



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“Diseño e implementación de la última milla del servicio de Internet usando las redes eléctricas de media y baja tensión de un sector de la ciudad de Guayaquil usando la tecnología Power Line Communications (PLC)”**

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Antonio Chong Escobar**  
**José Menéndez Sánchez**

Directora de Tesis:

**Ing. Rebeca Estrada Pico**

**Guayaquil – Ecuador**

**2006**

# AGRADECIMIENTO

A la ESPOL y los profesores,  
por los conocimientos  
impartidos a lo largo de  
nuestra carrera estudiantil.

A la empresa colombiana  
Unión Eléctrica de la ciudad  
de Medellín por su ayuda y  
colaboración en la  
implementación del diseño  
prototipo de esta tesis de  
grado.

# DEDICATORIA

A mi madre Patricia Escobar, con su ayuda a lo largo de toda mi vida he conseguido muchos logros y superar muchas dificultades.

Antonio Chong Escobar

A mi amiga, compañera, consejera y madre: Ángela Sánchez, por la heredad de perseverancia y constancia.

José M. Menéndez

# TRIBUNAL DE GRADUACION

---

Ing. Holger Cevallos  
SUB-DECANO DE LA FIEC

---

Ing. Rebeca Estrada  
DIRECTORA DE TESIS

---

Ing. Freddy Villao  
MIEMBRO PRINCIPAL

---

Ing. Wilmer Naranjo  
MIEMBRO PRINCIPAL

# **DECLARACION EXPRESA**

**“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”**

Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL

---

Antonio Chong Escobar

---

José Menéndez Sánchez

# RESUMEN

En la actualidad nuestro país cuenta con varios medios para el acceso a Internet tales como: la fibra óptica, la línea telefónica o través de un acceso inalámbrico por medio de un teléfono móvil, entre otros, los cuales ofrecen servicios con velocidades de banda ancha, sin embargo en la práctica los usuarios no alcanzan estas velocidades ofrecidas por los proveedores. Adicionalmente, algunos de estos servicios tienen precios de instalación que no son económicos como en el caso de la fibra óptica. Con estos antecedentes, este grupo de Tesis de Grado, decidió trabajar en la investigación de una nueva tecnología que permita el acceso a Internet en el mercado ecuatoriano y seleccionó la tecnología Power Line Communications como la mejor opción ya que se encontraba en etapa de pruebas en otros países y alcanzando buenos resultados en la práctica.

Power Line Communications (PLC) es una de las tecnologías más rápidas para el acceso a Internet con velocidades máximas de hasta 200Mbps y aplicaciones relacionadas a la transmisión de datos en el tramo de la última milla tales como la telefonía IP. PLC consiste en utilizar las redes eléctricas de media y baja tensión para transmitir datos y de este modo no requiere infraestructura adicional evitando invertir en este aspecto. Todos los tomacorrientes de una oficina o domicilio se pueden utilizar como nodos.

Antes del planteamiento de esta tesis no se había verificado si la aplicación de la tecnología PLC como servicio de Internet podría ser empleada sobre las redes de alguna compañía eléctrica de nuestro país, por ello este proyecto de graduación tuvo como objetivo principal verificar si las redes eléctricas de media y baja tensión de un sector de la ciudad de Guayaquil podían ser utilizadas para transmitir datos que provengan de un ISP y de esta manera contar con un nuevo acceso al servicio de Internet , logrando resultados exitosos, con lo que se puede generalizar a gran parte de la ciudad puesto que el resto de la misma no presenta gran variedad en topología y materiales usados en su red eléctrica.

Para lograr este objetivo se analizó la configuración de las redes eléctricas de la subestación Garzota del norte de la ciudad de Guayaquil y el modelo de acceso a Internet con la tecnología PLC. Luego de esto se procedió a realizar un diseño prototipo para implementarlo en dicha subestación eléctrica. El jueves 10 de Noviembre de 2005 se realizó la primera prueba de la tecnología PLC como acceso al Internet en el Ecuador y específicamente en la ciudad de Guayaquil, esto se logró con la ayuda de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la ESPOL, la compañía ESPOLTEL, la empresa eléctrica de ciudad de Guayaquil (CATEG) y la empresa colombiana Unión eléctrica, siendo esta última la que proporcionó los equipos PLC para las pruebas.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Visión.....	6
1.5 Metodología.....	6
1.6 Perfil.....	8



<b>2 REDES ELÉCTRICAS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Conceptos básicos.....	11
2.2 Características generales.....	13
2.2.1 Generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.....	15
2.2.2 Elementos de distribución de la energía eléctrica.....	25
2.2.2.1 Líneas de alta tensión.....	26
2.2.2.2 Líneas de media tensión.....	27
2.2.2.3 Transformadores.....	28
2.2.2.4 Subestaciones.....	29
<b>3 MODELO DEL ACCESO A INTERNET A TRAVÉS DE LAS REDES ELÉCTRICAS.....</b>	<b>32</b>
3.1 Descripción del sistema.....	33
3.1.1 Modelo y características generales de la red.....	35
3.1.2 Características técnicas.....	40
3.1.3 Tipo de modulación usada.....	41
3.1.4 Modos de transmisión de datos de la red.....	46
3.2 Equipos.....	48
3.2.1 Modem para los usuarios finales.....	49
3.2.2 Repetidores.....	53

3.2.3	Equipo terminal de onda portadora.....	56
3.2.4	Acoples para media tensión.....	73
3.2.5	Acoples para baja tensión.....	79
3.2.6	Esquema de la conexión resultante.....	68
3.2.7	Empresas fabricantes de los equipos y chip PLC.....	69
3.3	Redes involucradas.....	72
3.4	Arquitectura de la red.....	73
3.5	Topología de la red.....	75
3.6	Ventajas y desventajas del servicio.....	75
3.7	Otros servicios prestados por PLC.....	81
3.8	Proyectos de la tecnología PLC desarrollados en otros países.....	82
<b>4</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>87</b>
4.1	Descripción del diseño.....	89
4.1.1	Diseño prototipo para un solo usuario.....	93
4.1.2	Diseño teórico para cincuenta usuarios.....	101
4.2	Capacidades del sistema.....	106
4.3	Crecimiento futuro del sistema.....	109
4.4	Análisis de costos y precios.....	110
4.4.1	Análisis de costos de los equipos.....	111
4.4.2	Análisis de precios para los usuarios.....	113
4.4.3	Análisis comparativo con otras tecnologías.....	114

5 PRUEBAS REALIZADAS CON LOS EQUIPOS EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	118
5.1 Pruebas con los equipos.....	120
5.2 Pruebas sobre las redes eléctricas en la subestación.....	121
5.3 Conexión de los equipos en las redes eléctricas.....	126
5.4 Verificación del correcto funcionamiento del sistema en el punto.....	128
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 132
 Anexo “A” Datos técnicos de los equipos PLC de la empresa francesa Schneider.....	  136
Anexo “B” Software de gestión de la red PLC.....	147
 BIBLIOGRAFÍA.....	 152

# ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I	Modos de transmisión de datos de la red PLC.....47
Tabla II	Fabricantes de chips para los equipos PLC.....70
Tabla III	Precios de las otras tecnologías en España.....85
Tabla IV	Datos de la red eléctrica de la subestación Garzota.....89
Tabla V	Parámetros requeridos por los equipos PLC.....91
Tabla VI	Costos de los equipos PLC.....113
Tabla VII	Pruebas con la navegación en INTERNET.....129
Tabla VIII	Chipset, capa física y capa de protocolo del MODEM.....137
Tabla IX	Configuración, gestión y aspectos de seguridad del MODEM..138
Tabla X	Características físicas y eléctricas del MODEM.....139
Tabla XI	Medio Ambiente y operación del MODEM.....140
Tabla XII	Chipset, capa física y de protocolo de los repetidores PLC.....141
Tabla XIII	Configuración, gestión y aspectos de seguridad de los repetidores PLC.....142
Tabla XIV	Características físicas y eléctricas de los repetidores PLC.....143
Tabla XV	Medio ambiente y operación de los repetidores PLC.....143
Tabla XVI	Características físicas de los backplanes del equipo de cabecera PLC.....144
Tabla XVII	Descripción y características de los módulos del equipo de Cabecera PLC.....145
Tabla XVIII	Capa física y características eléctricas del equipo de Cabecera.....146

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 2-1 Esquema de generación y distribución de la energía eléctrica.....	14
Figura No. 2-2 Foto de la central hidroeléctrica Paute.....	17
Figura No. 2-3 Generación de energía eólica.....	18
Figura No. 2-4 Torre de Distribución.....	24
Figura No. 2-5 Líneas de alta tensión.....	26
Figura No. 2-6 Líneas de media tensión.....	27
Figura No. 2-7 Foto del transformador tipo cilindro.....	28
Figura No. 2-8 Diagrama esquemático del transformador.....	29
Figura No. 2-9 Subestación eléctrica.....	30
Figura No. 3-1 Modelo de la red del bus lógico PLC.....	36
Figura No. 3-2 Modelo de la red de transporte para la red PLC.....	39
Figura No. 3-3 Subportadoras usadas para la transmisión de datos.....	44
Figura No. 3-4 Espectro utilizando la modulación OFDM.....	44
Figura No. 3-5 Sistema de modulación OFDM con filtros.....	45
Figura No. 3-6 Modos en los que se puede transmitir los datos.....	47
Figura No. 3-7 MODEM PLC ILV220.....	49
Figura No. 3-8 Visualización del tamaño del MODEM.....	51
Figura No. 3-9 Vista frontal y posterior del MODEM para el usuario final..	52
Figura No. 3-10 Equipo repetidor.....	53
Figura No. 3-11 Vista frontal y lateral del Repetidor ILEVO.....	55
Figura No. 3-12 Equipo cabecera "Head End".....	56
Figura No. 3-13 Unidad modular del equipo cebecera.....	58
Figura No. 3-14 Módulos ILV22B2 con ILV22M2 y suministro de poder ILV22P1.....	59
Figura No. 3-15 Redes eléctricas Aéreas.....	60

Figura No. 3-16 Acoples capacitivos para líneas aéreas de MT.....	61
Figura No. 3-17 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople capacitivo y red eléctrica de media tensión.....	61
Figura No. 3-18 Acoplador inductivo para una línea de 300A(máx.).....	63
Figura No. 3-19 Modo de inserción fase-tierra del acople inductivo.....	63
Figura No. 3-20 Modo de inserción fase-fase del acople inductivo.....	64
Figura No. 3-21 Imagen de los modos de inserción: fase-tierra(izquierda) y fase- fase (derecha).....	64
Figura No. 3-22 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople inductivo y red eléctrica de media tensión.....	65
Figura No. 3-23 Acople capacitivo monofásico para baja tensión.....	66
Figura No. 3-24 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople capacitivo y red eléctrica de baja tensión.....	67
Figura No. 3-25 Acople inductivo para baja tensión.....	68
Figura No. 3-26 Esquema de la conexión resultante.....	68
Figura No. 3-27 Redes eléctricas involucradas en PLC.....	72
Figura No. 3-28 Pruebas PLC más relevantes en Europa.....	83
Figura No. 3-29 Pruebas realizadas en EEUU.....	83
Figura No. 4-1 Descripción del diseño prototipo de la red PLC usando un punto terminal (1 PC).....	95
Figura No. 4-2 Diagrama de redes y subredes (diseño prototipo).....	100
Figura No. 4-3 Descripción del diseño teórico de la red PLC considerando 50 usuarios.....	105
Figura No. 4-4 Diagrama de redes y subredes del diseño teórico.....	106
Figura No. 5-1 Subestación eléctrica Garzota de la ciudad de Guayaquil.	119
Figura No. 5-2 Inyección de la señal de Internet en la caja de disyuntores ubicada en un departamento dentro de la subestación eléctrica.....	123
Figura No. 5-3 Antena instalada por la compañía ESPOLTEL dentro de la subestación eléctrica Garzota en la ciudad de Guayaquil...	124

Figura No. 5-4	Alimentadora Garzota de la subestación Garzota.....	125
Figura No. 5-5	Instalación del acople capacitivo sobre la red de media tensión (izquierda). Acople capacitivo ya instalado (derecha).....	127
Figura No. 5-6	Instalación del equipo repetidor junto al transformador reductor.....	128

# ABREVIATURAS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchrony Transfer Mode
BT	Baja Tensión
CATEG	Corporación para la Administración Temporal Eléctrica de Guayaquil
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CPE	Costumer Premises Equipment
DNS	Domain Name System
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DMT	Discreet Multitone Modulation
DFT	Discrete Fourier Transform
DSSSM	Direct Sequence Spread Spectrum Modulation
ET	Estaciones transformadoras
FTP	File transfer Protocol
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
HF	High Frequency
HFCPN	High Frequency Conditioned Power Network
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IDU	Indoor Unit
ITU	International Telecommunications Union



ISP	Internet Service Provider
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
MODEM	Modulador/Demodulador
MAC	Media Access Control
NTP	Network Time Protocol
ODU	Outdoor Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PC	Personal Computer
PLC	Power Line Communications
PLT	Power Line Telecommunications
PSD	Power Spectral Density
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of service
RF	Radio Frequency
RX	Receptor
SNMP	Simple Network Management Protocol
TX	Transmitter
USB	Universal Serie Bus
VDI	Voz, Datos, Imagen
VoIP	Voz sobre IP

VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WLL	Wireless Local Loop

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La tecnología que permite la conexión a Internet, el envío de datos y las llamadas telefónicas a través de la red eléctrica, se denomina Power Line Communications (PLC, antes llamada PLT o Power Line Telecommunications), y su principal ventaja es que para llegar a los hogares utiliza una infraestructura ya existente.

En la actualidad la tecnología PLC es una de las soluciones más rápidas para el acceso a Internet y otras aplicaciones relacionadas a la transmisión de datos en el tramo de la última milla. PLC es una opción atractiva pues consiste en utilizar las redes eléctricas (de media y baja tensión: 13.8 KV y 120V respectivamente) ya existentes, lo que significa que no requiere infraestructura adicional, evitando invertir en este aspecto. El circuito de electricidad es la infraestructura para la red de datos. De esta forma, todos los tomacorrientes de una oficina se podrán utilizar como nodos. Esto otorga movilidad a los usuarios, sobre todo al cambiar de ubicación, solo tienen que

desconectar sus MODEM's PLC y llevarlos a su nueva ubicación. Un ISP proporciona los datos a un terminal de onda portadora, este se ubica en una subestación eléctrica y se conecta a las redes de media tensión, por estas redes viajan juntas la señal eléctrica a 60 Hz y la señal de datos a una alta frecuencia y de esta manera ninguna se ve afectada por la otra.

Desde hace varios décadas las empresas eléctricas en varios países han usado este tipo de envío y recepción de datos solo para uso interno (dentro de la propia empresa) con lo cual se envía datos de sus propios equipos para control; pero actualmente, luego de varias pruebas piloto, este sistema orientado a brindar un acceso a Internet a alta velocidad se comercializa en varias ciudades de España como Madrid, Barcelona, Zaragoza y en otros países como México y Chile se siguen haciendo pruebas para verificar la factibilidad de comercializar este servicio [1].

Ya que en Ecuador solo se han utilizado las redes eléctricas para transmisión de datos dentro de la propias empresas, este proyecto de tesis tiene como propósito hacer las pruebas necesarias con las redes eléctricas de media y baja tensión del país y verificar si el acceso Internet a través de las mismas es factible, para ello se ha solicitado equipos de esta tecnología (PLC) a países que ya tienen experiencia en este campo [2].

## 1.1 Antecedentes

El concepto de comunicación a través de la línea eléctrica es bastante antiguo. PLC (Power Line Communications) es conocido desde 1930. Se conocían aplicaciones de baja velocidad para control y más recientemente de lectura automática de contadores. Estas velocidades y prestaciones no fueron superadas debido a la limitación de la tecnología de su tiempo. En la actualidad esto ha cambiado [1].

Los principales problemas de la línea eléctrica como canal de comunicaciones son la atenuación de la señal debido a las múltiples derivaciones que existen, a los desacoplos de impedancia y el ruido variable en el tiempo causado por los aparatos conectados a la red y fuentes externas.

Debido a las nuevas técnicas de modulación digitales, los desarrollos en métodos adaptativos y las mejoras en la integración en silicio, han hecho posible superar y con creces las trabas de la red eléctrica. En la actualidad el servicio de Internet por vía eléctrica ya es una realidad. Desde el año 2000 comenzó el auge y extensión de las conexiones a Internet en domicilios y centros de trabajo, también se iniciaron las especulaciones y los anuncios acerca de la posibilidad de transmitir los datos electrónicos de Internet a través de la red eléctrica.

Las compañías eléctricas han realizado investigación y se han perfeccionado para poder brindar el servicio de Internet, esto se materializó a finales del 2004, cuando las compañías eléctricas Iberdrola y Endesa de España iniciaron la comercialización de Internet por vía eléctrica [3].

## **1.2 Justificación**

Nuestro país, en la actualidad, cuenta con varias tecnologías para el acceso a Internet tales como la fibra óptica comercializada por las compañías de televisión por cable; a través de la línea telefónica o de un acceso inalámbrico por medio de un teléfono móvil ofrecido por las compañías celulares entre otros; todos estos prestan servicios con velocidades de transmisión no muy altas, y en algunos casos los precios de instalación no son económicos como en el de la fibra óptica. Razón por la cual, sería muy conveniente contar con un acceso a Internet que no requiera de instalación y de cableado en la última milla y alcance velocidades superiores a las alcanzadas por las tecnologías actuales y que además llegue a lugares a los que no se ha llegado aún, este nuevo acceso a Internet sería la tecnología PLC.

Además de brindar el acceso a Internet, PLC presenta servicios adicionales como el de transmisión de voz sobre IP, es decir que con

esta tecnología muchas personas que no cuentan con un servicio telefónico podrán tenerlo, porque las redes eléctricas llegan a muchos lugares en los cuales las redes telefónicas no han tenido las facilidades para brindar su servicio.

### **1.3 Objetivos**

Esta tesis de grado tiene como objetivo principal verificar si las redes eléctricas de media y baja tensión de la ciudadela Garzota 3 del sector norte de la ciudad de Guayaquil pueden ser utilizadas para transmitir datos que provengan de un ISP y de esta manera contar con un nuevo acceso al servicio de Internet basado en la tecnología PLC. Además se tienen otros objetivos los cuales se mencionan a continuación:

- Describir la funcionalidad y consistencia de la tecnología Power Line Communications (PLC), así como sus aplicaciones.
- Proporcionar una nueva alternativa de acceso a los servicios de la red de datos con una conexión de banda ancha, a través de PLC dejando a un lado los medios ya conocidos hasta ahora como Dial up, acceso proporcionado por compañías de televisión por cable, etc.
- Diseñar un prototipo demostrativo de la propuesta de tesis planteada usando un solo punto terminal.

- Despertar el interés, tanto del proveedor como del consumidor, de recurrir a la tecnología PLC cuando se piense en servicios de datos.
- Realizar un análisis comparativo de velocidades de conexión y costos entre los diferentes medios para acceder al servicio de Internet, y consecuentemente de la aplicación en la ciudad de Guayaquil.

#### **1.4 Visión**

Mejorar el acceso a Internet en nuestro país en un futuro cercano usando una nueva tecnología que ofrece disminuir los precios al cliente y tener un acceso de banda ancha con velocidades superiores a las ofrecidas por las tecnologías actuales.

Ser pioneros y reconocidos como aporte innovador de tecnología de comunicaciones en el mercado ecuatoriano, como también ser líderes en prestación y asesoría de servicios de tecnología PLC.

#### **1.5 Metodología**

Para llevar a cabo este proyecto de graduación, se realizaron varios pasos, los que se indican a continuación:



- 1.- Visitar y consultar en las empresas eléctricas del Ecuador si la tecnología PLC utilizada para dar acceso al Internet ya había sido implementada en alguna de ellas.
- 2.- Contactar a todas las empresas fabricantes de los equipos de la tecnología PLC a nivel mundial.
- 3.- Solicitar el envío de los equipos de la tecnología PLC en forma de préstamo o compra a alguna de estas empresa. Y adicionalmente solicitar soporte técnico para la instalación del mismo en nuestra ciudad.
- 4.- Realizar todas las gestiones necesarias en la empresa eléctrica de la ciudad de Guayaquil (CATEG) a fin de obtener los permisos para utilizar una de sus subestaciones eléctricas donde se realizarán las pruebas.
- 5.- Realizar las gestiones necesarias para que la Facultad cubra los pagos de los dos ingenieros de la empresa colombiana Unión Eléctrica por el soporte técnico que darían en el momento de las pruebas en Guayaquil.

- 6.- Realizar las pruebas en la subestación asignada con los ingenieros de Unión Eléctrica habiendo realizado previamente un diseño prototipo de la red PLC que se instalaría sobre las redes eléctricas de la subestación. Verificar el funcionamiento de la red y de esta manera determinar la factibilidad de utilizar esta tecnología en nuestra ciudad.
  
- 7.- Si las pruebas tienen éxito, realizar un diseño más completo de la red PLC tomando como referencia la subestación eléctrica asignada y considerando cincuenta usuarios. Se considerará el caso de un ISP como ESPOLTEL alquilando las redes de CATEG como última milla para ofrecer el servicio de Internet.

## **1.6 Perfil**

El primer capítulo comprende la introducción de lo que es la tecnología PLC así como lo que se desea realizar en esta tesis, los pasos a seguir para su desarrollo y finalización, su alcance, y el beneficio que aportaría a nuestro país.

El segundo capítulo trata sobre las redes eléctricas, conceptos básicos, su generación, transmisión y distribución. Finalmente los elementos utilizados en la distribución de la energía eléctrica.

En el tercer capítulo se describe el modelo de acceso a Internet a través de las redes eléctricas, esto incluye las características técnicas, equipos utilizados y sus fabricantes, redes involucradas, arquitectura, topología, ventajas y desventajas de la red PLC y finalmente los proyectos PLC desarrollados en otros países y su comercialización.

El cuarto capítulo muestra el diseño prototipo de la red PLC que se instaló en el momento de las pruebas en la subestación eléctrica asignada por CATEG así como un diseño más completo considerando un mínimo de cincuenta usuarios. Adicionalmente a esto se analiza las capacidades, crecimiento futuro del sistema; costos y precios.

El quinto capítulo contiene las pruebas realizadas con los equipos PLC en la subestación eléctrica y la verificación del funcionamiento del sistema PLC ya instalado.

# CAPÍTULO 2

## REDES ELÉCTRICAS

Las redes eléctricas en la actualidad se han constituido en una necesidad para realizar la mayoría de las actividades diarias en las ciudades y parte de las áreas rurales así como en un medio para acceder a muchas comodidades.

Con el pasar de los años las empresas encargadas de su generación, transmisión y distribución han avanzado tecnológicamente, hace varios años empezaron a utilizar sus propias redes para tomar mediciones de la energía consumida por sus usuarios y de esta forma facturar para su cobro, en la actualidad tienen la posibilidad de utilizar sus redes de media y baja tensión como última milla del servicio de Internet al inyectar estos datos de alta velocidad a las mismas a través de acoples y de esta forma brindar un nuevo servicio a sus usuarios.

## 2.1 Conceptos básicos

Generación de Energía Eléctrica.- La energía eléctrica se genera en las centrales Eléctricas la cual es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, generando así electricidad.

