( <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM</i> ).....	11
3.2.3. Modulación por Variación de Amplitud Gaussiana ( <i>GMSK Gaussian Minimum Shift Keying</i> ).....	12
3.3. Características de PLC.....	12
3.4. Redes involucradas en Internet y telefonía por la red eléctrica .....	13
3.4.1. Red de transporte.....	13
3.4.2. Red de distribución.....	13
3.4.3. Red de acceso.....	13

3.5.	Acceso a Internet .....	14
3.6.	PLC como Red de área Local .....	18
<b>4.</b>	<b>REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA.....</b>	<b>19</b>
4.1.	Modem PLC (Equipamiento de usuario, <i>Customer Premise Equipment</i> CPE) .....	19
4.2.	Repetidores PLC .....	22
4.3.	Equipo de cabecera en los centros de transformación.....	24
4.4.	Tarjeta de red o puertos USB.....	27
4.5.	IP otorgado por la empresa proveedora.....	27
4.6.	El cableado eléctrico en el domicilio.....	27
4.7.	Características de los Productos PLC.....	27
4.8.	Seguridad en PLC .....	28
4.8.1.	Estándar de Cifrado de Datos DES( <i>Data Encryption Standard</i> ) ..	29
4.8.1.1.	Procesar la clave .....	30
4.8.1.2.	Procesar el bloque de 64 bits.....	30
4.8.1.2.1.	Aplicar las 16 claves .....	31
4.8.2.	Desencriptación .....	32
4.8.3.	Algoritmo de encriptación 3DES .....	32
<b>5.</b>	<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA.....</b>	<b>33</b>
5.1.	Ventajas .....	33
5.2.	Desventajas .....	35
<b>6.</b>	<b>COMPARACIÓN DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA Y DE FORMAS TRADICIONALES .....</b>	<b>37</b>
6.1.	Tecnologías de banda ancha .....	37

6.1.1.	Línea de Abonado Digital Asimétrica ( <i>Asymmetric Digital Subscriber Line ADSL</i> ) .....	37
6.1.2.	Internet por el cable de TV (CATV) .....	38
6.1.3.	Internet por el aire (LMDS) .....	39
6.1.4.	Internet satelital (SAT).....	39
6.1.5.	Televisión Digital Terrestre (TDT).....	40
6.1.6.	Red Local sin Cables ( <i>Wireless LAN WLAN</i> ) .....	41
6.2.	Comparación de tecnologías de banda ancha con PLC.....	44
6.2.1.	Línea de Abonado Digital Asimétrica ( <i>Asymmetric Digital Subscriber Line ADSL</i> ) .....	44
6.2.2.	CATV.....	45
6.2.3.	LMDS .....	45
6.2.4.	SAT .....	46
6.2.5.	WLAN.....	47
<b>7.</b>	<b>EXPERIENCIAS DE EMPRESAS INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA .....</b>	<b>49</b>
7.1.	Iberdrola .....	49
7.2.	ENDESA.....	52
7.3.	RWE .....	53
7.4.	Union FENOSA .....	53
<b>8.</b>	<b>VIABILIDAD DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA EN GUATEMALA.....</b>	<b>55</b>
8.1.	Internet en Guatemala.....	55
8.2.	Sector eléctrico en Guatemala .....	56
8.2.1.	Entidades involucradas en el sector eléctrico en Guatemala .....	57
8.3.	Infraestructura eléctrica en Guatemala.....	58
8.4.	Regulación del espectro eléctrico en Guatemala .....	59
8.5.	Caso hipotético de despliegue de PLC.....	61

**CONCLUSIONES .....65**  
**RECOMENDACIONES .....67**  
**BIBLIOGRAFÍA.....69**

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Estructura jerárquica de la red eléctrica	5
2	Red Eléctrica y Ámbito del Internet	7
3	Sistema multiportadora OFDM	12
4	Conexión de acceso a Internet por la red eléctrica de baja tensión	15
5	Arquitectura de una red de distribución	16
6	Despliegue de la red de distribución	17
7	Instalación del MODEM PLC	20
8	MODEMs PLC	21
9	REPETIDOR PLC	22
10	Instalación de un Repetidor en un cuarto de contadores	23
11	Equipos de Cabecera ( <i>Head End</i> HEs)	25
12	Instalación de HE de Media Tensión	26
13	Proceso de encriptación, algoritmo DES	29
14	Espectro de frecuencias, utilizando <i>powermasking</i>	51
15	Retorno de inversión por usuario por transformador	64

## TABLAS

I	Cajas de sustitución del algoritmo de encriptación DES	31
II	Tecnologías de banda ancha	43
III	Tarifas mensuales de Iberdrola (año 2003)	50
IV	Tarifas mensuales de Endesa (año 2003)	52
V	Principales empresas eléctricas de Guatemala	57
VI	Transformadores por subestación	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Simbolo</b>	<b>Significado</b>
\$	Dólares
€	Euro
	Transformador
GHz	GigaHertz
MHz	Mega Hertz
Kbps	Kilobits por segundo
Mbps	Megabits por segundo
Km	Kilómetros
Kv	Kilovoltios



## GLOSARIO

<b>5-UP</b>	5-GHz <i>Unified Protocol</i> , Protocolo Unificado de 5 GHz permite la comunicación entre dispositivos, mediante un protocolo unificado a velocidades de hasta 108 Mbps.
<b>Acoplador</b>	Son unidades capacitivas e inductivas para bajo voltaje y medio voltaje y permiten inyectar la señal digital a la red eléctrica.
<b>Algoritmo</b>	Secuencia de pasos necesarios para llevar a cabo una tarea.
<b>ATM</b>	Modo de transferencia asincrónica. Protocolo para conexiones de alta velocidad que se utiliza con el fin de transportar muchos tipos de tráfico de red diferentes.
<b>Backbone</b>	Mecanismo de conectividad primario en un sistema distribuido. Todos los sistemas que tengan conexión al backbone (columna vertebral) pueden interconectarse entre sí, aunque también puedan hacerlo directamente o mediante redes alternativas.
<b>Banda ku</b>	Es una porción del espectro electromagnético en el rango de las microondas que va de los 12 a los 18 GHz., se usa principalmente en las comunicaciones satelitales. Esta banda se divide en diferentes

segmentos que cambian por regiones.

**Bucle de abonado** Último tramo de una línea de comunicación (línea telefónica o cable óptico) que da el servicio al usuario.

**Cable coaxial** Es un cable formado por dos conductores concéntricos. Un conductor exterior en forma de tubo o vaina, y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio o bien por un tubo, en caso de cables semirígidos, éste conductor exterior produce un efecto de blindaje y además sirve como retorno de las corrientes.

**Chip** Es un circuito integrado en la que se encuentran todos o casi todos los componentes electrónicos necesarios para realizar alguna función.

**Corriente alterna** Es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o ciclos.

**Domótica** Conjunto de sistemas automatizados de una vivienda que aportan servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, alambradas o inalámbricas.

**DSLAM** Es un multiplexor localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios ADSL sobre cable de par trenzado de cobre. El

dispositivo separa la voz y los datos de las líneas de abonado.

**DVB-T** *Digital Video Broadcast – Terrestrial*, video digital para difusión terrestre, es una técnica de retransmisión de video en formato digital de un punto a multipuntos.

**Electricidad** Es un fenómeno físico originado por cargas eléctricas (positivas o negativas) estáticas o en movimiento y por su interacción.

**Empalme** Es la unión de dos secciones de cable, enrollando las puntas de ambas y luego recubriéndolas con cinta aislante.

**EVDO** Es uno de los estándares de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de señales de radio, típicamente para acceso de banda ancha.

**Fibra óptica** Es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna. Normalmente la luz es emitida por un láser o un LED.

**Filtro** Es aquel que permite el paso de frecuencias bajas o altas.

<b>Frecuencia</b>	Es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en una unidad de tiempo.
<b>HiperLAN2</b>	La versión 2 de HiperLAN fue diseñada como una conexión inalámbrica rápida para muchos tipos de redes. HIPERLAN/2 usa la banda de 5 GHz y una velocidad de transmisión de hasta 54 Mbps.
<b>HombreRF2</b>	Estándar que se basa en el teléfono inalámbrico digital mejorado – <i>Digital Enhanced Cordless Telephone</i> , DECT– que es un equivalente al estándar de los teléfonos celulares GSM. Transporta voz y datos por separado
<b>IEEE</b>	<i>The Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.
<b>Inducción eléctrica</b>	Generación de una corriente eléctrica en un conductor en movimiento en el interior de un campo magnético.
<b>IP publico</b>	Dirección IP que es libremente enrutable en Internet y debidamente asignada por un Registro regional o un PSI al usuario del Elemento de Internet.
<b>ISP</b>	<i>(Internet Service Provider)</i> Proveedor de Servicio de Internet. Un proveedor de acceso a Internet usado para

la conectividad de un elemento de Internet.

<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i> o Red de área local. Es una red de ordenadores que se extiende en un área relativamente pequeña.
<b>Modulación</b>	Conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora permitiendo un mejor aprovechamiento del canal de comunicación.
<b>NMS</b>	<i>(Network Management Station)</i> Sistema de monitoreo y administración remoto de elementos de red.
<b>OVLAN</b>	<i>(Optimized VLAN)</i> VLAN optimizada, provee filtrado de paquetes que privan a los clientes de recibir paquetes que no les pertenecen.
<b>PCI</b>	<i>Peripheral Component Interconnect</i> o Conector de Componentes Periféricos, es una especificación desarrollada por Intel <i>Corporation</i> que define un sistema de bus local que permite la instalación de tarjetas de expansión compatibles con PCI en el equipo.
<b>Permutación</b>	Es un reordenamiento de una colección de objetos.
<b>Portadora</b>	Señal analógica o pulso que puede utilizarse para la transmisión de información a través de una línea de telecomunicación. La información se incorpora a la

portadora mediante modulación de frecuencia.

**Red de acceso** Es la red que permite al usuario acceder a los servicios de telecomunicaciones.

**Resistencia** Cualidad de un material de oponerse al paso de una corriente eléctrica.

**Set-top-box** Es el nombre con el que se conoce el dispositivo encargado de la recepción y decodificación de señal de televisión digital.

**Splitter** Es un dispositivo que divide la señal de teléfono en varias señales, cada una de ellas en una frecuencia distinta.

**Tensión** Potencial eléctrico de un cuerpo. Se mide en Volt (V) y también se le conoce como voltaje.

**Transformador** Se denomina transformador a un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna de forma tal que su producto permanezca constante (ya que la potencia que se entrega a la entrada de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, tiene que ser igual a la que se obtiene a la salida) manteniendo la frecuencia.

**Última milla** Vea bucle de abonado.



<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i> o Bus Serie Universal. Bus externo compatible con instalaciones <i>Plug and Play</i> . Con USB, puede conectar y desconectar dispositivos sin tener que cerrar o reiniciar el equipo.
<b>VLAN</b>	Red de Área Local Virtual. Agrupación lógica de <i>hosts</i> en una o varias redes de área local (LAN) que permite la comunicación entre <i>hosts</i> como si estuvieran en la misma LAN física.
<b>WIFI</b>	Acrónimo de <i>Wireless Fidelity</i> , un estándar de red inalámbrica 802.11. Una red Wi-Fi también se puede usar para permitir la conexión a una red de área local (LAN) mayor, una red de área extensa (WAN) o <i>Internet</i> .
<b>Wireless</b>	Tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico, sino se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión.



## RESUMEN

Internet por la red eléctrica parte del concepto de utilizar frecuencias muy altas para la transmisión de datos para distinguirlas de las frecuencias bajas que se utilizan para la corriente eléctrica y utilizando distintas técnicas de modulación de frecuencias para la interpretación de los datos.

La red eléctrica se compone de cables de alta, media y baja tensión, de los cuales los cables de media y baja tensión son los que se utilizan para la transferencia de datos, la señal de Internet usualmente se inyecta en las subestaciones eléctricas.

Esta tecnología puede alcanzar hasta los 200 Mbps de transmisión, también puede generar interferencias en otras frecuencias si el equipo no tiene una ubicación apropiada. Utilizar Internet por la red eléctrica o alguna otra tecnología dependerá de muchas variables.

Las compañías eléctricas europeas que han incursionado en la comercialización de Internet por la red eléctrica han experimentado múltiples inconvenientes pero últimamente se han organizado con el propósito de superar esos inconvenientes y para definir estándares.

En Guatemala existen leyes que regulan el uso del espectro radioeléctrico y la electricidad, hay varias empresas proveedoras de Internet utilizando diversas tecnologías pero ninguna utiliza la red eléctrica.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un análisis de la funcionalidad de Internet, a través de una red eléctrica comparada con una red tradicional.

## Específicos

1. Analizar los posibles fallos o deficiencias de Internet, a través de las redes eléctricas.
2. Conocer el equipo utilizado para proveer el acceso a Internet en las redes eléctricas.
3. Comparar Internet por la red eléctrica y por otros medios tradicionales.
4. Estudiar la viabilidad de Internet por la red eléctrica en Guatemala.
5. Obtener experiencias de algunas empresas que han comercializado Internet por la red eléctrica.



## INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación se busca descubrir cómo funciona, los elementos necesarios para el funcionamiento de Internet en la red eléctrica, características de los equipos utilizados, así como la arquitectura utilizada para el despliegue de la red. Se da un breve vistazo de cómo está conformada una red eléctrica, una descripción de sus elementos y se ilustra como se integra la red de Internet con la red eléctrica para la transferencia de datos.

La tecnología utilizada para el funcionamiento de Internet en la red eléctrica tiene un papel importante, así que se mencionan las aplicaciones que tiene esta tecnología.

Se dan a conocer las ventajas y desventajas que implican utilizar la red eléctrica como medio de transmisión de datos, y también se compara sus características y funcionamiento con otras tecnologías de acceso a Internet ya conocidas como ADSL, LMDS, CATV, etc.

