



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN  
LATACUNGA**

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON  
TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATIONS) PARA LAS  
UNIDADES DEL EJERCITO ECUATORIANO.”**

**PROYECTO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS  
EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CBOS. TOCTAGUANO ROSERO WILLIAM WLADIMIR**

**CBOS. ZAPATA PALOMINO EDISON GUILLERMO**

**DIRECTOR: ING. KATYA TORRES**

**CODIRECTOR: ING. GALO AVILA**

**Latacunga, Abril del 2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Cbos. Toctaguano Rosero William Wladimir y el Cbos. Zapata Palomino Edison Guillermo, bajo mi supervisión.

Latacunga abril 2011

---

Ing. Katya Torres  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Galo Ávila  
CODIRECTOR DEL PROYECTOR

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN LATACUNGA**  
**JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON**  
**LA COLECTIVIDAD**

**CERTIFICADO**

Ing. Katya Torres (DIRECTOR)

Ing. Galo Ávila (CODIRECTOR)

**CERTIFICA: APROBACIÓN DEL TUTOR**

Que el trabajo titulado **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATIONS) PARA LAS UNIDADES DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.”**, realizado por el Cbos. Toctaguano Rosero William Wladimir y el Cbos. Zapata Palomino Edison Guillermo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la publicación de conocimientos y al desarrollo profesional. **Si** recomienda su publicación. El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil. Autorizan a los señores el Cbos. Toctaguano Rosero William Wladimir y el Cbos. Zapata Palomino Edison Guillermo, que lo entreguen al TCRN. Esp. Vicente Tinizaray Jefe de Investigación y Vinculación con la Colectividad de la ESPE Extensión Latacunga.

Latacunga, abril del 2011

Ing. Katya Torres  
DIRECTOR

Ing. Galo Ávila  
CODIRECTO

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN LATACUNGA**  
**JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Nosotros:**

Cbos. Toctaguano Rosero William Wladimir y el

Cbos. Zapata Palomino Edison Guillermo

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATIONS) PARA LAS UNIDADES DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, marzo del 2011

---

Cbos. Toctaguano William  
C.I. 0502480262

---

Cbos. Zapata Edison  
C.I.0502416910

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN LATACUNGA**  
**JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**  
**AUTORIZACIÓN**

**Nosotros:**

Cbos. Toctaguano Rosero William Wladimir y el

Cbos. Zapata Palomino Edison Guillermo

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca virtual de la Institución, del trabajo denominado: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATIONS) PARA LAS UNIDADES DEL EJÉRCITO ECUATORIANO”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, abril 2011

---

Cbos. Toctaguano William  
C.I. 0502480262

---

Cbos. Zapata Edison  
C.I. 0502416910

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero antes que nada mi agradecimiento especial a Dios, por darme la vida, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haberme dado unos excelentes padres y una linda familia, por haberme puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el todo el periodo de formación profesional.*

*Agradezco hoy y siempre a mi familia porque a pesar de no estar presente físicamente han estado conmigo cada día dándome animo y la fortaleza necesaria para seguir adelante.*

*Agradezco a la Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, ya que me abrió sus puertas para poder formarme profesional e intelectualmente.*

*A la carrera de Eléctrica y Electrónica a sus profesores, por todos los conocimientos que me brindaron.*

*Agradezco a la directora de este proyecto Ingeniera Katya Torres y codirector Ingeniero Galo Ávila por su apoyo, confianza y apertura para poder culminar con éxito el presente proyecto.*

*Un profundo agradecimiento a las personas que trabajan en el Departamento de Eléctrica y Electrónica, por su apoyo y sus conocimientos en todo momento que requería sin ningún egoísmo, gracias por todo.*

**EDISON ZAPATA**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero empezar agradeciendo a dios. Por haber hecho posible que se desarrolle lo más sublime en el planeta tierra. La vida ah mis queridos ingenieros de la carrera de eléctrica y electrónica de manera especial, a quienes desinteresadamente y con mucha paciencia, impartieron sus conocimientos que Fueron el pilar fundamental, para concluir mis estudios de una manera satisfactoria. También quiero expresar mi agradecimiento a cada uno de mis superiores en los Diferentes grados militares. Que con su disciplina firme me supieron mantener siempre en el camino del bien y sus sabios concejos que me ayudaron a nunca desmayar en el objetivo trazado, los mismos que me permitían cumplir mis actividades siempre pensando en el futuro. Porque aprendí que todo lo que se empieza hay que terminar. Ah todo el personal docente, administrativo, y de servicio que labora en la ESCUELAPOLITECNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA. Por permitir que mi vida de estudiantil, se desarrolle en un ambiente de paz y lleno de muchas alegrías.

**WILLIAM TOCTAGUANO**

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a Dios, quien me da la salud, la fe, la fortaleza, y la esperanza de culminar este trabajo.*

*En la vida hay personas muy importantes, que siempre te brindan apoyo, te extienden la mano en momentos difíciles, te escuchan, te entienden, por todo eso, dedico este trabajo con todo el amor del mundo mi madre que le admiro y le amo mucho, gracias por todo lo que han hecho por mí, por el apoyo que me ha brindado tanto moral como económicamente, por sus sabios consejos, por enseñarme a luchar desde pequeño para alcanzar mis metas, por su nobleza quienes me ayudan a encontrar la luz cuando todo es oscuridad y por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles que Dios le bendiga y les proteja siempre.*

*A los que nunca dudaron que lograría este triunfo: mi querida familia*

**EDISON ZAPATA**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este pequeño trabajo, a las personas que se han convertido en una parte de mi vida, a mi querido hermano por ser el motivo de mi inspiración en cada paso que he dado durante el transcurso de todo lo que me he trazado .por permanecer a mi lado en las buenas y en las malas, porque ha estado dispuesto a dar todo por ver conciliadas mis metas, por hacer que mi vida siempre este llena de alegría, y anhelos, quiero hacer que se sienta orgulloso de tener a un hermano lleno de mucha humildad, respeto, y conocimiento ,con muchas ganas de ayudar en lo que sea necesario quiero que sepa, que siempre estaré dispuesto a dar todo de mi si en algún día de su vida me necesita. A ustedes mis queridos padres les dedico esto, por haber confiado en mí .por estar todo el tiempo pendiente de todos los pasos que hasta ahora los doy en mi vida. Y decirles que no es el único triunfo que les dedico, que mientras dios me preste la vida les dedicare muchos triunfos más. Con todo el amor y el cariño para quienes fueron mi inspiración CRISTAN TOCTAGUANO Y MIS AMADOS PADRES.

**WILLIAM TOCTAGUANO**

## RESUMEN

En los últimos años, internet ha pasado a formar parte en la vida de todos nosotros. la gran mayoría de la población se conecta asiduamente a la red, sustituyendo en gran medida la correspondencia convencional por los rápidos e-mails, descargamos los temas musicales que más nos interesan... incluso aquellos que no se han acercado tanto a internet, seguro que han oído hablar en algún momento del mismo. de uno u otro modo, internet ya forma parte de la sociedad. El gran atractivo de estas nuevas tecnologías se encuentra en la interactividad por parte del usuario, el cual deja de ser un elemento pasivo para pasar a intervenir a distancia y abriendo así posibilidades como el comercio electrónico, el teletrabajo, enseñanza a distancia, es decir, la telemática para que todas estas posibilidades tengan lugar es necesario disponer de medios que soporten grandes volúmenes de datos, que sean capaces de canalizar toda la información. en los últimos años, las innovaciones en transmisión digital han permitido grandes avances en la capacidad de las autopistas de la información, conocidas como redes troncales. Sin embargo, el gran problema se encuentra en cómo enlazar cada uno de los usuarios con las redes troncales permitiendo velocidades de acceso elevadas a un costo económico reducido. en otras palabras, el problema reside en la última milla o bucle de abonado, ya que es ahí donde se producen los cuellos de botella y donde la inversión económica puede llegar a ser muy elevada.

la desregulación de los mercados de telecomunicaciones en la mayor parte de los países miembros, la tendencia hacia los servicios de banda ancha y la presión sobre el uso de las actuales redes, son, sin lugar a dudas, elementos de mercado de por sí importantes para incentivar el desarrollo de comunicaciones. Cada día que pasa las compañías que prestan servicios de acceso a internet advierten con desazón que los usuarios a quienes prestan servicios demandan velocidades de acceso y servicios telefónicos mucho más rápidos y de mejor calidad.

El estudio de la factibilidad de una red de acceso a internet utilizando la tecnología PLC (Power Line Communications), en zonas de preferente interés social (“zonas rurales”) es una necesidad creciente y un motor de desarrollo en los diferentes pueblos del mundo; el atractivo de las comunicaciones a través de la red eléctrica, principalmente en el uso de las actuales líneas eléctricas para la transmisión de voz y datos, ofreciendo a los clientes finales de la energía eléctrica un nuevo abanico de servicios alternativos a las tradicionales compañías de telecomunicaciones.

Como de hecho, las redes de energía eléctrica se encuentran desarrolladas en la totalidad de los países, nadie duda de que su impacto, tanto por el lado de la utilidad como el de mercado, sea tremendo. Una de las claves de este éxito, es la capacidad que tienen las compañías eléctricas de llegar, directamente y a menor coste, al usuario final, al abonado del servicio; la posibilidad de llevar la señal de voz, video y datos a través de la red de media y baja tensión eléctrica permitirá el crecimiento de la red de telecomunicaciones, así como disponer, por parte de la población, de una potente herramienta que promueva el desarrollo en las distintas zonas del los países.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
CARÁTULA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	li
CERTIFICADO.....	lii
DECLARACIÓN RESPONSABILIDAD.....	lv
AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	X
ÍNDICE.....	si
INTRODUCCION.....	18

## CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
1.1. COMUNICACIÓN POR LÍNEAS ELÉCTRICAS.....	19
1.2. RED PLC DE ACCESO.....	22
1.3. RED PLC DE MEDIA TENSIÓN.....	23
1.4. CARACTERÍSTICAS DEL CANAL-RED ELÉCTRICA.....	24
1.5. CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DEL SISTEMA PLC.....	25
1.6. VENTAJAS DEL SISTEMA PLC.....	25
1.7. DESVENTAJAS DEL SISTEMA PLC.....	26
1.8. CAMPOS DE APLICACIÓN.....	27
1.9. ESTRUCTURA DE UNA RED PLC.....	27
1.10. ARQUITECTURA DE LA RED PLC.....	32
1.11. MODULACIONES EMPLEADAS.....	35
1.12. PROTOCOLOS DE UN EQUIPO PLC.....	40
1.13. PROBLEMAS DE LA TECNOLOGÍA PLC (INTERFERENCIAS).....	41
1.13.1. NTERFERENCIAS CON HF.....	41

1.14. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO.....	43
1.15. VELOCIDADES DE CONEXIÓN.....	44
1.16. EMPRESAS QUE OFRECEN TECNOLOGÍA PLC.....	44
1.17. TECNOLOGÍA PLC EN EL MUNDO.....	44
1.18. TECNOLOGÍA PLC EN EL ECUADOR.....	46
1.19. FABRICANTES DE EQUIPOS PLC.....	47

## **CAPÍTULO II NORMAS Y ESTANDARIZACIÓN**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
2.2.1 ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS.....	48
2.2.1.1 ESTÁNDARES Y NORMAS DE PLC.....	48
2.2.1.2 NORMAS DE PLC.....	51
2.2.1.3 ESTÁNDARES DE PLC.....	57
2.3 SITUACIÓN REGULATORIA ACTUAL.....	60
2.3.1. ASPECTOS REGULATORIOS.....	60
2.3.1.1. REGULACIONES TÉCNICAS.....	60
2.3.1.2. REGULACIONES DE SERVICIO.....	60
2.3.1.3. REGULACIONES ORGANIZATIVAS.....	61
2.3.1.4. SITUACIÓN REGULATORIA EN EL ECUADOR.....	61

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)

CONTENIDO	Pág.
3.1. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE BROADBAND PLC EN LA RED ELÉCTRICA DE LA UNIDADES DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.....	63
3.1.1. REQUISITOS DE LA RED ELÉCTRICA.....	63
3.1.2. REQUISITOS PARA ADMINISTRACIÓN, DIAGNÓSTICO Y SOPORTE.....	64
3.1.3. REQUISITOS DE CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS BROADBAND PLC.....	65
3.1.4. REQUISITOS DE COMPATIBILIDAD CON LOS SERVICIOS YA EXISTENTES.....	66
3.1.5. REQUISITOS DE OPERACIÓN.....	68
3.1.6. REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LA RED DE ACCESO .....	68
3.2. DISEÑO DEL ENLACE DE BAJA TENSIÓN.....	70
3.2.1. SISTEMA DE LA RED DE BAJA TENSIÓN.....	72
3.2.1.1.CPE (Customer Premises Equipment).....	72
3.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA. INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	85
3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.....	86
3.4. DISEÑO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN .....	86
3.4.1. EQUIPOS DE MEDIA TENSIÓN.....	88
3.4.1.1. Unidad máster API-2000-MV (Medium Voltage Master, Repeater or Slave).....	88
3.4.1.1.1. CONFIGURACIONES DEL API-2000-MV.....	88
3.4.1.1.2. ACOPLADORES.....	89
3.4.1.1.3. ACOPLADORES INDUCTIVOS.....	90
3.4.1.1.4. ACOPLAMIENTO CAPACITIVO.....	91
3.4.1.1.5. INSTALACIÓN DE LOS ACOPLADORES.....	92
3.5. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE LA RED.....	94
3.5.1. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA.....	94
3.5.2. CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN.....	97
3.5.3. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN S/N Y BER.....	101

3.6. DISEÑO GENERAL.....	103
3.7. REQUISITOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS.....	105
3.7.1. EQUIPO DE USUARIO.....	105
3.7.2. SISTEMAS DE BACKUP.....	109
3.8. ANÁLISIS DE COSTOS.....	110
3.8.1. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	113
3.8.2. ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO.....	114