El hecho de que la electricidad, a nivel industrial, no pueda ser almacenada y deba consumirse en el momento en que se produce, obliga a disponer de capacidades de producción con potencias elevadas para hacer frente a las puntas de consumo con flexibilidad de funcionamiento para adaptarse a la demanda [4].

Intensidad de Corriente.- La intensidad de corriente es la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de una sección del conductor por unidad de tiempo, por lo tanto el valor (i) de la intensidad instantánea será:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Si la intensidad permanece constante (en cuyo caso denotamos I ), utilizando incrementos finitos de tiempo, podemos definirla como:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Si por el contrario la intensidad es variable la fórmula anterior nos dará el valor de la intensidad media en el intervalo de tiempo considerado. La unidad de intensidad de corriente en el Sistema internacional de unidades es el amperio [5].

Alternador.- El alternador es una máquina destinada a transformar la energía mecánica en eléctrica, generando, mediante fenómenos de inducción, una corriente alterna. Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y su valor del flujo que lo atraviesa [6].

Campo Eléctrico.- Se denomina campo eléctrico a la deformación del espacio alrededor de una región que contiene carga, creado por la presencia de ella, también al espacio donde se manifiesta la atracción o repulsión sobre otras cargas. La representación matemática de la intensidad de campo eléctrico es :  $E$  [7].

Campo Magnético.- Se denomina Campo magnético a la magnitud vectorial que expresa la intensidad de la fuerza magnética. El campo magnético es creado por cargas eléctricas en movimiento, pero nunca

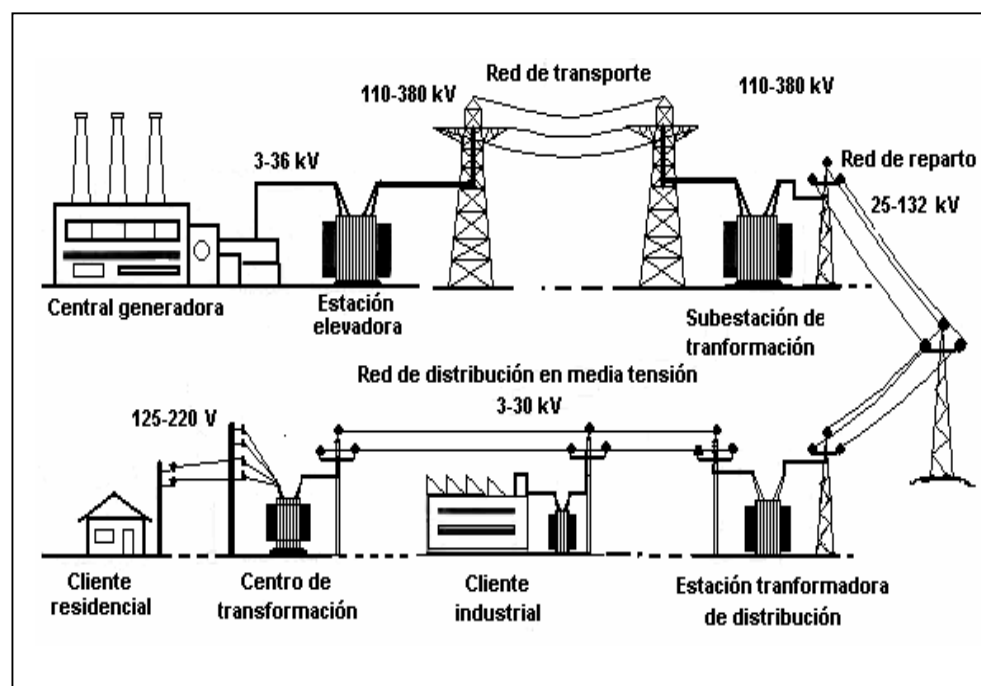
se crea campo magnético en el mismo sentido de la trayectoria de la carga, además cargas en reposo no originan ningún campo magnético. A diferencia de el campo eléctrico, en el campo magnético no existen monopolos magnéticos, sólo dipolos magnéticos, lo que significa que las líneas de campo magnético son cerradas, esto es, el número neto de líneas de campo que entran en una superficie es igual al número de líneas de campo que salen de la misma superficie [8].

## **2.2 Características generales**

El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección. Lo que constituye un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuidos, está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas. Con este objetivo, tanto la red de transporte como las subestaciones asociadas a ella pueden ser propiedad, en todo o en parte y, en todo caso, estar operadas y gestionadas por un ente independiente de las compañías propietarias de las centrales y de las distribuidoras o comercializadoras de electricidad.

Asimismo, el sistema precisa de una organización económica centralizada para planificar la producción y la remuneración a los distintos agentes del mercado, como ocurre actualmente en muchos casos, existen múltiples empresas participando en las actividades de generación, distribución y comercialización.

En la figura siguiente, se pueden observar en un diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico [4]:



**Figura 2-1 Esquema de generación y distribución de la energía eléctrica [4]**



### 2.2.1 Generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica

**Generación de electricidad.**- La generación de electricidad, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía, "no eléctrica", sea esta química, mecánica, térmica, luminosa, etc, en energía eléctrica.

Para la generación industrial de energía eléctrica se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, las cuales ejecutan alguna de las transformaciones, citadas al principio, de energía "no eléctrica" en energía eléctrica y constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en:

- Térmicas
- Hidroeléctricas
- Nucleares
- Eólicas
- Solares termoeléctricas
- Solares fotovoltaicas
- Mareomotrices

No obstante, de todos los tipos indicados, la mayor parte de la energía eléctrica generada proviene de los tres primeros tipos de centrales reseñados.

Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador en si, que no es otro que un alternador, movido mediante una turbina, que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada. En las centrales fotovoltaicas la corriente obtenida es continua y para su utilización es necesaria su conversión en alterna, mediante el empleo de dispositivos denominados inversores u onduladores [9].

Central Termoeléctrica.- Una central termoeléctrica es la que genera electricidad a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de algún combustible fósil como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

En la actualidad se están construyendo numerosas centrales termoeléctricas de las denominadas de ciclo combinado, que son un tipo de central que utiliza gas natural como combustible para

producir el vapor que mueve una turbina de vapor. A continuación, aprovechando de la energía de los gases de escape de la combustión se mueve una turbina de gas. Cada una de estas turbinas está acoplada a su correspondiente alternador para generar la electricidad [9].

Central Hidroeléctrica.- Una central hidroeléctrica es aquella que genera electricidad mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua es conducida mediante una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores cuya potencia, dependiendo del desnivel entre la presa y la central puede ser de varios centenares de megavatios.



**Figura 2-2 Foto de la central hidroeléctrica Paute [10]**

Energía eólica.- La energía eólica es la energía que tiene el viento. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.



**Figura 2-3 Generación de energía eólica [11]**

En la actualidad se la utiliza además para mover aerogeneradores, que son molinos que a través de un generador producen energía eléctrica. Suelen agruparse en parques eólicos, concentraciones de aerogeneradores necesarias para que la producción de energía resulte rentable. Este tipo de generadores se ha popularizado rápidamente debido a que la energía eólica:

- Es un tipo de energía renovable, a diferencia de la quema de combustible fósil.

- Se considera una "energía limpia" (respetuosa con el medio ambiente), ya que no requiere una combustión que produzca residuos contaminantes.

Sin embargo, la cantidad de energía producida por este medio es aún una mínima parte de la que se consume por los países desarrollados [9].

Central térmica solar.- Es una instalación industrial en la que a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar, y su uso en un ciclo termodinámico convencional se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generar electricidad como en una central térmica clásica.

Constructivamente, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 ° C hasta 1000 ° C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto

de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina "helióstato" [9].

Energía solar fotovoltaica.- Forma de obtención de energía solar a través de dispositivos semiconductores tipo diodo que al recibir radiación solar se excitan, provocan saltos electrónicos y una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas, y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan las placas fotovoltaicas se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red, operación que es muy rentable económicamente pero que precisa todavía de subvenciones para una mayor viabilidad.

En entornos aislados, donde se requiere poca corriente eléctrica y el acceso a la red está penalizado económicamente por la distancia, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable [9].

**Energía Mareomotriz.**- La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable ya que no se agota y limpia porque no produce contaminantes.

Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han evitado una proliferación notable de este tipo de energía [9].

**Transporte de Energía.**- La red de transporte es la encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que

las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura de forma mallada, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles [12].

**Subestaciones Eléctricas.**- Las instalaciones llamadas subestaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras y en la periferia de las diversas zonas de consumo, enlazadas entre ellas por la Red de Transporte. En estas últimas se reduce la tensión de la electricidad de la tensión de transporte a la de distribución [13].

**Distribución.**- Desde la subestaciones ubicadas cerca de las áreas de consumo, el servicio eléctrico es responsabilidad de la compañía suministradora (distribuidora o comercializadora) que ha de construir y mantener las líneas necesarias para llegar a los clientes.

Estas líneas y las instalaciones en que se reduce la tensión hasta los valores utilizables por los usuarios, constituyen la red de distribución. Las líneas de la Red de Distribución pueden ser aéreas o subterráneas.



La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la Red de transporte, se realiza en dos etapas. La primera está constituida por la red de reparto que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución.

Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 KV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 KV y con una característica muy mallada. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión ( 125V-220V o 220V-380 V) [14].



**Figura 2-4 Torres de Distribución [15]**

**Centros de Transformación.**- Los centros de transformación, dotados de transformadores alimentados por las líneas de distribución en media tensión, son los encargados de realizar la última transformación, efectuando el paso de las tensiones de distribución a la tensión de utilización [4].

**Instalación de Enlace.**- El punto que une las redes de distribución con las instalaciones interiores de los clientes se denomina instalación de enlace y está compuesta por: acometida, caja general de protección, línea repartidora y derivaciones individuales [4].

### **2.2.2 Elementos de distribución de la energía eléctrica**

La Red de transporte de energía eléctrica es la parte del Sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar la energía generada en las centrales hidroeléctricas, térmicas, de ciclo combinado o nucleares a través de grandes distancias hasta los puntos de consumo. Para ello, los volúmenes de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión.

Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje se reduce la corriente que circulará, reduciéndose las pérdidas por efecto Joule. Con este fin se emplean subestaciones elevadoras en las que dicha transformación se efectúa empleando equipos eléctricos denominados transformadores.

De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 220 KV y superiores, denominados Alta Tensión. Parte fundamental de la red de transporte de energía eléctrica son las líneas de transporte [14].

### 2.2.2.1 Líneas de alta tensión

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de Alta Tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Al estar estas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco y herrajes para soportarlos [14].



**Figura 2-5 Líneas de alta tensión [16]**

### 2.2.2.2 Líneas de media tensión

Las líneas de distribución tienen una tensión de 13.800V y llevan la energía a las estaciones transformadoras (ET) ubicadas cerca de los clientes. En estas ET, la tensión se reduce a 240 V o 120 V (baja tensión).

La red está constituida por cientos de Km. de cable, de los que un determinado porcentaje son aéreos y el resto son subterráneos [14].



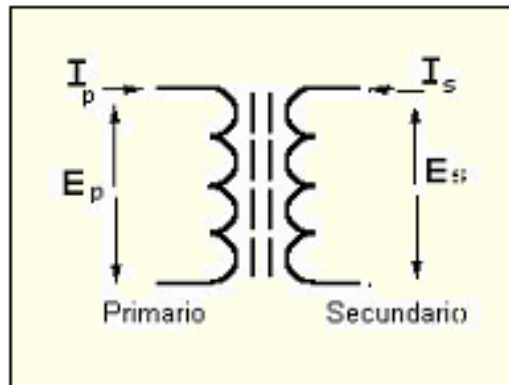
**Figura 2-6 Líneas de media tensión [17]**

### 2.2.2.3 Transformadores

Dispositivos electromagnéticos que permiten 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). Estos dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce. Estas bobinas o devanados se denominan primario y secundario [18].



**Figura 2-7 Foto del transformador tipo cilindro [19]**



**Figura 2-8 Diagrama esquemático del transformador [18]**

#### **2.2.2.4 Subestaciones**

Una subestación eléctrica es una instalación industrial empleada para la transformación del nivel de voltaje de las líneas eléctricas. Las subestaciones eléctricas se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para elevar el voltaje a la salida de sus generadores y en las cercanías de las poblaciones y los consumidores, para bajarlo de nuevo. La razón técnica para realizar esta operación es la conveniencia de realizar el transporte de energía eléctrica a larga distancia a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas, que dependen de la intensidad de corriente [13].



**Figura 2-9 Subestación eléctrica [20]**

Las características fundamentales de la subestación eléctrica son las siguientes:

- Una celda de llegada 220KV desde una subestación determinada , puede estar equipada con los siguientes elementos:
  - Un seccionador de línea.
  - Un interruptor de accionamiento uni-tripolar.
  - Transformadores de tensión capacitivo.
  - Transformadores de corriente de cinco núcleos
  - Pararrayos de óxido de Zinc clase 4 para protección de línea y de clase 3 para protección del autotransformador.



- Bobinas de acoplamiento para comunicaciones por onda portadora.
- Autotransformador Trifásico de potencia 220/138/10.5KV - 120/120/15 MVA.
- Una celda de salida del transformador en 138KV, equipada con los siguientes elementos:
  - Un interruptor de accionamiento uni-tripolar.
  - Un seccionador de barra.
  - Tres transformadores de tensión capacitivos.
  - Tres transformadores de corriente de cuatro núcleos.
  - Tres pararrayos de oxido de zinc clase 3A.
- Una celda de salida del transformador en 10KV.
- Servicios Auxiliares tipo redundante en corriente alterna y continua, incluyendo grupo electrógeno de emergencia.
- Juego de simple barra de 220KV y de 138KV.
- Sistema de protección principal y respaldo.
- Sistema de comunicaciones y protección mediante cable de fibra óptica y onda portadora como respaldo [21].

## CAPÍTULO 3

### MODELO DEL ACCESO A INTERNET A TRAVÉS DE LAS REDES ELÉCTRICAS

Existe un interés generalizado en el mercado por los accesos a Internet de banda ancha, ya que este tipo de acceso es el que permitirá que las diferentes compañías dejen de ser solo ISP para convertirse en auténticos proveedores de servicios multimedia.

Hasta el momento ninguno de los sistemas utilizados es el ideal. Casi todos los sistemas actuales, incluso los más rápidos, presentan algún tipo de problema.

Power Line Communications puede cambiar radicalmente la situación, porque sirve para ofrecer servicios de banda ancha sobre una infraestructura que ya existe y que sólo es preciso adaptar. PLC podrá alcanzar velocidades de hasta 200Mbps. Esto hace posible un modelo de tarifa plana, así como otro tipo de transmisión de datos y hasta telefonía IP [22].

### **3.1 Descripción del sistema**

El red PLC se establece de la siguiente manera: se lleva la señal de Internet a través de fibra óptica o de manera inalámbrica hasta alguna subestación eléctrica que abastezca a una media de 150-200 domicilios. En esta subestación, un equipo de cabecera PLC inyecta los datos en el tendido eléctrico de media tensión. Desde este punto hasta el usuario final, el cable eléctrico transporta energía y datos, los cuales han de ser leídos por un MODEM PLC colocado junto a cada equipo terminal (PC). Dependiendo de la distancia entre la cabecera PLC y el usuario, podría ser necesaria la utilización de equipos de repetición siendo la distancia máxima para no usarlos de unos 400 metros.

Bajo la tecnología PLC cada tomacorriente del hogar o empresa se convierte en un punto de acceso universal de tal modo que con un enchufe se puede alimentar el ordenador, navegar por Internet y hablar por teléfono al mismo tiempo.

Desde el punto de vista tecnológico, PLC es una oferta revolucionaria, ya que sus prestaciones igualan o superan a las del cable y el ADSL, con la posibilidad de que puede llegar fácilmente a zonas rurales apartadas, a las cuales no suelen acceder las otras dos opciones.

La técnica es bastante sencilla y tiene algunos puntos de similitud con los sistemas xDSL. Basta acondicionar parte de las actuales infraestructuras eléctricas para que puedan transmitir señales regulares de baja frecuencia y otras por encima de la banda de 1 Mhz, suele ser de 1,6 a 30 Mhz, sin que se vea afectado el rendimiento eléctrico. Las señales de baja frecuencia (50 ó 60 Hz, según la red) son las encargadas de la transmisión de la energía, mientras que las señales de más alta frecuencia pueden utilizarse para la transmisión de datos, esto supone que la posibilidad de interferencias entre ambas señales es prácticamente es nula, circulando ambas simultáneamente a través del hilo de cobre.

PLC emplea una red conocida como High Frequency Conditioned Power Network (HFPCN) para transmitir simultáneamente energía e información. Una serie de unidades acondicionadoras son las que se encargan del filtrado y separación de ambas señales. Así pues estas unidades acondicionadoras separarían la electricidad, que alimenta a los electrodomésticos, de las señales de alta frecuencia, que van a un módulo o unidad de servicio, donde se reconvierten en canales de vídeo, datos, voz, etc.

La red eléctrica consta de tres partes bien diferenciadas: los tramos de baja tensión, los de media y los de alta tensión. Los de media y baja tensión, conectan los hogares con las subestaciones de distribución local. Es precisamente este tramo que se utiliza en PLC.

Las unidades acondicionadoras situadas en los hogares de los abonados, que también pueden recibir el nombre de MODEM's eléctricos (MODEM's PLC), tienen en su interior dos filtros, uno pasa bajos y otro pasa altos. El primero de ellos, el pasa bajo, libera la corriente eléctrica de 50-60 Hz para su propia alimentación. Este filtro además sirve para limpiar los ruidos generados en la red por los electrodomésticos conectados en casa del usuario. Si se dejaran pasar esos ruidos, al unirse a los procedentes de otros usuarios de la red, acabarían por introducir distorsiones muy significativas. En segundo lugar, el filtro pasa alto es el que libera los datos que viajan en frecuencias portadoras de entre 2.4 hasta 38MHz y facilita el tráfico bidireccional entre el cliente y la red [23].

### **3.1.1 Modelo y características generales de la red**

**Modelo de la red lógica.**- Una red de acceso PLC inyecta el servicio de Internet sobre la redes de una subestación eléctrica. La comunicación entre los suscriptores y la red WAN es conducida a

través de estas redes eléctricas y esto a su vez nos lleva a deducir que la comunicación entre suscriptores también es conducida por las mismas redes. Por ejemplo la comunicación de datos entre suscriptores dentro de una red de acceso PLC es conducida vía un servidor de Internet usualmente situada fuera de la red PLC (en la WAN). Por otro lado, si el servicio de telefonía es considerado, las conexiones son realizadas vía un sistema de switches también situado en algún lugar de la WAN. En concordancia con estas consideraciones, hay dos direcciones de transmisión que pueden ser reconocidas en una red PLC:

- Downlink : desde la subestación eléctrica a los suscriptores.
- Uplink : desde los suscriptores a la subestación eléctrica.

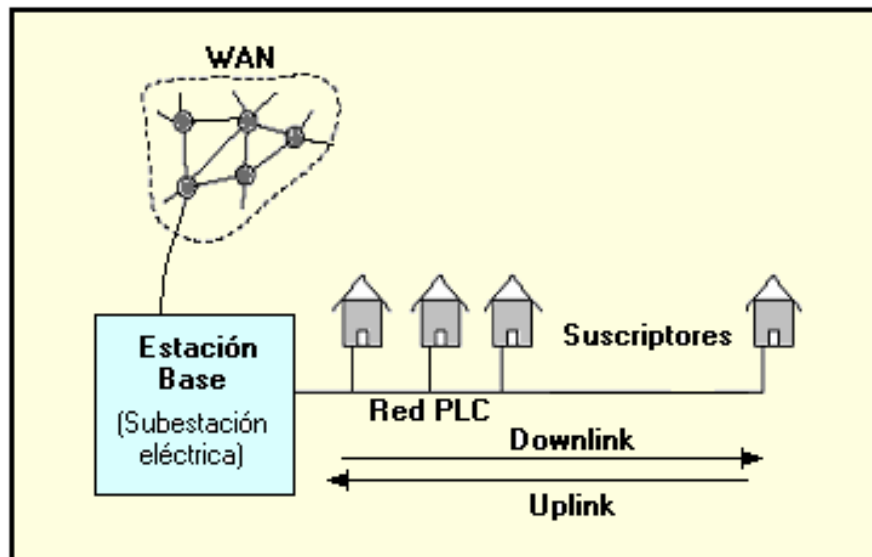


Figura 3-1 Modelo de la red del bus lógico PLC [25]

La información enviada por la estación base en la dirección downlink es transmitida a todas las subsecciones de la red y recibida por todos los suscriptores en la red. En la dirección uplink la información enviada por un suscriptor PLC es recibida no solo por la estación base sino también por todos los suscriptores.

Desde la vista de una capa de red más alta (capa MAC), un sistema de acceso PLC puede ser considerado como una red de bus lógico conectando un número de estaciones de red con una estación base, la cual provee comunicación con la WAN. De acuerdo a esto la estación base toma un lugar central en la estructura de la comunicación de la red de bus lógico, el cual no incluye información acerca de las distancias entre la estación base y los suscriptores y entre los suscriptores mismos. Esta información es requerida para la consideración del retardo de propagación de señal en la red. Para este propósito una matriz puede ser definida para especificar las distancias entre todas las estaciones en la red. Como ya se describió previamente, la red de acceso PLC puede ser conectada con repetidores. En este caso hay un número de segmentos de red dentro del sistema PLC dividido por los repetidores. Diferentes rangos de frecuencia o diferentes espacios de tiempo son usados en diferentes

segmentos de red permitiendo su coexistencia dentro de un sistema de acceso PLC. Los repetidores convierten las frecuencias o espacios de tiempo entre segmentos de red sin un impacto sobre el contenido de los datos [24].

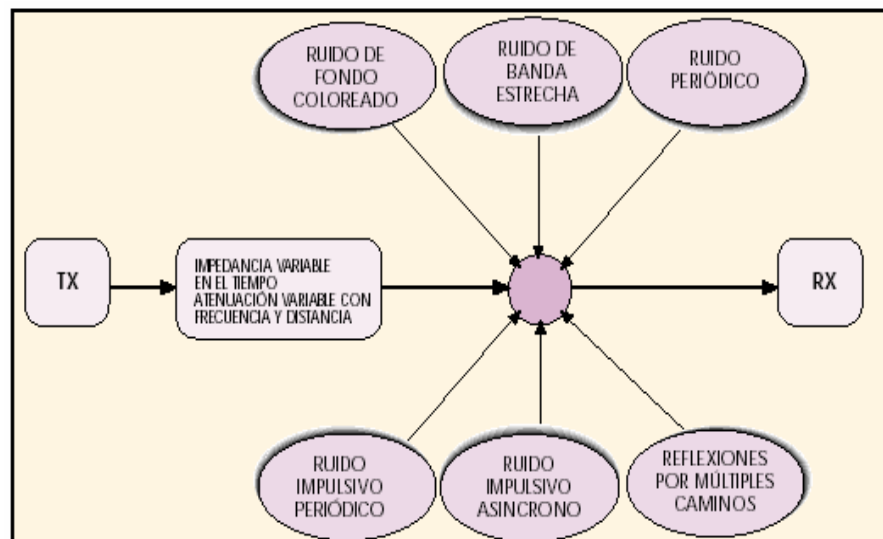
**Modelo de la red de transporte (red eléctrica).**- Las características de esta red de transporte son dependientes de la frecuencia, del tiempo y de la localización del transmisor y del receptor. La red eléctrica tiene las siguientes características en cuanto a su respuesta en frecuencia:

- Presenta desadaptaciones de impedancia las cuales producen reflexiones.
- Su atenuación se incrementa con la distancia y la frecuencia.
- Su impedancia varía con el tiempo en un rango muy grande, esto depende de que estén conectados o no ciertos aparatos eléctricos.