Se citan algunos casos particulares de empresas que han incursionado en el negocio de Internet en la red eléctrica, así como los resultados que obtuvieron.

Por último, se citan las características de las empresas eléctricas en Guatemala, los aspectos legales que podrían regir la implantación de Internet en la red eléctrica en Guatemala.





## 1. HISTORIA

Las empresas eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes eléctricas para la lectura de contadores, esto no necesitaba de un gran ancho de banda, pero a partir de entonces se empezó a ver la posibilidad de utilizar la red eléctrica como un potencial medio de comunicación de banda ancha.

La red eléctrica sería el mejor de los medios, no para popularizar la conexión a Internet, sino para universalizarla. Existen muchos países y zonas del mundo en los que la línea telefónica todavía no ha llegado, sobre todo los países subdesarrollados, pero sí lo ha hecho la red eléctrica. Poder aprovechar la infraestructura eléctrica, que debe ser la más extensa que hay actualmente, sería dar un gran paso en la universalización del acceso a Internet.

En 1997, las compañías United Utilities de Canadá, y Northern Telecom de Inglaterra, presentaron al mercado una tecnología que podía conseguir que Internet fuera accesible desde la red eléctrica, el PLC (*Power Line Communications*).

Luego fueron los alemanes los que se unieron a la carrera por desarrollar la tecnología PLC. A finales de 1999 y principios del 2000 España ingresó también en esta tecnología a través de Endesa, una empresa eléctrica.

Alemania fue el primer país en ofrecer Internet en la red eléctrica comercialmente con la empresa RWE alcanzando en el 2001 a los 20,000 abonados. El 30 de septiembre de 2002, RWE de Alemania cesó sus servicios de PLC, dando como motivo problemas regulatorios no resueltos de utilización del espectro.

Con el surgimiento de Internet en la red eléctrica se han formado grupos de trabajo que fomentan el desarrollo y normalización de éste medio de comunicación.

En el año 2000 se creó el PLCforum que es una agrupación que vela por los intereses de las compañías eléctricas, fabricantes y desarrolladores involucrados en éste tema.

La *Universal Powerline Association* (UPA) cuyo objetivo es establecer estándares y normas regulatorias, ésta agrupación está integrada por los fabricantes de la tecnología PLC (*Power Line Communication*), se tratará con más detalle ésta tecnología en el capítulo 2.

En el 2002 con el esfuerzo de algunas compañías eléctricas se fundó la agrupación PLC *Utilities Alliance* (PUA) cuyo propósito es fomentar la cooperación entre las compañías eléctricas en el tema de Internet en la red eléctrica.

Éstas agrupaciones funcionan principalmente a nivel europeo, ya que son las empresas europeas las que han mostrado un mayor interés en utilizar la red eléctrica como medio de comunicación de banda ancha, sin embargo recientemente se han unido otras agrupaciones de América debido a la inversión que tienen las empresas europeas en la región.

En el año 2004, se impulsó el proyecto OPERA (*Open PLC European Research Alliance*), el cual está conformado por empresas eléctricas, operadores de telecomunicaciones, diseñadores de chips, fabricantes, proveedores de tecnología, compañías de ingeniería y consultoría y universidades. El objetivo es realizar investigaciones, desarrollo, demostraciones, estándares y llevar banda ancha por medio de los cables eléctricos a la población a un bajo costo.

El proyecto opera se dividió en dos fases la primera empezó en el año 2004 y finalizó en el 2006.

En el 2007, se dio inicio a la segunda fase del proyecto OPERA cuyo propósito es seguir perfeccionando la tecnología PLC y cuyos resultados serán presentados a finales del 2008.

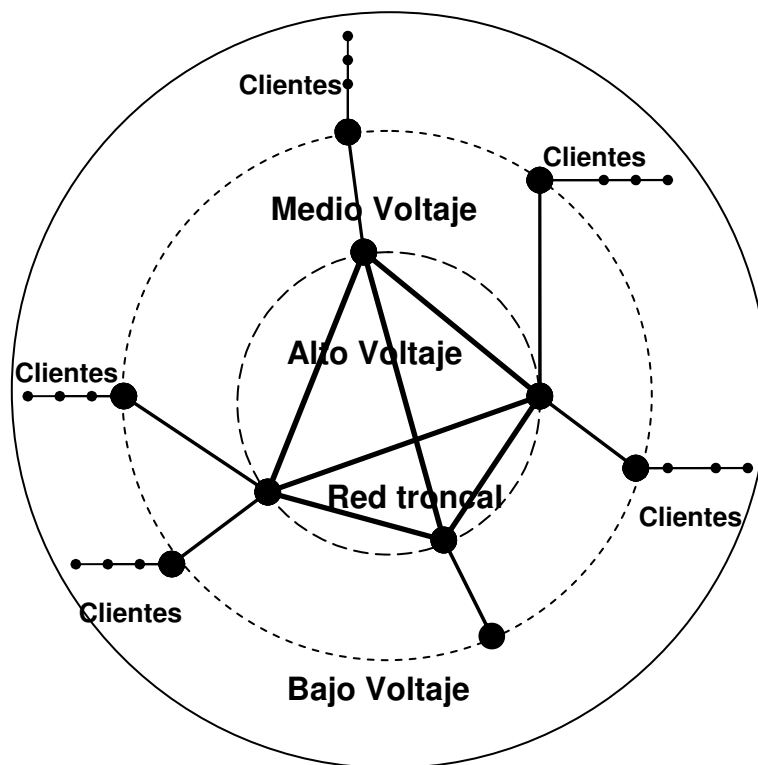


## 2. INFRAESTRUCTURA BASE

La red eléctrica como cualquier otra red fue creada para transportar y comunicar, en éste caso corriente eléctrica, la red eléctrica esta organizada jerárquicamente según su capacidad, esto se ilustra en la figura 1:

- La red troncal que se centra en las instalaciones de alta tensión y los centros de control.
- La red acceso que se utiliza para comunicar las redes de media y baja tensión.

Figura 1. Estructura jerárquica de la red eléctrica

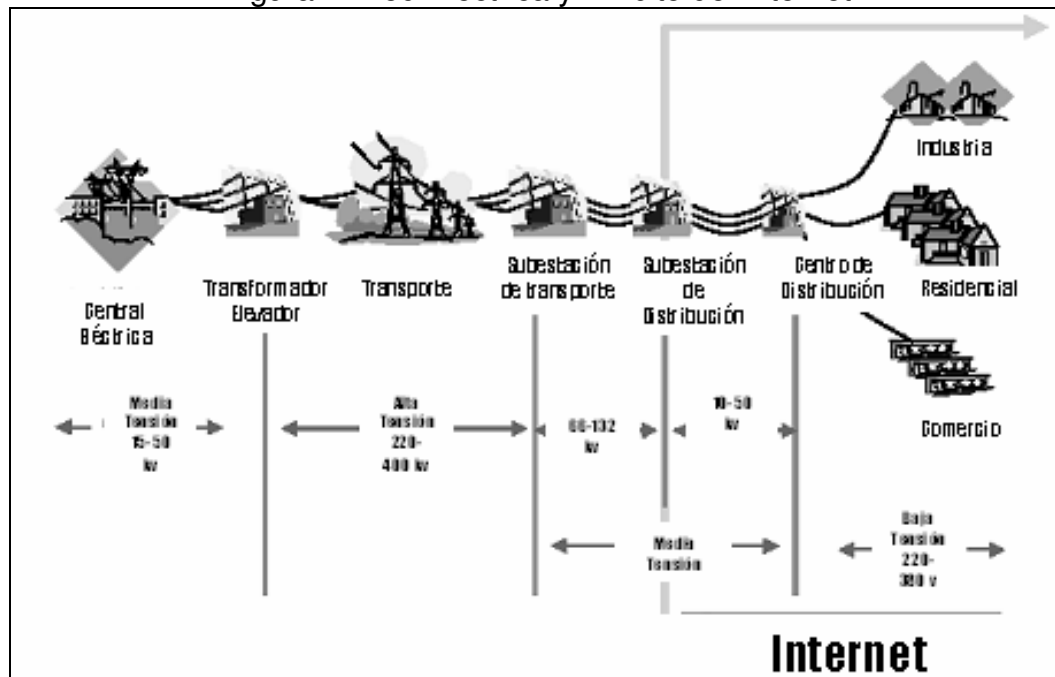


La red de alta tensión, con mayor capacidad, es la que alimenta a la red de media tensión que a la vez alimenta a la red de baja tensión.

Si vamos a más detalle la red eléctrica esta conformada por los siguientes elementos:

- La central eléctrica, donde se genera la energía.
- Los transformadores que elevan el voltaje de la energía eléctrica generada a las altas tensiones utilizadas en las líneas de transporte.
- Las líneas de transporte (formadas por cable de cobre, aluminio o acero recubierto de aluminio o cobre).
- Las subestaciones (transporte y distribución) donde la señal baja su voltaje para adecuarse a las líneas de distribución.
- Centro de distribución
- Las líneas de distribución (formadas por cable de cobre, aluminio o acero recubierto de aluminio o cobre).
- Los transformadores que bajan el voltaje para ser utilizado por los consumidores.

Figura 2. Red Eléctrica y Ámbito del Internet



Fuente: *Power Line Communications.*

<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

En la figura 1 está dividida la red eléctrica según su capacidad en red de alta, media y baja tensión, en la figura 2 se especifica con más detalle como están distribuidas, se llamará tramo a la sección que se encuentra separada por líneas verticales:

- Tramo de Media Tensión (entre 15 y 50 Kilovoltios) que abarca desde la central generadora de energía hasta el primer transformador elevador.
- Tramo de Transporte o de Alta Tensión (entre 220 y 400 Kilovoltios) que conduce la energía hasta la subestación de transporte.
- Tramo de Media Tensión (de 66 a 132 Kilovoltios) entre la subestación de transporte y la subestación de distribución.
- Tramo de Media Tensión (entre 10 y 50 Kilovoltios) desde la subestación de distribución hasta el centro de distribución, donde se distribuye Internet.

- Tramo de Baja Tensión (110, 220 ó 380 Voltios) que distribuye la energía dentro de los centros urbanos para uso doméstico, comercial e industrial, donde se le da acceso a Internet a los usuarios finales.



### **3. FUNCIONAMIENTO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

Para que la red eléctrica funcione como red de transmisión de datos se hizo necesaria la creación de una tecnología capaz de separar la corriente eléctrica de los datos transportados, y para lograr el acceso a Internet se ha integrado las redes eléctricas que transmiten datos a redes de gran capacidad que proveen acceso a Internet.

#### **3.1. Comunicación a través de la línea eléctrica (*Power Line Communication* PLC)**

Es la tecnología que permite la transmisión de voz y datos a través de la red eléctrica existente, en estados unidos también se conoce con el nombre de banda ancha sobre la línea eléctrica (*Broadband Power Line* BPL), en éste trabajo le diremos solamente PLC.

La red PLC está diseñada con una tecnología adecuada a los usos reales de Internet en la actualidad, consistentes en la navegación y el uso de aplicaciones que requieren altas velocidades con conexiones simétricas. El despliegue de esta tecnología se realiza sin necesidad de obras en el domicilio del cliente ni en la vía pública.

PLC basa su estructura de funcionamiento en la utilización de los cables eléctricos de media y baja tensión (el equivalente a la última milla o bucle de abonado en las redes telefónicas) dado que las redes de acceso son el componente más costoso de las redes de telecomunicaciones. Mientras que la energía eléctrica llega a los usuarios en forma de corriente alterna de baja frecuencia (50 ó 60 Hz), para PLC se utiliza alta frecuencia (1 - 34 MHz), también llamada onda corta para transportar datos, voz y video.

Las interferencias causadas por interruptores, equipos, etc., pueden superarse utilizando diversos mecanismos, siendo el primero de ellos el recurso de las posibilidades de ajuste espectral que la capacidad multiportadora del PLC ofrece (modulación OFDM vea en la siguiente pagina). La segunda opción es utilizar filtros que eliminen ruidos parásitos por toda la red y que aislen equipos problemáticos y protejan servicios que puedan ser interferidos pero a cambio habrá una disminución del ancho de banda disponible y de la velocidad alcanzable por el sistema.

### **3.2. Tipos de modulación de señal**

A continuación se da una breve descripción de los tipos de modulación utilizados en PLC.

### **3.2.1. Modulación de espectro ensanchado de secuencia directa (*Direct Sequence Spread Spectrum Modulation DSSSM*)**

Se caracteriza porque puede operar con baja densidad espectral de potencia. Se genera un patrón redundante para cada bit que se transmite, mientras mas largo sea, mayor será la probabilidad de que los datos originales se puedan recuperar en el receptor. Utiliza técnicas estadísticas para la recuperación de información.

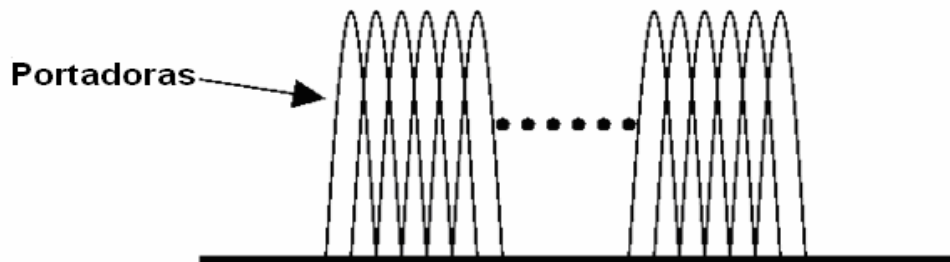
### **3.2.2. Multiplexación Ortogonal por división en Frecuencia (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM*)**

Este sistema multiportadora es eficiente y flexible para trabajar en un medio como la red eléctrica, ya que el rango espectral queda dividido en canales, cuyo ajuste permite que los equipos se adapten dinámicamente a las condiciones del medio, potenciando aquellas frecuencias donde el ruido es menor y anulando el uso de frecuencias donde el ruido es elevado.