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
4.1. CONCLUSIONES.....	115
4.2. RECOMENDACIONES:.....	116
 BIBLIOGRAFIA.....	 118
ANEXOS.....	120

### **INDICE DE FIGURAS**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
FIGURA 1.1. MODELO DE REFERENCIA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	19
FIGURA 1.2. COMPONENTES DE UNA RED PLC DE ACCESO.....	22
FIGURA 1.3. COMPONENTES DE UNA RED PLC DE MEDIANA TENSIÓN.....	23
FIGURA 1.4. CARACTERÍSTICAS DE UNA CANAL DE RED ELÉCTRICA.....	24
FIGURA 1.5. SEGMENTOS DE BAJA TENSIÓN Y RED DOMÉSTICA..	28
FIGURA 1.6. ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO EN PLC.....	30
FIGURA 1.7. ELEMENTOS DE UNA RED PLC DE MEDIA TENSIÓN...	31
FIGURA 1.8. SISTEMA PLC OUTDOOR – INDOOR.....	33
FIGURA 1.9. CAPAS DE LA RED PLC.....	34
FIGURA 1.10.DISTRIBUCIÓN DE CELDAS EN LAS UNIDADES PLC....	35
FIGURA 1.11 EVOLUCIÓN DE LAS MODULACIONES EMPLEADAS..	36

FIGURA 1.12. OFDM FRENTE A LA MODULACIÓN MULTI-CARRIER CONVENCIONAL.....	39
FIGURA 1.13. PILA DE PROTOCOLOS TÍPICA EN UN EQUIPO PLC	41
FIGURA 1.14. FACTORES QUE AFECTAN LA COMUNICACIÓN SOBRE LAS LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN.....	43
FIGURA 1.15. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO.....	43
FIGURA 1.16. COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE LOS TIPOS DE CONEXIONES.....	44
FIGURA 1.17. EMPRESAS QUE OFRECEN TECNOLOGÍA PLC.....	44
FIGURA 3.1. ESQUEMA DE ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO PARA LOS REPETIDORES.....	71
FIGURA 3.2. CONEXIÓN DEL CPE EN LA RED ELÉCTRICA.....	73
FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE BLOQUE DE UN PUERTO DE RED BPL.....	74
FIGURA 3.4. CONEXIONES DEL REPETIDOR Y MODEM PLC.....	75
FIGURA 3.5. INSTALACIÓN DE LOS ADAPTADORES PLC.....	76
FIGURA 3.6. VISTA FRONTAL DEL ADAPTADOR PLC- ETHERNET	77
FIGURA 3.7. VISTA POSTERIOR DEL ADAPTADOR PLC- ETHERNET.....	77
FIGURA 3.8. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DEL FABRICANTE DEL ADAPTADOR PLC- ETHERNET.....	78
FIGURA 3.9. OPCIÓN DEVICE DE LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	79
FIGURA 3.10 OPCIÓN NETWORK DE LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	80
FIGURA 3.11. OPCIÓN SECURITY DE LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	81
FIGURA 3.12. OPCIÓN ADVANCED DE LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	81
FIGURA 3.13. OPCIÓN AVANZADA DE LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	83
FIGURA 3.14. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN LA RED.....	85
FIGURA 3.15 RED DE MEDIA TENSIÓN.....	87
FIGURA 3.16. COBERTURA DE LOS EQUIPOS PLC EN REDES ELÉCTRICAS.....	87
FIGURA 3.17. EQUIPOS PARA MEDIA TENSIÓN CON TECNOLOGÍA PLC.....	88
FIGURA 3.18. UNIDAD MASTER API-2000-MV.....	89
FIGURA 3.19. ACOPLADOR INDUCTIVO PARA MEDIA TENSIÓN.....	90
FIGURA 3.20. ACOPLAMIENTO CAPACITIVO EN REDES ELÉCTRICAS.....	91
FIGURA 3.21. ACOPLAMIENTO "INVASIVO" POR MEDIO DE LA PANTALLA.....	92
FIGURA 3.22. ACOPLAMIENTO "NO INVASIVO" POR MEDIO DE LA	93

PANTALLA.....	93
FIGURA 3.23. ACOPLAMIENTO "NO INVASIVO" POR MEDIO DEL NÚCLEO.....	93
FIGURA 3.24. IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA PARA LÍNEAS AÉREAS.....	96
FIGURA 3.25. VALORES DE LAS REACTANCIAS CAPACITIVAS PARA LA BANDA A CENELEC.....	97
FIGURA 3.26. PROBABILIDAD DE ERROR <i>PE</i> VS S/N EN PSK M-ARIO.....	102
FIGURA 3.27. ACOPLADOR CAPACITIVO CMC12 5N0.....	103
FIGURA 3.28. ADAPTADOR APA-2000-DB LOW VOLTAJE DATA.....	107
FIGURA 3.29. CONEXIÓN DEL APC-2000-DA LOW VOLTAGE DATA CPE DEVICE.....	108
FIGURA 3.30 .SISTEMA DE BACK-UP PARA LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA PLC.....	109

## INDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1 Tecnología PLC en el mundo.....	45
Tabla 2.1. Asignación de Bandas de Frecuencias CENELEC-EN.....	55
Tabla 3.1. Especificaciones Técnicas del equipo adaptador PLC.....	77
Tabla 3.2 Costo de los equipos para pruebas de la tecnología Broadband PLC.....	110
Tabla 3.3. Costo del Equipamiento Broadband PLC requerido. ....	111
Tabla 3.4. Costo de equipo personal para la instalación de la red de acceso Broadband PLC.....	112
Tabla 3.5. Costo Total del Proyecto	113

## INTRODUCCIÓN

Los altos costos que representan para los proveedores de servicios de comunicaciones la implementación de redes de acceso con tecnologías tradicionales, han motivado el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías que no requieran largos o costosos procesos de instalación. El presente proyecto trata sobre el diseño de un proveedor de servicios de Internet que utiliza para su red de acceso una tecnología emergente conocida como PLC, para las Unidades del Ejército Ecuatoriano en sus instalaciones militares, esta tecnología utiliza la infraestructura de red eléctrica como medio de transmisión de datos, y explota la gran penetración del servicio eléctrico para tratar de convertirse en un futuro en la tecnología de transporte con mayor número de usuarios. Los distintos objetivos del presente proyecto se desarrollan a lo largo de cuatro capítulos, con el siguiente contenido:

El trabajo de investigación se presenta en VI capítulos.

El capítulo I se muestra el fundamento teórico de la investigación, los dispositivos de red que conforman una red PLC.

El Capítulo II, encuentra los estándares de la tecnología PLC y características principales bajo las normativas internacionales y aplicadas en nuestro país.

El Capítulo III se realiza la determinación de los requerimientos, análisis de diseño con la tecnología PLC

En el capítulo IV, se indican las conclusiones y las recomendaciones finales obtenidas de la presente investigación desarrollada en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga con la colaboración del cuerpo docente.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.1. COMUNICACIÓN POR LÍNEAS ELÉCTRICAS

A continuación se realiza una breve descripción de la tecnología que está levantando un gran interés hoy en día: Internet sobre red eléctrica. Esto no es de extrañar ya que muchas personas tienen sus esperanzas puestas en esta tecnología de cara a la llegada de altas velocidades de acceso, además de alcanzar los rincones donde aún no llegan ni el cable ni el ADSL, pero sí la electricidad. Desde un punto de vista técnico las compañías eléctricas están muy bien posicionadas, ya que su conexión metálica con cada usuario, diseñada para transportar energía eléctrica, puede convertirse en un mecanismo de transporte de información digital capaz de transportar servicios de banda ancha; como se indica en la figura 1.1

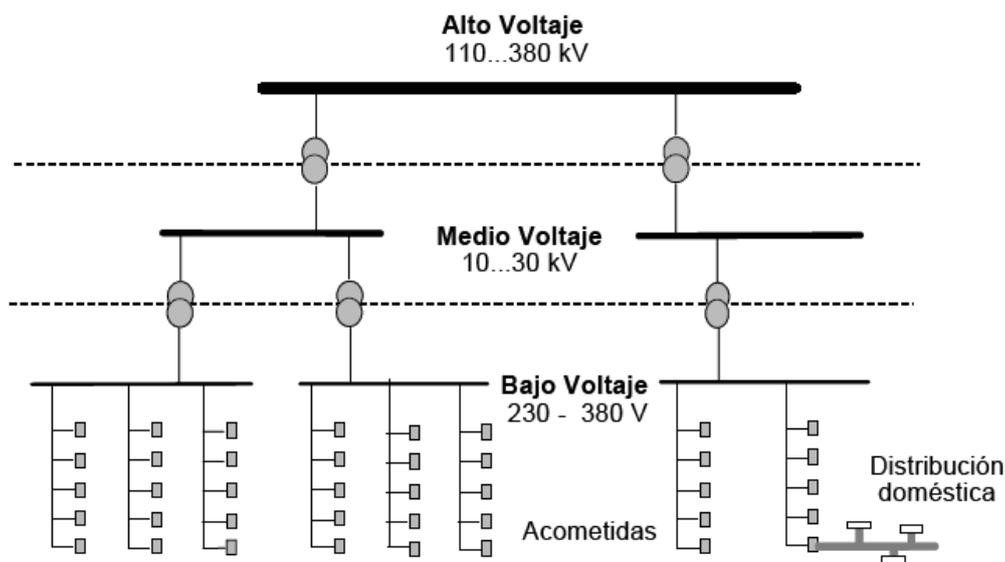


Figura 1.1. Modelo de referencia de la red de distribución eléctrica

- a. Red de alto voltaje: Transporta la energía desde los centros de generación hasta las grandes áreas de consumo. Las distancias de transporte son grandes, lo que implica altos voltajes para minimizar las pérdidas (una región, un país, entre países).
  
- b. Red de medio voltaje: Distribuye la energía dentro de un área de consumo determinada (una ciudad, una comarca).
  
- c. Red de bajo voltaje: Distribuye la energía a los locales de usuario final, a los voltajes de utilización final (110V-220V-380V).
  
- d. Red de distribución doméstica: Comprende el cableado de energía y las tomas dentro de los locales del usuario final.

La red de distribución doméstica es donde más despliegue real de telecomunicaciones sobre líneas de energía existe actualmente, tiene el objetivo de convertir el cableado de distribución doméstico en una red de área local, siendo cada tomacorriente un punto de acceso a esta red. Constituye un gran atractivo el no tener que instalar nuevo cableado para aplicaciones de telecomunicación, así como la posibilidad de controlar dispositivos eléctricos por la misma tomacorriente que proporciona la energía. Las redes de bajo y medio voltaje pueden considerarse conjuntamente, ya que las soluciones adoptadas abarcan ambas redes. La red de bajo voltaje constituye lo que en el dominio de las telecomunicaciones se ha dado en llamar “la última milla”; se extiende desde el transformador de media a baja tensión hasta los contadores de los abonados.

Cabe señalar aquí características importantes de este tramo de la red:

Varios abonados están conectados a la misma fase; es decir, la red eléctrica desde un punto de vista de transmisión de la información es un medio compartido.

El número de abonados que son servidos desde un transformador de media a baja, y que constituye un punto candidato para inyectar las señales de telecomunicaciones, varía ampliamente de país a país.

Es pertinente recordar que la red eléctrica no ha sido diseñada para transportar información que requiera cierto ancho de banda; de hecho constituye un medio muy hostil: un canal con una respuesta en frecuencia muy variable, tanto de lugar a lugar como en el tiempo, y muy ruidoso. Sin embargo la potencia del Proceso Digital de Señal permite actualmente la transmisión de considerables anchos de banda a través de este medio. La banda de frecuencias actualmente aprovechable se extiende desde 1 MHz hasta los 30 MHz.

Las líneas de la red de alto voltaje se utilizan para transportar señales de telemetría, información de supervisión y órdenes de reconfiguración de la red. También es frecuente que las compañías eléctricas desplieguen una infraestructura de telecomunicación para cubrir sus propias necesidades de comunicaciones entre subestaciones. Es común que esta infraestructura se base en fibra óptica que utiliza como soporte el mismo que el tendido eléctrico, aunque también pueden encontrarse infraestructuras basadas en radio-enlaces. Este aspecto de las telecomunicaciones de las compañías eléctricas no es parte de este estudio, aunque es evidente que conforma una base de partida ventajosa utilizar esta infraestructura para el transporte de la información del dominio público.

La tecnología PLC (Power Line Communications) consiste en la utilización de la línea eléctrica para la transmisión de datos. Existen varios tipos de sistemas PLC dependiendo del lugar de la red eléctrica donde se despliegan:

Red PLC de acceso: Se despliegan entre el transformador de baja tensión y la casa del abonado. Son una alternativa a los sistemas de banda ancha xDSL.

Red PLC doméstica: Se despliegan dentro de la casa del abonado. Complementan a los servicios de acceso y pueden competir con las redes LAN.

Red PLC de media tensión: Es un sistema para el transporte de datos y una alternativa a los sistemas de fibra óptica.