Según los estudios acerca del tipo de ruido que puede encontrarse en esta red eléctrica el resultado es el siguiente:



- Ruido de fondo estacionario durante segundos u horas, formado principalmente por ruido coloreado, ruido de banda estrecha y ruido periódico.
- Ruido impulsivo con duraciones que van de microsegundos a milisegundos. Formado principalmente por ruido impulsivo periódico y ruido impulsivo asíncrono producido por apagados y encendidos.



**Figura 3-2 Modelo de la red de transporte para la red PLC [26]**

PLC utiliza la modulación OFDM (se detalla en el subcapítulo 3.1.3) que es una técnica de alta eficiencia espectral que maneja muy bien el ruido y los cambios de impedancia, de tal forma que no se ve afectada por los estos últimos [3].

**Características generales:**

- Tecnología de banda ancha.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el cliente final.
- Enchufe eléctrico (Toma única de alimentación, voz y datos).
- Sin necesidad de obras ni cableado adicional.
- Transmisión simultánea de voz y datos.
- Conexión de datos permanente (activa las 24 horas del día), aunque se presente un corte de energía eléctrica los datos del Internet continúan fluyendo a través de las líneas eléctricas.
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico sin ningún problema [22].

**3.1.2 Características técnicas**

- Velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps.
- El acceso a Internet utilizando tecnología PLC se remite a utilizar un MODEM PLC en las dependencias del usuario y dispositivos de red, tales como repetidores y equipos terminales a lo largo de la red de transporte eléctrico hasta el punto de interconexión de la red eléctrica con la red de datos.

- Se puede tener conexiones independientes enchufando varios MODEM's en tomacorrientes diferentes. Este tipo de configuración no supone ningún problema.
- Los equipos que se conectan a los tomacorrientes tales como electrodomésticos no se ven afectados por la señal de datos que viaja por la red eléctrica.
- Mediante una relación de frecuencia, el sistema puede ofrecer al usuario doméstico, conexiones asimétricas para la transmisión ascendente y descendente (de la misma manera que ocurre con ADSL).
- En base a tecnologías propietarias se puede realizar la autenticación del usuario y garantizar la privacidad de los datos, en una red eléctrica que es un medio compartido.
- Los equipos actuales son capaces de soportar entornos donde se implementan VLANs basadas en el estándar 802.1q [22].

### **3.1.3 Tipo de modulación usada**

La señal PLC tiene modulación de entre 1,6 y 40Mhz dependiendo del sistema, actualmente no hay un estándar si no un grupo de sistemas diferentes e incompatibles entre si, básicamente se usan 3 tipos de modulación:

- DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation).  
Puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD). Este es usado por la empresa israelí MAIN.
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation) gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos  
Este es usado por la empresa española DS2.
- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es una forma especial de modulación en banda estrecha. Este es usado por la empresa suiza ASCOM.

Todos estos sistemas ocupan el espectro de HF (onda corta). El sistema adaptativo, OFDM es el que se ha impuesto [27].

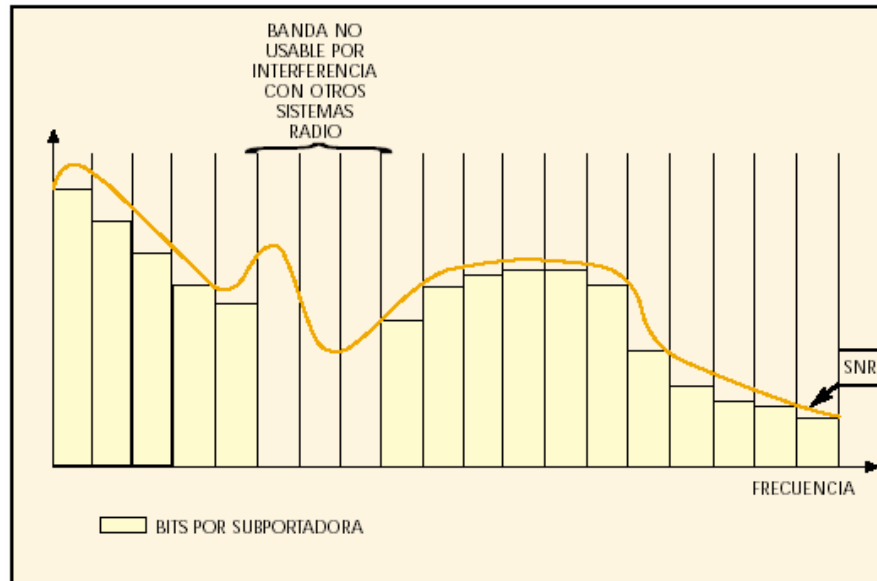
**Modulación por división ortogonal de frecuencia.-** La modulación por división ortogonal de frecuencia, (OFDM), también llamada modulación por multitono discreto, en inglés Discreet Multitone Modulation (DMT), es una modulación adaptativa que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia. Normalmente se realiza la modulación OFDM luego de pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se

denomina **COFDM**, del inglés Coded OFDM. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la DFT y la IDFT respectivamente [28].

**Características de la modulación OFDM.**- La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de RF. Es una técnica de modulación de alta eficiencia espectral que maneja muy bien el ruido, los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal de datos a través de las redes eléctricas. Otra de las características de OFDM es su habilidad para usar o dejar de usar cualquier subcanal, con el fin de mantener una óptima tasa de error. Esto permite además evitar interferencias con otros sistemas y poder cumplir los niveles de emisión regulados por las normas.

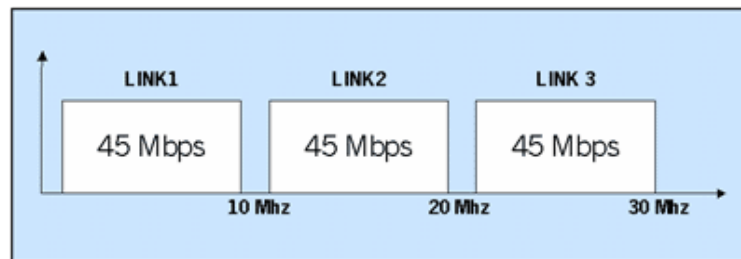
Al ser una modulación adaptativa, es capaz de medir los niveles de atenuación y ruido con una alta resolución espectral y en base

a esta información usar unas u otras subportadoras para enviar la información. En cada subportadora se usa modulación QAM [3].



**Figura 3-3 Subportadoras usadas para la transmisión de datos [29]**

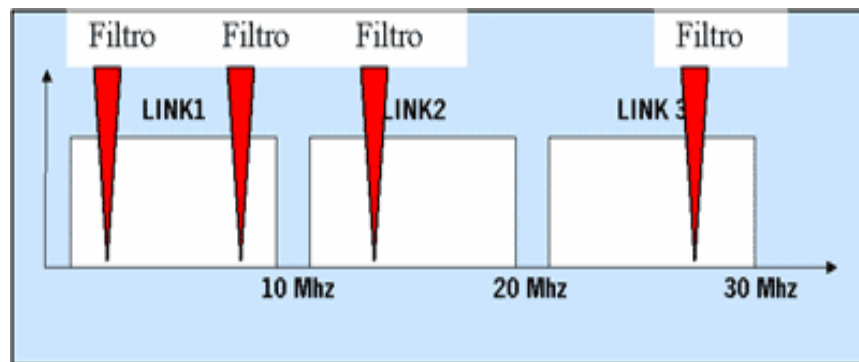
En la figura 3-4, se muestra el sistema con OFDM que utiliza tres enlaces en cada sentido y al hacerlo mediante un sistema multiportadora es muy eficiente y flexible.



**Figura 3-4 Espectro utilizando la modulación OFDM**

El sistema de DS2: 1536 portadoras de alta frecuencia (entre 2 y 34 MHz). De acuerdo a las pruebas realizadas : flujo de datos de 45 Mbps; 27 Mbps en bajada y 18 Mbps en subida, pero en teoría se podría alcanzar hasta 200 Mbps simétricos.

La principal ventaja de este último sistema es que se puede adaptar fácilmente a los cambios en las condiciones de transmisión de la línea eléctrica y que se pueden utilizar filtros para proteger los servicios que puedan resultar interferidos.



**Figura 3-5 Sistema de modulación OFDM con filtros**

La forma de implementar estos filtros es variada y en general los fabricantes hablan de un sistema de control de espectro (Spectral Density Control) diferente según el fabricante. La desventaja por colocar filtros consiste en una disminución del ancho de banda máximo y velocidad binaria alcanzable por el sistema [30].

### **3.1.4 Modos de transmisión de datos de la red**

En el diseño de la red PLC se debe considerar adicionalmente el modo en el que es conveniente transmitir los datos a través del canal de comunicación, es decir a través de la red eléctrica.

La selección del modo de transmisión es de acuerdo al número de usuarios que se requiere atender y la velocidad que se les desea brindar. Se dispone de 13 diferentes modos de transmisión que están en un rango de frecuencias entre 2MHz y 34 MHz, adicionalmente cada modo tiene cuatro submodos de operación para transmitir datos sobre la misma línea eléctrica sin ocasionarse distorsión mutuamente.

La figura 3-6 muestra los diferentes modos en los que se puede realizar la transmisión.



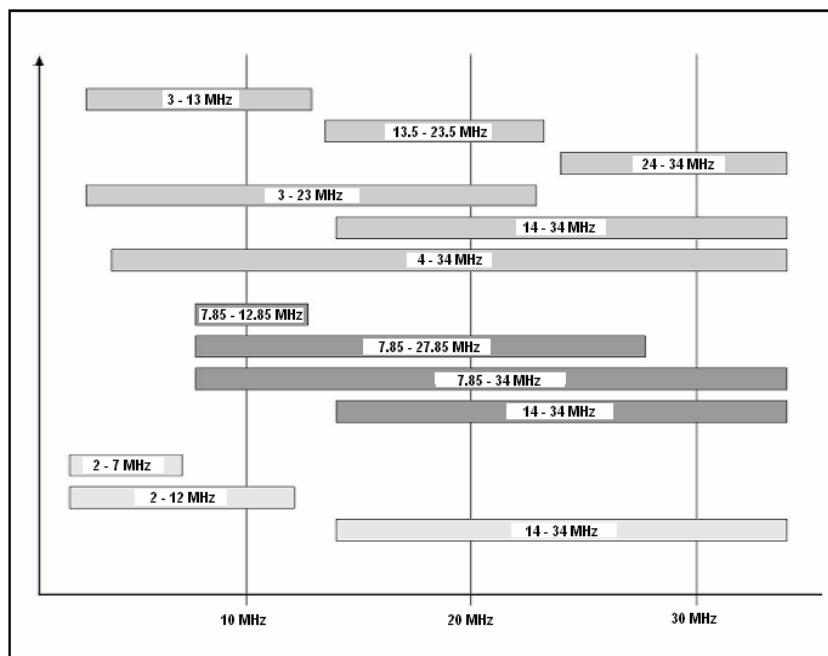


Figura 3-6 Modos en los que puede transmitir los datos

Tabla I Modos de transmisión de datos de la red PLC

MODO	Rango de frecuencias (MHz)	Ancho de banda (MHz)	Velocidad máxima (Mbps)
1	3 - 13	10	84
2	13.5 - 23.5	10	84
3	24 - 34	10	150
4	3 - 23	20	150
5	14 - 34	20	204
6	4 - 34	30	204
7	7.85 - 12.85	5	42
8	7.85 - 27.85	20	84
9			
10	7.85 - 34	26.15	180
11	14 - 34	20	150
12	2 - 7	5	150
13	2 - 12	10	204
14	14 - 34	20	150

El noveno modo no se utiliza de acuerdo a una especificación indicada por el fabricante de los equipos PLC y el software de la marca ILEVO de la compañía francesa Schneider [31].

### 3.2 Equipos

Para el funcionamiento de la red PLC se necesitan los siguientes equipos:

- MODEM's para los usuarios finales.
- Equipo repetidor.
- Equipo terminal de onda portadora (equipo cabecera)
- Acoples con la red eléctrica de media y baja tensión.
- Software de gestión para la red.

Si se abren los equipos PLC ( equipo cabecera, repetidor o el MODEM), se encontrará que el corazón de estos, es de una de las siguientes compañías: DS2 (española), ASCOM (suiza) o MAIN (israelí). Estas empresas diseñan los chips y luego los venden a los fabricantes multinacionales de MODEM's como Mitsubishi Electric, Schneider Electric, Sumitomo, entre otros. A continuación se muestran los equipos PLC de la compañía Francesa Schneider; estos llevan la marca ILEVO. Son precisamente estos equipos los que se usaron en el diseño prototipo para las pruebas en nuestra ciudad [31].

### 3.2.1 MODEM para los usuarios finales

El MODEM PLC se muestra en la figura 3-7, el cual será requerido por una empresa o un usuario doméstico en su hogar. Este equipo no sólo proporciona acceso a Internet sino también servicio telefónico de voz.



Figura 3-7 MODEM PLC : ILV220

#### Aplicación

- Punto de acceso para la última milla del lazo local.
- Redes de trabajo LAN.

#### Servicios

- Internet a alta velocidad.

- ❑ Telefonía usando voz sobre IP (VoIP).
- ❑ Servicios de video usando video streaming sobre IP.
- ❑ Voz – Datos – Imagen (VDI) compliant.

### **Contenido del paquete**

- ❑ MODEM de Datos y VoIP.
- ❑ Cable de poder.
- ❑ Cable de teléfono.
- ❑ Cable Ethernet.
- ❑ Manual del usuario (en inglés, otro lenguaje sobre pedido).

### **Instalación**

- ❑ Debe ser localizado sobre un escritorio cerca de los dispositivos del usuario tales como el computador, el teléfono, etc.
- ❑ Debe ser conectado a la red eléctrica y al computador.
- ❑ “ Plug and play ” set up.
- ❑ Led indicador para mostrar la condición de ambos señal PLC desde la línea de poder y conectada al equipo sobre el lado del usuario final.



**Figura 3-8 Visualización del tamaño del MODEM**

**Función principal**

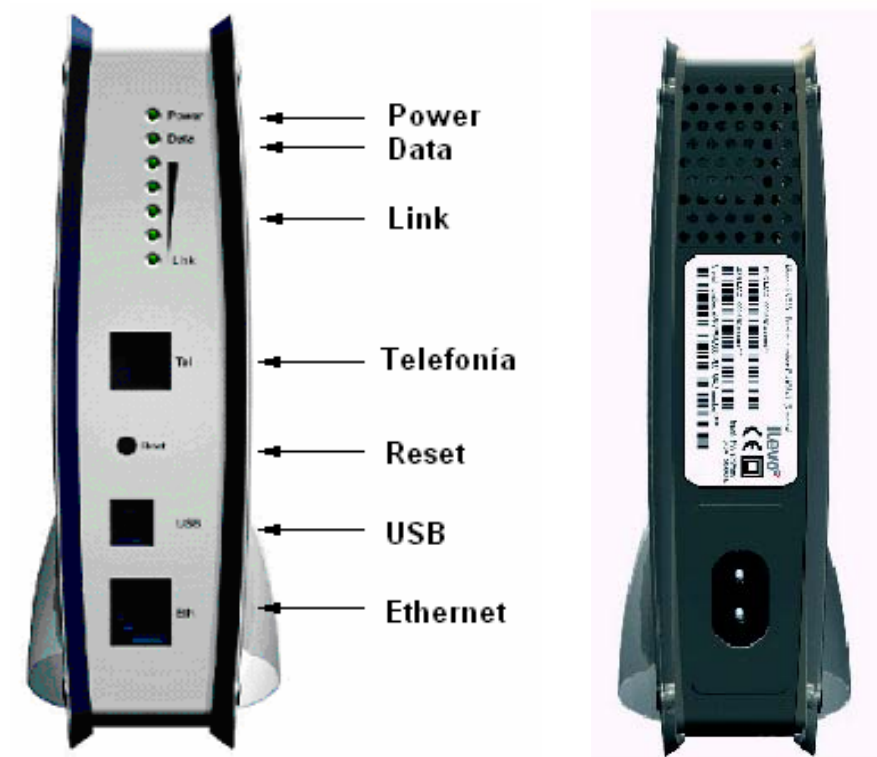
- Ethernet / PLC bridge.
- Alta velocidad: 200 Mbps ( internamente tiene : DS2 Wisconsin 9001 chipset).

**Beneficios más importantes**

- Tamaño : pequeño.
- Basado en el suministro de poder.

### Requisitos

- Red PLC para aplicación al punto de acceso.
- Cable USB y controladores no son recomendados pero están disponibles bajo pedido.
- Estándar PC y MAC.



**Figura 3-9 Vista frontal y posterior del MODEM para el usuario final [32]**

### 3.2.2 Equipos repetidores

Estos equipos se sitúan en el cuarto de contadores del edificio o manzana, también se los ubica junto a los transformadores reductores de media a baja tensión cada 400 metros. Es usado para extender el rango de la red PLC.



**Figura 3-10** Equipo repetidor

**(ILV2110 División de tiempo, ILV2120 División de frecuencia)**

#### **Aplicación**

- ❑ Punto de repetición del lazo local.
- ❑ Pretendido para 400/230 V.
- ❑ Red de acceso a la última milla.

**Servicios**

- Repetición transparente de los servicios del Head End.
- Repetición por división de tiempo (ILV2110).
- Repetición por división de frecuencia (ILV2120).

**Instalación**

- En los puntos eléctricos que se encuentran en las calles.
- En los cuartos de medidores.
- En las subestaciones de distribución.

**Contenido del paquete**

- Un repetidor.

**Accesorios adicionales**

- Unidad de acoplamiento capacitiva en el caso de redes eléctricas que utilizan cables sin aislamiento, o unidad de acoplamiento inductiva en el caso de redes eléctricas que utilizan cables con aislamiento.
- Caja de distribución de señal.

**Beneficios principales**

- Tamaño : pequeño.



- ❑ Interfase Ethernet para manejo local.
- ❑ Diseñado en filtros pasa bajos y pasa altos.
- ❑ Fácil instalación sin desconectarse la energía eléctrica.
- ❑ Posibilidad para sello de seguridad del producto.
- ❑ Unidades modulares para TDD y FDD.

### **Requerimientos**

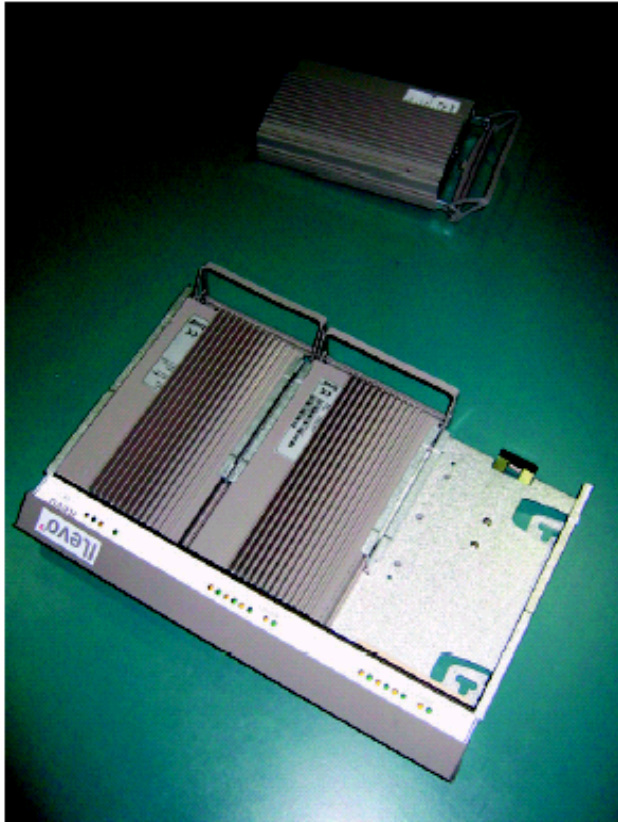
- ❑ Red PLC Wisconsin G2
- ❑ Internamente contiene el chipset DS2 Wisconsin 9002
- ❑ Servidores de autoconfiguración SNMP, RADIUS, FTP, NTP



**Figura 3-11 Vista frontal y lateral del repetidor ILEVO [33]**

### 3.2.3 Equipo terminal de onda portadora

El equipo de cabecera “Head End” se ubica en el centro de transformación de la compañía eléctrica.



**Figura 3-12 Equipo cabecera “Head End”**

Rack industrial en tres versiones cubre todas las aplicaciones:

- ✓ Diseño modular con unidades estándar.
- ✓ Dos unidades de interfase para fibra o acceso a backbone.
- ✓ Un suministro de poder conviene a toda la configuración.

**Aplicación**

- MODEM master compatible con Ethernet.
- Diseñado para red de medio y bajo voltaje.

**Servicios**

- Gestión de todas las unidades, soporta SNMP.
- Acceso a Internet a alta velocidad a través de las líneas de poder ya existentes sobre los 200Mbps.
- VLAN 802.1Q & VLANs optimizadas.

**Instalación**

- Ubicados en las subestaciones de distribuciones o en los cuartos de medidores.

**Contenido del paquete**

- Modulo y planos de conexión dependiendo de la configuración.

**Accesorios adicionales**

- Unidad de acoplamiento capacitiva en el caso de redes eléctricas que utilizan cables sin aislamiento, o unidad de acoplamiento inductiva en el caso de redes eléctricas que utilizan cables con aislamiento.

- Caja de distribución de señal.

### **Función principal**

- Capacidad de repetición.
- Internamente contiene el chipset DS2 Wisconsin.

### **Beneficios principales**

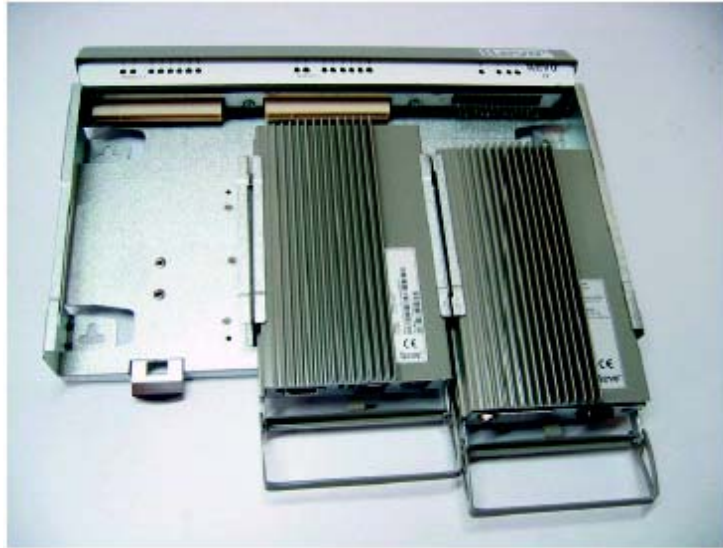
- Tamaño : pequeño.
- Filosofía modular para uso rápido.