El sistema monitorea de forma continua los canales en busca de ruido e interferencias que puedan causar una pérdida de datos, cuando se detecta interferencia en un canal, éste se cierra hasta que la interferencia se elimine.

La flexibilidad de este sistema facilita la posibilidad de reajustar el margen espectral de trabajo de los equipos para no interferir en otros servicios, a esto se le conoce como *Powermasking*.

Figura 3. Sistema multiportadora OFDM



En la figura anterior se puede apreciar como las portadoras quedan sobrepuestas haciendo más eficiente el uso de banda de frecuencias.

Es el más extendido de los tipos de modulación, utilizado también en estándares IEEE para redes de área metropolitana inalámbricas.

### **3.2.3. Modulación por Variación de Amplitud Gaussiana (GMSK *Gaussian Minimum Shift Keying*)**

Es una técnica de modulación binaria simple, que resulta de hacer una manipulación espectral a MSK. Dicha manipulación consiste en aplicar un prefiltrado gaussiano, reduciendo de esta forma los lóbulos secundarios que aparecen en el espectro de la señal MSK, y por lo tanto limitando el ancho espectral ocupado en la transmisión. Optimiza el uso del ancho de banda.

### **3.3. Características de PLC**

- Tecnología de banda ancha.
- Velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el cliente final.
- El enchufe eléctrico como entrada de alimentación de datos.
- No se necesitan obras ni cableado adicional.
- Transmisión simultánea de voz y datos.

- Conexión de datos permanente (activa las 24 horas del día).
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico sin ningún problema

### **3.4. Redes involucradas en Internet y telefonía por la red eléctrica**

El Internet en la red eléctrica no solo está conformado por el cableado eléctrico, también necesita de otras tecnologías de transmisión de banda ancha para proveer el servicio de Internet (Internet es una red mundial, las redes eléctricas en cambio están divididas por países o regiones sin interconexión), estas son las redes involucradas:

#### **3.4.1. Red de transporte**

Es la red IP tradicional o *Backbone*, la conexión aquí puede ser variada, por ejemplo puede hacerse mediante fibra óptica, satélite, o par de cobre (cable telefónico).

#### **3.4.2. Red de distribución**

Hay dos opciones una es utilizar la red de media tensión que comunica equipos especiales entre sí formando un anillo de distribución que transporta datos. Otra opción consiste en no utilizar la red eléctrica sino más bien fibra óptica o par trenzado de cobre, ambas posibilidades son viables.

#### **3.4.3. Red de acceso**

Es la red de baja tensión sustituyendo el bucle de abonado, es la que provee Internet directamente al usuario.

Hasta ahora el PLC a sido utilizado con dos propósitos, el primero es el acceso a Internet (*outdoor*), que se llama Internet en la red eléctrica, y la segunda es red de área local ó LAN (*indoor*), la primera comprende desde 1 hasta los 12 MHz y la segunda entre 13 y 34 MHz, dado que están en distintas frecuencias pueden coexistir juntas.

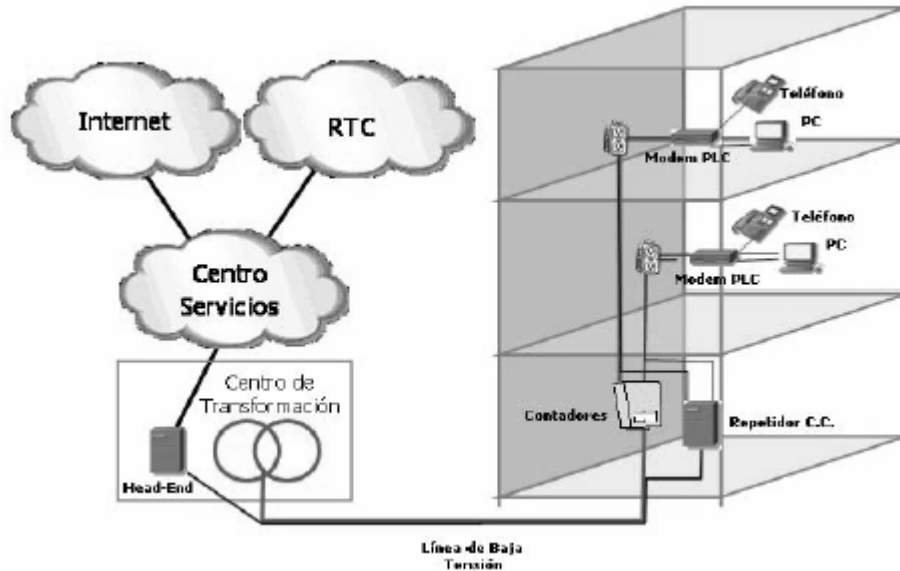
### **3.5. Acceso a Internet**

Utiliza las frecuencias comprendidas entre 1 y 12 MHz, que son, dentro del espectro PLC, aquellas con mejor respuesta a la distancia.

En el momento en que los usuarios se conectan a Internet a través de un enchufe de su domicilio, la información viaja por la red eléctrica hasta unos repetidores que amplifican la señal, y posteriormente la envían hasta los equipos de cabecera (*Head End*, véase el capítulo 4) situados en los centros de transformación, el equipo de cabecera se conecta a una red de transporte clásica de banda ancha como conexión con fibra óptica o por satélite, o bien se conecta con otro equipo de cabecera utilizando el cableado de media tensión hasta llegar a un equipo de cabecera donde se inyecta la señal de Internet de esta forma se aprovecha más el cableado eléctrico.

La siguiente figura muestra la conexión en un edificio para tener acceso a servicios mediante PLC, MODEM PLC (CPE, véase el capítulo 4). Los servicios ofrecidos dependen de la empresa proveedora y del contrato firmado por el usuario y puede ser Internet o telefonía (Red telefónica Conmutada RTC) o ambos.

Figura 4. Conexión de acceso a Internet por la red eléctrica de baja tensión



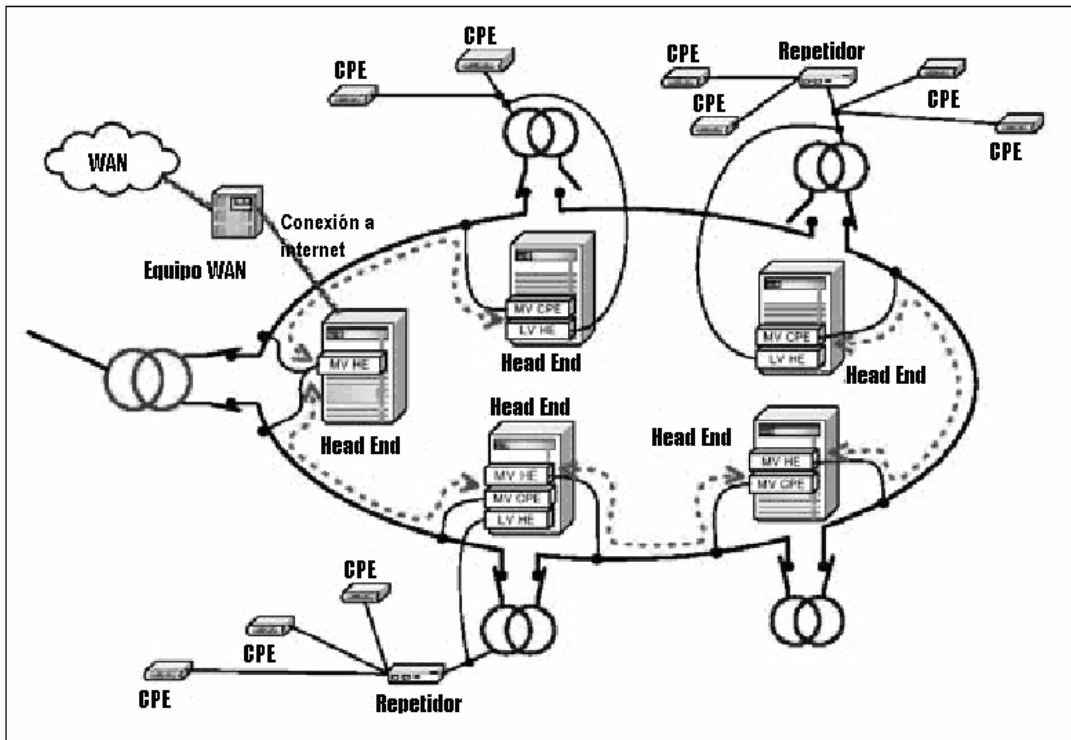
Fuente: *Power Line Communications*.

<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

En la figura anterior solo se utiliza el cableado de baja tensión para distribuir Internet, el equipo de cabecera es una versión de baja tensión conectado directamente con enlace de Internet.

Hasta ahora sólo han sido comercializados los servicios de Internet y telefonía, pero quedan abiertas muchas otras posibilidades como la televisión interactiva, transferencia de video en tiempo real, domótica, etc.

Figura 5. Arquitectura de una red de distribución



Fuente: *Power Line Communications*.

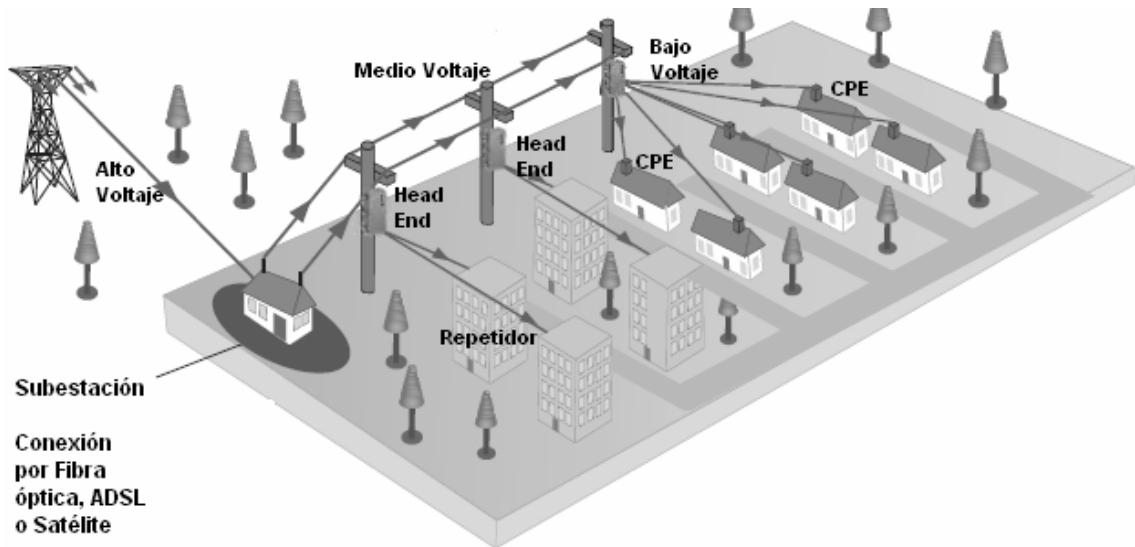
<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

En la anterior figura los equipos de cabecera (*Head End*) se conectan entre ellos a través de señales PLC en media tensión hasta llegar a una estación transformadora en el que se agrupan las señales de todos los clientes. Desde allí y mediante las redes de fibra óptica, satélite o cualquier otra tecnología se hace llegar la señal a Internet.

La siguiente figura muestra como se vería ésta arquitectura de distribución físicamente en una zona.



Figura 6. Despliegue de la red de distribución



Fuente: Medio/Bajo voltaje PLC.

<http://www.corinex.com> (26/12/2007)

Los repetidores suelen ubicarse principalmente en edificios ya que del cuarto de contadores a algunas habitaciones o pisos hay pérdida de señal y es necesario regenerarla.

Puesto que las señales de datos PLC no soportan una transformación de voltaje, los centros de transformación deben contar con equipos de cabecera (*Head End*). En la figura 5 se puede apreciar que los equipos de cabecera hacen un puente pasando el transformador y uniendo los cables de media tensión con los de baja tensión. Los dos círculos que se intersectan indican que hay un transformador.

La velocidad alcanzada entre equipos PLC actualmente es de 200 Mbps, pero el ancho de banda de Internet va a variar dependiendo del proveedor y del número de usuarios conectados.

La distancia entre equipos oscila entre los 300 metros para equipos de cabecera de baja tensión y los 2 kilómetros para media tensión sin necesidad de dispositivos intermedios regeneradores dependiendo del nivel de ruido, la calidad de los cables y del equipo utilizado. Cuando se superan esas distancias se utilizan repetidores (IR, *Intermediate Repeater*), para regenerar la señal y asegurar la calidad en el enlace PLC. Hay que tomar en cuenta que por cada transformador que pase la señal de Internet debe haber un equipo *Head End*.

### **3.6. PLC como Red de área Local**

En los domicilios las señales de baja frecuencia (50 o 60 Hz, en función de la red) son las encargadas de la transmisión de la energía, mientras que el PLC utiliza el rango espectral comprendido entre 13 MHz y 34 MHz (frecuencias con mejor respuesta frente al ruido) para transmitir datos, siendo transmitidas ambas simultáneamente a través del cable eléctrico. Típicas fuentes de ruido para la señal PLC en aplicaciones *indoor* son motores, fluorescentes, lámparas halógenas, interruptores, etc.

El PLC *indoor*, convierte la línea eléctrica en una red de área local y utiliza la infraestructura de conectividad ya existente, y con una instalación muy sencilla puede convertirse cualquier tomacorrientes en un puerto de datos.

Hay varios posibles dispositivos que pueden servir para comunicar los modems PLC, un equipo de cabecera de baja tensión, un repetidor o un router PLC, por cada computadora que se desea conectar a la red debe haber un modem PLC.