## 1.2. RED PLC DE ACCESO

En la figura 1.2 se puede observar una red PLC de acceso es un sistema full duplex punto a multipunto con los siguientes elementos:

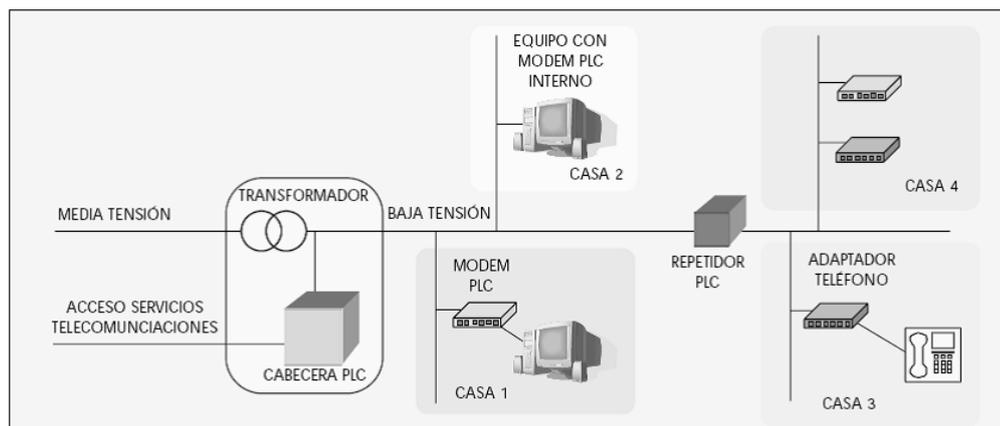


Figura 1.2. Componentes de una red PLC de acceso

a. Equipo de cabecera: Tiene la función de router y está situado junto al transformador de baja tensión. Básicamente es un modem digital de alta velocidad y actúa como maestro en el sistema PLC. Tiene la función de

asignar el uso del canal de comunicaciones entre los diversos usuarios conectados a él (hasta 256). Es propiedad de la compañía eléctrica.

b. Modem PLC: Es el equipo situado en casa del abonado eléctrico. Funciona siempre como esclavo del equipo de cabecera. Los hay de tipo externo, los cuales convierten cualquier toma de la casa en un punto de acceso a Internet. En ese caso disponen de un puerto Ethernet o USB para conectar el ordenador. También los hay de tipo interno, los cuales están integrados en el ordenador. El modem PLC dispone de una entrada (RJ11) que permiten conectar un teléfono analógico.

c. Repetidor PLC: Se emplea en los casos en los que la distancia del abonado al equipo de cabecera es demasiado grande y la señal recibida es pequeña. La máxima distancia hasta el abonado, sin repetidor, es de unos 350 metros.

### 1.3. RED PLC DE MEDIA TENSIÓN

En este caso la tecnología PLC se aplica a las líneas de media tensión como transporte de datos desde los transformadores de alta/media tensión hasta los transformadores de media/baja tensión. Alcatel dispone del sistema LineRunner que realiza esta función, como se puede apreciar en la figura 1.3.

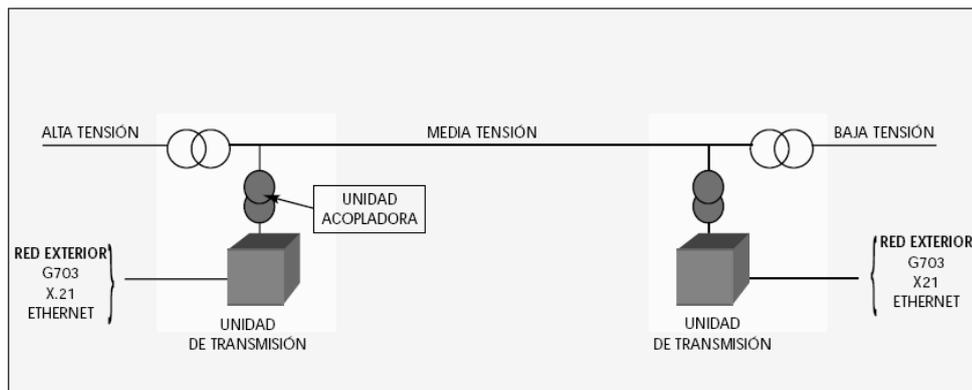


Figura 1.3. Componentes de una Red PLC de mediana tensión.

- a. Unidad de transmisión. Hace de interfaz entre los servicios de telecomunicaciones externos y la unidad acopladora.
- b. Unidad acopladora. Conecta la unidad de transmisión al cable de potencia.

#### 1.4. CARACTERÍSTICAS DEL CANAL-RED ELÉCTRICA.

Las características del canal 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 con la frecuencia.
- Su impedancia varía con el tiempo en un rango muy grande, según estén o no conectados ciertos aparatos eléctricos.

Aunque las medidas han mostrado que las características del canal no varían rápidamente con el tiempo, si lo hacen frecuentemente, por lo que deben adaptarse sus parámetros de transmisión continuamente, como se aprecia en la figura 1.4. Se ha estudiado el tipo de ruido que puede encontrarse en el canal de comunicaciones y el resultado es el siguiente:

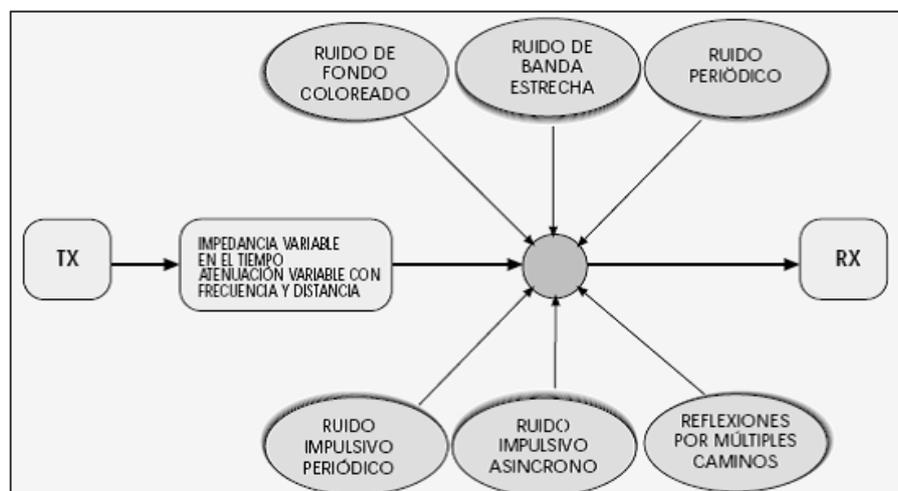


Figura 1.4. Características de una canal de red eléctrica

a. Ruido de fondo estacionario durante segundos u horas. Formado principalmente por ruido coloreado, ruido de banda estrecha y ruido periódico.

b. 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.

### **1.5. CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DEL SISTEMA PLC:**

- Tecnología de banda ancha.
- Velocidades de transmisión de hasta 45 Mbps.
- 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.
- Equipo de conexión (Modem PLC).
- Transmisión simultánea de voz y datos.
- Conexión de datos permanente (activa las 24 horas del día).
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico sin ningún problema.

### **1.6. VENTAJAS DEL SISTEMA PLC:**

Las ventajas del sistema de comunicaciones PLC son muchas, por ejemplo:

- Se emplea en la infraestructura existente.
- Los servicios ofertados son competitivos en calidad y en precio.
- Alternativa válida a las conexiones ADSL.
- Cada casa o edificio está conectado a la red eléctrica y en todas sus habitaciones hay, al menos, un enchufe donde conectarnos. Esto supone un ahorro muy importante en infraestructura tanto de dinero, como de rapidez de instalación y despliegue.

- La red eléctrica conecta, dentro de la casa, oficina e industria, múltiples aparatos eléctricos que pueden ser controlados o supervisados mediante el uso de la tecnología PLC.
- Cada enchufe de la casa se convierte en un punto de conexión a internet, teléfono, etc., con lo que se puede trasladarse con la portátil por toda la casa.
- Permite a las compañías eléctricas ampliar y mejorar sus servicios tradicionales, por ejemplo, lectura de contadores, detección de problemas de suministro, optimización de la curva de carga, automatización de la distribución, etc. No olvidemos que actualmente gran parte de la red se controla a ciegas, por medio de sistemas de simulación.
- Puede ofrecer servicios de telecomunicaciones (internet, teléfono) en lugares poco desarrollados (entornos rurales) a un bajo costo.
- Permite conexión permanente, 24 horas al día.

### **1.7. DESVENTAJAS DEL SISTEMA PLC.**

- Es una tecnología inmadura, en desarrollo.
- Falta de estándares que faciliten la interoperabilidad entre productos de distintos fabricantes.
- Normativa EMC (Electro-Magnetic Compatibility) en desarrollo.
- La línea eléctrica es un sistema ruidoso y variante en el tiempo, por lo tanto, requiere de técnicas robustas de modulación, adaptación al canal, control de errores, etc.
- Al no estar apantallado el cable eléctrico, el sistema PLC es una fuente de ondas electromagnéticas que pueden interferir con las ondas radio, pueden afectar a los aparatos situados en el hogar y además pueden ser captados los datos vía radio, por lo que deben ser cifrados.

## **1.8. CAMPOS DE APLICACIÓN**

Con la tecnología PLC se podrá disfrutar de innovadores servicios de comunicaciones. La implementación de la tecnología PLC, por su gran ancho de banda y bajo costo, hará realidad el desarrollo de nuevos servicios a distancia para el hogar y la oficina.

En la casa:

- Internet avanzado.
- Mensajería unificada.
- Televisión, música y radio a la carta.
- TV digital interactiva.
- Juegos en la red.
- Domótica.
- Seguridad a distancia
- Telediagnóstico.
- Telefonía.
- En la oficina:
- Trabajo en grupo.
- Redes privadas virtuales (VPN).
- Videoconferencia.
- Teletrabajo.

## **1.9. ESTRUCTURA DE UNA RED PLC.**

A continuación podemos apreciar como es la estructura general de una Red PLC. Esta figura 1.5, ilustra los segmentos de bajo voltaje y de distribución doméstica de una red PLC.

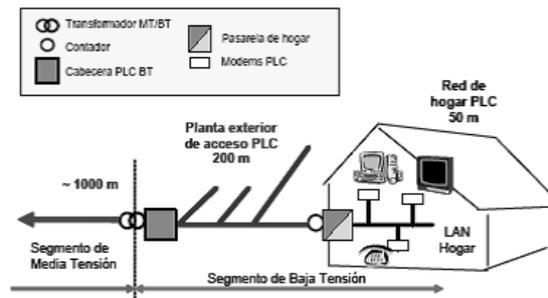


Figura 1.5. Segmentos de baja tensión y red doméstica

Dentro de la tecnología PLC se consideran tres ámbitos principales de aplicación.

Uno de ellos es la transmisión punto a punto sobre líneas de distribución eléctrica de alta y media tensión orientada a servicios de transmisión de datos, voz y telecontrol. Esta línea lleva operativa unos 20 años y es utilizada con fines de teleoperación y telecontrol por las operadoras de energía eléctrica.

Otra aplicación es la comunicar distintos aparatos domésticos, como sistemas de control de la iluminación o de las persianas, utilizando el tendido eléctrico interno de baja tensión de la vivienda.

Finalmente, otra tercera línea es la de los sistemas de comunicación para el acceso a las redes públicas desde viviendas u oficinas. En este caso, la tecnología es muy similar a la de los casos anteriores, aunque algo más compleja, pues la transferencia de datos se realiza, a una velocidad mucho mayor y las posibles fuentes de interferencias son mayores. Esta aplicación, que ya está siendo comercializada por varias operadoras eléctricas, es la que más interés ha suscitado en la industria.

En el segmento de bajo voltaje las distancias del orden de 200 metros desde el transformador al usuario son las más comunes (al menos en

Europa), siendo un medio compartido, con numerosas ramificaciones para servir a los usuarios. Esto hace que el medio sea tremendamente hostil, debido a:

La atenuación a las frecuencias de interés con la distancia. Las reflexiones que se producen en las ramificaciones, lo que hace que la función de transferencia del canal presente desvanecimientos selectivos.

Además esta característica tiene una variación temporal dependiendo de la carga (en el sentido de consumo de energía en cada momento o, equivalentemente, de qué dispositivos están conectados). Todo esto hace necesario utilizar sistemas de modulación muy robustos y adaptables a las características del canal. Como ejemplo, DS296 firma valenciana que actualmente está a la cabeza de esta tecnología, consigue velocidades de 45 Mbit/s a nivel MAC98, 27 Mbit/s en el sentido descendente y 18 Mbit/s en el ascendente. DS2 utiliza OFDM adaptándose dinámicamente a las condiciones del canal, monitorizando las condiciones de relación señal ruido de cada subportadora cada 10 ms y adaptando en función de ésta la tasa de bit a transmitir por la misma.

Las diversas fuentes de ruido de fondo (-120dBm/Hz), impulsivo e interferencias selectivas (por ejemplo emisiones de radio), que hacen necesarias técnicas de codificación contra errores (Reed-Solomon), entrelazado y adaptación a las características de señal/ruido del canal (OFDM).

El segmento de distribución doméstica presenta unas características del medio muy similares a los de la primera milla, pero aliviadas por las dimensiones: la distancia a cubrir es menor (del orden de 50 m) y el número de ramas también es menor y más corto. En cualquier caso sigue siendo un medio hostil, no diseñado para el transporte de información que

requiera un gran ancho de banda. Por ello, la tendencia en la actualidad es: Reutilizar la misma tecnología en los segmentos de bajo voltaje y de distribución doméstica con el objetivo de conseguir economías de escala.

Aunque puede adaptar, por ejemplo, de un acceso ADSL a un PLC dentro del hogar o, inversamente, de un PLC en el segmento de bajo voltaje a una interfaz Ethernet en el hogar, lo más atractivo es que la pasarela sea de PLC a PLC, haciendo efectivo el eslogan: “un acceso a las comunicaciones en cada enchufe”. Esto requiere compatibilidad espectral entre los sistemas PLC de bajo voltaje y doméstico. Por ello existen propuestas de dividir el espectro entre 1 MHz y 30 MHz en bandas de 10 MHz, como se observa en la figura 1.6; asignando las bandas superiores para uso doméstico (menor distancia que admiten las mayores atenuaciones en esta banda) y las inferiores para uso en el acceso.