### **Requerimientos**

- Red PLC para aplicación al punto de acceso.



**Figura 3-13 Unidad modular del equipo cabecera**



**Figura 3-14 Módulos ILV22B2 con ILV22M2 y suministro de poder ILV22P1 [34]**

### **3.2.4 Acoples de media tensión**

Para este nivel de tensión se han diseñado dos tipos de acoples, los de tipo capacitivo para redes eléctricas con cables aéreos, estos últimos son cables sin aislamiento; y los acoples de tipo inductivo para redes eléctricas que usan cables subterráneos, estos últimos son cables con aislamiento.

**Acoples capacitivos para media tensión.-** La distribución eléctrica de media tensión por medio de líneas aéreas presenta una serie de topologías muy distintas y además una metodología

de trabajo particular a la hora de instalar equipos. Se ha desarrollado una gama de soluciones de acoplamiento específica para este tipo de líneas basadas en las soluciones de acoplamiento capacitivas [35].

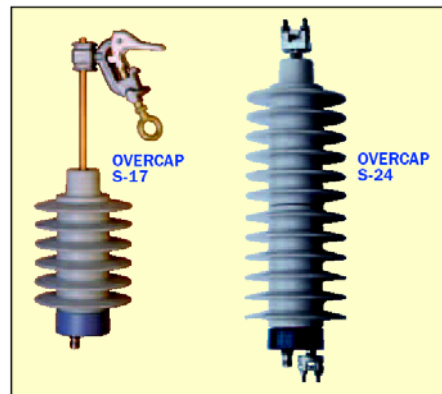


**Figura 3-15 Redes eléctricas aéreas [37]**

Las características de estos acoples capacitivos son :

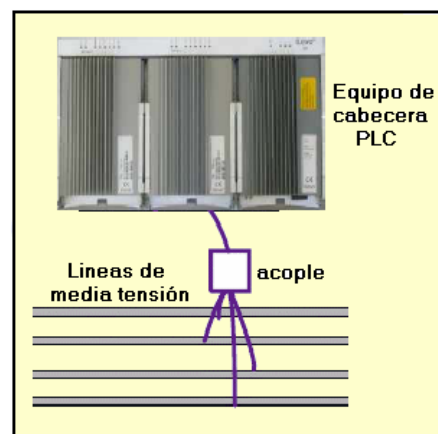
- Para líneas de media tensión hasta de 17 o 24 KV.
- Instalación fácil, rápido y segura, es posible hacerlo mediante hot clamp o sobre poste (esta instalación se la realiza sin hacer desconexión de la línea eléctrica).
- Dimensiones y peso reducidas.
- Bajas pérdidas de inserción: entre 1 y 2dB en todo el rango de frecuencias usada por la red PLC (2 a 40 MHz).

- Aislamiento en silicona, obteniendo más seguridad, mayor fiabilidad.
- Diseñado para condiciones de intemperie.
- Máxima seguridad eléctrica (completa gama de ensayos en laboratorios certificados [35]).



**Figura 3-16 Acoples capacitivos para líneas aéreas de MT [35]**

Existen dos modos de inserción: Inserción fase-fase y fase-tierra.



**Figura 3-17 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople capacitivo y red eléctrica de media tensión [36]**

**Acoples inductivos para media tensión.-** Las líneas subterráneas de distribución eléctrica de media tensión pueden tener distintas topologías, dependiendo de los elementos y filosofías utilizados en su construcción.

Para este tipo de líneas se ha desarrollado una gama de soluciones conformada por acopladores inductivos, diseñados para ser instalados de manera rápida y sencilla tratando de facilitar en lo posible el despliegue de la red PLC.

Las características de estos acoples inductivos para cables subterráneos aislados de MT son las siguientes:

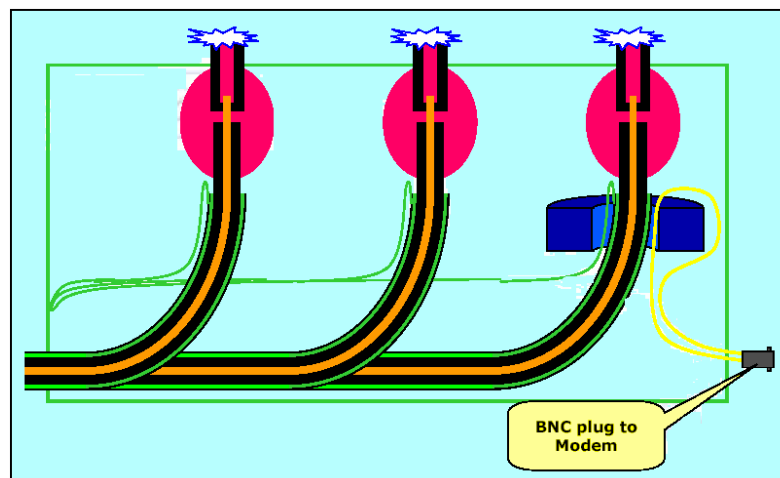
- Fácil y sencilla instalación.
- No hay conexión física a los cables eléctricos.
- Bajas pérdidas de inserción : entre 2 y 5dB en todo el rango de frecuencia usada por la red PLC (2 a 40 MHz).
- Equipo compacto, conector incorporado al propio acoplador.
- Máxima calidad, fiabilidad y eficiencia garantizadas.





**Figura 3-18 Acoplador inductivo para una línea de 300A(máx) [35]**

Existen dos modos de inserción al igual que en los acoples capacitivos: Inserción fase-fase y fase-tierra. En la inserción fase-tierra es necesario un solo acople inductivo.



**Figura 3-19 Modo de inserción fase-tierra del acople inductivo**

En la inserción fase-fase es necesario dos acoplos inductivos.

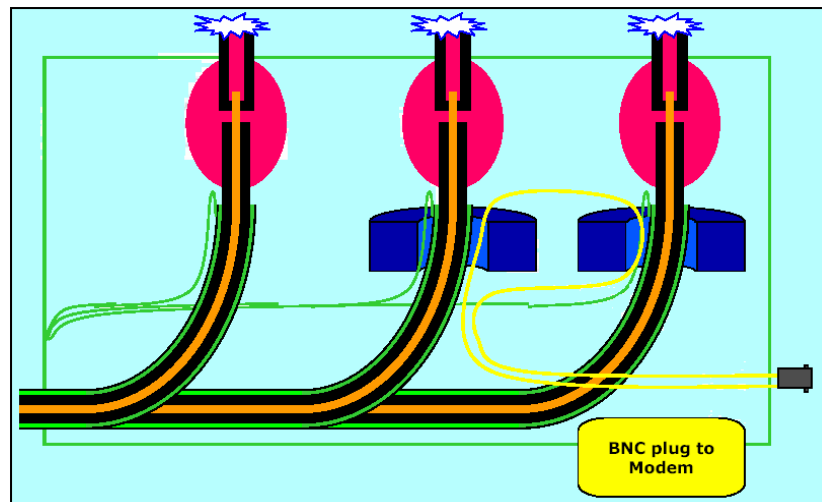


Figura 3-20 Modo de inserción fase-fase del acople inductivo

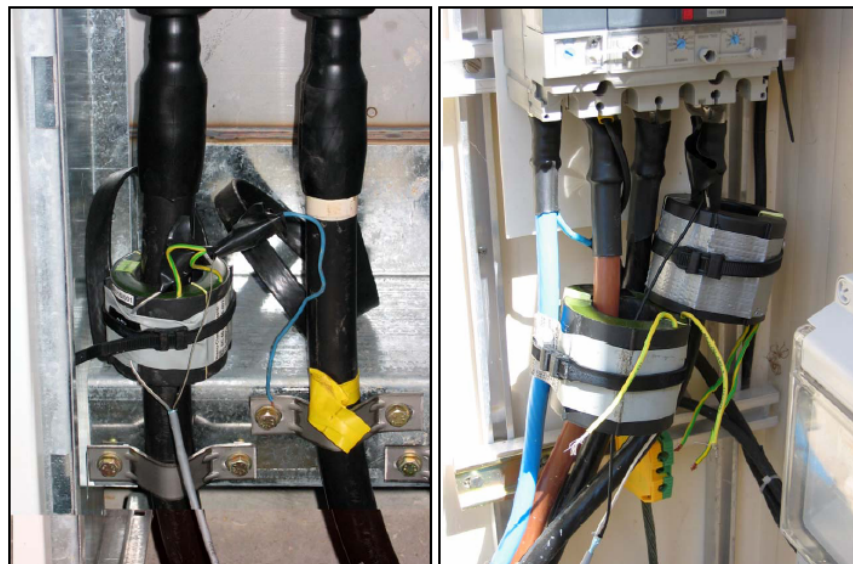
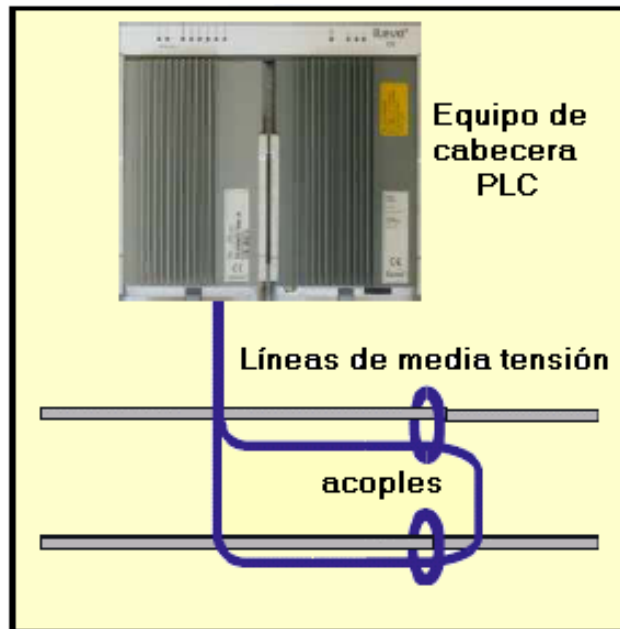


Figura 3-21 Imagen de los modos de inserción:  
fase-tierra(izquierda) y fase-fase (derecha)



**Figura 3-22 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople inductivo y red eléctrica de media tensión**

En el equipo de cabecera PLC ingresa la señal de datos y este las envía a las redes eléctricas a través de los acoples sean estos capacitivos o inductivos [36].

### **3.2.5 Acoples de baja tensión**

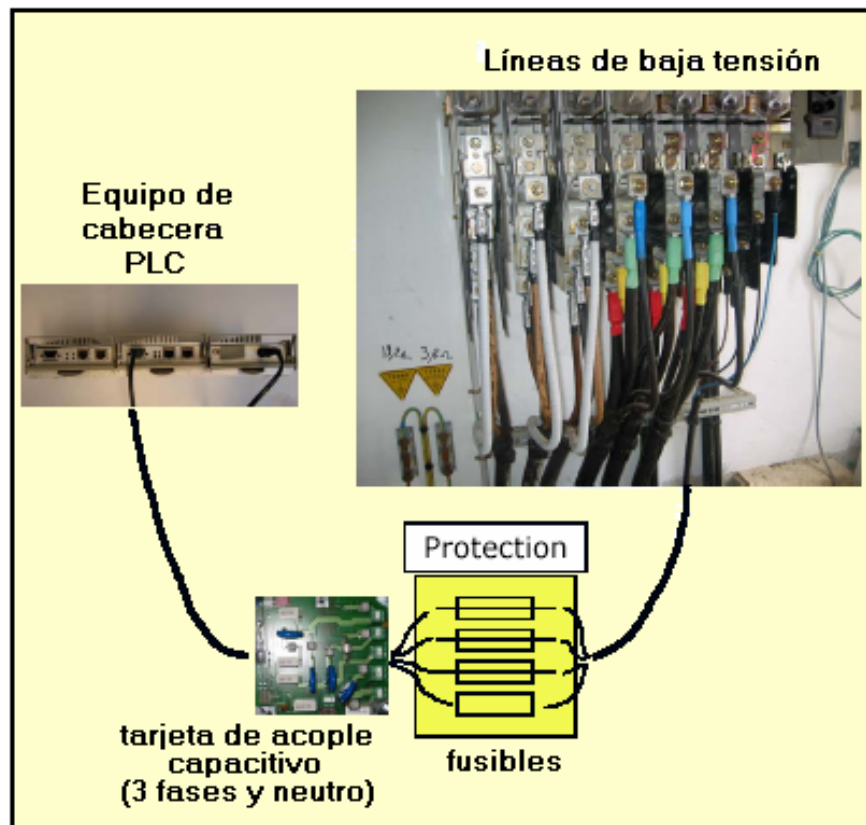
Para este nivel de tensión se han diseñado dos tipos de acoples al igual que en el nivel de media tensión, estos son los acoples de tipo capacitivo e inductivo. Con estos acoples podemos crear redes LAN en lugares como casas, empresas, oficinas. Al inyectar la señal de datos en la caja de disyuntores de la red eléctrica,

podemos utilizar cualquier tomacorriente alimentado por la misma para navegar en Internet siempre que se disponga del MODEM PLC.

**Acoples capacitivos para baja tensión.-** Esta forma de acoplamiento necesita conexión física entre el acoplador y el alambre de baja tensión. Para hacer la inserción, la mayoría de los casos se necesita trabajar sin poder en los alambres, sin embargo se puede realizar en acoplamiento con los cables energizados tal como se lo puede realizar en las líneas de media tensión. Las pérdidas de poder en el punto de conexión son bajas (entre 1 y 2 dB). Se dispone de acopladores para una sola fase (monofásicos) y acopladores para tres fase (trifásicos).



**Figura 3-23 Acople capacitivo monofásico para baja tensión**



**Figura 3-24 Esquema de conexión entre cabecera PLC, acople capacitivo y red eléctrica de baja tensión**

**Acoples inductivos para baja tensión.**- Las unidades de acople inductivo no tienen conexión física a los cables eléctricos. Existen bajas pérdidas de poder en el punto de inserción : entre 2 y 5dB en todo el rango de frecuencia usada por la red PLC (2 a 40 MHz). Estos acoples de tipo inductivo son ferritas que abrazan los cables de baja tensión inyectando la señal de datos o acoplándola a la señal eléctrica de 120 / 240 V [36].



Figura 3-25 Acople inductivo para baja tensión [36]

### 3.2.6 Esquema de la conexión resultante

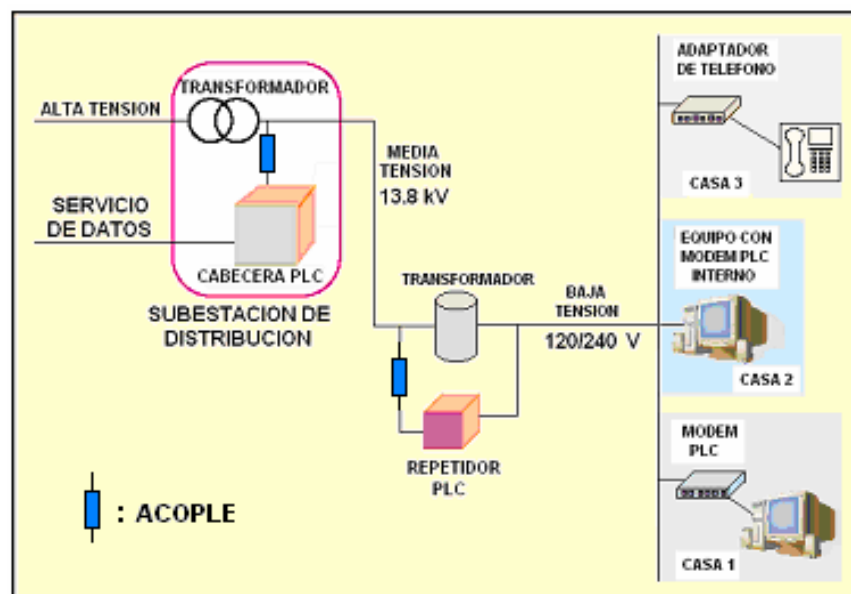


Figura 3-26 Esquema de la conexión resultante [38]

### 3.2.7 Empresas fabricantes de los equipos y chip para los MODEM's

**Empresas fabricantes de los CHIPS.-** Las empresas que fabrican los chips que estarán dentro de todos los equipos que conforman la red PLC son las siguientes:

- DS2 : Compañía Española
- ASCOM : Compañía Suiza
- MAIN.NET : Compañía Israelí

DS2 es una compañía española situada en Valencia y dedicada al diseño de chips PLC, siendo líder en este campo. Esto se debe a que es la empresa cuyos chips consiguen mayores velocidades de transmisión y la única que cuenta con tecnología PLC para redes de Media Tensión.

Básicamente el proceso es el siguiente:

- DS2 diseña los chips PLC.
- La empresa 'A' fabrica módems basados en dichos chips.
- La compañía eléctrica 'B' contrata a la empresa A que planifica, diseña y implementa servicios PLC sobre la red eléctrica de la empresa 'B'.

DS2 lidera en su sector. Los competidores de DS2 son principalmente Ascom y Main.net.

**Tabla II Fabricantes de chips para los equipos PLC**

	<b>DS2</b>	<b>ASCOM</b>	<b>MAIN.NET</b>
<b>Origen</b>	Español	Suizo	Israelí
<b>Tecnología (Velocidades)</b>	45 Mbps 200 Mbps	4.5 Mbps 20 Mbps	2 Mbps 20 Mbps
<b>Producto</b>	Chipset para MODEM's PLC	Concentradores Repetidores MODEM's	Concentradores Repetidores MODEM's Software de gestión

En España DS2 es la única empresa que desarrolla esta tecnología, con un rendimiento de sus soluciones mucho más alto que el resto de las empresas del mercado a nivel global. Así, DS2 ha logrado una velocidad de transmisión de datos teórica de 200 Mbps.

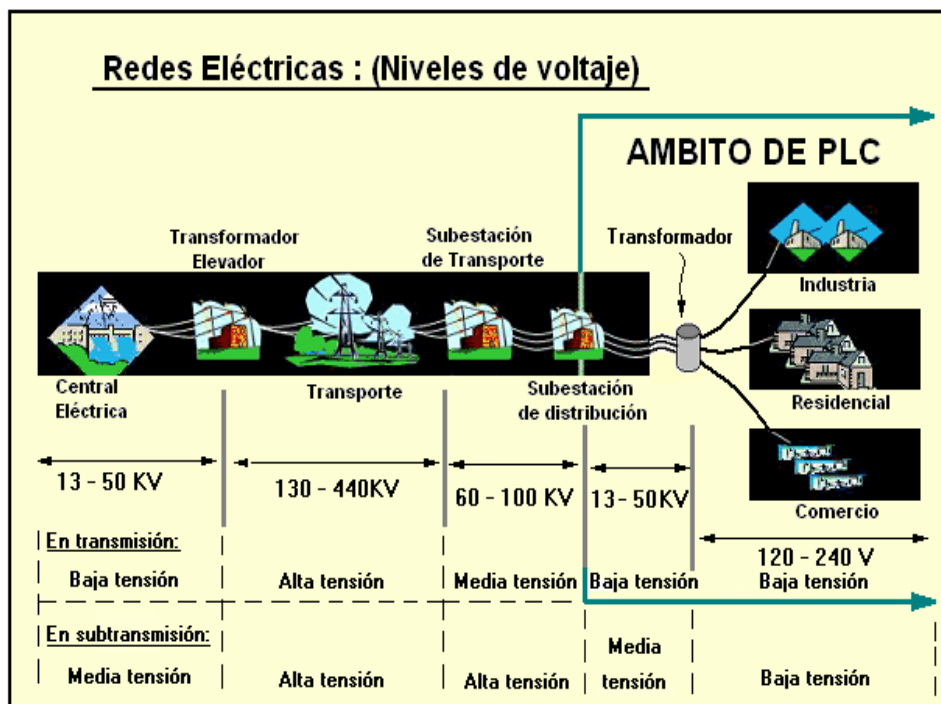
DS2 ha demostrado ser la única empresa del mundo capaz de enviar simultáneamente voz, Internet y videoconferencia a través de la red eléctrica [22].



**Empresas fabricantes de los equipos PLC.**- Entre las empresas fabricantes de los equipos tales como equipo de cabecera (HEAD END), equipos repetidores y MODEM's para los usuarios finales tenemos a las siguientes:

- **Schneider Electric** : empresa Francesa, la cual a su vez tiene una filial en Colombia, la empresa Unión Eléctrica de la ciudad de Medellín. (Todos los equipos usados en la prueba para concluir esta tesis fueron enviados por Schneider a Colombia y de Colombia a Ecuador).
- **Tecnocom** : empresa Española : Esta empresa opera tanto en España como de manera internacional en los siguientes países: Portugal, Italia, China, México, Perú, Chile y países en el norte de África.
- **Misutomo** : empresa Japonesa.
- **Mitsubishi** : empresa Japonesa.
- **Maint** : empresa Norteamericana [3].

### 3.3 Redes involucradas



**Figura 3-27 Redes eléctricas involucradas en PLC [22]**

Desde el punto de vista de subtransmisión eléctrica tenemos los siguientes tramos:

- Primer tramo de media tensión, entre 13 y 50 KV, que abarca desde la central generadora de energía hasta el primer transformador elevador.
- Tramo de transporte o de alta tensión, entre 130 y 400 KV, que conduce la energía hasta la subestación de transporte. Y entre 60 y 100KV que conduce la energía entre esta última y la subestación de distribución.

- Segundo tramo de media tensión, de 13 a 50 KV entre la subestación de distribución y los transformadores de distribución que dan servicio a los usuarios.
- Red de baja tensión, entre 120 y 240 V que distribuye la energía dentro de los centros urbanos para uso doméstico, comercial e industrial.

Podemos observar en el gráfico anterior que las redes de acceso a Internet usando la tecnología PLC son:

- Red de distribución : red de media tensión (transporte de datos).
- Red de acceso : red de baja tensión (transporte de datos) [22].

### **3.4 Arquitectura de la red**

Para acceder a este servicio, es necesario un MODEM especial PLC por cada conexión particular doméstico o empresa. Este MODEM, que es el único aparato del que se tendrá que preocupar el usuario, se conecta con un equipo denominado repetidor situado en el cuarto de contadores del edificio o manzana. Este último equipo puede atender hasta 256 MODEM's.

La arquitectura de una red PLC consta de dos sistemas formados por tres elementos:

El primer sistema denominado “de Outdoor o de Acceso”, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce “última milla”, y que para el caso de la red PLC comprende la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de la energía eléctrica. Este primer sistema es administrado por un equipo cabecera (primer elemento de la red PLC) que conecta a esta red con la de transporte de telecomunicaciones o backbone. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

El segundo sistema se denomina “de Indoor”, y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares. Para ello, este sistema utiliza como medio de transmisión el cableado eléctrico interno.

Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, segundo elemento de la red PLC. Este equipo normalmente se instala en el entorno del medidor de energía eléctrica o junto a un transformador de distribución.

El tercer y último elemento de la red PLC lo constituye el MODEM PLC para el cliente, que recoge la señal directamente de la red eléctrica a

través del enchufe. Este tiene dos filtros que separa las señales portadora de datos (pasa alto) y las de corriente eléctrica (pasa bajo).

Existen limitaciones de distancia tanto para el tramo interior a la vivienda como para el tramo de acceso, siendo éstas de aproximadamente 400 m para el tramo de acceso (desde el equipo cabecera hasta el repetidor) y 50 m para el tramo dentro del hogar (desde el repetidor hasta el MODEM) [27].