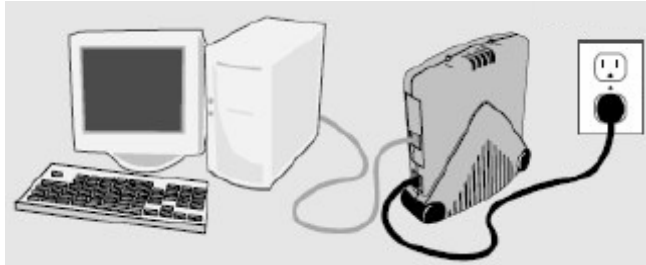
## **4. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

Siempre que se usa una nueva tecnología existen ciertos requisitos necesarios para poder utilizarla, el caso de PLC no es una excepción, esta tecnología requiere un equipamiento tanto en las subestaciones eléctricas (dependiendo de la configuración), la red eléctrica pública y la computadora del usuario a esto se le conoce como red eléctrica acondicionada para altas frecuencias (*High Frequency Conditioned Power Network HFCPN*).

### **4.1. Modem PLC (Equipamiento de usuario, *Customer Premise Equipment CPE*)**

El MODEM PLC es el dispositivo que sirve para la comunicación entre la computadora y la red, para un usuario de Internet en la red eléctrica éste es el único dispositivo que necesita para la conexión de Internet, algo que resulta ser bastante conveniente para el usuario sobre todo porque el MODEM lo provee la empresa que presta el servicio. Quizá el inconveniente más grande para el usuario es que es necesario un módem PLC por cada conexión particular (doméstico o empresa).

Figura 7. Instalación del MODEM PLC



Fuente: Java PLC-14 *Powerline Ethernet Bridge*.

[http://www.jabanetworks.us/Jaba\\_PLC\\_14\\_Spec\\_Sheet.pdf](http://www.jabanetworks.us/Jaba_PLC_14_Spec_Sheet.pdf) (10/11/2005)

Como se muestra en la figura anterior el MODEM PLC tiene un enchufe que puede ser conectado a cualquier tomacorrientes, en el otro extremo hay un espacio para introducir un cable de red, lo que se conoce como interfaz RJ-45 hembra, también incluye un puerto USB como alternativa, estas interfaces son las que permiten la comunicación con la computadora, ya que las computadoras personales utilizan las tarjetas de red o módems y ahora puertos USB para conectarse a la red.

El MODEM PLC es capaz de separar las señales de baja frecuencia utilizados para la transmisión de la corriente eléctrica, de la señal de alta frecuencia utilizada para la transferencia de datos.

#### Características del MODEM PLC

- Conexiones para cable de red, USB y teléfono.
- Su tamaño es similar a un MODEM de ADSL.

En las siguientes figuras se pueden apreciar distintos modelos de modems PLC.

Figura 8. MODEMS PLC



Fuente: Adaptado<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Java PLC-14 *Powerline Ethernet Bridge*.  
[http://www.jabanetworks.us/Jaba\\_PLC\\_14\\_Spec\\_Sheet.pdf](http://www.jabanetworks.us/Jaba_PLC_14_Spec_Sheet.pdf) (10/11/2005) y *Power Line Communications*. <http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

## 4.2. Repetidores PLC

El repetidor PLC es el dispositivo al cual se conectan los usuarios a través del MODEM PLC, vea la figura 9. El repetidor PLC también tiene la función de regenerar la señal en distancias muy grandes. Estos repetidores se ubican en un punto intermedio en el caso de residencias o casas dispersas o en los cuartos de contadores de los edificios.

Figura 9. REPETIDOR PLC

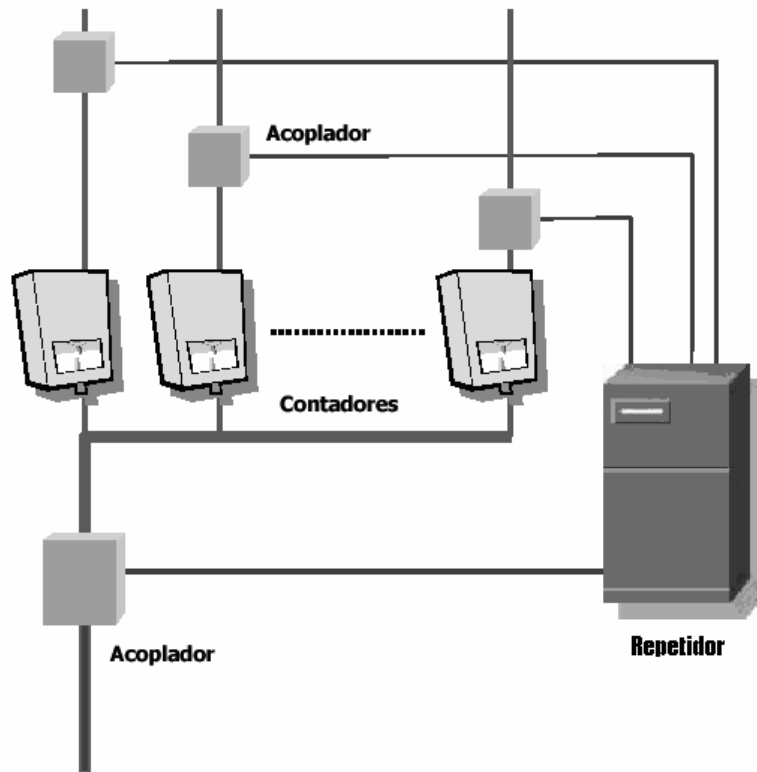


Fuente: *Power Line Communications*.

<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

La siguiente figura muestra como se hace la instalación del repetidor en el cuarto de contadores de un edificio:

Figura 10. Instalación de un Repetidor en un cuarto de contadores



Fuente: *Power Line Communications*.

<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)

El acoplador general que es el que se encuentra en la parte inferior de la figura 10, es el encargado de separar la señal de alta frecuencia y pasarla hacia el repetidor, el repetidor se encarga de regenerarla y distribuirla hacia las líneas donde están instalados los modems PLC.

Los acopladores que están en la parte superior de la figura 10, separan la señal de alta frecuencia proveniente del MODEM PLC del usuario y la mandan hacia el repetidor que reúne las señales PLC, las regenera y las envía hacia el equipo de cabecera (*Head End*).

### **4.3. Equipo de cabecera en los centros de transformación**

El equipo en los centros de transformación o transformadores de la compañía eléctrica es a donde el repetidor se conecta, éste equipo también es conocido como equipo de cabecera o *Head End* (HE).

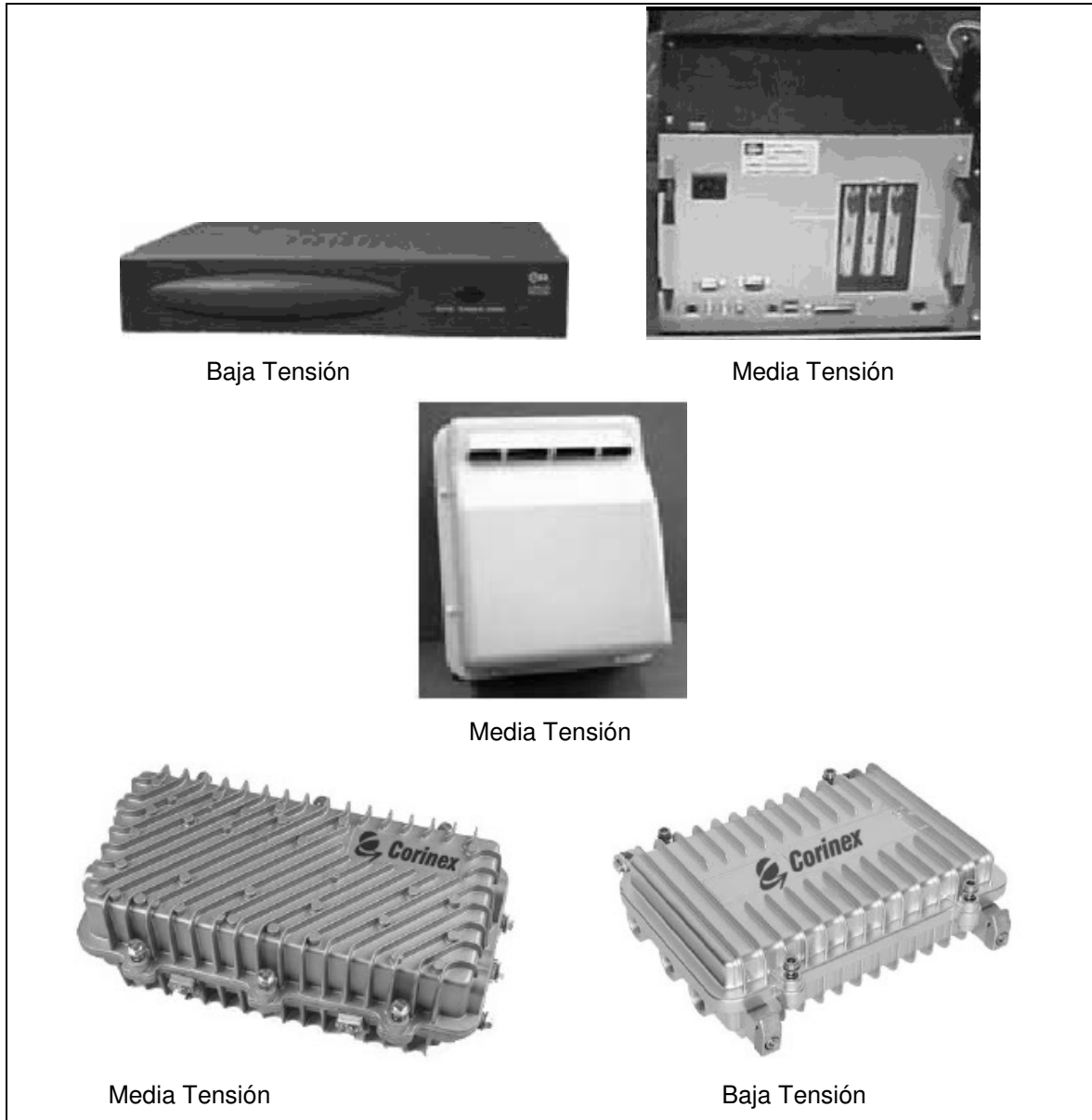
Características de los *Head End*:

- Hay dos configuraciones, de media tensión (MT) y de baja tensión (BT).
- Distancias máximas 2km en media tensión y 300mt en baja tensión.
- Instalados en los centros de transformación (transformadores) de la compañía eléctrica.
- Puede integrarse distintos tipos de interfaces dependiendo de la configuración de la red, por ejemplo interfaces para medio voltaje, bajo voltaje o interfaces ethernet.

En la figura 11 se pueden apreciar distintos modelos de HEs.



Figura 11. Equipos de Cabecera (*Head End* HEs)

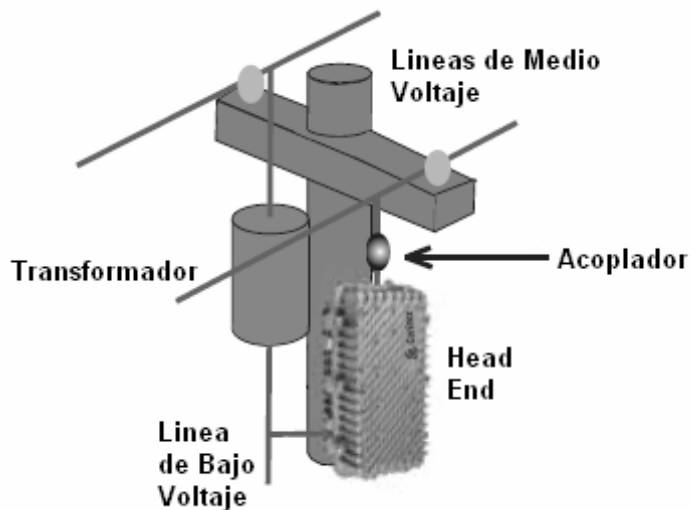


Fuente: Adaptado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Corinex Medium/Low Voltage Access Gateway/Regenerator. <http://www.corinex.com>, (23/08/2005), Power Line Communications. <http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005) e Internet por red eléctrica (PLC) <http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=7> (04/03/2006)

El tramo que va desde el centro de transformación de la compañía eléctrica hasta el usuario cubre lo que denomina última milla. Cada *Head End* puede tener una entrada ethernet que es la que da acceso a la red de telecomunicaciones que provee el servicio de Internet o bien puede interconectarse con otros *Head End*.

Figura 12. Instalación de HE de Media Tensión



Fuente: *Corinex BPL Access Pilot Program (BAPP)*.

<http://www.corinex.com> (15/11/2007)

En la figura anterior se muestra la instalación de un HE que se comunica con otros HEs utilizando los cables de media tensión, la instalación de un HE que no se comunica con otros HEs, es decir que no utiliza los cables de media tensión, es similar pero no tiene un acoplador sino el enlace directo por ADSL o fibra óptica.

#### **4.4. Tarjeta de red o puertos USB**

Es indispensable que el usuario cuente con una tarjeta de red o puertos USB en su computadora ya que de lo contrario deberá contar con al menos un espacio libre PCI para conectar una tarjeta de red, la cual no es incluida por el proveedor del servicio de Internet.

Además del equipo también se necesita:

#### **4.5. IP otorgado por la empresa proveedora**

El IP público es otorgado por la empresa proveedora del servicio de Internet y le va a servir al usuario para conectarse a Internet.

#### **4.6. El cableado eléctrico en el domicilio**

Cualquier enchufe de la vivienda u oficina puede ser utilizado aunque depende mucho de la calidad del cable, de los empalmes e incluso de la sección del cable. A mayor sección, mayor inducción y transmisión de la señal.

#### **4.7. Características de los Productos PLC**

La mayoría de productos PLC como modems, HEs y repetidores tienen como base los chips desarrollado por la compañía española DS2, ésta es una de las compañías que ha estado a la vanguardia en el desarrollo de la tecnología PLC.