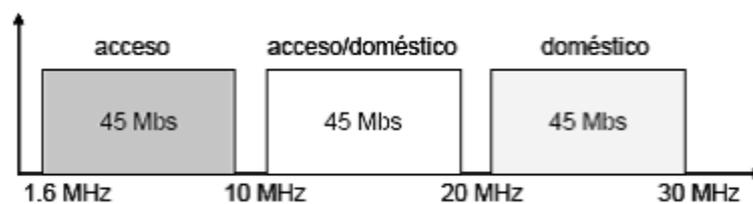


Figura 1.6. Asignación del espectro en PLC

Obsérvese que en esta propuesta la banda media puede asignarse indistintamente para acceso o dentro del hogar. Se está proponiendo que los sistemas de hogar detecten automáticamente la presencia o no de un sistema de acceso en esa banda, de forma que la puedan ocupar en caso de que esté libre y aumentar así sus prestaciones. Se consideran elementos de red de media tensión como se indica en la figura 1.7.

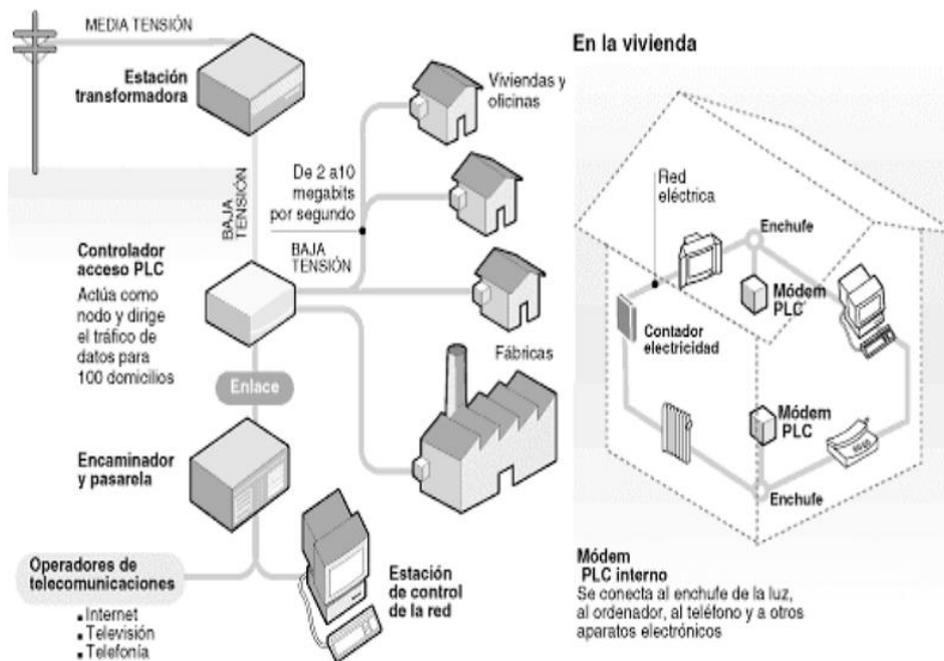


Figura 1.7. Elementos de una red PLC de media tensión

a. El transformador de media a baja tensión donde se encuentra una cabecera PLC de baja tensión, que es la terminación de línea que maneja el segmento de bajo voltaje que parte de dicho transformador. Esta función puede ser parte de un repetidor que simplemente repite la información que se transmite por la red de media tensión, puentando el transformador de media/baja para altas frecuencias (que constituye un filtro paso bajo perfecto para las bandas de interés), o bien la terminación de línea de una función router o bridge que se conecta a la red de datos por un sistema de transporte convencional de telecomunicaciones, por ejemplo fibra óptica.

b. La pasarela del hogar, en el caso representado de PLC extremo a extremo, tiene una función de bridge, separando los segmentos de acceso y doméstico, y además puentea el contador eléctrico (también, un filtro paso bajo para las frecuencias de interés).

c. Los módems por enchufe proporcionan la interfaz requerida por las aplicaciones de usuario, por ejemplo Ethernet o interfaces a/b telefónicas.

También existen repetidores para aumentar el alcance.

Los sistemas PLC presentan normalmente interfaces de gestión SNMP, lo que está acorde con sus principales áreas de aplicación: acceso a Internet, telefonía IP, etc., es decir aplicaciones en el dominio de los datos.

Al ser PLC una tecnología en sus primeras fases de desarrollo es difícil hacer una estimación de precios. Los módems sencillos de casa de abonado (red doméstica) se pueden valorar entre 100 y 200 euros (estimaciones de 2003). Las cabeceras a poner en los transformadores de baja o media tensión pueden oscilar entre los 1500 y 3500 euros (siendo una parte importante del precio los acopladores a las líneas de energía, particularmente los acopladores a las líneas de media tensión). Las estimaciones anteriores, basadas en consultas a varias fuentes y en la comparación con otras tecnologías de acceso y sus complejidades relativas, son muy groseras ya que el efecto volumen no se ha producido en estas tecnologías.

### **1.10 ARQUITECTURA DE LA RED PLC**

La arquitectura de la red PLC, consta de dos sistemas que se comunican entre sí a través de equipos repetidores:

a. Sistema Outdoor o de acceso, cubre el tramo de la última milla, que para el caso de esta tecnología comprende la red eléctrica, desde el lado de baja tensión del transformador de distribución, hasta el medidor de la energía eléctrica, como se lo puede observar en la figura 1.8

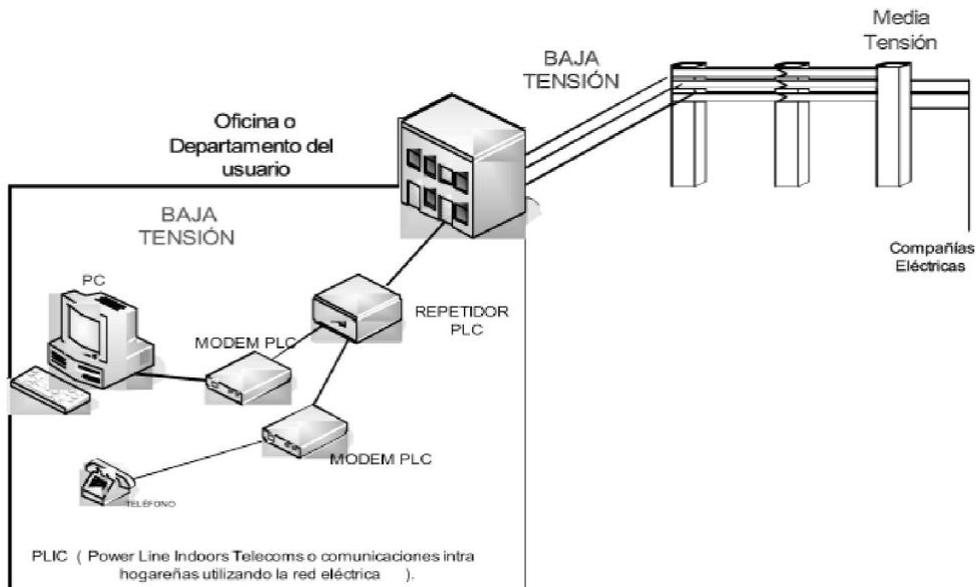


Figura 1.8. Sistema PLC Outdoor – Indoor

b. Sistema Indoor o In-home, que cubre el tramo desde el medidor del usuario, hasta los toma corrientes al interior de los hogares. En este sistema se utiliza como medio de transmisión las instalaciones eléctricas propias del hogar o del edificio. Dentro de este sistema, es donde se ubica el presente proyecto de titulación.

El acceso a la red mediante la tecnología PLC, consiste de una estación base y de los suscriptores que usan los módems. La comunicación entre el medio de transmisión PLC y la interfaz de usuario se lleva a cabo en la capa red. La información recibida en la capa física es entregada a las subcapas MAC y LLC de la capa enlace, la cual es organizada de acuerdo al protocolo que va a ser usado en la capa red. La información recibida es entregada a las capas superiores hasta llegar a la capa aplicación.

En la figura 1.9, se muestra que para el caso del sistema outdoor, los datos que se transmiten entre la interfaz PLC y la red de distribución se lleva a cabo en la capa red, lo mismo sucede en el sistema indoor

cuando se realiza la transmisión entre la interfaz del módem PLC y la interfaz de usuario. La interconexión entre dispositivos PLC y otras tecnologías de comunicación se lleva a cabo en la capa red, lo cual se encuentra estandarizado.

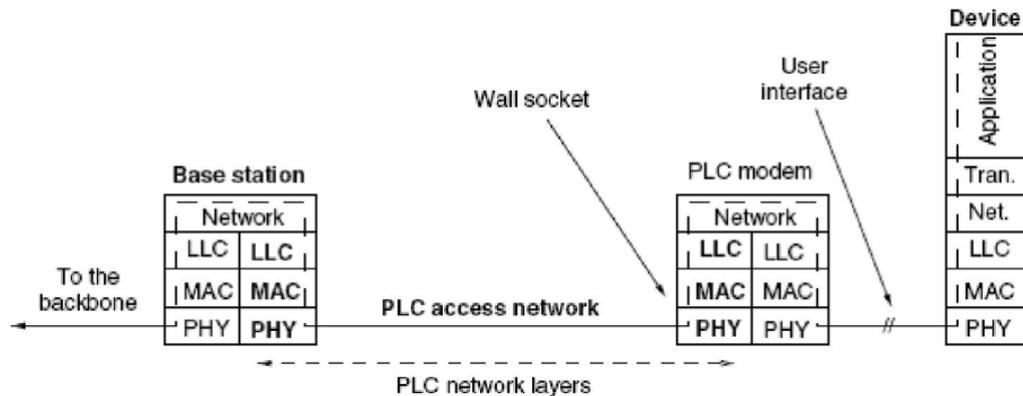


Figura 1.9. Capas de la red PLC.

La especificación de la interfaz PLC incluye las dos primeras capas: la capa física y la capa enlace (MAC y LLC), cuyas características referentes a la tecnología PLC serán descritas en la siguiente sección, Modelo PLC. Por otra parte, de acuerdo a la arquitectura de red definida por el proyecto OPERA, las unidades PLC se encuentran distribuidas en varias celdas como se muestra en la figura 1.10.

Cada celda opera en una banda de frecuencia independiente, denominada modo; están compuestas por equipos Head-End, equipos repetidores TDR (Time Division Repeaters), o por CPE's. Los equipos repetidores FDR (Frequency Division Repeaters), son nodos especiales que tienen la capacidad de transmitir y recibir en dos o más modos diferentes. El CPE funciona para un modo y el Head-End para otro modo.

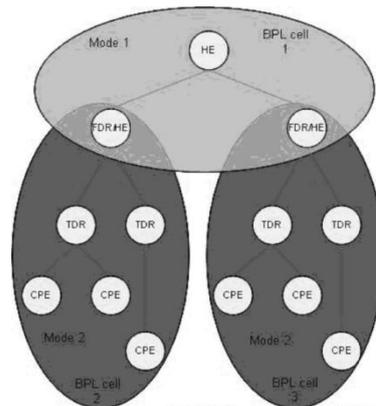


Figura 1.10. Distribución de celdas en las unidades PLC

### 1.11. MODULACIONES EMPLEADAS

Como podemos ver en la figura 1.11, la modulación del PLC comenzó en una primera generación con la modulación GMSK y DSSS que ofertaba velocidades de entre 1 y 4Mbps, pero ya en la segunda generación se empezó a introducir la modulación OFDM. Las características generales de la segunda generación fueron utilizar OFDM con:

- 1280 portadoras
- Tasa de transferencia: mayor de 27Mbps en la bajada y mayor de 18Mbps en la subida
- Tasa de transferencia adaptable según la SNR (Relación Señal Ruido) con más de 8 bits por portadora.
- Eficiencia de la modulación de 7,25bps/Hz

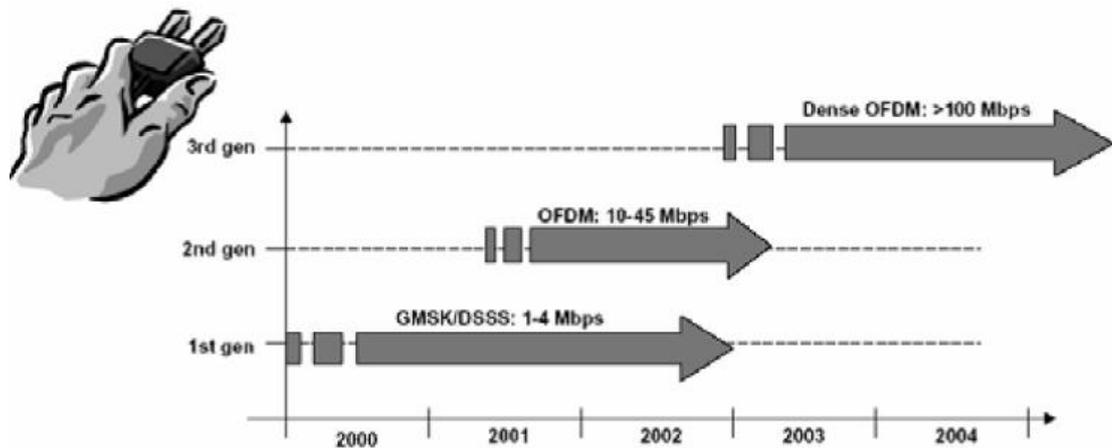


Figura 1.11 Evolución de las modulaciones empleadas

De la tercera generación que actualmente está en desarrollo se espera:

- Modulación OFDM densa
- Velocidades mayores a 100Mbps
- Lograr mayor eficiencia gracias a una mayor densidad del multi-carrier
- Un coste menor o igual al del DSL/CABLE
- Instalación más fácil y mecanismos mejores para la detección de errores

#### a. MODULACIÓN GMSK

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es un esquema de modulación continua en fase, una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por tanto reducir los requisitos de ancho de banda.

Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1, -1) son transformados a pulsos gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de los casos, la duración del pulso gaussiano supera a la de un bit, dando lugar como consecuencia a lo

que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos gaussianos. La portadora resultante es una señal continua en fase lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal ya que las transiciones entre bits no están bien definidas. Además de en la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado también en redes GSM, y en comunicaciones aeroespaciales debido al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles.

#### **b. MODULACIÓN DSSS ("DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM")**

El espectro ensanchado (SS) es una técnica de transmisión en la cual un código pseudoaleatorio, independiente de los datos de información, es empleado como forma de onda modulante para “desparramar” la energía de la señal sobre un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información de la señal original. Los sistemas de secuencia directa (DS) son sistemas de espectro ensanchado en los cuales la portadora está modulada por un código de dispersión de alta velocidad y una corriente de datos de información. La secuencia del código de alta velocidad es el causante directo del ensanchamiento de la señal transmitida.

Características:

- Se basa en la multiplicación de la secuencia de bits original por una secuencia digital (chips) de velocidad mucho mayor.

- El código de expansión expande la señal por una gran banda de frecuencias.
- La expansión es proporcional al número de bits usados.
- Se combina la información digital de la secuencia de bits con los bits de la secuencia de expansión, usando OR exclusivo.
- La señal binaria de datos modula una portadora RF, y la señal modulada resultante es modulada por la señal código (la señal código consiste en una sucesión de bits de código ('chips') entre +1 y -1).

Ventajas y desventajas:

- Acceso múltiple: si múltiples usuarios usan el canal a la vez, habrá múltiples señales DSS superpuestas en tiempo y frecuencia. Si los códigos usados tienen muy poca correlación, podrán separarse los canales sin problemas.
- Interferencia multicamino: si la secuencia código está bien seleccionada, la señal será cero fuera del intervalo  $[-T_c, T_c]$ , donde  $T_c$  es la duración del chip.
- Interferencia de banda estrecha
- La generación de señales código es sencilla
- No es necesaria la sincronización entre usuarios

### **c. MODULACIÓN OFDM**

El origen del OFDM es en la década de los 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabajan dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras.

OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. La técnica de espectro

disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias, como se puede ver en la figura 1.12.

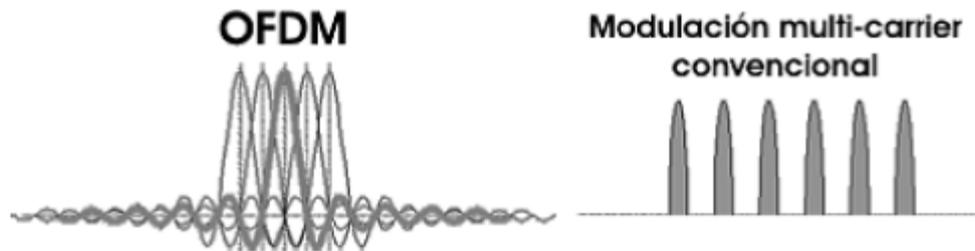


Figura 1.12. OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional

Al no existir un estándar para PLC la modulación OFDM varía según los fabricantes de esta nueva tecnología. El sistema de DS2 como primer ejemplo utiliza:

- 1280 portadoras de hasta 30 MHz.
- Flujo de datos de 45 Mb/s; 27 Mb/s en bajada y 18 Mb/s en subida.
- Este sistema al trabajar con gran número de portadoras tiene las siguientes ventajas:
  - Sincronización más simple y robusta
  - Fácil de adaptarse a cortes
  - Mejor inmunidad a ruidos impulsivos, interferencias
  - Mejor robustez frente a distorsiones (fadings)

El sistema de Cogency sin embargo utiliza:

- 84 Portadoras, de 4,5 MHz a 21 MHz.
- Flujo de datos: Capacidad total máxima 14 Mb/s.

La principal ventaja de este 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.

OFDM 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. Otra ventaja 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.

Mediante OFDM puede alcanzarse velocidades de hasta 45 Mbps. El sistema usa modulación adaptativa, o sea, 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. Se está investigando y probando una nueva tecnología llamada MC-CDMA (Multiple Carrier-Code Division Multiple Access) que es una combinación de CDMA y OFDM, la cual permite incrementar el número de subportadoras y es posible llegar a alcanzar más de 100 Mbps.

### **1.12. PROTOCOLOS DE UN EQUIPO PLC**

Los equipos de una red PLC presentan una pila de protocolos como la siguiente:

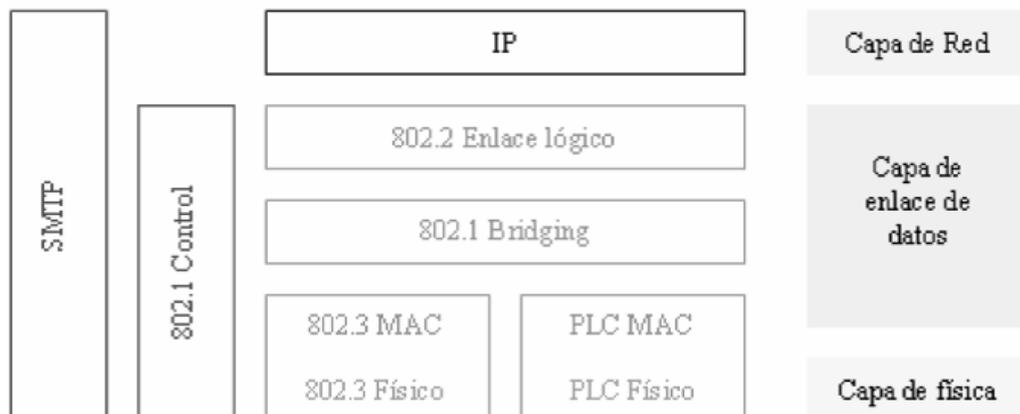


Figura 1.13. Pila de protocolos típica en un equipo PLC.

Podemos ver en la figura 1.13, cómo los equipos tienen la posibilidad de acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC), de realizar funciones de encaminamiento (802.1) y enlace lógico (802.2) y enrutamiento IP. El control del equipo se puede llevar a cabo mediante SMTP o mediante el protocolo de control de 802.1.

### 1.13. PROBLEMAS DE LA TECNOLOGÍA PLC (INTERFERENCIAS)

La tecnología PLC utiliza la infraestructura ya existente de la red eléctrica. Este cableado, instalado y construido para otros fines distintos de la transmisión de datos, no presenta ningún tipo de aislamiento por lo que emitirá radiación debido a la falta de simetría, provocando interferencia electromagnética sobre los servicios inalámbricos, radioaficionados y otros.

#### 1.13.1. INTERFERENCIAS CON HF

PLC opera en la banda 1 – 10 MHz para el acceso a la última milla y entre 10 y 30 MHz para la conexión entre dispositivos en una casa. Por tanto, trabaja directamente en la misma banda que HF (3 – 30 MHz), sin embargo los datos obtenidos no dejan claro si hay interferencia o no. Estos son algunos datos encontrados:

- Las empresas de PLC aseguran que no hay interferencia con la banda HF.
- Las medidas realizadas por radioaficionados en la banda HF en varios países muestran interferencias visibles provocadas por el PLC.
- Algunos países han mostrado su preocupación por la interferencia del PLC en las comunicaciones a través de la banda HF.
- Asociaciones de radioaficionados de muchos países han reaccionado masivamente ante las interferencias provocadas por el PLC enviando sus quejas a las compañías que lo están desarrollando.
- El grupo de trabajo de comunicación por HF de la OTAN ha mostrado sus preocupaciones acerca de las emisiones del PLC y sus efectos sobre la banda HF.
- La Red Eléctrica es un medio bastante hostil para la transmisión de datos, en ella encontramos muchas derivaciones, transformadores, malas conexiones, impedancias variables, ruido generado por los aparatos que se le conectan entre otros.
- Las líneas de potencia domiciliaria están diseñadas para llevar potencia y no datos, sus frecuencias no son superiores a 400 Hz (típicamente 50 o 60 Hz).
- Se deben tener en cuenta las perturbaciones como alto ruido, alta atenuación y distorsión de la señal, como se indica en la figura 1.14

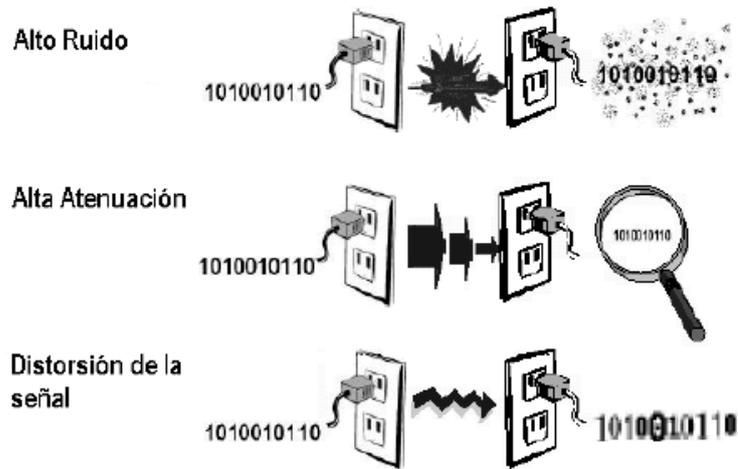


Figura 1.14. Factores que afectan la comunicación sobre las líneas de baja tensión.

### 1.14. Análisis Comparativo de Tecnologías de Acceso.

	xDSL	PLC	FWA	HFC	Satellite	FTTB
Inversión por línea de subscriptor	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡	🟡
Rentabilidad por línea de subscriptor	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
Capacidad & Servicios	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢
Velocidad y despliegue	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
Abastecimiento	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡
Regulación	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢
Maduración de tecnología	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢

Degree of Attractiveness

🟢 = posición óptima    🟡 = bien situado    🟡 = OK pero no ideal    🟡 = débil    🟡 = peor posición

Figura 1.15. Análisis Comparativo de Tecnologías de Acceso

### 1.15. VELOCIDADES DE CONEXIÓN

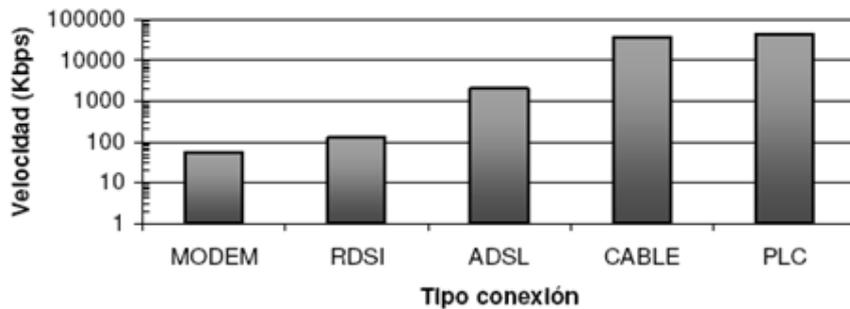


Figura 1.16. Comparación de las velocidades de los tipos de conexiones.

### 1.16. EMPRESAS QUE OFRECEN TECNOLOGÍA PLC

	ASCOM	MAINNET	DS2
<b>Posicionamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (no contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>
<b>Diseñadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>
<b>Fabricantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>
<b>Características técnicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 4,5 Mbps</li> <li>Modulación: GSMK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 4,5 Mbps</li> <li>Modulación: DSSS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 45 Mbps</li> <li>Modulación: OFDM</li> </ul>
<b>Baja tensión (BT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset PROPIO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset ITRAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset PROPIO</li> </ul>
<b>Media tensión (MT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible con chipset ITRAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible con chipset PROPIO</li> </ul>

Figura 1.17. Empresas que ofrecen tecnología PLC.

### 1.17. TECNOLOGÍA PLC EN EL MUNDO

En cuanto a países de Latinoamérica se pueden señalar:

#### ARGENTINA

La compañía que se encuentra ofertando servicios de banda ancha con tecnología PLC, es Schneider Electric, la cual se caracteriza por su presencia a nivel mundial en Gestión y Control de la Energía Eléctrica.

## GUATEMALA

Se tiene PLC de baja tensión y el plan de frecuencias (modos), siendo la empresa a cargo: PLC Ventures.

## PERÚ

La tecnología PLC se considera como una solución para brindar servicios triple Play, con lo que se llevarían los servicios convergentes sobre las redes eléctricas, las cuales se encuentran desplegadas en gran parte del territorio peruano, incluso en lugares donde no se tienen todavía servicios de telecomunicaciones. Actualmente, el operador de Internet (ISP), Optical IP, se encuentra haciendo pruebas para el empleo de esta tecnología en Lima. Estas pruebas se las realiza con la empresa de distribución de energía eléctrica Luz del Sur.