### **3.5 Topología de la red**

La topología de la red es un bus, tal como lo indica el modelo de la red lógica en la figura 3-1, provocando que el ancho de banda proporcionado por el ISP a cada equipo de cabecera PLC, deba ser compartido por todos los usuarios que estén conectados a dicha cabecera a través de las redes eléctricas de media tensión y el transformador reductor. En Guayaquil se tiene un promedio de 40 usuarios por transformador [24].

### **3.6 Ventajas y desventajas del servicio**

Una de las mayores ventajas que presenta PLC es que utiliza el medio de transmisión más extendido del mundo. Allí donde ni siquiera se conoce Internet o donde jamás en su vida han visto un teléfono, en

muchos casos disponen de energía eléctrica. Esta energía por lo general se alimenta mediante electricidad procedente de tendidos de largo recorrido, más que de generadores propios.

Mientras el número de usuarios de tecnologías telefónicas se puede cifrar en apenas 800 millones de personas, más de 3.000 millones de seres humanos tienen a su alcance la electricidad. La gran ventaja de PLC no reside en el afán occidental por tener una Internet más rápida para comercializar nuevos servicios y hacer tiendas más atractivas. Estamos hablando de una tecnología capaz de transmitir datos, y punto. El universo de posibilidades que se abre es enorme.

Gracias a PLC no se va a poder llevar Internet a esas últimas aldeas perdidas del norte del Vietnam o del interior del África ecuatorial: la mayoría de los habitantes de estas zonas probablemente mueran sin saber lo que es Internet. Lo realmente importante es que por primera vez en su historia van a poder tener acceso a un teléfono. Y lo que es aún más importante, van a poder disfrutar de canales de radio y de televisión, que pueden ser utilizados por organizaciones internacionales y de ayuda humanitaria a favor de la población.

De este modo, PLC, como tecnología barata que usa redes preexistentes para la transmisión de datos, se convierte en un magnífico motor de desarrollo capaz de romper la brecha tecnológica entre países [22].

**Ventajas.**- Las ventajas de PLC sobre las demás tecnologías son las siguientes:

#### Economía de instalación

- Sin obra civil : La principal : se emplea la infraestructura existente ya desplegada.
- Cada instalación en un transformador da acceso entre 40 y 100 hogares.
- Evolución de la actual tecnología y abaratamiento de los dispositivos PLC.
- Permite un despliegue masivo de la tecnología, ya que la red ya está implantada.
- Cualquier lugar de la casa con un enchufe es suficiente para estar conectado.
- Una gran ventaja de PLC radica en que se constituye como una alternativa a los cables telefónicos.

### Modelo económico

- Con los costes de la tecnología actual : despliegue viable.
- Se observan escenarios de reducción de costes a medio plazo.
- Precio competitivo frente a ADSL calidad y en precio

### Anchos de banda muy superiores a ADSL

- El límite de velocidad para ADSL es 2Mbps.
- Alta velocidad (banda ancha): velocidades máximas de 200 Mbps.

### Emissiones electromagnéticas

- Equiparables a ADSL y muy inferiores a la telefonía móvil.

### Calidad del sistema

- Buena calidad VoIP (voz sobre IP).
- Estabilidad frente a interferencias.

### Servicios ofrecidos

- Suministra múltiples servicios con la misma plataforma tecnológica IP, así un sólo MODEM permite acceso a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, etc..)
- Conexión permanente [22].



**Desventajas.**- Las principales desventajas son:

- Los principales problemas de la línea eléctrica como canal de comunicaciones son la atenuación de la señal debido a las múltiples derivaciones que existen, a los desacoplos de impedancia y el ruido variable en el tiempo causado por los aparatos conectados a la red y fuentes externas. Para evitar estos problemas se debe elegir un tipo de modulación adecuado. Se pueden usar tres tipos de modulación: OFDM, DSSSM, GMSK.
- Tecnología en fase de desarrollo, por lo que aún no está completamente implantada.
- Posibles interferencias sobre las transmisiones de radio en onda corta (radioaficionados). Aún no se ha confirmado.
- Existe radiación, bien por ruido hacia otras señales en la misma banda de frecuencias como de radiación de datos, por lo que será necesario aplicar algoritmos de descifrado. No obstante, la radiación que produce es mínima, la potencia de emisión es de 1mW, muy por debajo de los 2W de telefonía móvil, cumpliendo todas las normativas

europas. Actualmente en el Ecuador no existen normativas con respecto a PLC.

- Otro problema es la estandarización de la tecnología PLC, ya que en el mundo existen alrededor de 40 empresas desarrollando dicha tecnología. Para solventar este problema, la organización internacional PLCForum intenta conseguir un sistema estándar para lo cual está negociando una especificación para la coexistencia de distintos sistemas PLC.
- Otro de los problemas reside en el número máximo de hogares por transformador. Como las señales de datos de PLC no pueden sobrevivir a su paso por un transformador, junto a este se instala un equipo repetidor. Por esto, cuanto menor es el número de usuarios por cada transformador, más se elevan las inversiones necesarias.
- El caso británico resulta especialmente curioso. Tras diversas pruebas se comprobó que los enchufes utilizados en ese país tenían una forma que los convertían en perfectísimas antenas capaces de redifundir como señales de radio aéreas los datos de PLC, con lo que cualquiera podría "escuchar" estas transmisiones violando la

privacidad y la confidencialidad de las comunicaciones. Este último es precisamente uno de los aspectos menos investigados de PLC [22].

### **3.7 Otros servicios prestados por PLC**

Los servicios prestados por esta tecnología en la actualidad son:

- ❑ Telefonía : VoIP.
- ❑ Internet de alta velocidad.
- ❑ IPTV, IP-video (video bajo demanda).
- ❑ Servicios eléctricos para eficiencia: Lectura automática para contadores, conexión, desconexión, desconexión directa de cargas.
- ❑ Domótica.
- ❑ Video Vigilancia.
- ❑ Tele-diagnóstico.

Contar con una plataforma de comunicaciones que llega a todos los rincones del hogar puede facilitar muchas aplicaciones como el cuidado de personas, la vigilancia de niños, la seguridad del hogar, videostreaming y otras aplicaciones de domótica cómo telemandar electrodomésticos desde la oficina o regular lo que conforma el hogar inteligente [22].

### 3.8 Proyectos de la tecnología PLC desarrollados en otros países.

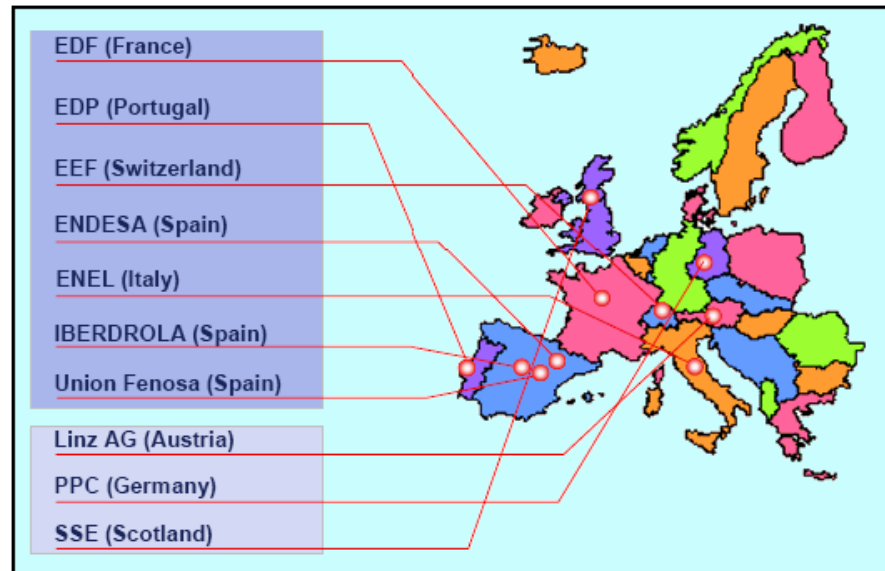
A mediados del 2004 hubieron más de cien iniciativas de PLC en el mundo, con más de seiscientas compañías involucradas, entre fabricantes de equipos, empresas de energía, compañías de telecomunicaciones, diseñadores de chips electrónicos, firmas consultoras, etc.

Se han realizado pruebas en varios países tales como: Estados Unidos, México, Costa Rica, Perú, Chile, Brasil, Islandia, España, Portugal, Noruega, Suecia, Polonia, Alemania, Austria, Suiza, Francia, Malta, Israel, Kuwait, Qatar, Corea, Hong Kong, Singapur, Australia.

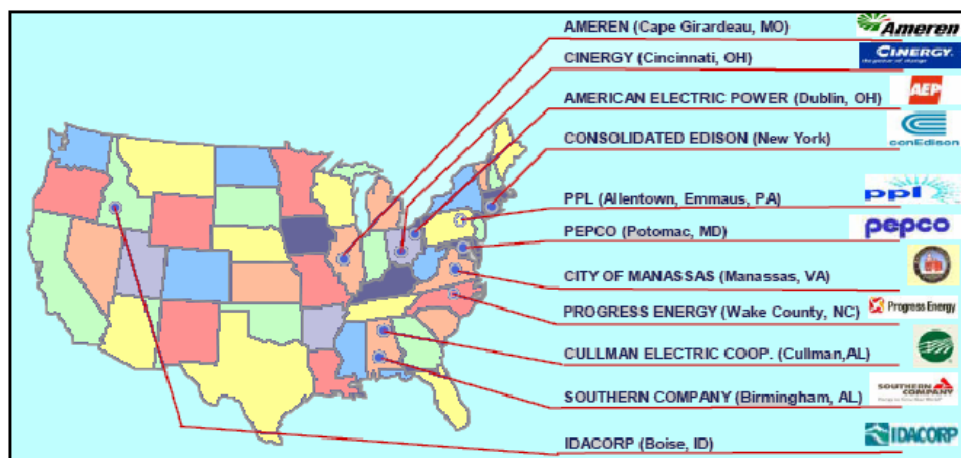
Dentro del grupo de pruebas más relevantes a nivel mundial se encuentran las pruebas de las compañías eléctricas españolas. A continuación se describe de forma general estas pruebas:

**España.**- La eléctrica Iberdrola Redes ha establecido una alianza con la empresa israelí Nams, mientras que Endesa ha desarrollado experiencias piloto con diferentes tecnologías: la perteneciente a la empresa suiza Ascom y la perteneciente a la empresa valenciana Ds2. En ambas experiencias, los servicios prestados fueron los siguientes: telefonía sobre Protocolo de Internet (IP), acceso de alta velocidad a Internet y servicios de multimedia tales como vídeo y audio a la carta así

como videoconferencia. Además se alcanzaron velocidades superiores a los 10Mbps. Unión Fenosa también ha realizado pruebas piloto utilizando la tecnología de la empresa israelí Main.Net e Hidrocantábrico utiliza la tecnología de la alemana RWE [31].



**Figura 3-28 Pruebas PLC más relevantes en Europa [31]**



**Figura 3-29 Pruebas realizadas en EEUU [31]**

En el caso de la empresa Cinergy en Ohio, espera comercializar el servicio a 250,000 usuarios del total de 1.5 millones de sus clientes en este año 2006 [31].

**Comercialización del servicio PLC.**- El servicio de INTERNET a través de las redes eléctricas ya se lo comercializa en España, siendo este país un referente en este avance tecnológico. Sin embargo, los demás países que han realizado fases de prueba con PLC aún no comercializan este servicio.

**La empresa española Iberdrola.**- Comercializa el servicio en los barrios madrileños de Arroyo Fresno y Ciudad de los Periodistas a 30.000 habitantes y proseguirá con los de Argüelles y Chamberí. La instalación y el primer mes son gratuitos, recibiendo el módem en préstamo durante la duración del contrato (un año prorrogable). Las velocidades y precios que ofrece esta compañía son los siguientes:

- **PLC 600:** ancho de banda simétrico de subida y bajada hasta 600 Kbps, por 39 euros al mes.
- **PLC 100:** ancho de banda simétrico de subida y bajada hasta 100 Kbps, por 24 euros al mes.

Ambas opciones incluyen cinco cuentas de correo de 25 megabytes (Mb), 10 Mb de página personal y el mantenimiento de la cuenta de correo previa. Los usuarios interesados podrán disponer del servicio en un plazo medio de 15 días y contarán, además, con un periodo de seis meses de prueba, durante los cuales pueden cancelar el contrato si no están satisfechos [39].

**Tabla III Precios de las otras tecnologías en España [39]**

<b>ADSL</b>	<b>FIBRA OPTICA</b>	<b>CABLE TELEFONICO</b>
256Kbps : 39 euros	150Kbps : 30 euros	56 Kbps : 16 euros
512 Kbps : 75	300Kbps : 40 euros	(horario limitado)
	1Mbps : 80 euros	
(ilimitado)	(ilimitado)	

De esta forma, Iberdrola competirá con las proveedoras de ADSL, cable (fibra óptica) y con las que ofrecen tarifa plana (cable telefónico) de 56Kbps.

Parece evidente que la mayoría de las ofertas de banda ancha presentan unas condiciones peores que las del producto PLC. La ADSL, tanto en su modalidad 256 como en la de 512 Kbps, cuesta igual o más y proporciona una velocidad inferior. La fibra óptica, por su parte, no puede competir a 600 Kbps, ya que cuesta casi el doble que el PLC.

El otro pilar sobre el que se asienta la estrategia comercial de Iberdrola es la relación **calidad/precio** de su oferta PLC 100. Proporciona casi el doble de velocidad que las conexiones convencionales (100 Kbps frente a 56), pero su precio puede ser considerado excesivo para los usuarios que sólo utilizan Internet para navegar y consultar el correo electrónico. Su principal ventaja es que permite estar conectado **24 horas**, frente al horario limitado de la 'tarifa plana' básica, que cuesta 16 euros [39].

La empresa española Endesa.- (16 de febrero de 2004) Después del exitoso lanzamiento comercial en Zaragoza inicia la comercialización de los servicios PLC en Barcelona. Al igual que en Zaragoza, el despliegue comercial de Barcelona alcanza inicialmente 5000 hogares [39].



# CAPÍTULO 4

## DISEÑO DEL SISTEMA

Para el diseño de la red PLC, se deben analizar las dos redes sobre las que funcionará, esto es, la red eléctrica y la red de datos proporcionada por el proveedor de servicios de Internet (ISP).

Al realizar el análisis de la red eléctrica se debe considerar valores tales como: niveles de voltajes, niveles de corrientes, frecuencia a la que se transmite la señal, topología de las redes tanto de baja como de media tensión, impedancias de las líneas, número de usuarios promedio por cada transformador de distribución, número de alimentadoras dentro de la subestación eléctrica para un crecimiento futuro del sistema.

Con respecto a la red de datos se debe realizar el análisis de la forma más idónea para la recepción de la señal de Internet en la subestación eléctrica en la cual se va a instalar la red PLC, esto es, el tipo de enlace entre el ISP y la subestación eléctrica. Los cuales pueden ser wireless, fibra óptica entre

otros. También se debe analizar las direcciones IP necesarias para establecer la red, así como la clase de las direcciones, la máscara de red, la dirección IP del gateway para enlazarnos al ISP, el ancho de banda necesario para satisfacer las expectativas de los usuarios, la forma en la que se creará la subred, el análisis las redes privadas necesarias para el funcionamiento de la red PLC y de las direcciones para el control de acceso al medio (direcciones MAC).

Se realizará el análisis de estas dos redes, eléctrica y de datos, para establecer el diseño prototipo con un solo punto terminal y adicionalmente para un diseño que brindará el servicio a 50 usuarios con una capacidad de 128Mbps por cada 10 usuarios.

Cabe recalcar que esta tesis tiene como alcance final verificar el funcionamiento de un diseño sencillo (un solo punto terminal : una PC conectada a la red PLC) pero el diseño para los 50 usuarios solo quedará establecido para una prueba futura.

Todo este análisis para el diseño de la red PLC se realiza en base a la subestación eléctrica Garzota que ha sido asignada por parte de CATEG para el desarrollo de esta tesis y considerando como ISP a la compañía ESPOLTEL.

#### 4.1 Descripción del diseño

En la tabla IV se presentan los datos necesarios para el análisis de la red eléctrica de la subestación Garzota, los cuales permiten la realización de las pruebas de esta tesis de grado.

**Tabla IV Datos de la red eléctrica de la subestación Garzota [40]**

<b>Número de alimentadoras dentro de la subestación eléctrica GARZOTA</b>				4
<b>Niveles de voltaje trifásicos</b> (media tensión )	<b>Línea - línea</b>		<b>fase-neutro</b>	<b>Observaciones</b>
	13.8 KV		7620 KV	± 5 %
<b>Niveles de voltaje monofásicos</b> (baja tensión)	<b>Línea - línea</b>		<b>Fase-neutro</b>	<b>Observaciones</b>
	240 V		120 V	± 5 %
<b>Niveles de corrientes en media tensión</b> (en promedio)	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Observaciones</b>
	250 A	250 A	250 A	
<b>Niveles de corrientes en baja tensión</b> (en promedio a la salida de cada transformador)	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>		<b>Observaciones</b>
	625 A	625 A		
<b>Tipo de conexión en media tensión</b> (a la salida de los transformadores de alta a media tensión)	<b>Conexión Estrella</b>		<b>Conexión delta</b>	<b>Observaciones</b>
	En el lado de media		En el lado de alta	
<b>Tipo conexión en baja tensión</b> (a la salida de los transformadores de media a baja tensión)	En cada transformador ingresa una fase y tierra. Son monofásicos. Sin embargo en su interior tienen dos bobinas en serie en el lado de baja tensión con lo cual se tienen dos niveles de tensión (dos fases)			

<b>Impedancias en las líneas de media tensión</b>	Están diseñadas con cable #336 MCM, este presenta una impedancia de $0.1694 \Omega/\text{Km}$ .	
<b>Impedancias en las líneas de baja tensión</b>	Están diseñadas con cable #1/0 AL, este presenta una impedancia de $0.5351 \Omega/\text{Km}$ .	
<b>Número de usuarios en promedio a la salida de un transformador de media a baja tensión alimentado por GARZOTA</b>	Considerando un transformador de 75KVA y un consumo promedio de 3 KVA por usuario, se tiene un promedio de 25 usuarios	
<b>Frecuencia utilizada en toda la red</b>	60 Hz	
<b>Distancia entre la subestación eléctrica y el primer transformador de distribución.</b>	120 m	
<b>Distancia entre la subestación eléctrica y el segundo transformador de distribución.</b>	200 m	
<b>Pérdida promedio en un transformador de distribución</b>	10 dB	

De acuerdo al tipo de subestación que se va a utilizar, con cables aéreos sin aislamiento, se requiere del uso de acoples de tipo capacitivo [35].

Al revisar los parámetros eléctricos permitidos por los equipos de la tecnología PLC, esto es, equipo de cabecera, acoples capacitivos, equipo repetidor, equipo terminal (MODEM para el usuario final) se puede verificar que estos pueden ser empleados en las redes eléctricas de la ciudad de Guayaquil [31].

Los parámetros de los equipos de la tecnología PLC se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla V Parámetros requeridos por los equipos PLC [41]**

<b>Equipo de cabecera PLC</b>
Voltaje de alimentación : 115 a 230 V Frecuencia de entrada : 50 – 60 Hz
<b>Acoples capacitivos para media tensión</b>
Voltaje fase-neutro de la línea a la que se va a acoplar : 17 KV máximo
<b>Equipo repetidor</b>
Voltaje fase-neutro de la línea a la que se va a acoplar : 17 KV máximo (distancia mínima entre la subestación y transformador de distribución para su utilización : 400 m)
<b>MODEM (para el usuario final)</b>
Voltaje de la red de baja tensión al que se va a conectar : 85 - 265 V Frecuencia utilizada : 50 – 60 Hz

Adicionalmente, se comprobó que las impedancias de las líneas eléctricas están dentro de los requerimientos ya que, en nuestra ciudad estas líneas tienen calibres que se encuentran dentro del rango que ha sido analizado por los fabricantes de los equipos PLC para establecer que las distancias máximas para ubicar un equipo repetidor

PLC debe ser de 400 m. Esto indica que solo si se tiene una distancia de 400m entre el equipo de cabecera PLC y el MODEM PLC se hace necesario ubicar un equipo repetidor en el diseño. El transformador que se utilizó para la prueba prototipo de esta tesis está ubicado a una distancia menor de 400 m, entonces no se requiere del equipo repetidor PLC.

Por último, la atenuación que presentan los transformadores de nuestra ciudad se encuentra dentro de los valores promedios de las atenuaciones de los transformadores usados en pruebas en otros países, esto es 10 dB (valores teóricos) [40].

Este análisis de la red eléctrica sirve para los dos diseños, el diseño prototipo usando un solo punto terminal y para el diseño teórico con 50 usuarios. Para este último se utilizarían los dos transformadores de distribución más cercanos a la subestación; ya que uno de estos se encuentra a 200m se propone la utilización de un equipo repetidor junto a este transformador para prevenir algún problema de atenuación, aunque según la tabla V, esto ocurre aproximadamente a los 400m.

#### **4.1.1 Diseño prototipo para un solo usuario**

Como siguiente paso se procede a analizar la red de datos, considerando como ISP a ESPOLTEL, para el primer diseño el cual es un prototipo con un solo usuario final realizando las siguientes consideraciones:

- Debido a que la prueba es con un solo usuario y que se desea básicamente verificar que se puede navegar en Internet por medio de las redes eléctricas, se hace uso de un enlace que brinda una velocidad de conexión de 256 Kbps, ésta es una conexión dedicada al uso exclusivo de la red PLC (canal de comunicación dedicado) . Si se desea verificar las capacidades máximas de la red PLC es necesario un enlace E1, pero esto está fuera del alcance de esta tesis.
- El enlace entre el ISP y la subestación eléctrica puede ser vía inalámbrica, fibra óptica, cable coaxial, entre otros. El enlace escogido de acuerdo a los servicios brindados por el ISP es un enlace inalámbrico (usando línea de vista).

- La dirección IP del Gateway para la conexión con el ISP es :  
172.17.144.1
- La dirección de host que se asigna al computador del usuario final es : 172.17.156.204
- La antena utilizada para la recepción de este enlace inalámbrico, la ODU, es un equipo “APERTO”, modelo PACKETWAVE 210, este tiene dirección MAC : 00013BA10FC8. Se establece el enlace con el nodo “Mapasingue” de ESPOLTEL.
- La latencia de este enlace es de 12ms [42].