Actualmente la mayoría de equipos PLC soportan:

- Modulación de frecuencias OFDM
- VLAN y OVLAN
- Filtrado de MACs
- Numero de portadoras programable (1280 canales portadores)
- Definición del rango de frecuencias (1 – 34 MHz)
- Sistema de administración de redes NMS
- Encriptación DES y 3DES

#### **4.8. Seguridad en PLC**

A diferencia de las redes inalámbricas donde la señal puede ser captada por cualquiera que se encuentre en el área de alcance, las redes alambradas necesitan de una estructura física para entrar a la red, en el caso de PLC se necesita de modems para capturar la señal.

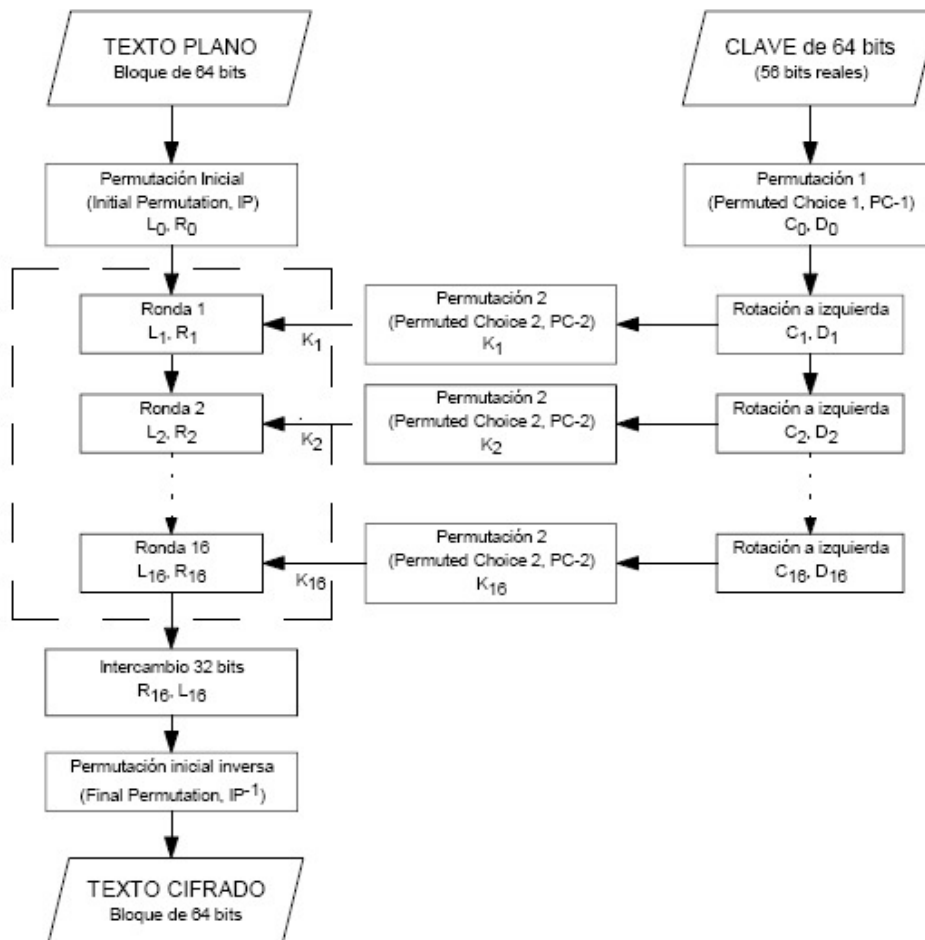
Los chips DS2 utilizan la encriptación DES y 3DES para la transferencia de los datos, estos algoritmos DES y 3DES fueron diseñados para transferir datos a nivel de capa física aunque también puede ser implementados en software.

A continuación se da un descripción del algoritmo de encriptación DES de 64 bits.

#### 4.8.1. Estándar de Cifrado de Datos DES(*Data Encryption Standard*)

Es un algoritmo de clave simétrica desarrollado por IBM, básicamente se divide en dos fases, la primera consiste en procesar la clave y la segunda en procesar un bloque de datos de 64 bits, vea la siguiente figura.

Figura 13. Proceso de encriptación, algoritmo DES



Fuente: Descripción del algoritmo DES (*Data Encryption Standard*)

<http://www.tierradelazaro.com/public/libros/des.pdf> (07/12/1999)

#### **4.8.1.1. Procesar la clave**

1. A partir de una clave de 8 bytes (64 bits) se elimina el bit menos significativo de cada byte.
2. Se realizan una serie de permutaciones de la clave original de 8 bytes en base a una tabla ya definida que da como resultado una clave de 7 bytes (56 bits).
3. La clave de 7 bytes (56 bits) se divide a la mitad (28 bits) C0 los más significativos y D0 los menos significativos.
4. Ahora se calculan 16 claves rotando n bits de C0 y C1 hacia la izquierda, donde n depende de la ronda (1 a 16), en cada ronda se concatenan C0 y C1 y se les aplica una permutación en base a una tabla que da como resultado una clave de 48 bits a la que se le llama K(i).

#### **4.8.1.2. Procesar el bloque de 64 bits**

1. Para empezar el bloque de datos debe tener 64 bits, si no es así entonces debe ser completado.
2. Se le aplica una permutación en base a una tabla ya definida y luego se divide por la mitad dando L0 los bits más significativos y R0 los menos significativos.

#### 4.8.1.2.1. Aplicar las 16 claves

1. Se expande R0 de 32 a 48 bits en base a una tabla ya definida y se le aplica una or exclusiva con  $K(i)$ , éste resultado se divide en 8 bloques de 6 bits y a continuación se sustituye cada bloque por los valores establecidos en las tablas de sustitución que ya se encuentran definidas, esto se realiza de la siguiente forma:

Tabla I. Cajas de sustitución del algoritmo de encriptación DES

Fila	Columna			S - caja
	0	...	15	
0	14		7	S1
1	0		8	
2	4		0	
3	15		13	
...				...
0	13		7	S8
1	1		2	
2	7		8	
3	2		11	

Fuente: *The DES Algorithm Illustrated*.

<http://www.aci.net/kalliste/des.htm> (27/11/2007)

2. Como se muestra en la tabla anterior son 8 bloques de 6 bits, para cada bloque hay definida una caja de sustitución que no es mas que un grupo de 4 bits de longitud.
3. De cada bloque se toma los bits 1 y 6 para formar un número de 2 bits que nos indica el número de fila correspondiente en decimal.
4. De los bits del 2 al 6 se forma un número de 4 bits que indica la columna en decimal.

5. El valor ubicado en la tabla de sustitución se sustituye por el bloque de seis bits correspondiente, pero ahora solo habrá cuatro bits significativos. Por ejemplo,  $S=1$ ,  $Fila=0$  y  $Columna=0$  tiene el número 14 que en binario es 1110.
6. Los bloques se concatenan para formar uno de 32 bits y se permutan en base a una tabla definida y luego se les aplica una or exclusiva con  $L(i)$ ,  $L(i)=L0$ .
7. Por último se concatenan los bloques  $R(16)$  y  $L(16)$  y se realiza una última permutación en base a una tabla ya definida.

#### **4.8.2. Descriptación**

Se usa el mismo proceso pero se aplican las claves en orden inverso, es decir que se empieza aplicando  $K(16)$  y se termina con  $K(1)$ .

#### **4.8.3. Algoritmo de encriptación 3DES**

Consiste en aplicar tres veces el algoritmo de encriptación DES con la misma clave o con claves distintas con el propósito de hacerlo más robusto pero a cambio es un poco más lento.



## **5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

### **5.1. Ventajas**

- **Emplea la infraestructura eléctrica existente, tanto en las calles como en los hogares (no requiere cableado adicional)**

Es bien sabido que la red eléctrica es una de las más extensas en todo el mundo, la electricidad es algo indispensable para el hombre en la era moderna. Una gran inversión ya fue hecha en la red eléctrica así que aprovechar esa inversión para transferir datos a gran velocidad, voz e incluso televisión por cable implica grandes oportunidades de negocio para las empresas eléctricas.

- **Las velocidades de transmisión pueden alcanzar hasta los 200 Mbps**

La tecnología PLC permite transferir datos a grandes velocidades, pero hay que tomar en cuenta la calidad del cable del tendido eléctrico, y las distancias finales, sin embargo será la empresa proveedora del servicio quien defina el ancho de banda que va a comercializar. Además estos 200 Mbps son compartidos entre los usuarios conectados por la misma línea.

- **Instalación rápida**

La instalación es tan sencilla como conectar el MODEM PLC al tomacorrientes y a la computadora, siempre y cuando el usuario se encuentre en un área donde se provea el servicio, además inicialmente el usuario no realiza la instalación sino que lo hace la empresa proveedora.

- **No interfiere con la línea telefónica ni el suministro eléctrico**

Puesto que la frecuencia utilizada para transferir datos es diferente a la que normalmente se usa para el suministro de energía eléctrica no existen problemas de interferencias ya que el MODEM PLC solo capta la frecuencia para transmitir voz, datos (imágenes, video, archivos, etc.).

- **Coste competitivo en relación con tecnologías alternativas**

En el caso de los países que han utilizado esta tecnología los precios de promoción fueron similares a los de otras tecnologías con la diferencia que se ofrecía un poco más de velocidad.

- **Suministra múltiples servicios con la misma plataforma tecnológica IP, así un sólo módem permite acceso a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, etc.**

Dada la gran capacidad de transmisión de datos que se obtuvieron en las fases experimentales surgió la posibilidad de prestar otros servicios que requieren respuestas casi instantáneas como las mencionadas en este inciso.

- **Conexión permanente**

Una vez se contrata el servicio, la conexión a Internet es ininterrumpida, con tarifas mensuales planas, aunque depende del proveedor.

## **5.2. Desventajas**

- **El cable eléctrico es una línea metálica recubierta de un aislante. Esto genera a su alrededor unas ondas electromagnéticas que pueden interferir en las frecuencias de ondas de radio**

Existen opiniones encontradas respecto a éste tema ya que los proveedores de Internet que utilizan PLC (como Iberdrola en España) aseguran que las interferencias son mínimas y que esto no afecta a ninguna frecuencia. Mientras que la asociación de radioaficionados en España asegura que ésta tecnología produce muchas interferencias en distintas frecuencias y que hace imposible la comunicación por éste medio en zonas específicas donde se encuentra instalada la tecnología PLC.

Según el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) en España, cuya versión actual fue aprobada por orden ministerial CTE/2082/2003, de 16 de julio del 2002 dice “las frecuencias habituales de trabajo del PLC coinciden con aquella parte del espectro asignado a otros servicios de radiocomunicación y radiodifusión, como son los Servicios de Emergencias, Protección Civil, Radioaficionados, comunicaciones aeronáuticas y marítimas, etc”. (Vea la solución propuesta por Iberdrola en el capítulo 7).

En Alemania se cancelo el uso de esta tecnología precisamente porque no cumplía con las regulaciones establecidas en ese país sobre el espectro eléctrico.

- **Si la red eléctrica o la instalación eléctrica en el domicilio del cliente se encuentra en mal estado esta tecnología no puede ser utilizada**

Si la instalación eléctrica es muy antigua o fue mal hecha el funcionamiento puede ser insatisfactorio. Las empresas proveedoras se ven en la necesidad de realizar pruebas durante la instalación en la casa del usuario para verificar el estado de la instalación eléctrica domestica y el estado de la computadora. Las pruebas realizadas en la instalación eléctrica simplemente consisten en probar cada uno de los tomacorrientes para verificar la calidad de transmisión.

- **Requiere instalación de repetidores para regenerar la señal**

Debido a la atenuación de la señal, se deben colocar repetidores para regenerar la señal y garantizar que llegue intacta a su destino. La distancia a la que deben ser colocados depende del tipo de repetidor que se utilice, por ejemplo un repetidor instalado en el cuarto de contadores de un edificio puede tener un alcance de 100 mts debido a que no cubre grandes distancias, los equipos de cabecera (HE) de baja tensión o media tensión también pueden utilizarse como repetidores y tiene un alcance de 300 mts y 2 kms respectivamente.

## **6. COMPARACIÓN DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA Y DE FORMAS TRADICIONALES**

### **6.1. Tecnologías de banda ancha**

A continuación se da una breve descripción de las tecnologías de banda ancha utilizados en la actualidad para el acceso a Internet además del PLC descrito en el capítulo 3.

#### **6.1.1. Línea de Abonado Digital Asimétrica (*Asymmetric Digital Subscriber Line ADSL*)**

El ADSL es una tecnología que surgió en el año 1989 desarrollado por *Bell Communications Research* (Bellcore) que permite la utilización de la red telefónica, que utiliza alambre de cobre, para la transmisión de datos de banda ancha.

El ADSL lo que hace es utilizar frecuencias superiores a la de transmisión de voz por medio de el MODEM del usuario y equipo ubicado en la central telefónica que separa los datos de la de voz.

Cada una de las señales ADSL de los usuarios pasan por un filtro y posteriormente se concentran por medio de un multiplexor llamados DSLAM para se transportadas por una red ATM (modo de transferencia asíncrono, *Asynchronuos Transfer Mode*).

Algo importante que debe tomar en cuenta un usuario que quiere contratar este servicio es que a mayor distancia entre el emisor y receptor, menor es el ancho de banda. Por lo regular las velocidades ofrecidas a los usuarios son de 256 kbps, 512 kbps, 2 Mbps con conexión permanente y tarifa plana. Previo de la instalación del servicio el proveedor debe realizar pruebas de calidad de línea si el usuario se encuentra a menos de 3 km de la central de conmutación, una vez superadas estas pruebas se realiza la instalación.