Existen múltiples experiencias en todo el mundo, como se indica en la tabla 1.1, entre las que se encuentran las siguientes:

Tabla 1.1 Tecnología PLC en el mundo

País	Operador	Servicios	Cobertura	Tecnología
<b>Despliegue comercial</b>				
Alemania	MW	PLC en acceso: servicios de Internet para segmento residencial	2.200 clientes en Mannheim	Mainnet
	EnBW	PLC en acceso e In-home: servicios minoristas de Internet (hoteles y escuelas)	700 clientes en Ellwagen	Ascom
	RWE (1)	PLC en acceso e In-home: servicios de Internet.	-	Ascom
Austria	Linz Strom AG	PLC en acceso e In-home: servicios minoristas de Internet y telefonía	800 clientes en Linz	Mainnet
	Tiwag	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet (residencial, hoteles y escuelas)	250 clientes en Tirol	Ascom
Suiza	EFF	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con ISP Sunrise)	1.000 clientes en Ginebra	Ascom
Suecia	Vattenfall	PLC en acceso: servicios de Internet para segmento residencial	500 clientes en I. Gotland	Mainnet
España	Endesa	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet y telefonía (acuerdo con AUNA)	2.200 clientes en Zaragoza <sup>1</sup>	DS2
	Iberdrola	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet	200 clientes en Madrid <sup>2</sup>	Nams, Ascom y DS2
<b>Pruebas piloto</b>				
España	Unión Fenosa	PLC en acceso e In-home: servicios de Internet y telefonía	50 usuarios Guadalajara y Madrid	Mainnet y DS2
Italia	Enel	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet y telefonía	2.000 usuarios en Grosseto	Ascom, DS2 y Mainnet

### **1.18. TECNOLOGÍA PLC EN EL ECUADOR**

La Empresa Eléctrica Quito y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur están interesadas en brindar el servicio a través de una compañía de telecomunicaciones. El acceso a la Internet por medio de banda ancha tiene gran potencial en el país. Esto porque según un estudio de la consultora Piramyd Research, la penetración de Internet en banda ancha todavía no llega ni al uno por ciento en Ecuador. De ahí que más empresas se interesen por ingresar a ese negocio y explotar el potencial comercial. Entre ellas están la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EECS) de Cuenca. Según Fernando Gómez, director técnico de la EEQ, en el año 2008 la idea es promover el acceso a Internet mediante el tendido eléctrico. Para esto se implementaría el sistema de banda ancha por las líneas de potencia BPL (por sus siglas en inglés). Esa tecnología utiliza las líneas eléctricas de media y baja tensión para proveer servicios de comunicación y transportar datos IP por la red eléctrica. De esta manera, los usuarios pudieran utilizar los servicios de Internet, telefonía y televisión a través de todos los tomacorrientes de su domicilio, sin requerir otros cables aparte del cableado eléctrico existente en su casa u oficina. Para brindar el servicio, la empresa eléctrica tendrá que hacer una alianza con un proveedor de servicio de telecomunicaciones. Hasta el momento han recibido tres propuestas y están en la etapa de negociación. Se prevé que la inversión de la empresa ganadora oscile entre los USD 10 y 15 millones. Según Gómez, las 33 subestaciones de la EEQ cuentan con un tendido de fibra óptica para monitorear el consumo eléctrico. "La infraestructura está lista y sería más barato brindar el servicio". Por su parte, Diego Rodas, (2008) coordinador del proyecto en la EECS, señala que el fin es utilizar el tendido de la red eléctrica en Azuay, Cañar y Morona Santiago. La distribuidora tiene unos 250 000 abonados en las tres provincias. El funcionario explica que en los transformadores se adicionará un máster y en las redes acopladores y repetidores. En cambio, en los domicilios del

usuario final se adaptará un electro módem (con dos puertos) para conectarse con la red eléctrica y otro para Internet, con acceso a la computadora. Para Rodas, la principal ventaja de este servicio será la disminución de costos para los usuarios. Pero Esteban Mateus, presidente ejecutivo de Transnexa, no comparte esa visión. "El problema de Internet en el país no son los medios de acceso sino los costos". Para que en Ecuador se abaraten los costos de Internet y que las zonas marginales tengan acceso, la verdadera solución sería la masificación de una computadora que cueste desde USD 100. Mercado asegurado según la Asociación de Empresas de Telecomunicaciones del área Andina, en cinco años la EEQ pudiera tener 230000 abonados en banda ancha en su área de cobertura, que es de 14000 km<sup>2</sup>. La empresa de telecomunicaciones que implemente el BPL deberá presentar los títulos habilitantes y la homologación de los equipos ante la Superintendencia de Telecomunicaciones y el Consejo de Telecomunicaciones. Esto, para obtener los permisos y operar bajo este sistema.

### **1.19. FABRICANTES DE EQUIPOS PLC**

Entre los fabricantes de equipos están: Tecnom, Mitsubishi, Schnider, Sumitomo, NEC, Thomsom, CISCO. Existen múltiples empresas dedicadas a la creación de redes tipo PLC e invierten gran cantidad de dinero puesto que creen en una futura expansión de la tecnología. Algunas de las empresas más relevantes del sector son:



También existen organizaciones que agrupan todas las empresas participantes en el sector como fabricantes, distribuidores y eléctricas, para favorecer el empuje e introducción de la tecnología.

## **CAPÍTULO II**

### **NORMAS Y ESTANDARIZACIÓN**

#### **2.2.1 ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS.**

##### **2.2.1.1 ESTÁNDARES Y NORMAS DE PLC**

Entre las principales organizaciones que impulsan el desarrollo de PLC, en los aspectos de normatividad y estandarización, se encuentran:

- a. HomePlug Powerline Alliance,
- b. ETSI (European Telecommunications Standards Institute),
- c. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers),
- d. UPA (Universal Powerline Association).

A continuación, se dará una breve explicación de cada una de estas organizaciones, poniendo énfasis en los aspectos normativos y de estandarización que éstas manejan o influyen:

##### **a. Home Plug Power Line Alliance**

Esta alianza definió una serie de estándares entre los que destacan:

- ✓ HomePlug 1.0. Especificación para la conexión de dispositivos vía líneas eléctricas dentro del hogar.
- ✓ HomePlug AV. Diseñado para la transmisión de Audio y Video dentro del hogar.
- ✓ HomePlug BPL. Define un grupo de trabajo para el desarrollo de especificaciones orientadas a la conexión dentro del hogar.
- ✓ HomePlug CC. Para comando y control a bajas velocidades y muy bajos costos. Esta especificación es capaz del control de luminarias en el hogar, control de climatización, seguridad y otros dispositivos.

El espectro de trabajo de las especificaciones HomePlug está comprendido entre los 4,3 y los 21 MHz, con técnicas de modulación OFDM, cuya capacidad de transmisión es de alrededor de los 14 Mbps. El enfoque Home Plug, se centra básicamente en la tecnología de la red interior de PLC (Indoor) y no contempla la separación de bandas de frecuencia, lo que aleja a HomePlug de la tendencia normativa que actualmente se promueve en Europa.

#### **b. ETSI – EP PLT**

ETSI en 1999 aprobó la creación de un proyecto llamado EP PLT (European Project Powerline Telecommunications) con el objetivo de desarrollar estándares y especificaciones de alta calidad, para proporcionar servicios de voz y datos, a los usuarios finales a través de las redes eléctricas.

EP PLT, vela por una clara definición de cooperación y relación con otros organismos e iniciativas relacionadas.

Es importante señalar que la normalización en Europa contempla las dos secciones de la tecnología PLC: red de acceso exterior (outdoor), e interior o LAN (indoor). Para la coexistencia de las tecnologías indoor y outdoor de PLC, el espectro utilizado se ha dividido en dos rangos de frecuencias:

Acceso outdoor, que comprende desde los 3 MHz hasta los 12 MHz.

Indoor, comprende desde los 13 hasta los 30 MHz.

Lo mencionado anteriormente, se especifica en el estándar ETSI TS 101 867.

#### **c. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**

Entre los principales estándares, se pueden mencionar:

- ✓ IEEE P1675. Estándar para el desarrollo de hardware PLC de banda ancha (Standard for Broadband over Power Line Hardware). Se trata de un grupo de trabajo especializado en instalaciones

(hardware) y asuntos de seguridad para el uso de la tecnología PLC.

- ✓ IEEE P1775. (Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements - Testing and Measurement Methods). Es un grupo de trabajo centrado en los requerimientos de compatibilidad electromagnética del equipamiento PLC y en las metodologías de pruebas y medición.
- ✓ IEEE P1901 (IEEE P1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications). El objetivo de este grupo de trabajo es la definición de los procedimientos de control de acceso al medio y las especificaciones de capa física, para toda clase de dispositivos PLC.
- ✓ Muchas compañías y organizaciones de estandarización, participan en el desarrollo de IEEE P1901, entre ellas: HomePlug Powerline Alliance, UPA y OPERA. Se espera que sea publicada en el 2008.
- ✓ IEEE BPL Study Group. “Estandarización de tecnologías BPL”, maneja la creación de BPL relacionada con los grupos de trabajo Pxxxx, crea nuevos grupos de trabajo de ser necesario.

#### **d. UPA (Universal Powerline Association).**

UPA es una organización internacional sin fines de lucro, que trabaja en la formulación de estándares globales y normativas regulatorias orientadas al mercado PLC.

Se encuentra constituida por compañías líderes en tecnología PLC, cuyo objetivo es desarrollar productos certificados, que sean compatibles con las especificaciones que se aprueben, para situarlos en el mercado en el menor tiempo posible, garantizando de este modo altas prestaciones y maximizando el uso del espectro.

### **2.2.1.2 NORMAS DE PLC**

Las actividades de normalización, están centradas básicamente en la asignación del espectro de frecuencias, para asegurar la compatibilidad con otros servicios de telecomunicaciones, particularmente, la radiodifusión y las bandas de radio aficionados. Entre los organismos involucrados en actividades de normalización de PLC en la actualidad, se encuentra el PLC Forum, el cual presenta sus iniciativas a los foros europeos CENELEC y ETSI. Las normas brindadas por CENELEC, proveen regulaciones sobre importantes parámetros, como el rango de frecuencia, niveles de señal, potencia de transmisión, etc., permitiendo que los sistemas de PLC puedan operar en la banda de frecuencia que ocupa desde los 3 kHz hasta los 148.5 kHz, de tal forma no se interfiere con señales de radio de onda larga (LW) y media onda (MW). Las siguientes normas son las que se encuentran en vigencia en España, siendo una adopción de normas europeas de código similar:

#### **UNE-EN 50065-1:2002**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 1: Requisitos generales, bandas de frecuencia y perturbaciones electromagnéticas.

#### **UNE-EN 50065-2-1:2004**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-1: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148, 5 kHz y destinados para uso en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.

#### **UNE-EN 50065-2-1:2004/A1:2006**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-1: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148,5 kHz y destinados para uso en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.” La misma norma anterior, actualizada para el 2006.

#### **UNE-EN 50065-2-2:2004**

Transmisiones de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-2: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148,5 kHz y destinados para uso en entornos industriales.

#### **UNE-EN 50065-2-2:2004/A1:2006**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-2: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148,5 kHz y destinados para uso en entornos industriales.

La misma norma anterior, actualizada para el 2006.

#### **UNE-EN 50065-2-2:2004/A1:2006 CORR:2007**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-2: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148,5 kHz y destinados para uso en entornos industriales. La misma norma anterior, con corrección para el 2007.

#### **UNE-EN 50065-2-3:2004**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-3: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 3 kHz a 95 kHz y destinados para uso por los suministradores y distribuidores de electricidad.

#### **UNE-EN 50065-2-3:2004/A1:2006**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 2-3: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 3 kHz a 95 kHz y destinados para uso por los suministradores y distribuidores de electricidad. La misma norma anterior, actualizada para el 2006.

#### **UNE-EN 50065-4-1:2002**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 4-1: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Especificación genérica.

#### **UNE-EN 50065-4-2:2002**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz hasta 148,5 kHz y de 1,6 MHz hasta 30 MHz. Parte 4-2: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Requisitos de seguridad.

#### **UNE-EN 50065-4-2/A1:2003**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencia de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 4-2: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Requisitos de seguridad.

#### **UNE-EN 50065-4-2:2002/A2:2005**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencia de 3 kHz hasta 148,5 kHz y de 1,6 MHz hasta 30 Mhz. Parte 4-2: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Requisitos de seguridad.” La misma norma anterior, actualizada para el 2005.

#### **UNE-EN 50065-4-3:2004**

Transmisiones de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 4-3: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Filtro de entrada.

#### **UNE-EN 50065-4-4:2004**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148, 5 kHz. Parte 4-4: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Filtro de impedancia.

#### **UNE-EN 50065-4-5:2004**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148, 5 kHz. Parte 4-5: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Filtros de segmentación.

#### **UNE-EN 50065-4-6:2004**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 4-6: Filtros de desacoplamiento de baja tensión. Acoplador de fase.

#### **UNE-EN 50065-4-7:2006**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz y de 1,6 MHz a 30 MHz. Parte 4-7: Filtros de desacoplamiento de baja tensión portátiles. Requisitos de seguridad.

### **UNE-EN 50065-4-7:2006 CORR: 2007**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz y de 1,6 MHz a 30 MHz. Parte 4-7: Filtros de desacoplamiento de baja tensión portátiles. Requisitos de seguridad.” La misma norma anterior, con corrección para el 2007.

### **UNE-EN 50065-7:2002**

Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz. Parte 7: Impedancia del equipo.

### **UNE-EN 50412-2-1:2006**

Equipos y sistemas de comunicación de corriente portadora utilizados en instalaciones de baja tensión en la banda de frecuencias de 1,6 MHz a 30 MHz. Parte 2-1: Entorno residencial, comercial y de industria ligera. Requisitos de inmunidad.

### **EN 50065**

En la tabla 2.1, se presentan las categorías de las distintas bandas de frecuencia según la norma EN 50065.

Tabla 2.1. Asignación de Bandas de Frecuencias CENELEC-EN

CLASIFICACION	DE	RANGO	DE
BANDAS		FRECUENCIAS	
BANDA A		9 KHz -95 KHz	
BANDA B		95 KHz -125 KHz	
BANDA C		125 KHz -140 KHz	
BANDA D		140 KHz – 148.5 KHz	

a. Banda A, comprendida entre los 9 y 95 KHz, asignada para empresas de servicios eléctricos. No hay necesidad de utilizar protocolo de acceso al medio cuando se opera en esta banda.

b. Banda B, rango de 95 a 125 KHz, no requiere el uso de protocolos de acceso al medio para el establecimiento de las comunicaciones. Por lo tanto, es posible que dos sistemas transmitan simultáneamente sobre la banda B, y en consecuencia de ello, puede producirse una colisión de mensajes. Esta banda está diseñada para usarse en aplicaciones tales como intercomunicadores.

c. Banda C, rango de frecuencia comprendido entre los 125 a 140 KHz, requiere de un protocolo de acceso al medio, para ser usados por los dispositivos de transmisión. Este protocolo apunta a que la transmisión simultánea de mensajes sea altamente improbable. En consecuencia pueden existir varios sistemas de transmisión, pero solamente uno puede transmitir en un instante determinado. Las aplicaciones de los dispositivos incluyen las comunicaciones internas entre computadores de un edificio.

d. Banda D, frecuencias de 140 a 148.5 KHz, con características similares a la banda A, como el no requerir protocolo de acceso al medio y por ende es factible la colisión de mensajes.