Luego del análisis de las características de la red de datos y de la red eléctrica se considera factible el diseño de la red PLC, la que fusiona estas dos últimas por medio de los equipos propios de la tecnología en análisis. El diagrama de conexión del diseño demostrativo de la red PLC resultante que se instala sobre una de las fases de una de las cuatro alimentadoras (Garzota), de la subestación eléctrica Garzota es el siguiente:



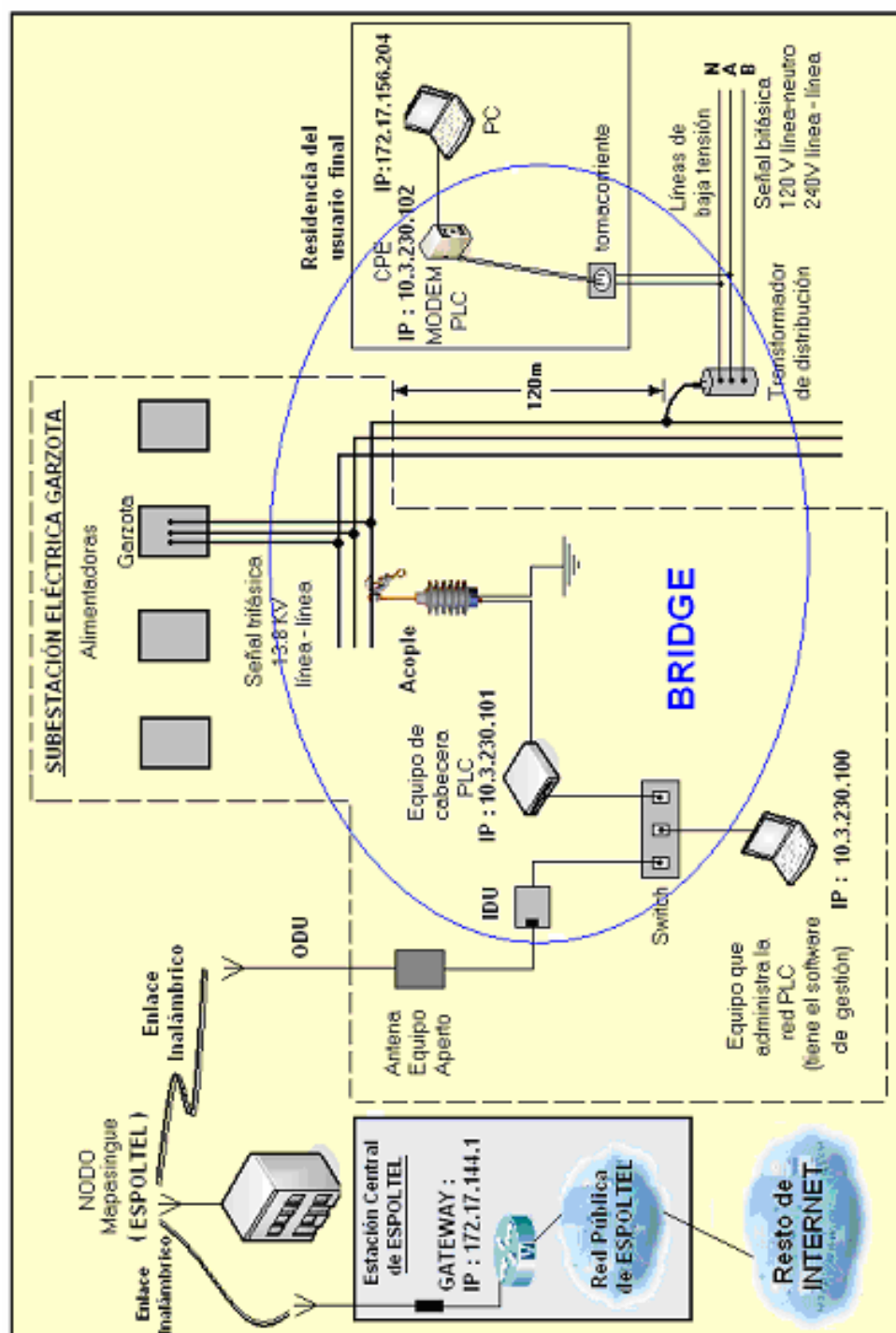


Figura 4-1 Descripción del diseño prototipo de la red PLC usando un punto terminal (1 PC)[44]

En el diseño prototipo (figura 4-1) podemos observar lo siguiente:

- El nodo de ESPOLTEL del que se recibe la señal de forma inalámbrica está localizado en Mapasingue. La dirección IP del Gateway (router) de ESPOLTEL que permite el enlace de la red PLC a la red pública de Internet, es la dirección IP: 172.17.144.1; esta es una dirección IP privada creada por ESPOLTEL dentro de sus subredes. Esto se detalla en la figura 4-2 [42].
- La antena con la que se establece el enlace, equipo Aperto, se encuentra instalada dentro de la subestación eléctrica, en un lugar adecuado para tener una buena recepción de la señal. A la salida de este equipo (ODU) se tiene un cable UTP que se conecta a la IDU, y de esta última un cable UTP que ingresa al Switch.
- Se tiene una PC con un software que permite configurar, administrar y gestionar la red PLC. Esta PC se conecta también al switch.

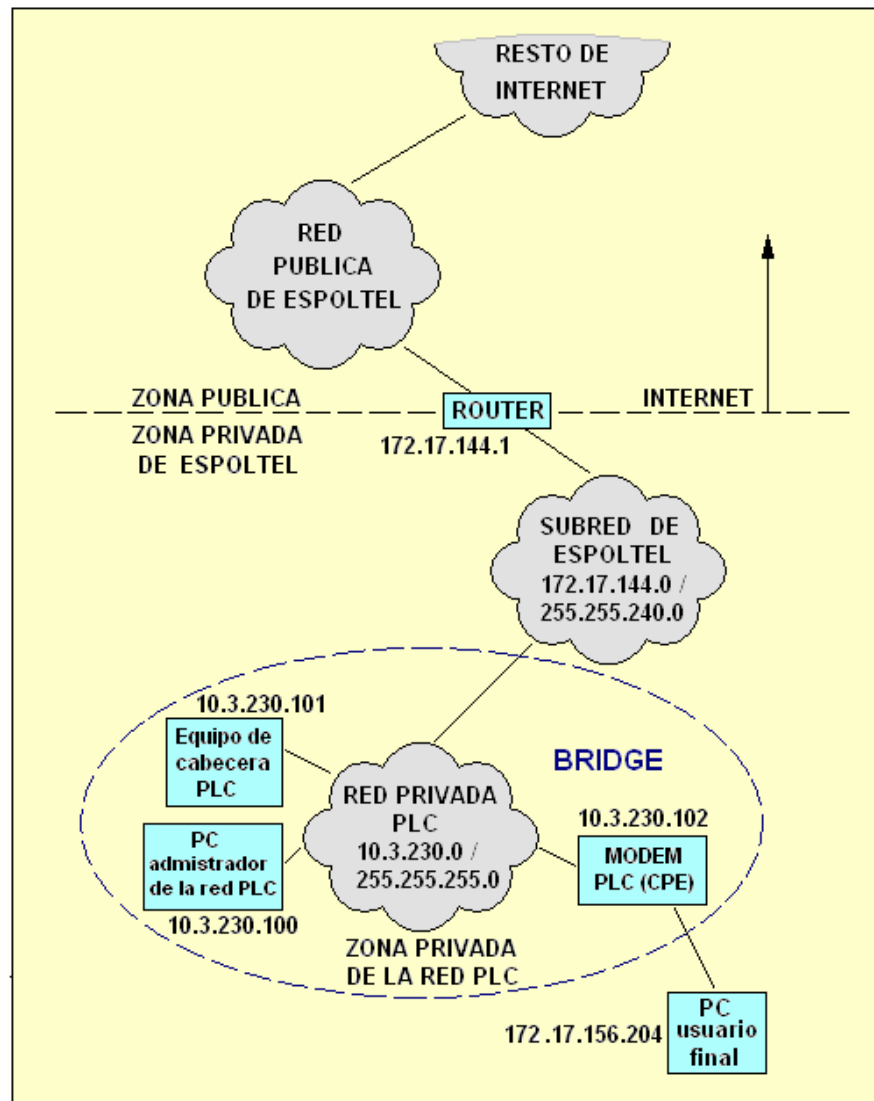
- Se tiene un cable UTP que conecta el switch a un puerto Ethernet del equipo de cabecera.
- El equipo de cabecera, el cual realiza una modulación OFDM con los datos provenientes de Internet, se conecta a la salida de una de las alimentadoras de la subestación eléctrica, alimentadora Garzota, el nivel de voltaje de estas salidas es de 13.8 KV línea – línea. Esta conexión se realiza a través de un acople capacitivo. En este punto se unen la señal eléctrica de baja frecuencia con la señal de datos de alta frecuencia sin causar distorsión la una a la otra.
- Entre la PC que administra la red, el equipo de cabecera PLC, los equipos repetidores en el caso de que sea necesario su uso y los MODEM PLC (CPE) tenemos una red de área local (LAN), dentro de esta red los equipos emplean direcciones IP privadas para su comunicación. Estas direcciones privadas son escogidas del grupo de direcciones IP reservadas para uso en redes privadas [43].
- La asignación de las direcciones IP privadas dentro de la red LAN es la siguiente: PC que administra la red:

10.3.230.100; equipo de cabecera PLC: 10.3.230.101;  
MODEM PLC (CPE) : 10.3.230.102 [42].

- La señal eléctrica y los datos juntos viajan por todo el tendido eléctrico, cabe recalcar que viajan únicamente por la fase en la que está insertado el acople capacitivo. Conforme avanza el tendido eléctrico la señal de datos se va atenuando. Como el usuario con el que se verifica el funcionamiento de la red está alimentado por el primer transformador de distribución, ubicado a 120 m aproximadamente de la subestación, el nivel de atenuación no hace necesario la utilización del equipo repetidor.
- Los datos de Internet pasan por el transformador de distribución y avanzan por la red de baja tensión hasta el usuario final. Se estima que al pasar por el transformador existen pérdidas aproximadas de 10 dB.
- El usuario final se conecta al Internet en un tomacorriente usando como intermediario un MODEM PLC. El usuario final de esta prueba se encuentra en una vivienda, dentro de la misma subestación, viajando una distancia total de 240 m,

esto es, 120 m a través del tendido de media tensión y 120 m de regreso a través del tendido de baja tensión [43].

- La PC del usuario tiene como dirección de gateway, la dirección del nodo de ESPOLTEL, dirección IP : 172.17.144.1, y como máscara de red: 255.255.240.0 [42].
- Todos los equipos PLC desempeñan la función de un puente (bridge) cuando el usuario se conecta a la red PLC por medio de su MODEM PLC.
- Se ha utilizado el modo de transmisión número seis. Dado que solo se tiene un usuario y además se cuenta con un ancho de banda limitado por el proveedor de Internet (256Kbps). Este modo seis considera la utilización de todo el espectro de frecuencias que va desde : 4 hasta 34 MHz. También se podría haber utilizado cualquier otro modo de transmisión de datos puesto que el ancho de banda del ISP utilizado es menor a la velocidad máxima de transmisión que ofrecen todos los modos [31].



**Figura 4-2 Diagrama de redes y subredes (diseño prototipo) [44]**

En la figura 4-2 se observa que la red PLC se conecta a la red pública del Internet a través de una de las subredes de ESPOLTEL, específicamente a su subred de acceso WLL.

En el caso de tener un mayor número de usuarios es conveniente acceder a la red de Internet de una forma más directa a través de uno de los segmentos de la red pública de ESPOLTEL, esto se lo describe más adelante en el diseño teórico para 50 usuarios.

También se puede observar en esta figura 4-2 la dirección de red de este acceso WLL y de la red privada PLC, así como las respectivas máscaras de red. La red privada PLC fue creada para las pruebas [42].

#### **4.1.2 Diseño teórico para cincuenta usuarios**

Ahora se procederá al análisis del diseño teórico de una red PLC considerando un total de 50 usuarios. No se ha considerado un mayor número de usuarios puesto que este diseño tiene como propósito explicar como sería la conexión de la red cuando se tiene más de un usuario y se hace necesaria la utilización del equipo repetidor, por tanto con 50 usuarios es suficiente. Cabe recalcar que la prueba de este diseño está fuera del alcance de esta tesis de grado. Como se mencionó anteriormente, para este diseño se toma en consideración el

mismo análisis de la red eléctrica que se realizó el diseño prototipo.

A partir de ese análisis y como ya se ha mencionado, se propone la utilización de un equipo repetidor PLC, porque el segundo transformador de distribución en este diseño se encuentra ubicado a 200 m de la subestación eléctrica.

Analizaremos la red de datos realizando las siguientes consideraciones:

- Debido a que en este diseño se utilizará un mayor número de usuarios, es conveniente que ESPOLTEL asigne un segmento de sus direcciones públicas, pudiendo ser una dirección IP de red clase C, para que los usuarios tengan el acceso a la red pública de Internet de una forma más directa y así no tengan que salir a partir de una de las subredes de ESPOLTEL como lo es su red de acceso WLL.
- El segmento de red pública de ESPOLTEL que se considera para este diseño es el segmento con dirección de red IP :



200.49.240.0 la cual es una dirección IP clase C, con máscara de red : 255.255.255.0

- Con esta dirección clase C se puede ofrecer el servicio de Internet a un total de 254 usuarios, esto es, sin realizar algún tipo de subred, sin embargo solo se asignarán direcciones IP de host a 50 usuarios y una dirección al gateway de salida al resto del Internet, quedando el resto de direcciones disponibles para futuros clientes de la red PLC(doscientos tres futuros clientes).
- Se considera como dirección IP del gateway para acceder al resto del Internet la dirección 200.49.240.1
- Se propone utilizar un canal con un ancho de banda de 128 Kbps por cada diez usuarios, esto es, los diez usuarios compartirían el canal, estableciéndose una relación 10:1. Para los 50 usuarios se necesita un ancho de banda de 640 Kbps. La velocidad máxima por usuario sería de 128Kbps cuando los demás no están conectados y de 12.8 Kbps cuando están conectados todos los usuarios al mismo tiempo. Los equipos de administración de ancho de banda del ISP son los

encargados de gestionar y asignar estas velocidades de navegación al usuario a fin de no tener conflictos en la red.

- La PC que administra, configura y gestiona la red PLC a través del software PLC que tiene instalado, se debe ubicar en la estación central de ESPOLTEL, en la que tiene instalado todos sus equipos tales como gateway, routers, entre otros.
- Se establece una red LAN con direcciones IP privadas entre la PC que gestiona la red (ubicada en la estación base de ESPOLTEL), el equipo de cabecera PLC (ubicado en la subestación eléctrica), el equipo repetidor (ubicado junto al segundo transformador de distribución), y los MODEM PLC de los usuarios finales ubicados en sus respectivas viviendas.
- La asignación de las direcciones IP privadas para los equipos de la red PLC formada es la siguiente: PC que gestiona la red: 192.168.16.1; equipo cabecera PLC : 192.168.16.2; equipo repetidor PLC : 192.168.16.3; MODEM's PLC para los usuarios finales desde la dirección : 192.168.16.4 hasta la : 192.168.16.53. La máscara de red es :255.255.255.0 [42].

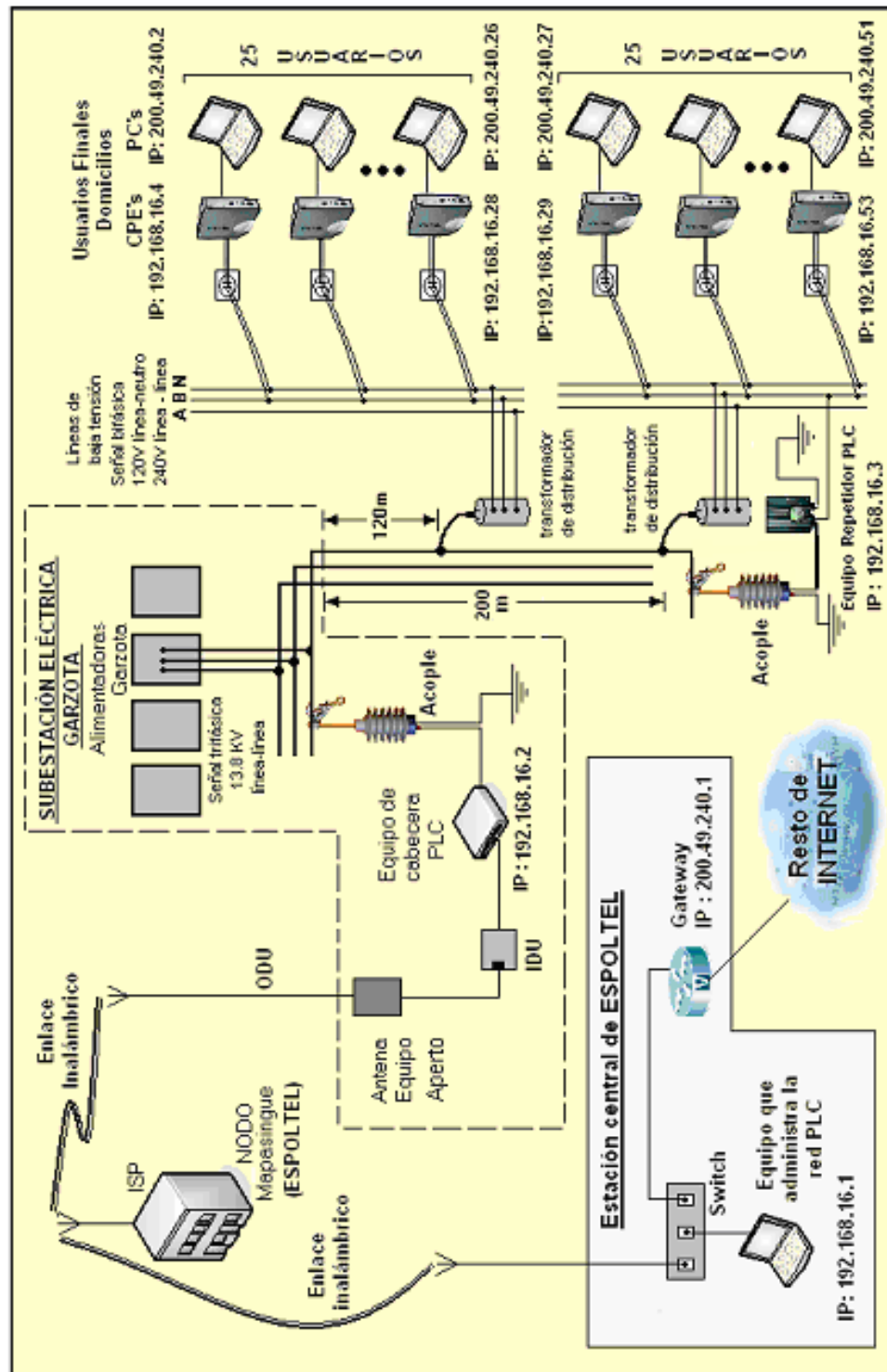


Figura 4-3 Descripción del diseño teórico de la red PLC considerando 50 usuarios [44]

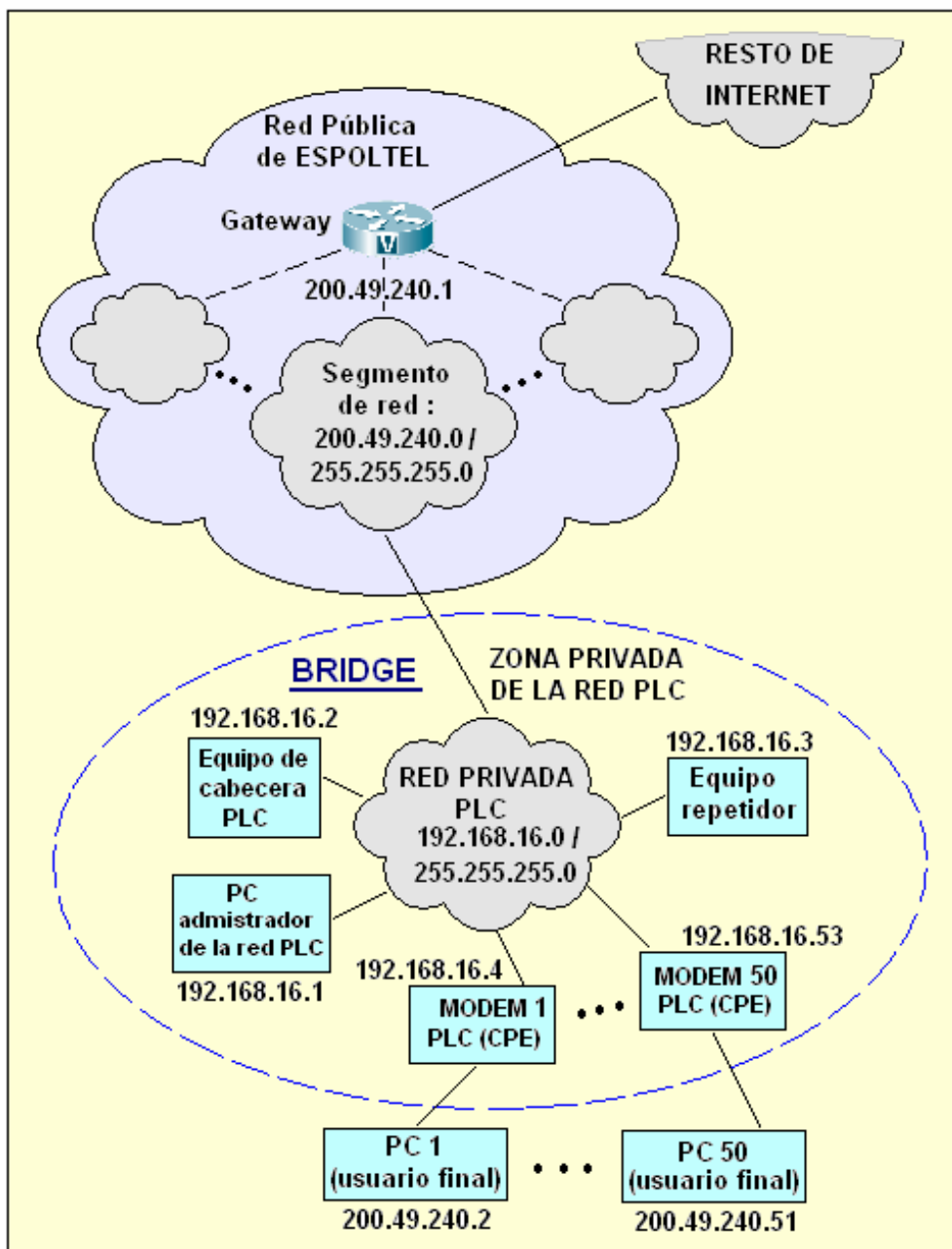


Figura 4-4 Diagrama de redes y subredes del diseño teórico [44]

Para este último diseño se podría seleccionar cualquier modo de transmisión dado que la velocidad máxima de transmisión de datos que se ofrecería a los clientes (128Kbps como máximo) no supera a la velocidad máxima que permite cada uno de los modos de transmisión [31].

#### **4.2 Capacidades del sistema**

Las velocidades que pueden ofrecer los equipos PLC son muy altas en comparación con las demás tecnologías que brindan el acceso a Internet. La velocidad máxima teórica que es alcanzada con PLC es de aproximadamente 200 Mbps. Un factor limitante para alcanzar esta velocidad máxima es el ancho de banda ofrecido por un ISP y esto se debe a los costos elevados que un ISP debe cancelar para proporcionarlo.

Tal como se ha planteado el diseño teórico para 50 usuarios, el ancho de banda que debería proporcionar un ISP a fin de que la red PLC sea competitiva con las demás tecnologías debe ser de alrededor de 128Kbps por cada 10 usuarios. Sin embargo, desde el punto de vista de rentabilidad a nivel de negocios, esta velocidad puede variar dependiendo del tiempo en el que se desea recuperar la inversión.