### **6.1.2. Internet por el cable de TV (CATV)**

Aunque inicialmente el cable de TV se desplegaba como una topología de árbol que tenía muchos problemas porque los que se encontraban más retirados de la raíz o fuente recibían una muy mala señal, hoy en día esto ha cambiado y se utiliza una topología de anillo junto a una topología de estrella.

Hay un anillo principal llamado red troncal constituido por dos líneas de fibra óptica que tienen nodos principales llamados nodos ópticos que a su vez sirven de enlace con otros anillos secundarios también de fibra óptica. Los anillos secundarios tienen nodos llamados nodos ópticos – eléctricos que son los que se conectan con el anillo final, que es el que se conecta con la red coaxial, cada nodo del anillo final es capaz de atender 500 hogares, un anillo secundario puede atender a 20,000 hogares y el anillo primario 40,000 hogares.

Este medio de comunicación sería uno de los más ideales para la transmisión de información, pero debido a que existen varias restricciones legales para el despliegue de las redes porque se trata de un medio de telecomunicación se hace difícil la popularización de Internet por este medio, además de tener un elevado costo.

Los precios varían según la velocidad de transmisión o la capacidad por lo regular se ofrecen velocidades de 256 kbps, 512 kbps, 1024 kbps y hasta 4096 kbps, en el precio de instalación también se cobra el MODEM, éste MODEM-CABLE varía de los otros en que éste se conecta a través de una red óptica a un pool de modems que residen en el ISP.

### **6.1.3. Internet por el aire (LMDS)**

LMDS significa *Local Multipoint Distribution System*, sistema de distribución de punto a multipunto local.

LMDS utiliza la tecnología de transmisión vía radio para el despliegue de la ultima milla, y fibra óptica para la red troncal.

La frecuencia utilizada para la transmisión es muy alta, esto hace que el alcance sea menor, además no debe existir ningún tipo de obstáculo entre una antena receptora de la señal y la antena base que emite la señal.

Es necesario equipar con antenas la áreas donde se va a prestar el servicio de Internet, esto equivale a un costo bastante bajo pero la cobertura no es muy amplia, las instalaciones se realizan en regiones densamente pobladas, ésta es una de las tecnologías que para el usuario resulta ser más cómodo y práctico.

### **6.1.4. Internet satelital (SAT)**

Esta es una de las tecnologías más novedosas pero también es una de las más costosas, consiste en utilizar los satélites que orbitan sobre la tierra para transmitir información.

Un usuario que requiere éste servicio necesita una antena parabólica, un decodificador y una tarjeta de recepción de PC.

Hay dos formas de acceder a Internet vía satélite una es que los sitios más visitados son colocados vía satélite y el usuario los descarga pero no puede hacer peticiones si lo que busca no está en ese momento. La otra forma es que el usuario utilice el satélite únicamente como medio de descarga y las peticiones las realice a través de un medio convencional como vía telefónica. Últimamente ya es posible también hacer peticiones vía satélite con el lanzamiento de un satélite (ASTRA-1H) con ése propósito.

Sin duda una de las mayores ventajas es que se tiene una cobertura total, prácticamente se puede llegar a cualquier parte de la tierra, de hecho se utilizan los satélites como alternativa a los cables submarinos utilizados para conectar las redes entre continentes (*Backbone*).

#### **6.1.5. Televisión Digital Terrestre (TDT)**

Con la introducción de la televisión digital en lugar de analógica se abrió las puertas a la posibilidad de introducir Internet por éste medio, ya que su capacidad puede ser 4 o hasta 7 veces superior a los canales analógicos.

Para la recepción el usuario sólo necesita de la antena receptora normal de una TV y para realizar peticiones necesita de una línea telefónica, llegando a obtener un ancho de banda para datos de hasta 4 Mbps, la cual es compartida entre las conexiones simultaneas.



Si el usuario quiere conectarse a Internet por medio de la PC necesita de una tarjeta receptora DVB-T que se conecta al cable de la antena. Existen algunas limitaciones cuando el usuario se conecta a Internet a través de la televisión y es que no es posible ver todo el contenido de las páginas web y no se puede almacenar información.

Hay que mencionar que para poder usar esta tecnología debe existir la infraestructura necesaria para transmitir señales digitales, lo que para los proveedores significa cambiar los emisores analógicos a digitales.

#### **6.1.6. Red Local sin Cables (*Wireless LAN WLAN*)**

Utilizan ondas electromagnéticas de radio o infrarrojos para transmitir de un punto a otro sin la necesidad de ningún medio físico, WLAN al contrario que el LMDS se diseñó para prestar cobertura a distancias cortas (entre 30 y 300 mts) pero a gran velocidad.

Este tipo de redes son complementarias a las de ADSL o cable, su propósito principal es de dar un acceso sencillo a Internet en un área específica. Equipos móviles como las *laptops* que poseen una antena *wireless* y se encuentran dentro del área que cubre la señal *wireless* (vía radio) pueden acceder a Internet de una forma fácil.

Existen varios estándares el 802.11a, 802.11b (WIFI), 802.11g, HomeRF2, HiperLAN2 y 5-UP que utilizan las frecuencias de 5 GHz y 2.4 GHz, hay que recordar que a mayor frecuencia mayor velocidad de transmisión pero menor alcance y a menor frecuencia menor velocidad pero mayor alcance.

Pequeñas antenas emisoras – receptoras de señales de radio conocidas como puntos de acceso son las que permiten el acceso a Internet, los puntos de acceso van conectados a una red física como por ejemplo ADSL o cable que son los que realmente dan la conexión a Internet, aunque las velocidades de transmisión sean altas depende mucho de la velocidad que proporcione el ISP por cable, ADSL o algún otro medio.

Tabla II. Tecnologías de banda ancha

Tipo de Acceso	Velocidades Máximas en Acceso a Internet	Espectro radio-eléctrico	Canal de Retorno	Equipos necesarios (para el usuario)	Despliegue
ADSL	Canal descendente: 2Mbps, canal ascendente: 300Kbps	4KHz – 2.2Mz	El mismo medio.	Módem ADSL, Splitter o filtro en el domicilio.	Fácil despliegue, adaptando las centrales.
CABLE	Canal descendente:27Mbps, canal ascendente:10Mbps	5 - 55Mz	El mismo medio.	Módem-cable, equipo telefónico, Set-top-box.	Complejidad en permisos. Requiere obras menores
R.Eléctrica	Hasta los 2,5Mbps	1 – 12 MHz	El mismo medio	Módem Power-line	Fácil despliegue, adaptando la red eléctrica.
LMDS	Canal descendente:4Mbps, canal ascendente:4Mbps	28 GHz	El mismo medio.	Elemento exterior (Antena), elemento interior (multiplexor)	Alta complejidad en obtención de permisos.
Satélite	Canal descendente:8Mbps, canal ascendente:2Mbps	29.5 – 30 GHz	Telefónico ó vía satélite	Antena, Set-top-box, módem o transmisor (retorno).	Una vez operativo, facilidad en incorporar usuarios.
TDT	Canal descendente:3Mbps, canal ascendente: módem RTC		Requiere un canal Telefónico.	Antena de TV tradicional, Set-top-box, o módem telefónico (retorno).	Misma infraestructura que TV convencional existente, No requiere obras en interior del edificio.
WLAN	Canal ascendente y descendente: 11 Mbps	2.4 – 5 GHz	El mismo medio radio	Tarjeta Adaptadora Inalámbrica.	Fácil despliegue, colocando puntos de acceso

## **6.2. Comparación de tecnologías de banda ancha con PLC**

En la tabla I se pueden notar las características mas importantes de cada una de las tecnologías descritas anteriormente, a continuación se compara cada una de esas tecnologías con Internet por la red eléctrica (PLC).

### **6.2.1. Línea de Abonado Digital Asimétrica (*Asymmetric Digital Subscriber Line ADSL*)**

ADSL y PLC tienen varias similitudes entre ellas está que utilizan una red ya instalada y que utilizan equipos que son capaces de interpretar información transmitida a frecuencia distinta a la que fueron diseñadas dichas redes inicialmente.

En ADSL el usuario tiene una conexión individual hasta la central ya que el par de cobre no lo comparte con nadie. Todas las conexiones ADSL son reunidas por un multiplexor ATM y salen por el mismo enlace hasta el siguiente tramo de red. En este punto concreto la empresa proveedora del servicio decide cuantos ADSLs meter por Mbit/s de salida de que dispone (entre 6 y 8 conexiones ADSL).

En el caso de PLC esta concentración ocurre antes, en el equipo repetidor o HE concretamente.

Al final, el usuario dispone de un ancho de banda de salida a Internet mínimo determinado por la concentración (número de conexiones que se juntan por Mbit/s de salida) y la velocidad máxima está determinada por la cantidad de usuarios que en el mismo momento estén usando su conexión ADSL, teniendo en cuenta que la máxima velocidad teórica sea de 256 Kbps o 2 Mbps. En PLC ocurre lo mismo, si 100 usuarios de un mismo equipo repetidor están conectados, la velocidad máxima teórica de bajada es de 270 Kbps.

### **6.2.2. CATV**

Una de las principales diferencias es que para la instalación de CATV es necesario realizar un cableado completo entre el nodo proveedor de cable y la casa del usuario, mientras que PLC ya tiene instalada la red. Una ventaja importante del PLC sobre el CATV es que posee una mayor cobertura potencial, y una ventaja que tiene el CATV sobre el PLC es que el medio físico o cable utilizado para transportar la señal es más apta que el cable eléctrico. Una de las dificultades que presenta CATV es la instalación en la casa del usuario final, ya que es necesario llevar el cable hasta la PC todo lo contrario del PLC ya que esta es una de sus versatilidades.

### **6.2.3. LMDS**

PLC va dirigido a todo tipo de clientes mientras que el LMDS se enfoca principalmente a grandes empresas por el tipo de tecnología utilizada que ofrece grandes velocidades a relativas largas distancias, aproximadamente entre 3 y 7 Km. dependiendo de la frecuencia.

Mientras que el PLC utiliza recursos ya desplegados como la red eléctrica el LMDS requiere que se instale toda una nueva infraestructura de antenas emisoras y receptora de largo alcance que requiere de inversiones relativamente pequeñas, además el PLC utiliza un medio físico para la transmisión y el LMDS no utiliza ningún medio físico sino que transmite por medio de ondas radiales.

En LMDS entre las antenas emisoras y receptoras no debe existir ningún tipo de obstáculo, las ondas de radio producidas a grandes frecuencias no son capaces de atravesar objetos sólidos, en PLC no es necesario tener a la vista de donde viene la señal.

#### **6.2.4. SAT**

Aunque con la tecnología PLC se tendría una cobertura enorme el Internet por satélite ofrece una cobertura completa, la principal diferencia es que el Internet vía satélite resulta ser mucho más costoso para el cliente, además se estima que el tiempo de vida útil para un satélite es de 10 a 15 años.

La tecnología PLC ofrece una velocidad simétrica mientras que SAT dependiendo del proveedor podría ser asimétrica, la velocidad se ve limitada por el canal de retorno que no necesariamente es el mismo satélite.

Aunque la red eléctrica es extensa, PLC solo la utiliza para el despliegue de la ultima milla el resto de la red esta compuesto por otro tipo de enlace, los proveedores de PLC por intereses económicos en gastos, prestan éste servicio a comunidades densamente pobladas, SAT en cambio puede llegar a cualquier rincón del mundo y no implica un costo mas para el proveedor ni el cliente.

### **6.2.5. WLAN**

WLAN es comparable con PLC *indoor* o PLC LAN, ya que ambas fueron hechas con ese propósito. Definitivamente en cuanto a despliegue es más fácil usar WLAN, pero en cuanto a velocidad PLC *indoor* es mucho más superior.

Una característica de WLAN es que emiten las señales en forma radial horizontalmente, esto quiere decir que si un usuario no está en el nivel donde está el punto de acceso o si hay demasiadas paredes, se recibe una señal baja a diferencia de PLC, ya que en PLC no importa como está distribuida la red eléctrica, sólo la distancia y la calidad del cableado.





## **7. EXPERIENCIAS DE EMPRESAS INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA**

La reutilización de la red eléctrica le abre las puertas a las empresas eléctricas para diversificar sus servicios, tales como telefonía, televisión por cable, Internet.

Según la sociedad de información en España (red.es), los proveedores de Internet estiman que tanto las inversiones como los gastos operativos en red de acceso suponen más del 80% de los gastos totales asociados a la red, es por eso que la transformación de las redes eléctricas de media y baja tensión en redes de acceso supone oportunidades de negocio.

La inversión necesaria por usuario está directamente relacionada con el número de domicilios servidos por cada transformador de media a baja tensión.

### **7.1. Iberdrola**

Iberdrola es una de las compañías energéticas mas grandes del mundo fundada hace más de 100 años. En el 2002 inicio una política de expansión fuera de las fronteras de España hacia gran parte de los países europeos, Latinoamérica y últimamente también en Estados Unidos.

En el año 1998 Iberdrola junto a EDP (empresa portuguesa) y *Tampa Energy* adquirieron el 80% de la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA).

Iberdrola no solo ofrece servicios en el área de la energía eléctrica en el caso de España, también en la telefonía e Internet. En el caso de Internet ofrece servicios, de ADSL, *wireless* y también ofreció a través del tendido eléctrico pero actualmente ya no lo hace.

Previo a la comercialización de Internet por la red eléctrica en el año 2003, Iberdrola realizó una prueba piloto bautizada con el nombre de ALAS en el año 2002, en dicha prueba se pusieron a prueba diferentes tecnologías PLC disponibles en ese momento con el fin de analizar cual de todas sería la más adecuada, también se probaron diversas formas de conexión de la red de distribución como el mismo cable de media tensión, fibra óptica, par de cobre, enlaces LMDS, etc.

Finalmente, Iberdrola optó por utilizar los cables de baja tensión para el despliegue de la red de acceso, la red de distribución la hizo mediante fibra óptica.