La mayoría de los sistemas de PLC de gran velocidad, que trabajan en las bandas CENELEC, con una tasa de datos de hasta 1 Mbps, son diseñados para trabajar en los mercados de Estados Unidos y Japón.

La Norma EN50065 especifica ciertas condiciones, como por ejemplo: Protocolos de comunicación.

Especificaciones de los filtros para eliminar la portadora, y evitar la atenuación excesiva de la señal debido a los múltiples dispositivos PLC de baja impedancia en una Red.

e. Norma RegTP NB30

Norma Alemana, para transmisiones electromagnéticas guiadas por cables (hasta 3 GHz). Sólo de aplicación a nivel nacional.

f. MTP 1570

Especificación en el Reino Unido, para emisiones electromagnéticas guiadas por cable de hasta 300 MHz. Pese al desarrollo alcanzado por PLC aún queda trabajo pendiente en el campo de la normalización. Básicamente se ha regulado el uso del espectro de frecuencias y las especificaciones de calidad de servicio (QoS) para los equipos terminales de abonado (CPEs).

### **2.2.1.3 ESTÁNDARES DE PLC**

A nivel de los sistemas de PLC, aún no se ha logrado establecer un estándar completo. Hay varias organizaciones que trabajan en la actualidad a fin de lograrlo. Las más importantes son el PLC Forum, UPLC United Power Line Council y PLCA Power Line Communications Association.

A nivel de instalaciones indoor, si existe un estándar. Las organizaciones están tratando de tomarlo como referencia para la normalización outdoor. Este estándar es denominado HomePlug Powerline Alliance (HPA).

Si se dispusiera de múltiples estándares, se crearían mercados separados. Cada uno de ellos, produciría un reducido número de equipos y en consecuencia, los precios serían muy altos y habría muy poca competencia. Existen dos aspectos que son los más importantes y sobre los cuales se está trabajando a nivel estandarización a fin de lograr una solución uniforme:

1. Diferencias de voltaje en los sistemas eléctricos de distintos países del mundo. Existen a nivel mundial sistemas de 110 V y 220 V, por ello se debería fijar calidades de servicio, frecuencias y comportamiento que permitan establecer una independencia del voltaje de trabajo de la red.
2. Diferencias en la regulación establecida para los niveles de emisión electromagnética. Esto sucede por cuanto los niveles permitidos de ondas irradiadas difieren en los diferentes países: ello haría que los usuarios de sistemas PLC no puedan usar un módem adquirido en otro país. Desde el punto de vista de los niveles de emisión, el PLC Forum y la CELENEC cooperan con el CISPR - International Special Committee on Radio Interference, quien maneja internacionalmente los niveles de interferencia de radio.

A continuación se presentan, los principales avances sobre la tecnología PLC:

#### **a. HomePlug 1.0**

Es un estándar para la tecnología PLC, que permite realizar conexiones de alta velocidad entre dispositivos a través de las líneas eléctricas del hogar.

Este estándar, incluye, entre sus características más importantes:

Un método efectivo y confiable para realizar la adaptación al canal, lo que mejora la velocidad de transmisión.

Una combinación de corrección de errores FEC (Viterbi y Reed Solomon), ARQ, interleaving y detección de errores, lo que asegura un canal confiable para los protocolos de capa red.

Utiliza en la capa física, multiplexación OFDM.

La capa física ocupa la banda desde los 4.5 MHz hasta los 21 MHz, con una reducida densidad espectral de potencia en la banda de radioaficionados, con el fin de minimizar interferencias con estos

sistemas. En la capa MAC, utiliza CSMA/CA como técnica de acceso al medio.

La velocidad de transmisión entregada a la capa MAC por la capa física es cerca de 14 Mbps.

La privacidad emplea el mecanismo de encriptación DES de 56-bits. Todos los nodos en una red lógica, comparten una llave de encriptación.

#### **b. IEEE P1901**

Anteproyecto del Estándar para tecnología PLC acceso, indor y coexistencia.

Estándar presentado por OPERA y UPA. El alcance de esta propuesta es tener especificaciones para las capas física, MAC, LLC y la de convergencia, para la transmisión de datos sobre líneas eléctricas basándose en la multiplexación OFDM.

Específicamente describe:

La capacidad de llegar a velocidades de 200 Mbps. Un ambiente maestro-esclavo a nivel de capa MAC.

Mecanismos de calidad de servicio que aseguren ancho de banda y latencia.

Los procedimientos de seguridad para proveer privacidad de los datos.

Algunas referencias del estándar:

ANSI X9.42: 2003. Acuerdo de llaves simétricas utilizando logaritmos discretos de criptografía.

IEEE 802.3 Estándares para redes de área local y metropolitana – Ethernet residencial.

IEEE 802.1p Estándares para redes de área local y metropolitana – Priorización de tráfico y filtrado multicast dinámico.

IEEE 802.1D Estándares para redes de área local y metropolitana – MAC.

IEEE 802.1q Estándares para redes de área local y metropolitana – VLAN.

IEEE 802.1w Estándares para redes de área local y metropolitana – Spanning Tree de convergencia rápida.

IEEE 802.11i Estándares para redes de área local y metropolitana – Aumento de seguridad en la capa MAC

NIST 800-38A - 2001, Recomendación para el modo del bloque Cipher.

FIPS PUB 198 – Generación de llaves de autenticación.

FIPS 197 – Advanced Encryption Standard (AES)

## **2.3 SITUACIÓN REGULATORIA ACTUAL**

### **2.3.1. ASPECTOS REGULATORIOS**

En la actualidad se pueden distinguir tres aspectos regulatorios que afectan a la tecnología PLC:

- Regulaciones técnicas
- Regulaciones de servicio
- Regulaciones organizativas

#### **2.3.1.1. Regulaciones Técnicas**

Se ocupa básicamente de lo relativo a la compatibilidad electromagnética con otros servicios, como por ejemplo los servicios de radiodifusión.

La situación se puede resumir en el principio general de que la última tecnología que llega, en este caso, PLC, no debe interferir con ninguno de los servicios o tecnologías ya existentes, y debe cuidarse que las interferencias de estos servicios no le afecten.

#### **2.3.1.2. Regulaciones de Servicio**

No existe ningún impedimento para proporcionar servicios de telecomunicación a través de las líneas eléctricas supuesto

que se tienen las licencias correspondientes; es decir, la regulación suele ser técnicamente neutral respecto al método de acceso de un segundo operador, en el caso de aplicaciones outdoor.

### **2.3.1.3. Regulaciones Organizativas**

Tienen que ver con cuestiones como:

¿Puede una compañía eléctrica como tal tener una operación del servicio de telecomunicaciones ya sea de forma directa, o mediante afiliados?

¿Cómo contabilizar las infraestructuras comunes?

¿Cómo evitar que la matriz subsidie a la operadora de telecomunicación mediante el pago de servicios adicionales como la lectura de contadores?

¿Cómo conseguir que el operador basado en PLC no se aproveche, de forma no equitativa, de la posición de fortaleza de su casa matriz? o ¿no sería mejor dejar que se aproveche para nivelar la situación de competitividad con el operador de telecomunicaciones establecido?

### **2.3.1.4. SITUACIÓN REGULATORIA EN EL ECUADOR**

En la actualidad no existe regulación, ni levantamiento de ningún reglamento, para el uso de redes eléctricas para la transmisión de datos. Lo que se está realizando en este momento es una investigación del uso de la tecnología PLC en otros países como por ejemplo en Chile, donde se están realizando pruebas piloto. Se espera para que dentro de seis meses, se pueda contar con un avance en cuanto al marco regulatorio de la tecnología PLC en nuestro país. Por el momento, sin una regulación propia de la tecnología, se puede destacar el artículo 10 de la Ley Especial de Telecomunicaciones:

Art. 10.- INTERCOMUNICACIONES INTERNAS.- No será necesaria autorización alguna para el establecimiento o utilización de instalaciones destinadas a intercomunicaciones dentro de residencias, edificaciones e inmuebles públicos o privados, siempre que para el efecto

no se intercepten o interfieran los sistemas de telecomunicaciones públicos. Si lo hicieran, sus propietarios o usuarios estarán obligados a realizar, a su costo, las modificaciones necesarias para evitar dichas interferencias o interceptaciones, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones previstas en esta Ley. En todo caso, también estas instalaciones estarán sujetas a la regulación y control por parte del Estado.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)**

#### **3.1. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE BROADBAND PLC EN LA RED ELÉCTRICA DE LA UNIDADES DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.**

##### **3.1.1. REQUISITOS DE LA RED ELÉCTRICA**

Una de las ideas principales tras la tecnología Broadband PLC es el uso de la infraestructura existente (red eléctrica de media y baja tensión); si bien se podrían realizar ajustes a la red eléctrica sería poco deseable, pues subirían los costos y la complejidad de la implementación de esta tecnología. Los equipos deben ofrecer cobertura suficiente para abarcar los tramos más distantes de la red de baja tensión out door e in home. El segmento más largo de la red out door de baja tensión en el área de cobertura es de 334 metros; en base a mediciones en planos de edificios del área de cobertura se ha encontrado que una red in-home de 62 metros abarcaría la mayoría de las tomas de energía. De sumar ambos segmentos se obtiene que los equipos de baja tensión deban alcanzar una cobertura de 396 metros o proveer la opción de instalar repetidores.

De forma similar, para la red de media tensión, se debe cubrir una distancia de hasta 4852 metros, esta distancia es difícilmente alcanzada con un único equipo, por ello es un requisito que el equipamiento de la red de media tensión permita el uso de repetidores, y que la distancia alcanzada por cada equipo individual sea significativa para no tener que instalar demasiados repetidores.

Como no se obtiene información muy fácil de cualquier Unidad del Ejército Ecuatoriano, hemos seleccionado como prototipo a la ESPEL, en redes eléctricas de media tensión y baja tensión, éstos pueden causar que un mensaje específico se transmita por dos o más nodos de la red. Para evitar este fenómeno es necesario contar con un protocolo de spanning tree optimizado para la topología de las redes Broadband PLC.

El tendido eléctrico en las zonas militares de cobertura son relativamente antiguo, sin embargo si se desea dar servicio a otras zonas deberá ser prioridad para las Unidades del Ejército Ecuatoriano observar y analizar el tendido eléctrico que sobrepase su ciclo de vida útil. La principal consecuencia de tener tendido eléctrico antiguo (20 años o más) es la facilidad con la que se puede bloquear la comunicación Broadband PLC solo con el ruido que se produce al entrar en funcionamiento un generador eléctrico de baja potencia.

### **3.1.2. REQUISITOS PARA ADMINISTRACIÓN, DIAGNÓSTICO Y SOPORTE**

Los requisitos técnicos de los equipos para facilitar la gestión y administración de la red difieren entre sí, por los costos que conllevan y la funcionalidad que presentan. Para configurar los parámetros de red (dirección IP, gateway predeterminado, servidores DNS, máscara de subred, etc.) es deseable, por el tamaño de la red, utilizar el protocolo DHCP, por lo que se requiere que los nodos de la red incorporen un cliente DHCP.

Típicamente la configuración de parámetros, como las velocidades de conexión de los equipos en la red Broadband PLC se realizan mediante la descarga de un archivo de configuración desde un servidor TFTP o FTP, pudiendo este archivo depender de la autenticación del equipo. La

autenticación es muy importante para controlar los accesos no autorizados a los recursos de la red. Durante la operación de la red es importante conocer el estado de los dispositivos para poder administrarlos, para ello, los equipos de las redes

Broadband PLC deben soportar protocolos abiertos de administración, que permitan el uso de herramientas para este objetivo. De igual manera, es necesario el acceso a la configuración de los equipos mediante línea de consola, pues el acceso directo a los equipos es bastante difícil.

Como resultado se tienen los siguientes requerimientos:

- ✓ Soporte para configuración mediante descarga de un archivo desde un servidor TFTP o FTP.
- ✓ Autenticación del equipo en la red.
- ✓ Soporte para cliente DHCP.
- ✓ Acceso remoto vía línea de consola en un terminal virtual o vía HTTP.

### **3.1.3. REQUISITOS DE CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS BROADBAND PLC**

Para asegurar una posición en el mercado de telecomunicaciones el sistema Broadband PLC a instalar, debe ser capaz de manejar el tráfico generado por los usuarios al final del proyecto. Además, soportar el tráfico que a futuro pueda generarse por el uso de nuevas aplicaciones aun no desarrolladas o adoptadas, para ello debe proveer alta capacidad de transmisión y otras consideraciones de QoS (Calidad de Servicio). Si con el pasar del tiempo no se puede soportar las nuevas aplicaciones es previsible que muchos usuarios opten por cambiar de proveedor para satisfacer sus necesidades. Para obtener el número de usuarios de acuerdo al número de transformadores se aplicará la siguiente ecuación:

$$n = \frac{U_{residenciales}}{\text{Número de transformadores}} \quad (3.1)$$

Donde:

$n$  Es el número de usuarios por transformador.

$U_{residenciales}$  Es el número de usuarios residenciales totales.