En el caso de utilizar la red PLC para establecer una red LAN, la comunicación directa entre dos computadoras para compartir información sin pasar por el servicio de Internet podría alcanzar las velocidades máximas, esto es, alrededor de 200Mbps.

La red PLC tiene la capacidad de interconectarse con otros tipos de enlaces, tales como el enlace inalámbrico, fibra óptica, de tal forma que se consigue un sistema híbrido. De esta manera, el sistema PLC puede permitir el acceso a Internet a sus usuarios a través de un tomacorriente de baja tensión, y el usuario adicionalmente con este acceso podría formar una red LAN dentro de su hogar de forma inalámbrica.

Con el software de gestión se pueden configurar los equipos PLC para que puedan trabajar en diferentes bandas de frecuencias denominadas modos de transmisión, esto tiene dos propósitos; el primero es el de no ocasionar posibles interferencias con otros sistemas de telecomunicaciones que se encuentren cercanos a las redes eléctricas usadas como última milla en el caso de que sea necesario; y el segundo propósito es el de usar un mismo cable eléctrico como canal de comunicaciones para transmitir varias señales de datos que tengan diferentes receptores.

Entre las aplicaciones del sistema están la capacidad para transmitir voz y datos; sin embargo, para el diseño teórico se propone ofrecer como servicio inicial solo la transmisión de datos a fin de competir con las demás tecnologías presentes en el mercado [31].

### **4.3 Crecimiento futuro del sistema**

El sistema presenta gran escalabilidad, permitiendo el incremento de un equipo para el usuario final (CPE) sin necesidad de modificar la red físicamente, solo se necesitaría realizar una configuración con el software de gestión para el nuevo usuario.

Para la ampliación del sistema se podría colocar equipos de cabeceras PLC adicionales en las otras dos fases, y de esta forma brindar el servicio a más usuarios [31].

Otra forma de ampliar el sistema es colocación de nuevos repetidores para brindar el servicio a otros sectores que están más alejados pero alimentados por la misma subestación eléctrica. También se puede incrementar del ancho de banda entregado por el ISP a fin de aumentar la velocidad de la red PLC. El costo actual del un ancho de banda de 128Kbps está alrededor de los \$450 [42].

Se tiene la convicción de que PLC será el gran competidor con las demás tecnologías para ofrecer servicios de banda ancha masivos (tanto en el ámbito residencial como en el empresarial). Dadas las características de la tecnología, probablemente termine posicionándose como la tecnología líder en este mercado.

#### **4.4 Análisis de costos y precios**

Los costos para la implementación de una red PLC es muy inferior al resto de las tecnologías actuales, ya que no es necesario realizar algún tipo de cableado entre el proveedor de servicios de Internet (ISP) y el usuario en el tramo de la última milla.

A continuación se realizará el análisis de los costos considerando que un ISP como ESPOLTEL brindará el servicio, debiendo así pagar por el alquiler de las redes eléctricas de CATEG de un sector de la ciudad para utilizarlo como parte de su última milla y ofrecer el acceso a Internet a los usuarios. Se debe considerar los costos de los equipos de la tecnología PLC para lo cual se tomará como referencia los equipos fabricados por la empresa Francesa Schneider (Equipos de la marca : ILEVO) ya que estos fueron los equipos utilizados en las pruebas que se realizaron en nuestra ciudad de Guayaquil.



El análisis de los precios para los usuarios se hace considerando una base mínima inicial de 50 usuarios según el diseño teórico realizado al inicio de este capítulo.

#### **4.4.1 Análisis de costos de los equipos**

Para establecer la red PLC se debe considerar:

- La adquisición del enlace para establecer la comunicación entre el ISP y la subestación eléctrica. En la actualidad si se considera un enlace inalámbrico, el costo aproximado es de \$5000 con un ancho de banda de 5Mbps y si se considera el alquiler del enlace, el costo mensual es de \$150 con un ancho de banda de 1Mbps [42].
- La adquisición de los equipos de la tecnología PLC, si se considera el brindar el servicio a los 50 usuarios, el costo aproximado es de \$ 11745 [45].
- El costo del Internet. En el diseño teórico para 50 usuarios, el ancho de banda de 640 Kbps propuesto tendría un costo aproximado de \$1000 al mes [42].

- El costo por el alquiler de las redes eléctricas de CATEG de un sector de la ciudad. Este valor a pagar se lo establecería mediante un cálculo de acuerdo al tiempo en el que se desea recuperar la inversión.
- Finalmente el costo de mano de obra por la instalación de los equipos PLC. Si se considera a la empresa Unión Eléctrica como proveedor de los equipos PLC, el costo por la mano de obra está incluida en el pago de los equipos [45].

**Tabla VI Costos de los equipos PLC [45]**

	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Total</b>
<b>Rack de Administración</b>			
Equipo			
ILV22B2, backplane 2 PLC slots	\$300	1	\$300
ILV22P1, Power supply unit	\$705	1	\$705
ILV22M2, PLC Fast Ethernet module	\$1270	2	\$2540
<b>Equipos de Usuario</b>			
ILV220, CPE (sin VoIP)	\$120	50	\$6000
<b>Acondicionadores de Red Eléctrica</b>			
ILV2MV1- Capacitive coupler Medium Voltage OVERCAP S17	\$1100	2	\$2200
<b>Software de Gestión</b>			
ILV NMS 500 - Network Management System	Incluido	1	0
		<b>Total</b>	<b>\$11745</b>

El valor de inversión inicial sería de : \$12895 (esto es: costo del canal inalámbrico de comunicación + costo de los equipos + costo del INTERNET) más el costo por el alquiler de la red eléctrica por el primer mes. A partir del segundo mes, se debe cancelar mensualmente el alquiler de la red eléctrica y \$1000 por el costo del Internet.

#### **4.4.2 Análisis de precios para los usuarios**

Se debe establecer un precio para competir en el mercado ecuatoriano, actualmente el servicio de banda ancha tiene un precio entre \$40 y \$80 aproximadamente más el costo de instalación.

Para establecer este precio, se propone que el MODEM eléctrico para el usuario final (CPE) debe ser entregado al mismo en forma de préstamo. Finalmente el precio de comercialización en el mercado depende del tiempo en el que los inversionistas deseen recuperar su capital. Considerando que se desea competir con los demás proveedores del servicio de Internet, se debería fijar un precio menor o igual a los \$40; se propone un precio de \$40 sin costo adicional de instalación ya que no se requiere de ésta, pero haciendo

énfasis en las ventajas que ofrece el sistema con respecto al resto de tecnologías presentes en el mercado.

#### **4.4.3 Análisis comparativo con otras tecnologías**

Entre las principales tecnologías con la que competiría PLC se encuentra ADSL, el cable de fibra óptica y las tecnologías inalámbricas.

**Comparación con ADSL.**- En el caso de ADSL el usuario tiene una conexión individual hasta la central ya que el par de cobre no lo comparte con nadie. Aunque esto sea cierto, todas las conexiones ADSL son juntadas por un multiplexor ATM y salen por el mismo enlace hasta el siguiente tramo de red. En este punto, la empresa que brinda este servicio decide cuantos ADSLs juntar por Mbit/s de salida de los que dispone. Aproximadamente en 1 Mbit/s de salida se concentra entre 6 y 8 conexiones ADSL. En el caso de PLC esta concentración ocurre antes, en el equipo repetidor 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

este momento estén usando su conexión ADSL, teniendo en cuenta la máxima 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, pero si lo están tan sólo 10 usuarios la velocidad máxima teórica de bajada es de 2,7 Mbps mientras que en ADSL nunca vamos a pasar de los 256 Kbps o 2 Mbps ya que este es nuestro máximo teórico, haya o no muchos usuarios conectados. Desde ese punto de vista, PLC escala de una manera no igualada por ADSL [22].

**Comparación con las tecnologías inalámbricas.-** En la actualidad existe una tecnología muy prometedora **WiMAX (802.16)**, que tiene un alcance de alrededor de **20 Km.** Intel está fabricando los chip para esta tecnología y algunos fabricantes la están montando ya en lugares donde no hay mucha densidad poblacional y el cable no llega. Esta tecnología está en etapa de pruebas. Con respecto a las tecnología inalámbrica 802.11b, la velocidad máxima de transmisión es de 11Mbps. Pero la velocidad típica está entre 1.5 y 5 Mbps. Para la tecnología 802.11g la máxima velocidad

es de 54 Mbps, pero su velocidad típica está entre 5 y 15 Mbps. Al comparar la tecnología Power Line Communications con las tecnologías inalámbricas se concluye que PLC alcanza velocidades de transmisión hasta cuatro veces más altas [22].

**Comparación con la fibra óptica.-** Un dispositivo denominado Cablemodem permite conectar la computadora al INTERNET, con una velocidad hasta 10 veces superior a la de un sistema telefónico tradicional. Esta tecnología permite conectar la computadora al Internet a una velocidad de 256Kbps (es la más común, pero también hay de 128 Kbps y 512 Kbps). Esto se logra gracias a que tanto la señal que recibes como la que envías viajan a través de una red híbrida de fibra óptica y cable coaxial (HFC).

Se puede notar que PLC también supera a la fibra óptica y cable coaxial en las velocidades que estos últimos ofrecen.

Adicionalmente a que Power Line Communications supera en velocidades de transmisión a cualquier otra tecnología existente en el mercado, PLC también es una tecnología más

económica que las demás ya que no necesita infraestructura adicional como medio de transmisión, puesto que usa las redes eléctricas ya existentes, de tal forma que, solo se necesitan los equipos tales como cabeceras, repetidores y MODEM's para su funcionamiento [22].

## **CAPITULO 5**

### **PRUEBAS REALIZADAS CON LOS EQUIPOS EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Para llevar a cabo las pruebas de la tecnología PLC en la ciudad de Guayaquil el grupo que desarrollo esta tesis contó con el soporte técnico de la empresa Colombiana Unión Eléctrica de la ciudad de Medellín. Esta empresa dispone de los equipos de la tecnología PLC que fabrica la empresa Francesa Schneider. Se realizaron todas las gestiones en la Facultad (FIEC) para contar este soporte técnico. Los equipos que fueron traídos por Unión Eléctrica para realizar las pruebas llegaron en forma de préstamo por 2 días, tiempo en el cual estos ingenieros colombianos permanecieron en nuestro país. Los equipos con los que contamos fueron : equipo de cabecera, equipo repetidores, acoples capacitivos y MODEM para el usuario final.

Como se menciona en el capítulo 3, existen dos tipos de acoples para inyectar la señal de Internet en las redes eléctricas, los acoples tipo capacitivo y los de tipo inductivo. Ya que para hacer las pruebas se contaba



con acoples capacitivos se procedió a realizar todas las gestiones necesarias en la empresa eléctrica de la ciudad de Guayaquil (CATEG) para que se nos asignaran una subestación eléctrica con las características apropiadas de acuerdo a dichos acoples capacitivos. Finalmente CATEG nos asignó la subestación GARZOTA ubicada entre las avenidas Agustín Freire y Antonio Parra Velasco.



**Figura 5-1 Subestación eléctrica Garzota de la ciudad de Guayaquil [37].**

Las pruebas de la aplicación de la tecnología Power Line Communications como acceso a Internet, sobre las redes eléctricas de la ciudad de Guayaquil fueron realizadas por primera vez el Jueves 11 de Noviembre de 2005 por este grupo de tesis y con el soporte técnico. Cabe resaltar que esta prueba

con la tecnología PLC ha sido la primera en ser llevada a cabo en nuestro país.

Se contó con el apoyo de la compañía ESPOLTEL para tener la conexión a Internet e inyectarla en la red eléctrica de media tensión en la subestación ya antes mencionada, la velocidad de la conexión a Internet proporcionada por ESPOLTEL fue de 256Kbps.

Adicionalmente se contó con la ayuda de la propia empresa eléctrica en el momento de ubicar los acoples en la red de media tensión, esto se realizó con un carro tipo canasta.

### **5.1 Pruebas con los equipos**

Previo a la utilización de los equipos se realizó un análisis de los mismos y de los sistemas que estarían involucrados en la red Power Line Communications que se conectaría en la subestación eléctrica, esto es:

- El análisis de los equipos que habían llegado de Colombia tales como el equipo de cabecera, los equipos repetidores, los acoples capacitivos y los MODEM.
- El análisis de la conexión a Internet proporcionada por ESPOLTEL.

- El análisis de las redes eléctricas de media y baja tensión de la subestación, los niveles de voltaje, corrientes, distancia a la que se encontraba el primer transformador reductor de media a baja tensión en el cual se ubicaría el equipo repetidor.

Luego de haber realizado este análisis se estableció el diseño de esta nueva red PLC que se pondría a funcionar en un sector de la ciudad de Guayaquil pero con una restricción: en el caso de que la prueba sea exitosa, seamos los únicos capaces de recibir la señal de Internet en los tomacorrientes de baja tensión ya que solo nosotros disponíamos de los equipos terminales necesarios (MODEM) para recibir esta señal en una PC. Este análisis y diseño de la red PLC se encuentra detallado en el capítulo anterior (Cáp.4).

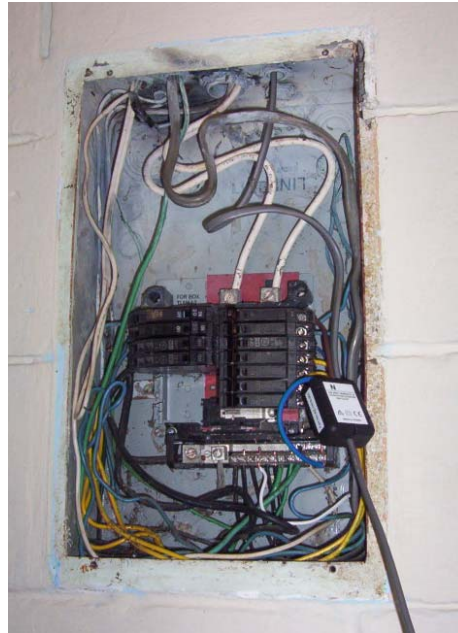
## **5.2 Pruebas sobre las redes eléctricas en la subestación**

Para realizar un estudio completo y detallado sobre las redes eléctricas se debe analizar los niveles de voltaje, corriente, frecuencia, impedancias de las líneas de transmisión, tipo de transformadores reductores de media a baja tensión, grampas usadas para realizar empalmes en los cables de media y baja tensión ubicadas por lo general en los postes en los que se encuentran los transformadores de distribución que reparten la señal hacia los domicilios.

A este estudio se le denomina caracterización de la red eléctrica. Este estudio se lo realiza con la red PLC ya conectada en la red eléctrica, requiriendo de al menos una semana para realizar todos los análisis necesarios.

Ya que este proyecto de graduación solo tenía como objetivo demostrar que las redes eléctricas de media y baja tensión de un sector de la ciudad de Guayaquil pueden ser utilizadas para transportar la señal de Internet, la caracterización completa de la red estaba más allá del alcance de la misma, por ello solo se realizó un análisis básico de la red eléctrica para luego conectar los equipos PLC sobre la misma. Este análisis básico realizado se detalla en el capítulo 4.

Adicionalmente a la prueba principal que tenía este proyecto de graduación se realizó otra prueba solamente sobre la red de baja tensión conectando una red LAN en un departamento ubicado dentro de la subestación eléctrica, de tal forma que todos los tomacorrientes del mismo disponían de la señal de Internet, luego de haber inyectado esta señal en la caja de disyuntores del departamento con los acoples capacitivos de baja tensión también proporcionados por la empresa colombiana y habiendo configurado con el software de gestión el equipo de cabecera para que trabaje en baja tensión.



**Figura 5-2 Inyección de la señal de Internet en la caja de disyuntores ubicada en un departamento dentro de la subestación eléctrica [37].**

Luego de realizar esta pequeña prueba sobre la red de baja tensión con un resultado exitoso se procedió a la prueba principal, inyectar la señal de Internet sobre la red de media tensión, para esto se necesitó de la ayuda de una cuadrilla de trabajadores y un carro canasta de la empresa eléctrica, se conectaron todos los equipos PLC y se confirmó la recepción exitosa de la señal de Internet en un tomacorriente de baja tensión.

La red PLC formada se describe a continuación :

- Se iniciaba con la recepción de la señal de Internet en forma inalámbrica en una antena instalada en la subestación eléctrica por ESPOLTEL.



**Figura 5-3 Antena instalada por la compañía ESPOLTEL dentro de la subestación eléctrica Garzota en la ciudad de Guayaquil [37].**

- A continuación dicha señal era conectada al equipo de cabecera PLC, el cual, por medio de una PC con un software de gestión que administraba la red PLC, enviaba la señal de Internet hacia la red de media tensión, específicamente hacia una de las fases de una de las 4 alimentadora que al igual que la subestación tiene el nombre de “Garzota” a través del acople capacitivos PLC.



**Figura 5-4 Alimentadora llamada Garzota de la subestación Garzota [37].**

- Esta señal viajaba junto a la señal eléctrica por toda la red de media tensión.

- En el primer transformador reductor de media a baja tensión localizado a unos 100 m aproximadamente de la subestación eléctrica se ubicó un equipo repetidor PLC con el que se amplificaba la señal de Internet para que se reparta por la red de baja tensión, esta línea de baja tensión regresaba a la misma subestación ya que dentro se disponía de un departamento, y es precisamente en los tomacorrientes de baja tensión de este lugar donde verificamos la recepción de la señal de Internet.

De esta forma se estableció una red PLC sobre una de las fases de la red eléctrica de esta subestación [43].

### **5.3 Conexión de los equipos en las redes eléctricas**

Para realizar la conexión de los acoples capacitivos sobre la red de media tensión (13.8KV) se debía trabajar con la línea viva, es decir, sin hacer una desconexión de la línea, contando con el equipo de trabajo de CATEG.

Luego de haberle dado todas las indicaciones uno de estos trabajadores subido en la canasta del carro de la empresa y con una pértiga que sostenía el acople capacitivo se acercó a la línea de media tensión y la



engancho sin ningún inconveniente pero usando una grampa, ya que el cable era grueso.



**Figura 5-5 : Instalación del acople capacitivo sobre la red de media tensión (izquierda). Acople capacitivo ya instalado (derecha) [37].**

En ese momento ya se tenía el camino para que los datos del Internet ingresen a la red eléctrica, solo bastaba activar el equipo de cabecera para que enviara la señal de Internet luego de que el software de gestión lo habilitara y lo programara para que trabaje en media tensión.

A continuación con ayuda del carro canasta se ubicó el equipo repetidor en el transformador reductor de media a baja tensión más cercano a la subestación.



**Figura 5-6 Instalación del equipo repetidor junto al transformador reductor [37]**

#### **5.4 Verificación del correcto funcionamiento del sistema en el punto terminal**

Una vez conectada la red PLC sobre la red de media y baja tensión de la subestación Garzota se procedió a la verificación del correcto funcionamiento de la misma.

Cabe señalar que se realizó la prueba sin la activación del equipo repetidor y al notar que contábamos con una buena recepción de la señal de Internet en los tomacorrientes (baja tensión) preferimos hacer las pruebas en esas condiciones, sin embargo para distancias mayores o iguales a 600 metros es imprescindible un equipo repetidor PLC.

Se realizaron pruebas básicas tales como :

- Velocidades promedio de navegación las cuales fueron proporcionadas por una de las páginas de Internet que nos permiten medir la velocidad de acceso al mismo mediante un test ([www.bandwidthplace.com/speedtest/dt4.php](http://www.bandwidthplace.com/speedtest/dt4.php)). Este test nos permite bajar un archivo y al final nos indica la velocidad de descarga. Se bajaron algunos documentos del Internet para realizar esta prueba y se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla VII Pruebas con la navegación en INTERNET [43]**

# de Prueba	Tasa de transferencia de descarga de archivos	Red eléctrica utilizada
1	157.3 Kbps	Baja tensión
2	91.3 Kbps	Baja tensión
3	145.1 Kbps	Baja tensión
4	248 Kbps	Baja tensión

5	148.8Kbps al mismo tiempo se realiza una llamada a través de un VPN ubicada en Medellín y un CHAT con una persona en Medellín.	Media y baja tensión
---	---	----------------------

- En el sistema operativo DOS se ejecutó el comando ping para verificar la velocidad de respuesta (latencia) que se tenía con la red PLC al acceder al servicio de Internet, esta respuesta fue de 226 ms, este valor se encuentra alrededor del promedio que se tiene en una conexión con cable (fibra óptica) o ADSL, esto significa desde el punto de visto técnico que la red PLC no genera alguna latencia adicional por el hecho de transmitir a través la red eléctrica.
- Tiempo requerido para bajar canciones y videos (sitios que requieren normalmente de banda ancha para poder acceder sin problemas). Reproducción de canciones. En esta prueba se consiguió velocidades de reproducción de 118Kbps.
- Sintonización de emisoras de otros países. Aquí se navegó a velocidades de 64, 96 y 128 Kbps.
- Utilización de la red PLC como medio para realizar una llamada telefónica hacia Colombia. En esta prueba la llamada salió vía Internet por las redes eléctricas de la subestación de Guayaquil y llegó a

Colombia a una red de voz VPN (conexión de telefonía IP) administrada por la compañía Unión Eléctrica proveedora de los equipos utilizados en las pruebas.

Podemos observar que la red PLC diseñada y puesta en funcionamiento llegó en ciertos momentos a una velocidad cercana a la máxima velocidad de acceso a Internet proporcionada por ESPOLTEL, esto es 256Kbps, sin embargo también podemos observar que en otras pruebas solo se consiguió en promedio solo la mitad de dicha velocidad; esto se debe a varios factores tales como la velocidad de la página de Internet a las que estamos ingresando, puesto que esto depende del número de usuarios que estén accediendo a la misma en todo el mundo, el número de usuarios que estén compartiendo la conexión de Internet entregada por el ISP, entre otros factores [43].

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

El presente trabajo, fruto de investigación y dedicación, se proyecta a ser un referente en los proyectos de graduación, a ser la tea del emprendimiento y motivación por lo novedoso, por lo que queda la satisfacción del trabajo cumplido cuando caemos en cuenta que los principales objetivos fueron alcanzados:

- Se demostró que las redes eléctricas de media y baja tensión de un sector de Guayaquil pueden ser utilizadas para transmitir datos que provengan de un ISP con lo que se puede generalizar a gran parte de la ciudad puesto que el resto de la misma no presenta gran variedad en topología y materiales usados en su red.
- Se pudo describir la funcionalidad y consistencia de la tecnología PLC al navegar en Internet, se alcanzó velocidades consideradas en el rango de la denominada “banda ancha”, estas fueron: 157.3 y 248 Kbps al descargar archivos; 118 Kbps al descargar canciones y videos; 128 Kbps al sintonizar emisoras de otros países.

- Al realizar un análisis comparativo de velocidades de conexión entre los diferentes tecnologías para acceder al servicio de Internet, se concluye que PLC es muy superior. PLC alcanza velocidades máximas de 200 Mbps, ADSL hasta 2 Mbps, las tecnologías inalámbricas entre 11 y 54 Mbps y la fibra óptica junto al cable coaxial velocidades de 128 – 256 y 512 Kbps.
- Al analizar los costos se concluye que la tecnología PLC puede resultar más económica para un ISP y a su vez para los usuarios en comparación con el resto de tecnologías, esta posibilidad depende del valor que podría cobrar la empresa eléctrica por el alquiler de sus redes al ISP; basados en las experiencias de empresas españolas con respecto a la comercialización de este servicio, podemos hacer una hipótesis muy favorable a que PLC si puede ser más rentable que las demás tecnologías.
- Para la transmisión de datos a través de las redes eléctricas, dentro de la subestación no era necesario obtener permisos en los organismos de control de las telecomunicaciones ya que, se estaba realizando la transmisión a través de un medio físico como es el alambre de cobre.