Los resultados fueron alentadores por lo que procedieron a su comercialización en regiones de Madrid y Valencia (España).

Tabla III. Tarifas mensuales de Iberdrola (año 2003)

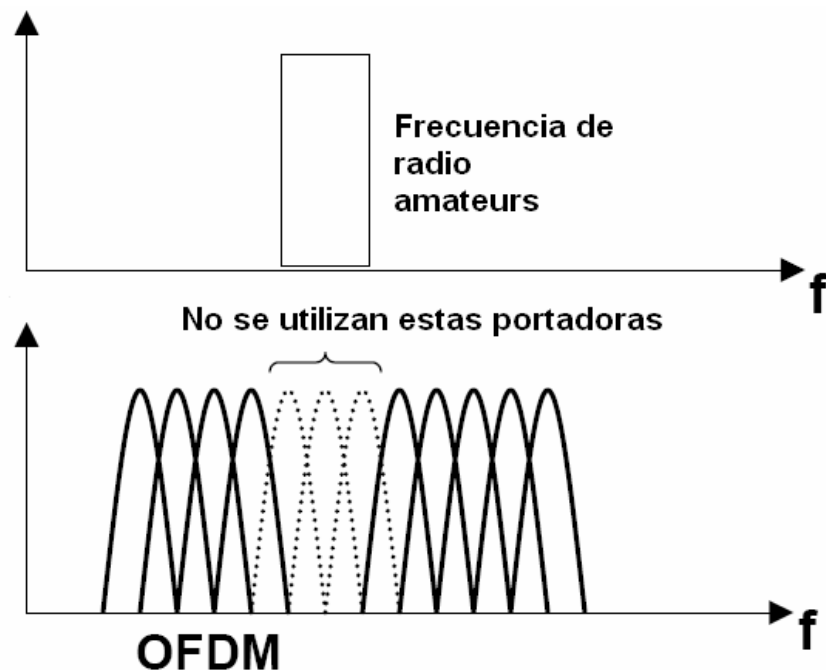
Velocidades (Kbps)	Tarifas
PLC 600	39€
PLC 100	24€

Debido a las denuncias presentadas por algunos radio amateurs por interferencias causadas por la tecnología PLC desplegada por Iberdrola se realizaron pruebas en las zonas afectadas y se confirmó la presencia de dichas interferencias.

En base a estas experiencias Iberdrola desarrollo mecanismos de detección y procedimientos de mitigación de interferencias, esto mereció su publicación en un boletín del PUA en febrero del 2006, a continuación se describe ésta solución:

- Identificar la fuente de interferencias, para esto existen una gran variedad de dispositivos.
- Configurar los equipos para evitar las frecuencias que causan interferencias (*Powermasking*), esta es aplicada remotamente vía NMS y se aplica en los equipos situados a menos de 500 metros de la fuente identificada que utilicen modulación OFDM, si se utiliza otro tipo de modulación ésta técnica no puede ser utilizada. En la siguiente figura se puede apreciar como queda el espectro de frecuencias en los equipos PLC luego de aplicar la configuración.

Figura 14. Espectro de frecuencias, utilizando *powermasking*



## 7.2. ENDESA

Endesa es una de las mas grandes compañías eléctricas en el mundo, empezó a incursionar en Internet en la red eléctrica en el 2003, en Zaragoza se hicieron pruebas masivas que dieron muy buenos resultados de ahí la decisión de comercializarla a gran escala en esa región, a penas un mes después empezó el despliegue de la red PLC en Barcelona en zonas selectivas alcanzando 5000 hogares.

Endesa utilizó los cables de media tensión para el despliegue de la red de distribución, utilizando la comunicación de equipos de cabecera entre sí para formar el anillo de comunicación.

Endesa empezó a comercializar el Internet a través de la red eléctrica el 27 de octubre del 2003 en regiones españolas como Zaragoza y Barcelona. AUNA fue la empresa que ENDESA eligió para hacerse cargo de la comercialización de Internet por la red eléctrica (PLC) con velocidades de 128, 300 y 600 kbps además de la telecomunicación de voz.

Las ofertas de lanzamiento de Endesa incluían servicios de telefonía e Internet, a continuación se da un listado de los precios de lanzamiento de Internet por la red eléctrica:

Tabla IV. Tarifas mensuales de Endesa (año 2003)

Velocidades (Kbps)	Tarifa Mensual
PLC 128	35 €
PLC 300	39 €
PLC 600	79 €

Endesa dejó de prestar el servicio de Internet en la red eléctrica en esta primera etapa, Endesa afirmaba que Auna no mostró interés en comercializar sus servicios, de ahí que no obtuvieron los resultados esperados.

### **7.3. RWE**

En julio del 2001 en Essen, Alemania, la compañía eléctrica alemana RWE comenzó a comercializar PLC bajo el nombre de POWERNET tras realizar escasas pruebas en 200 hogares.

El proveedor de la tecnología para RWE fue Ascom, empresa suiza, la cuota a pagar por parte de los clientes no era fija sino que se cobraba por cantidad de datos transferidos.

En el año 2002 cesó actividades como distribuidor de Internet debido a fuertes presiones por parte de Deutsche Telecom y a la imposición de leyes regulatorias muy estrictas dentro del espectro de frecuencias en Alemania.

### **7.4. Union FENOSA**

Esta compañía española ha realizado varias pruebas piloto pero no ha comercializado Internet por la red eléctrica, ha realizado pruebas en Madrid con 30 usuarios y en Guadalajara (España) con 30 usuarios.

Sin embargo unión FENOSA se encuentra estudiando el modelo de negocio apropiado y está monitoreando el mercado, además espera la estandarización de los productos PLC.



## **8. VIABILIDAD DE INTERNET EN LA RED ELÉCTRICA EN GUATEMALA**

### **8.1. Internet en Guatemala**

Actualmente en Guatemala existen varios proveedores de Internet utilizando distintos tipos de tecnología. En una publicación realizada por “El Periódico” en Guatemala, el 19 de enero de 2006 se da una descripción de los principales proveedores de Internet en Guatemala, que utilizan diversas tecnologías.

- Comcel que utiliza fibra óptica y en banda ancha móvil (portátil) se utiliza GPRS/EDGE, con cobertura en todo el país.
- Telgua que utiliza ADSL y cobertura en las cabeceras departamentales y principales ciudades del país.
- Telefónica que utiliza Cable MODEM, ADSL y tarjeta EVDO (inalámbrico) con cobertura en la mayoría lugares del departamento de Guatemala y en las principales ciudades del país.
- Convergence que utiliza Fibra óptica, cable y red privada virtual y tiene cobertura en las zonas 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, Carretera a El Salvador y Ciudad San Cristóbal.
- Terra que utiliza tecnología inalámbrica (WiMax), tiene cobertura en la ciudad capital y algunos municipios del departamento de Guatemala.
- Yego utiliza tecnología inalámbrica satelital (WiMax), tiene cobertura en toda el área metropolitana.
- Cable visión que utiliza el cable de TV y tiene cobertura en Zona 5 y zona 17.

- Teléfonos del norte, utiliza discado ilimitado, discado normal y satelital en las comunidades, por medio de Banda Ku (un tipo de tecnología satelital) con cobertura en las regiones del norte, occidente y central del país.
- Quick Internet utiliza tecnología satelital en banda Ku, cobertura en toda la república.
- Instared ofrece un servicio de Internet Satelital y uno de cable de fibra óptica, cobertura en todo el país.
- Newcom, el servicio NewNet ofrece tecnología inalámbrica de microondas digitales con infraestructura propia, cobertura en todo el país.

## **8.2. Sector eléctrico en Guatemala**

En 1996 se aprobó la ley general de electricidad que en su capítulo IV Separación de funciones en la actividad eléctrica, artículo 7, literalmente dice así:

“Una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar y transportar y/o distribuir energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional -SEN- deberá realizarlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes.”

Esto dio como resultado que tanto el INDE como EEGSA que en ese entonces realizaban las tres actividades citadas, cedieran sus actividades a otras empresas privadas.

UNION FENOSA, fue la compañía española que adquirió el 80% de las acciones de las empresas distribuidoras del INDE, DEOCSA (Distribuidora de Electricidad de Occidente Sociedad Anónima) y DEORSA (Distribuidora de Electricidad de Oriente Sociedad Anónima).



En julio de 1998 en un acto público, se vendió el 80% de las acciones de EEGSA que tenía el estado de Guatemala al consorcio integrado por Iberdrola Energía, S.A., TPS de Ultramar Ltd. y EDP Electricidade de Portugal, S.A.

Iberdrola (de la cual se trato en el capítulo anterior) y Unión FENOSA son empresas españolas que han puesto a prueba la tecnología PLC, por lo que desde ya Guatemala cuenta con asesores con experiencia utilizando Internet a través de la red eléctrica.

En Guatemala hay cuatro empresas eléctricas de las cuales tres son las que proveen al 96% de los usuarios totales, estas empresas son EEGSA, DEOCSA Y DEORSA

Tabla V. Principales empresas eléctricas de Guatemala

Empresa eléctrica	No. usuarios	Porcentaje
EEGSA	705,846	36%
DEOCSA	722,559	36%
DEORSA	419,652	21%

EEGSA propiedad de Iberdrola distribuye energía eléctrica a la parte central de Guatemala, DEOCSA a la parte occidental y DEORSA a la parte oriental de Guatemala, ambas propiedad de Unión FENOSA.

### **8.2.1. Entidades involucradas en el sector eléctrico en Guatemala**

El poder ejecutivo tiene la función de definir y proponer políticas y planes para el sector, representado por el presidente y el Ministerio de Energía y Minas.

La comisión nacional de energía eléctrica CNEE y la administración del mercado mayorista AMM tienen la función de regular la operación del sistema y coordinar las transacciones respectivamente.

### **8.3. Infraestructura eléctrica en Guatemala**

En Guatemala hay dos redes ampliamente difundidas una es la línea telefónica y la otra es la red eléctrica. En el año 2006 había 1132121 usuarios de líneas telefónicas fijas según la superintendencia de telecomunicaciones SIT y 1983310 usuarios de la red eléctrica según la CNEE.

La Empresa Eléctrica de Guatemala EEGSA es propietaria del cableado, de los transformadores, subestaciones, postes pero a partir del contador ya es propiedad del usuario. EEGSA debe pagar una renta por el uso del espacio ocupado por su infraestructura como puede ser un poste, por lo regular esta renta se le debe pagar a las municipalidades quienes son las responsables de la vía pública.

Una ventaja que tiene una empresa eléctrica es que no necesita de permisos para instalar equipo en la red eléctrica ya que le pertenece.

Para una empresa eléctrica el uso de la red eléctrica con otros propósitos adicionales a la transmisión de energía eléctrica representa una oportunidad de negocios, pero para ello debe cambiar la razón social de dicha empresa como empresa de telecomunicaciones, otra posible opción sería que las empresas eléctricas realicen su actividad de telecomunicaciones bajo otros nombres.

#### **8.4. Regulación del espectro eléctrico en Guatemala**

Desde 1996 el Congreso de la República creó la Superintendencia de Telecomunicaciones SIT, que es un órgano del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas.

En el capítulo III, Interconexión de redes de la ley general de telecomunicaciones, en el artículo 26 el cual literalmente dice así:

“La interconexión de redes comerciales de telecomunicaciones será libremente negociada entre las partes, salvo lo indicado en el artículo 27. Ningún operador podrá interconectar equipos que ocasionen daño a equipos en uso. Se entiende por interconexión, la función mediante la cual se asegura la operabilidad entre redes, de tal modo que se pueda cursar tráfico de telecomunicaciones entre ellas.”

Precisamente una de las debilidades de la tecnología PLC es que puede generar interferencias en las bandas de radioaficionados. En Guatemala a diferencia de España existe una ley clara que prohíbe las interferencias en otras frecuencias. En Alemania a raíz de la utilización de PLC se crearon leyes que regulaban esta tecnología, Guatemala lo hizo debido a la entrada en el país de la telefonía móvil (celulares) y a la utilización del satélite para transmitir datos.

En el Capítulo VII, Selección de Operador de Red, en el Artículo 53 que dice así:

“Protección contra interferencias. Las personas individuales o jurídicas que posean títulos de usufructo de frecuencias y que en algún momento sufran interferencias radioeléctricas, podrán denunciarlas a la Superintendencia, proporcionándole un informe técnico emitido por una entidad acreditada por la misma para la supervisión del uso del espectro radioeléctrico. Las disposiciones internas de la Superintendencia determinarán la forma en que se acreditará a las entidades supervisoras del espectro radioeléctrico. La Superintendencia notificará la denuncia al presunto causante de la interferencia, quien en un plazo no mayor de diez (10) días de haber sido notificado, expondrá los hechos y aportará las pruebas que considere oportunas. Entre ellas deberá incluir un informe técnico emitido por una entidad acreditada para la supervisión del uso del espectro radioeléctrico. Transcurrido el plazo anterior, la Superintendencia con los informes técnicos respectivos, deberá pronunciarse dentro del plazo de diez (10) días contados a partir de la fecha en que el presunto causante presentó sus pruebas. Si en la resolución que emita la Superintendencia se determina que subsisten o se repiten las violaciones al derecho de uso o usufructo del espectro, el o los infractores, deberán suspender los hechos que motivan la interferencia y pagar las multas que fije la Superintendencia, de acuerdo a lo estipulado en esta ley.

La parte afectada por la interferencia podrá ejercer contra el infractor las acciones judiciales por daños y perjuicios u otros que puedan corresponderle. Lo que la Superintendencia resuelva en cuanto a sanciones se sujetará a los recursos administrativos y judiciales que determina esta ley. Las interferencias de trascendencia internacional, quedarán sujetas a lo establecido en los acuerdos, tratados y convenios internacionales sobre la materia ratificados por el Gobierno de Guatemala.”