- Actualmente la CATEG no cuenta con los permisos ni licencias de los organismos de control de las telecomunicaciones, que se requieren para transmitir datos a través de sus redes.

### **Recomendaciones**

El enfoque de este trabajo no solo se limitó a la parte técnica, en la cual se consiguió mucho, sino también a la parte investigativa, de liderazgo, y de motivación por realizar algo nuevo, por lo que si nos enmarcamos en este aspecto y tomando en cuenta las dificultades y obstáculos que se fueron presentando en el desarrollo de la tesis se puede tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Fomentar el avance del estudio de la tecnología PLC por parte de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación proponiendo temas de tesis a los alumnos egresados con el propósito de hacer estudios muy importantes de la red PLC, estudios que estaban fuera del alcance de esta tesis, entre estos están:
  - Estudio de la red eléctrica, llamado caracterización de la red, para analizar de una forma detallada y con equipos de medición las posibles interferencias causadas por los armónicos y los equipos de la red eléctrica (tales como



grapapas, uniones entre otros) a la señal de datos provenientes del Internet y viceversa.

- Estudio del marco legal para poder establecer el servicio de Internet a través de las redes eléctricas, esto es, permisos y licencias que deberían adquirir las empresas eléctricas para poder alquilar sus redes como medio de transmisión de datos a un ISP o para establecerse como un ISP.
  - Estudio y diseño de la red PLC para un número de usuarios igual al que normalmente atiende un ISP junto a un estudio de factibilidad económica del proyecto conociendo previamente el precio que cobraría una empresa eléctrica por el alquiler de sus redes.
- Que la facultad brinde mayores facilidades a los estudiantes que se encuentren realizando tesis en el caso de necesitar recursos económicos para contar con soporte técnico de empresas extranjeras o para realizar cursos fuera del país en el caso de llevar a cabo temas acerca de nuevas tecnologías.

## **ANEXO A :**

**Datos técnicos de los equipos PLC  
de la marca ILEVO [41]**

## Datos técnicos de los equipos PLC de la marca ILEVO

### Especificaciones del MODEM para los usuarios

TABLA VIII

<b>CHIPSET</b>	
DS2 Wisconsin	
Porcentaje de Datos	Sobre los 200 Mbps a través de la interfase de la línea de poder
<b>CAPA FISICA</b>	
Modulación	OFDM con 1536 carriers uplink / downlink, simétrico, sobre los 10 bits por símbolo adaptivo por carrier
Paso de poder de transmisión	1dB
Densidad espectral de potencia ( PSD )	$\leq - 50$ dBm / Hz
Ganancia de transmisión programable	33dB y 21dB
Ganancia de recepción programable	-12dB a +30dB , en pasos de 6dB
Rango Dinámico	90 dB min
<b>CAPA 2 : DE PROTOCOLO</b>	
MAC	MAC dentro de casa para pequeña red LAN
QoS dinámica	Configuración usando servicio clasificador

Protocolo : Tree Spanning	IEEE 801.2 D
VLAN	IEEE 801.2 Q Sobre los 4094 VLAN_ID Sobre los 256 VLANs activos en interfase LV
Prioridad de tráfico	IEEE 801.2 p
Sincronización de reloj	NTP
Voz sobre IP	ITU-T H.323 versión 4 compliant H.450 incluidos servicios suplementarios 1, 2 , 4 , 7 H.245 versión 8 H.245 tunneling H.225 versión 4 Identificador de llamadas a través Q.931 messages H.245 Indication de entrada de usuario para señalización DTMF fuera de banda G.711 (A-law y u-law) G.723.1 , G.726 y G.729A / B

TABLA IX

<b>CONFIGURACIÓN Y GESTIÓN</b>	
La gestión remota de todo MODEM ILEVO es hecha vía un protocolos SNMP estándar	
Versión MIB	MIB II/ IETF RFC1213, 1493, 2674
SNMP	Soporta SNMP v2c
Provisión	Configuración IP por DHCP Cliente FTP

	Configuración y archivos mejorados por TFTP
Inoperabilidad con Routers y otros dispositivos de redes tales como servidores DNS, servidores DHCP y servidores boot son gestionados por medio de protocolos estándar.	
<b>ASPECTOS DE SEGURIDAD</b>	
Autenticación	Las direcciones CPE LMAC son registradas en un Masters para prevenir de intromisión no autorizada. Para esto se usa es protocolo RADIUS
Separación junto a la capa 2	Dispositivos ILEVO soportan VLANs basadas en el protocolo estándar IEEE 802.1Q
Separación junto a la capa física	La comunicación entre un CPE y el master confía en un código específico previniendo a otro CPE de la decodificación de la señal

TABLA X

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
Peso	730 gramos
Dimensiones	200x160x70 mm
Color	Transparente (si no es especificado) y azul, amarillo o rojo bajo pedido.
Material	Parte central: ABS, F20, GR, Cicolac, GE Inflamable: clase V1 Cubierta lateral: PMMA, BN, BK, RÖ, BEGUSSA Inflamable : clase HB

Puertos y conectores	1 IEC EN60 320-1 1 Puerto RJ45 Ethernet 1 USB 1.0 / 1.1 1 Interfase de teléfono RJ-11
Indicadores de estado (LEDs)	4 Leds para indicar señales de : poder, datos, calidad de la línea de poder y enlace
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>	
Consumo de poder	8W (típico); 13W(máximo)
Voltaje	85-265V
Frecuencia	50 / 60 Hz

TABLA XI

<b>MEDIO AMBIENTE</b>	
Protección ingress (IP)	IP20
Nivel de ruido acústico	Menor a 25dB (A) mientras ILV220 no use un ventilador
<b>OPERACIÓN</b>	
Ambiente en el que opera	De acuerdo a ETS300019-1-3 clase 3.1
Humedad relativa	5% a 85% no condensada
Temperatura ambiente a la que opera	0 a 40°C con 100% de rendimiento -5 a 55°C sin daños.

**Especificaciones de los equipos repetidores**

TABLA XII

<b>CHIPSET</b>	
DSS9002	Tabla activada: Direcciones MAC (max) : 1024 Conexiones PLC activas : 64
Porcentaje de Datos	Sobre los 200 Mbps
<b>CAPA FISICA</b>	
Modulación	OFDM con 1536 carriers uplink / downlink, simétrico, sobre los 10 bits por símbolo adaptivo por carrier
Paso de poder de transmisión	1dB
Densidad espectral de potencia ( PSD )	46dBm/Hz ; ancho de banda : 10MHz 49dBm/Hz ; ancho de banda : 20MHz 50dBm/Hz ; ancho de banda : 30MHz
Ganancia de transmisión programable	33dB y 21dB
Ganancia de recepción programable	-12dB bajando a +30dB , en pasos de 6dB
Rango Dinámico	90 dB min
<b>CAPA 2 : DE PROTOCOLO</b>	
MAC	Acceso LV para red LAN

	extendida. Mecanismo maestro-esclavo
QoS dinámica	Configuración usando servicio clasificador
Protocolo : Tree Spanning	IEEE 801.2 D
VLAN	IEEE 801.2 Q
Prioridad de tráfico	IEEE 801.1 p
Sincronización de reloj	NTP

TABLA XIII

<b>CONFIGURACIÓN Y GESTIÓN</b>	
La gestión remota de todo equipo ILEVO es hecha vía un protocolos SNMP estándar	
Versión MIB	MIB II/ IETF RFC1213, 1493, 2674
SNMP	Soporta SNMP v2c
Inoperabilidad con Routers y otros dispositivos de redes tales como servidores DNS, servidores DHCP y servidores boot son gestionados por medio de protocolos estándar.	
<b>ASPECTOS DE SEGURIDAD</b>	
Autenticación	Las direcciones LMAC son opcionalmente autenticadas usando RADIUS para prevenir intrusión no autorizada
Separación junto a la capa 2	Dispositivos ILEVO soportan VLANs basadas en el protocolo estándar IEEE 802.1Q



Separación junto a la capa física	La comunicación entre un IR y el master confía en un código específico previniendo de la decodificación de la señal
-----------------------------------	---

TABLA XIV

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
Peso	2.5 Kg. aproximadamente
Dimensiones	190x150x80 mm aproximadamente
Color	Gris ILEVO, RAL 7030
Material	Aluminio 6063 HC
Puertos y conectores	1 interfases acopladoras 1 RJ45 10 / 100 BASE-T
Indicadores de estado (LEDs)	4 Leds para indicar señales de : poder, estado, enlace PLC, act PLC
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>	
Consumo de poder	15W máximo
Voltaje	100/240V
Frecuencia	50 / 60 Hz

TABLA XV

<b>MEDIO AMBIENTE</b>	
Protección ingress (IP)	IP54

Nivel de ruido acústico	Sin ventilador . Menor a 25dB (A)
<b>OPERACIÓN</b>	
Ambiente en el que opera	IEC60721-3-3 standard: -3k3 (Schneider Standard FT15005 categoría C2)
Humedad relativa	10% a 100% no condensada
Temperatura ambiente a la que opera	-25°C a 40°C -25°C a 55°C en áreas restringidas de acuerdo a EN 60950/FT15005C2

### Sistema del equipo transformador (TE)

Tabla XVI

	Backplanes		
	ILV22B1	ILV22B2	ILV22B3
<b>Características Físicas</b>			
Peso	0.9Kg	1.4Kg	1.8Kg
Dimensiones( pin de tierra excluido)	232x215x48	346x215x48	460x215x48
Color	Gris ILEVO, Ral 7030	Gris ILEVO, Ral 7030	Gris ILEVO, Ral 7030
Conectores	Conector de poder y PCI	Conector de poder y PCI	Conector de poder y PCI
Indicadores de estado (LEDs)	Powerline TX, Enlace Powerline, Enlace backplane ½, Eth ½_TX, Enlace Eth ½	Powerline TX, Enlace Powerline, Enlace backplane ½, Eth ½_TX, Enlace Eth ½	Powerline TX, Enlace Powerline, Enlace backplane ½, Eth ½_TX, Enlace Eth ½
Protección Ingress (IP) De acuerdo con	IP21	IP21	IP21

áreas protegidas del clima tales como local de transformadores			
--	--	--	--

Tabla XVII

	<b>Módulos</b>		
	<b>ILV22P1</b>	<b>ILV22M2</b>	<b>ILV22M3</b>
Descripción	Fuente de poder	Modulo Ethernet	Modulo Gigabit
Chipset		DSS9002	DSS9003
Porcentaje de Datos		Sobre los 200 Mbps a través del puerto PowerLine	Sobre los 200 Mbps a través del puerto PowerLine
<b>Características físicas</b>			
Peso	0.8Kg	0.8Kg	0.8Kg
Dimensiones	195x110x48	195x110x48	195x110x48
Color	Gris ILEVO, Ral 7030	Gris ILEVO, Ral 7030	Gris ILEVO, Ral 7030
Material	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Puertos y conectores	Conector de poder y PCI	Conector de poder y PCI	Conector de poder y PCI
Indicadores de estado (LEDs)		Enlace PLC, Actividad PLC Rx/Tx Enlace backplane	Actividad PLC Rx/Tx Enlace PLC, Enlace backplane Enlace de Puerto Gigabit Ethernet Puerto Gigabit Ethernet Rx/Tx

Tabla XVIII

Capa física			
Paso de poder de transmisión		1dB	1dB
PSD		$\leq - 50$ dBm/Hz	$\leq - 50$ dBm/Hz
Ganancia de transmisión programable		33dB y 21 dB	33dB y 21 dB
Ganancia de recepción programable		-12 dB a 30 dB	-12 dB a 30 dB
Rango dinámico		90 dB min	90 dB min
Características Eléctricas			
Consumo de poder	40W	8W	8W
Voltaje de entrada	115Vac/230Vac	115Vac/230Vac	115Vac/230Vac
Frecuencia de entrada	60Hz/50Hz	60Hz/50Hz	60Hz/50Hz

## **ANEXO B :**

**Software de gestión de la red PLC [41]**

## **Software de gestión de la red PLC.**

**(Network Management System NMS 500)**

### **Principales funciones:**

- Aprovisionamiento : Configuración del sistema para un nuevo usuario
- Monitoreo : Todos los componentes de la red PLC
- Evolución : Descargando nuevas versiones de firmware
- Comunicación

MNS500 está diseñado con cinco módulos independientes enlazados a través de una base de datos, cada módulo provee diferentes funciones.

### **Función de aprovisionamiento.**

Esta función está provista por el “Deployment Manager”. Estos módulos habilitan al operador para declarar modificaciones o eliminar campos de equipos de cabecera, equipos repetidores o usuarios finales de la base de datos. La entrada puede ser hecha:

- A través de una forma interactiva(usando un cuadro de diálogo dedicado)
- Por importación de archivos generados “spreadsheet”

Cuando un nuevo dispositivo es ingresado o modificado, este es inmediatamente tomado en cuenta por los otros módulos y todas las modificaciones necesarias son operadas dentro de los mecanismos requeridos.

### **Función de monitoreo.**

Esta función está provista por “la interfase de usuario gráfica”. Este módulo habilita al operador para monitorear los mecanismos de la red PLC usando tres pantallas:

- *Vista de topología*: Gráficamente muestra todos los equipos de cabecera y repetidores de la red PLC. Se puede acceder a la información del CPE a través de una vista detallada de cada equipo de cabecera.
- *Ventana de lista de alarmas*: Dinámicamente muestra todas las alarmas que han aparecido y no han sido reconocidas por el operador. La lista de alarmas incluye “test de conectividad” , “umbral de porcentaje de datos” y “ configuración de cambios”.
- *Ventana de seguridad de eventos*: Muestra todas las ocurrencias de las alarmas. El operador puede aplicar filtros y métodos de “sorting“ para analizar la historia completa de un evento.

### **Función de evolución**

Esta función es provista por el “Release Upgrading Manager”. Este módulo habilita al operador a:

- Especificar donde esta localizado el archivo imagen de un nuevo firmware (sobre un servidor FTP)
- Seleccionar todos los masters los cuales requieren este nuevo anuncio de evolución.
- Enviar a cada master un pedido para evolución, y asegurarse que la evolución ha sido hecha.

### **Función de comunicación**

Todas las comunicaciones a los mecanismos PLC son conducidos por el módulo “Comm manager”. Este módulo usa protocolo Estándar : SNMP V2c y Telnet.

### **Rendimiento**

Sobre una sola PC, todos los módulos y la base de datos son instalados sobre la misma plataforma. Esta solución es capaz de controlar sitios de tamaño mediano (menor a 500 puntos). Más allá de estos puntos, esto puede ser necesario para distribuir el sistema sobre diferentes host, un host debería estar dedicado a la base de datos y a la comunicación, otros hosts pueden



ser usados para monitoreo y despliegue. Usando diferentes “grupos” de mecanismos PLC, varios operadores pueden trabajar sobre la red sin interferencia.

### **Hardware recomendado**

- Pentium III, mínimo 800 Mhz
- Puerto Ethernet 10/100 base T
- Sistema de operación: Win 2000 o Win XP
- RAM: 256Mbps para Win XP y 128Mbps para Win 2000
- La base de datos usada es JET.(incluida en Windows). No necesita otro software.
- Los protocolos usados son: Telnet y SNMP V2c

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nuevas tecnologías para el servicio de Internet /Tesis doctoral / Andre Veá Varo/ Mayo de 2002 / Parte 5 sección II / [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_URL/AVAILABLE/TDX-1104104-101718//Tavb09de23.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_URL/AVAILABLE/TDX-1104104-101718//Tavb09de23.pdf)
- [2] Datos consultados en las empresas eléctricas Categ y Transelectric de Guayaquil y Quito respectivamente.
- [3] Introducción a la tecnología PLC/ Ingeniero técnico de Telecomunicaciones Francisco Manuel García Palancar/ Revista Antena de Comunicación/ 2004
- [4] Sistema de suministro eléctrico/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/ [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_suministro\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico)
- [5] Intensidad de corriente/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/ [http://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad\\_de\\_corriente\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad_de_corriente_el%C3%A9ctrica)
- [6] Alternador/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/ <http://es.wikipedia.org/wiki/Alternador>
- [7] Campo eléctrico/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/ [http://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9ctrico)
- [8] Campo magnético/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/ [http://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_magn%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_magn%C3%A9tico)

- [9] Generación de electricidad/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n\\_de\\_electricidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_electricidad)
- [10] Se repite el mismo mal de todos los años:no llueve en Paute/ octubre 2005/  
[http://ecuadorloser.blogspot.com/2005\\_10\\_01\\_ecuadorloser\\_archive.html](http://ecuadorloser.blogspot.com/2005_10_01_ecuadorloser_archive.html)
- [11] Energía eólica/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_e%C3%B3lica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica)
- [12] Transporte de energía / WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_transporte\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_transporte_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)
- [13] Subestación eléctrica/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica)
- [14] Red de distribución de la energía/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_distribuci%C3%B3n\\_de\\_la\\_energ%C3%ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_distribuci%C3%B3n_de_la_energ%C3%ADa)
- [15] Sistema eléctrico, fuentes energéticas e historia de la electrificación en Costa Rica/ Br. Carlos E. Fallas Saborío/ 2001/  
<http://www.cientec.or.cr/ciencias/energia/articulo3.html>
- [16] Imagen:Electric transmission lines.jpg/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Electric\\_transmission\\_lines.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Electric_transmission_lines.jpg)
- [17] Obras realizadas por la empresa Grinor S.A. construcciones/  
[http://www.grinor.com.uy/Fotos/obras6\\_3f.jpg](http://www.grinor.com.uy/Fotos/obras6_3f.jpg)
- [18] Transformador/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Transformador>

- [19] Electric Energy / Education Foundation thinkquest/  
<http://library.thinkquest.org/22361/energy/electricenergy.htm>
- [20] Foto de la subestación de Tacna/ Red eléctrica del sur S.A./  
[http://www.redesur.com.pe/img/img\\_t\\_04c.jpg](http://www.redesur.com.pe/img/img_t_04c.jpg)
- [21] Características de la subestación de Puno/ Red eléctrica del sur S.A./  
<http://www.redesur.com.pe/puno.htm>
- [22] Internet por red eléctrica (PLC) / Roumen Chirinov / octubre de 2003 /  
<http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=1>
- [23] Internet y mucho más por el cable eléctrico/ Revista: Comunicaciones  
WORLD/ Eva Martin y Juan F. Marcelo/ 5 de enero de 2001
- [24] BroadBand PowerLine Communications/ Halid Hrasnica; Abdelfatteh  
Haidine; Ralf Lehnert/ Dresden University of Technology, Germany/  
2004 / pagina 50,51
- [25] BroadBand PowerLine Communications/ Halid Hrasnica; Abdelfatteh  
Haidine; Ralf Lehnert/ Dresden University of Technology, Germany/  
2004 / grafico : Logical PLC bus network structure/ pagina 51
- [26] Introducción a la tecnología PLC/ Ingeniero técnico de  
Telecomunicaciones Francisco Manuel García Palancar/ Revista  
Antena de Comunicación/ figura 4/ página 22
- [27] La tecnología PLC en los Programas de Fomento de la Sociedad de la  
Información de Red.es/ J. R. González y, F. J. Vieira/ septiembre 2004/  
<http://www.rediris.es/rediris/boletin/68-69/enfoque4.pdf> /

- [28] Modulación OFDM/ WIKIPEDIA la enciclopedia libre/  
<http://en.wikipedia.org/wiki/COFDM>
- [29] Introducción a la tecnología PLC/ Ingeniero técnico de Telecomunicaciones Francisco Manuel García Palancar/ Revista Antena de Comunicación/ figura 5/ página 23
- [30] PLC IBERDROLA. LA NUEVA CORRIENTE EN TUS COMUNICACIONES/ Empresa eléctrica española IBERDROLA /  
<http://www.iberdrola.es/ovc/plc/index.html>
- [31] Tecnología PLC banda ancha/ Empresa colombiana Unión Eléctrica S.A./ Presentación en Power Point / Ing. Julián Alberto Pinto Tobón.  
Jefe Departamento Soporte Técnico / [www.unionelectrica.com.co](http://www.unionelectrica.com.co)
- [32] MODEM para usuario final/ Empresa Francesa ILEVO/  
[http://www.ilevo.com/fileadmin/user\\_upload/ilevo/products/ilv220\\_20data\\_20sheet\\_20eng\\_20pm1028\\_1\\_20c.pdf](http://www.ilevo.com/fileadmin/user_upload/ilevo/products/ilv220_20data_20sheet_20eng_20pm1028_1_20c.pdf)
- [33] Equipo repetidor/ Empresa Francesa ILEVO/  
[http://www.ilevo.com/fileadmin/user\\_upload/ilevo/products/ilv2110\\_2120\\_20data\\_20sheet\\_20eng\\_20pm1031\\_1\\_20d.pdf](http://www.ilevo.com/fileadmin/user_upload/ilevo/products/ilv2110_2120_20data_20sheet_20eng_20pm1031_1_20d.pdf)
- [34] Equipo de cabecera/ Empresa Francesa ILEVO/  
[http://www.ilevo.com/fileadmin/user\\_upload/ilevo/products/te\\_20data\\_20sheet\\_20eng\\_20pm1029\\_1\\_20c.pdf](http://www.ilevo.com/fileadmin/user_upload/ilevo/products/te_20data_20sheet_20eng_20pm1029_1_20c.pdf)
- [35] Acoples para media y baja tensión/ Empresa española ARTECHE/  
[www.artech.com/acoplesPLC.pdf](http://www.artech.com/acoplesPLC.pdf)

- [36]** Equipo de acoples /Empresa Francesa ILEVO/  
<http://www.ilevo.com/06-coupling.pdf>
- [37]** Fotos tomadas por el grupo de esta tesis en la subestación eléctrica Garzota de CATEG/ sector norte de la ciudad de Guayaquil/ 10 de noviembre de 2005
- [38]** Introducción a la tecnología PLC/ Ingeniero técnico de Telecomunicaciones Francisco Manuel García Palancar/ Revista Antena de Comunicación/ figura 1/ página 20
- [39]** Comercialización en España/ Diario el navegante/ octubre de 2003  
<http://www.elmundo.es/navegante/2003/10/15/empresas/1066215293.html/>
- [40]** Datos proporcionados por la empresa eléctrica de Guayaquil (CATEG)/ Ing. Alvarez/ Subestación Eloy Alfaro/ Departamento de distribución
- [41]** Equipos de la tecnología PLC/ Empresa Francesa ILEVO/  
<http://www.ilevo.com/en/system-products/200mbs-products/>
- [42]** Características de la red de datos para las pruebas y para el diseño teórico/ Proporcionados por la empresa ESPOLTEL
- [43]** Valores, datos prácticos obtenidos y diseños de redes durante las pruebas realizadas por este grupo de tesis.
- [44]** Figuras diseñadas por este grupo de tesis "PLC" / 2005
- [45]** Precios de los equipos de la tecnología PLC marca ILEVO/  
Proporcionado por la empresa colombiana Unión Eléctrica