Si en Guatemala se llegará a implantar ésta tecnología existe una entidad que regularía sus actividades como es la SIT, en España cuando un radioaficionado tenía problemas por interferencias de ésta tecnología enviaba su denuncia a la compañía eléctrica, en Guatemala se debería hacer la denuncia a la SIT.

La SIT tiene ya tiene asignados rangos de frecuencias para los radioaficionados, en ese rango se encuentra el utilizado por PLC pero la SIT podrá transformar bandas de frecuencias para radioaficionados en bandas de frecuencias reguladas, para ello realizará un concurso público. Para determinar si se realiza la transformación, la SIT tomará en consideración las oposiciones presentadas durante el período fijado para el efecto.

En el ultimo inventario de frecuencias publicado en agosto del 2006 por la superintendencia de telecomunicaciones de Guatemala el espectro radioeléctrico utilizado para la tecnología PLC (1 – 34 MHz) son propiedad de radioaficionados, gobierno y otras instituciones, algunos con cobertura a nivel nacional y otros a nivel municipal o departamental.

### **8.5. Caso hipotético de despliegue de PLC**

Si por ejemplo se quisiera dar el servicio de Internet en la red eléctrica, a los habitantes de algunas de las zonas mas densamente pobladas como la zona 1, 4, 9, 10 y 12, se cuenta con la siguiente información proveída por el departamento de calidad de servicio de EEGSA:

- Hay 9 subestaciones de distribución abasteciendo estas zonas.
- Hay un total de 2992 transformadores.
- El cableado eléctrico es de aluminio.
- Cada transformador abastece a entre 2 y 35 usuarios.

Tabla VI. Transformadores por subestación

<b>Subestación</b>	<b>Total Transformadores</b>
San Juan de Dios	455
El sitio	586
Guarda	224
Aurora	568
Ciudad Vieja	245
Próceres	297
Papi Strachan	201
Petapa	170
Monte María	246

Fuente: Departamento de calidad de servicio de EEGSA

En cada subestación debe haber un equipo de cabecera que se encargue de proveer el acceso a Internet por fibra óptica o ADSL, lo ideal sería llevar un enlace por fibra óptica, a partir de allí se utilizaría el cable de media tensión para transmitir la señal.

En cada poste donde haya un transformador debe ser colocado un HE con una entrada de media tensión para formar el anillo y una entrada de baja tensión para llevar la señal al cliente, sin embargo en algunos de los casos donde se encuentran dos, tres o hasta cuatro transformadores juntos en un mismo poste es posible utilizar el mismo HE.

En el peor de los casos se necesitarían 3001 HEs, incluyendo los HEs que deben estar en las subestaciones y es donde se inyecta la señal de Internet, esto sería lo mas costoso de la implantación pero hay que tomar en cuenta que la instalación es sencilla y no requiere de mucho tiempo además no se necesita realizar ningún cableado extra.

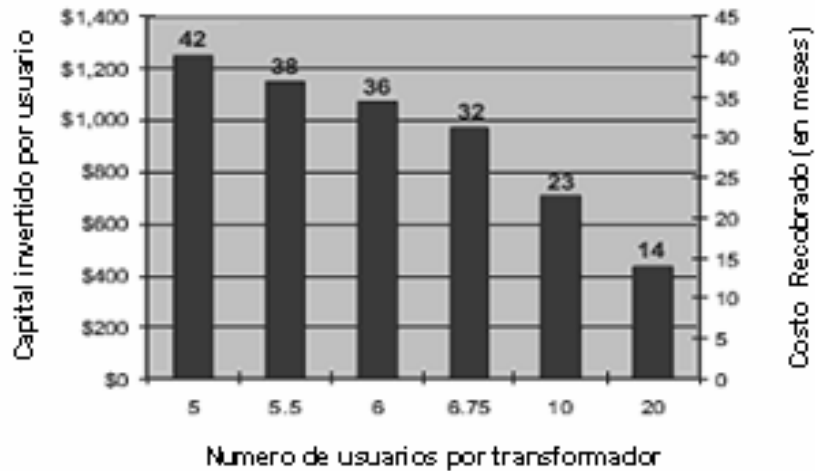
Luego de haber realizado la instalación los HEs están listos para ser configurados y monitoreados por el sistema de administración de redes NMS.

Un posible potencial mercado sería la conexión entre edificios en el área utilizando VLAN u OVLAN aprovechando el ancho banda que PLC ofrece.

A pesar que la oportunidad de negocio de la implantación de PLC está en las áreas mas pobladas, en Guatemala sería especialmente útil en áreas rurales donde las condiciones geográficas y el difícil acceso impiden el ingreso de medios de comunicación como el teléfono o cable pero que por lo regular al menos hay energía eléctrica. El costo de colocar líneas telefónicas o cable resulta demasiado alto y poco rentable para los empresarios sin embargo los cables de energía eléctrica en la mayoría de casos ya se encuentran desplegados.

Según Corinex, una empresa proveedora de productos PLC, es posible recuperar el costo de inversión en menos de dos años con un promedio de \$700 invertidos por usuario, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. Retorno de inversión por usuario por transformador



Fuente: *Corinex Medium Voltage Access Gateway/Regenerator*.

<http://www.corinex.com> (23/08/2005)

Así por ejemplo si hubieran cinco usuarios por transformador se tardaría tres años y seis meses en recuperar la inversión inicial que sería de \$1200 por cada uno, esto va disminuyendo conforme más usuarios sean distribuidos por el mismo transformador, si hubieran veinte usuarios conectadas al mismo transformador la inversión inicial por cada uno sería de unos \$400 y esa inversión se recuperaría en un año y dos meses.



## CONCLUSIONES

1. A pesar de que se han logrado grandes avances en cuanto a la capacidad de transmisión de información a través del cable eléctrico aún no se han definido estándares y no se ha logrado pasar de la fase experimental de ésta tecnología, ya que aún puede causar interferencias en otras frecuencias.
2. El equipo empleado para desplegar Internet sobre la red eléctrica varía dependiendo de si se va a utilizar o no la red de media tensión como una red de distribución, por lo general siempre se utilizan los modems, y los HEs de media o baja tensión y repetidores en casos donde hay que regenerar la señal.
3. La elección de cuál tecnología utilizar para el despliegue de Internet de banda ancha depende mucho de las condiciones del medio, como regulaciones en el espectro de frecuencias, geografía, densidad poblacional, distancias, capacidad de inversión. Sin embargo no son excluyentes es decir cada tecnología puede verse complementada por otra.
4. Existen algunos obstáculos en cuanto a la implantación de PLC en Guatemala la principal es en el marco económico, ya que se debe realizar una relativa gran inversión inicial para un muy probable reducido número de usuarios, otro obstáculo de menor impacto es el marco regulatorio de frecuencias que establece la SIT en cuanto a las interferencias que pueda causar esta tecnología.

5. Las empresas que se han mencionado tales como Iberdrola, Unión FENOSA y Endesa (España) que han experimentado con PLC, han partido haciendo pruebas piloto con pocos usuarios y probando con distintas tecnologías pero han coincidido en que los equipos basados en chips DS2 son los que les ofrecen mejores resultados.

## RECOMENDACIONES

1. En el caso de presentarse denuncias a causa de interferencias producidas por PLC, estas deben tratarse como casos aislados, ya que por lo regular es fácil darles solución ya sea reubicando el equipo si es posible o bien utilizando powermasking.
2. Para lograr un mejor aprovechamiento de la red eléctrica se deben utilizar los HEs de media tensión en lugar de los de baja tensión y así utilizar los cables de media tensión como red de distribución.
3. En Guatemala sería particularmente útil el despliegue de Internet en la red eléctrica en áreas rurales que por su geografía son de difícil acceso y donde desplegar cualquier otra tecnología tendría un costo mayor que PLC.
4. Debería considerarse hacer pruebas piloto a pequeña escala con el apoyo de entidades gubernamentales y establecer acuerdos con la SIT y las empresas eléctricas para que en conjunto puedan elaborarse propuestas de leyes para el beneficio de la implantación de la tecnología PLC y el de la popularización de Internet en Guatemala.
5. Ya no es necesario que se realicen pruebas con distintas tecnologías de PLC según las empresas que ya han experimentado, los equipos que se deben utilizar son los basados en chip DS2.



## BIBLIOGRAFÍA

1. García, Elisa y otros. **Experiencia del Grupo IBERDROLA en Powerline Communications (PLC)**. España. s.e. s.a.
2. González Puyol, J. R. y F. J. García Vieira. “La tecnología PLC en los Programas de Fomento de la Sociedad de la Información de Red.es” **Boletín de RedIRIS**. s.l. (68-69): 54-64. 2004
3. Palet, Jordi. “Cómo IP puede llegar...a todo el planeta: 6POWER” **Boletín de RedIRIS**. s.l. (62-63): 70-74. 2003
4. Sánchez Antón, Gemma y otros. **Nuevos sistemas de telecontrol de redes eléctricas en Europa: Arquitectura y protocolos**. España: Editorial Universidad de Sevilla. s.a.
5. Veà i Baró, Andreu. Historia, Sociedad, Tecnología y Crecimiento de la Red. Una aproximación divulgativa a la realidad más desconocida de Internet. Tesis doctoral. España, universidad Ramon Llull. 2002.

### Referencias Electrónicas

6. ***Asymmetric Digital Subscriber Line***  
<http://es.wikipedia.org/wiki/ADSL> (19/04/2006)
7. **Banda Ancha a través de red eléctrica (PLC)**  
<http://www.hispazone.com/conttuto.asp?ldTutorial=95> (26/12/2007)
8. **Características del ADSL**  
[http://www.adslzone.net/adsl\\_caracteristicas.html](http://www.adslzone.net/adsl_caracteristicas.html) (26/12/2007)
9. **Comisión nacional de energía eléctrica de Guatemala**  
<http://www.cnee.gob.gt> (26/12/2007)
10. **Comunicaciones inalámbricas de banda ancha LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*)**  
<http://www.monografias.com/trabajos13/guiadeim/guiadeim.shtml>  
(26/12/2007)

11. **Corinex BPL Access Pilot Program (BAPP)**  
<http://www.corinex.com> (15/10/2007)
12. **Development of PLC in Sumitomo Electric**  
[http://www.ieee802.org/802\\_tutorials/march04/plc-Sumitomo-PLC\\_mjs.pdf](http://www.ieee802.org/802_tutorials/march04/plc-Sumitomo-PLC_mjs.pdf) (18/03/2004)
13. **ds2 broadband powerline communications**  
<http://www.ds2.es> (15/07/2006)
14. **EEGSA**  
<http://www.eegsa.com> (20/06/2006)
15. **Endesa Net Factory (Power Line Communications)**  
<http://www.enf.es/ENF/folder.2007-02-01.8804068478/folder.2007-02-01.8804068478/power-line-communications-plc> (11/07/2007)
16. **Endesa's experience on PLC**  
<http://www.idate.org/jii04/bio04/actes/Endesa.pdf> (03/12/2004)
17. **Estándares WLAN**  
<http://www.eveliux.com/articulos/estandareswlan.html> (28/07/2006)
18. **IBERDROLA**  
<http://www.iberdrola.es> (04/06/2006)
19. **IBERDROLA ADJUDICA A TECNOCOM LA SEGUNDA FASE DE LA RED, IBERDROLA PLC**  
<http://www.tecnocom.biz/docs/16189.pdf> (21/04/2004)
20. **INDE (Instituto Nacional De Electrificación)**  
<http://www.inde.gob.gt/inde.htm> (23/06/2006)
21. **Internet a través de la red eléctrica**  
<http://www.plc4ever.com/media/secciones/soft/AlternativasADSLbis.pdf>  
(10/04/2002)
22. **Internet por la red eléctrica**  
[http://www.aui.es/biblio/articu/Articulos/010701\\_enchufados\\_a\\_internet.htm](http://www.aui.es/biblio/articu/Articulos/010701_enchufados_a_internet.htm)  
(25/02/2006)
23. **Ley general de electricidad (Guatemala)**  
<http://www.amm.org.gt/pdfs/AMM-reglament-general.pdf> (22/05/2007)

24. **Ley General De Telecomunicaciones (Guatemala)**  
<http://www.itu.int/ITU-D/treg/Legislation/Guatemala/leygen.pdf>  
(25/02/2003)
25. **Métodos de modulación de frecuencia**  
<http://www.monografias.com/trabajos14/modulac-frecuencia/modulac-frecuencia.shtml> (19/07/2006)
26. **OPERA (Open PLC European Research Alliance)**  
<http://www.ist-opera.org/> (22/02/2007)
27. **PLC: el enchufe a la sociedad de la información**  
[http://www.unesa.es/informes\\_actualidad/informe\\_sobre\\_PLC.pdf](http://www.unesa.es/informes_actualidad/informe_sobre_PLC.pdf)  
(20/10/2003)
28. **PLC Forum**  
[www.plcforum.org](http://www.plcforum.org) (06/08/2007)
29. **Power Line Communications**  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Power\\_line\\_communication](http://es.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication) (19/04/2006)
30. **(RADIOAFICIONADOS) LA CONTAMINACIÓN DE LAS ONDAS. EL PROBLEMA DEL PLC**  
[http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/la\\_contaminacion\\_de\\_las\\_ondas.pdf](http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/la_contaminacion_de_las_ondas.pdf)  
(26/01/2005)
31. **Superintendencia De Telecomunicaciones De Guatemala**  
<http://www.sit.gob.gt> (26/12/2007)
32. **Tecnocom, Power Line Communications**  
<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf> (12/07/2005)
33. **The DES Algorithm Illustrated**  
<http://www.aci.net/kalliste/des.htm> (26/12/2007)
34. **Una visión global sobre la tecnología PLC**  
<http://usuarios.lycos.es/urde/plc/plc.htm> (03/04/2006)
35. **WLAN**  
<http://es.wikipedia.org/wiki/WLAN> (21/05/2007)
36. **3DES**  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/3DES> (15/06/2007)