En función de la cantidad de usuarios, la previsión de soportar nuevas aplicaciones, por la creciente demanda de capacidad de transmisión y por su soporte para transmisión de datos sobre las líneas de media tensión, se recomienda el uso de la tecnología Broadband PLC a 200 Mbps, promovida por algunos grupos importantes como son OPERA2, UPA3, y adoptada por varios fabricantes en Europa y Estados Unidos.

#### **3.1.4. REQUISITOS DE COMPATIBILIDAD CON LOS SERVICIOS YA EXISTENTES**

Los nuevos servicios de telecomunicaciones deben ser capaces de coexistir con aquellos ya existentes, esto implica no ser afectados por la operación de otros servicios, ni afectar el funcionamiento de éstos.

Como se citó en el primer capítulo, una de las limitaciones de la tecnología *Broadband PLC* se presenta por el comportamiento como emisor electromagnético, debido a la utilización de la red eléctrica a altas frecuencias de operación, por ende se presentan problemas de interferencia a otros servicios que trabajan en la misma banda de frecuencias.

En el país, algunos servicios de telecomunicaciones podrían ser afectados por la operación de la tecnología *Broadband PLC* en la

misma banda de frecuencias, que de acuerdo con el plan nacional de frecuencias, serían:

- ✓ Servicio de Radio Aficionados
- ✓ Aficionados por Satélite
- ✓ Servicios de ayuda a la meteorología
- ✓ Servicios fijos
- ✓ Frecuencias patrón y señales horarias
- ✓ Investigación espacial
- ✓ Servicios móviles
- ✓ Servicio Móvil Aeronáutico
- ✓ Servicio Móvil Terrestre
- ✓ Operaciones Espaciales
- ✓ Radioastronomía
- ✓ Radiodifusión

Debido a las bajas potencias de transmisión logradas en la actualidad por los sistemas Broadband PLC que oscilan alrededor de -54dBm/Hz, se espera que las interferencias entre estos sistemas no sean significativas y permitan la operación en armonía con las mismas. Sin embargo, dados los resultados en implantaciones de la tecnología Broadband PLC en otros países, se ha visto necesario el uso de técnicas para disminuir los efectos de la interferencia electromagnética, incluyendo el control de la potencia de transmisión, la supresión de portadoras OFDM en bandas de frecuencia asignadas a otros servicios susceptibles de interferencia, y filtros para evitar el ruido por intermodulación en las portadoras eliminadas. Esta supresión de portadoras OFDM debe ser dinámica y automática, para poder adaptar el sistema a nuevos requisitos que se podrían presentar a futuro con la evolución de los sistemas de telecomunicaciones y poder responder rápidamente a cambios en las condiciones del canal.

### **3.1.5. REQUISITOS DE OPERACIÓN**

La mayoría de los equipos a instalar tanto en el lado del usuario, como a lo largo de la red eléctrica, deben ser capaces de soportar un ciclo de trabajo continuo, deben poder operar a las temperaturas ambiente de la ciudad, soportar fenómenos climáticos difíciles como lluvia, granizo, e inclusive la ceniza volcánica.

Reunir estas últimas condiciones es difícil, por ello se considera la necesidad de instalar gabinetes que den cabida a estos equipos en condiciones controlables. El consumo de energía eléctrica de estos equipos debe ser bajo, para no incrementar los costos de operación. Se consideran potencias adecuadas aquellas menores a los 40 vatios para los nodos. Para los equipos del lado del usuario la potencia consumida no tiene mayor relevancia para el proveedor de servicio, entendiéndose que no será significativa al consumo promedio de los usuarios.

### **3.1.6. REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LA RED DE ACCESO**

Todo servicio de telecomunicaciones requiere garantías especiales de calidad de servicio para mantener la red estable, y las redes de acceso no son la excepción.

La tecnología Broadband PLC tiene una importante desventaja en la seguridad con respecto a otras tecnologías con medios guiados al utilizar un medio compartido para la transmisión de la información.

Para limitar el acceso no autorizado a las transmisiones de los usuarios es necesario contar con tecnologías de encriptación como DES, 3DES, ICE o AES. Sin embargo éstas exigen muchos recursos para su

funcionamiento limitando su aplicación en todos los niveles de la transmisión.

En la actualidad la mayoría de soluciones comerciales de Broadband PLC incluyen algoritmos de cifrado en donde sólo las cabeceras de las tramas MAC pueden ser susceptibles de interceptación.

Con respecto a la interferencia se presentan dos problemas adicionales a la seguridad en la red de acceso Broadband PLC:

El tendido eléctrico alimentado con una señal de alta frecuencia produce un alto nivel de radiación electromagnética, que puede ser detectada hasta a varios metros del tendido eléctrico.

Desgraciadamente, el tendido eléctrico actúa como un radiador cuando se transmite señales de alta frecuencia, pero también puede captar todas las señales radiadas por diferentes emisores limitando la comunicación.

Las condiciones de la red cambian constantemente durante la transferencia de archivos por la red de acceso, debido a que el número de usuarios que utilizan la red es variable, y que cada usuario utiliza varios servicios de telecomunicaciones en forma simultánea. Cuando la red se encuentra trabajando en ambientes de ruido desfavorables, la disponibilidad de la tasa de transferencia puede cambiar frecuentemente en relación al estado actual de las distorsiones del canal, degradando de esta manera la calidad de servicio de la red de acceso.

Para reducir la posible degradación de la calidad de servicio en la red, es necesario implementar mecanismos CAC, para limitar el número de conexiones simultáneas admitidas en la red.

### **3.2. DISEÑO DEL ENLACE DE BAJA TENSIÓN**

El enlace de baja tensión permitirá la conexión del usuario final (típicamente con su computador) a la Internet. Para esto el usuario debe utilizar un equipo como un módem o un gateway Broadband PLC, que le permita tomar la señal Broadband PLC de un tomacorriente dentro del hogar o la oficina y pasarla a un dispositivo de comunicación como un computador, un router, un access point, etc.

Los principales problemas en la red de baja tensión son:

- ✓ La incertidumbre en la calidad de la red de baja tensión dentro de los hogares u oficinas.
- ✓ Mayor cantidad de derivaciones y cambios en la impedancia característica de la red.
- ✓ La cercanía con fuentes de interferencia como dispositivos no lineales,
- ✓ Motores y cargas grandes.
- ✓ La coexistencia con redes Broadband PLC In-home
- ✓ La dificultad de alcanzar todos los tomas de energía en los hogares u oficinas
- ✓ Al ser un medio compartido otros usuarios podrían recibir transmisiones sin autorización.

#### **a. Nodos Repetidores**

Las distancias de los cables de baja tensión, en combinación con muchos empalmes, provoquen la aparición de zonas sin cobertura. En el área de cobertura las distancias de los circuitos primarios alcanzan distancias muy

altas y difícil de cubrir, por ello se ha previsto la instalación de nodos “Repetidores”. Como una estrategia para mantener la disponibilidad de la comunicación los nodos repetidores se instalarán a una distancia menor que la cobertura máxima de los equipos a seleccionar, ya que las características del canal de transmisión son dinámicas y podría haber períodos largos de interferencia que limitarían la capacidad de comunicación. El hecho de instalar nodos “Repetidores” permite tener potencias de transmisión más bajas (por la cercanía de los equipos) limitando también la posibilidad de causar interferencias a otros sistemas.

La ubicación de los nodos repetidores estará sujeta a continuos cambios para responder a cambios en la topología de la red eléctrica, éste es un proceso continuo que se llevaría a cabo durante la fase de pruebas y la fase de operación. Se muestra en la figura 3.1, un esquema de acceso múltiple por división de tiempo, considerando la reutilización de las ranuras de tiempo por los repetidores.

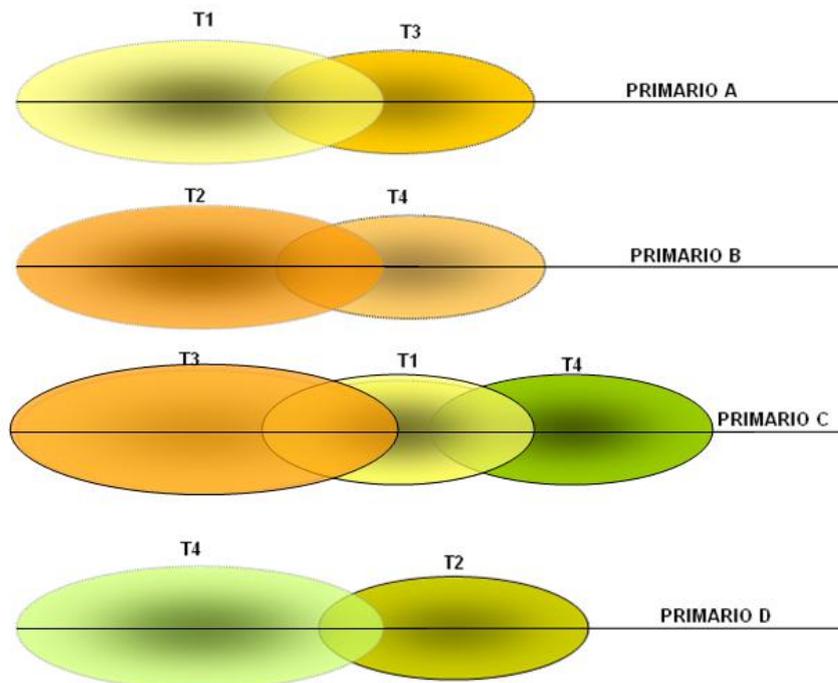


Figura 3.1. Esquema de acceso múltiple por división de tiempo para los repetidores.

## **b. Estación maestra**

La estación maestra será instalada en un punto central de la red de baja tensión, limitando así la aparición de zonas sin cobertura. Dada la naturaleza de las redes eléctricas, típicamente este punto coincidirá con la ubicación del transformador de media tensión a baja tensión.

La señal Broadband PLC debe ser inyectada a las tres fases y el neutro de la red de baja tensión trifásica, pues no todos los hogares adquieren el suministro de energía a través de la misma fase, en las redes de baja tensión monofásicas se pueden utilizar equipos más económicos que se acoplen únicamente a una fase y neutro.

La conexión de la red Broadband PLC de baja tensión, y Broadband PLC de media tensión se detalla más adelante en el diseño del enlace de alta tensión.

### **3.2.1. SISTEMA DE LA RED DE BAJA TENSIÓN**

El sistema de comunicaciones sobre red eléctrica (PLC) consiste en una red full dúplex punto a multipunto con los elementos siguientes:

- ✓ **Equipamiento de Usuario (Customer Premise Equipment, CPE):** El módem o dispositivo de usuario.
  
- ✓ **Pasarela de Usuario (Home Gateway, HG):** Que se emplea como repetidor en aquellos casos en los que la señal es reducida, o incluso como router.

#### **3.2.1.1.CPE (Customer Premises Equipment)**

El CPE suele ser propiedad del usuario y se sitúa en la conexión eléctrica del mismo o directamente en un enchufe. Los datos enviados por el usuario son transmitidos desde el CPE al HE o al Home Gateway.El CPE está conectado al ordenador a través de un puerto Ethernet, un

concentrador/conmutador u otros medios como interfaces USB, etc. También se puede utilizar un adaptador telefónico (Tel Gateway) que permite la conexión de un teléfono analógico a través de la red eléctrica. Este módem puede estar integrado en una caja decodificadora externa o bien como una tarjeta instalada en el PC del usuario, que se conecta directamente al enchufe eléctrico. Los datos son transmitidos desde el CPE al HE. El CPE es el esclavo en la red, y su acceso ha debido ser autorizado previamente por el HE. El HE también asignará “slots” específicos, de frecuencia y tiempo, en el canal de comunicación, a diversos CPEs, para permitirles transmitir simultáneamente, como se puede ver en la figura 3.2.

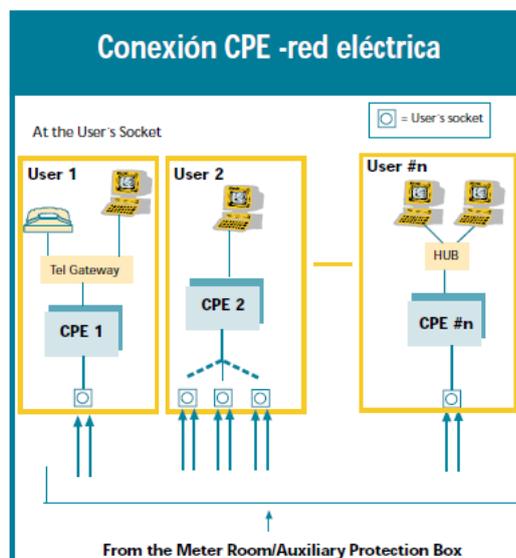


Figura 3.2. Conexión del CPE en la red eléctrica.

Todos los CPE, contienen filtros de paso para segregar las señales de electricidad y de los datos, facilitando el acoplamiento entre los clientes y una subestación eléctrica.

**-Filtro pasa bajo**, libera la corriente eléctrica de 50 ó 60 Hz para su distribución a todos los enchufes de la casa. Este filtro además sirve para limpiar los ruidos generados 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, acabarán por introducir distorsiones muy significativas.

**-Filtro pasa altos**, libera los datos y facilita el tráfico bidireccional entre el cliente y la red. Además en las estaciones acondicionadoras se efectúa el mecanismo que posibilita la alta velocidad de transmisión de los datos. Ya que durante la transmisión en caso de encontrar un error de transferencia, rápidamente se efectúa un cambio de frecuencia, de tal modo que se intercambian las frecuencias disponibles para aumentar la velocidad y trabajar con éxito en este medio hostil. La figura 3.3, muestra los puertos de la unidad acondicionadora. A través del puerto de la red ingresa la señal, la cual atraviesa el filtro pasa altos filtrando todas las señales de datos que pasan hacia el puerto de distribución de comunicaciones. La señal además atraviesa un filtro pasa bajos que envía las señales eléctricas al puerto de distribución eléctrica.

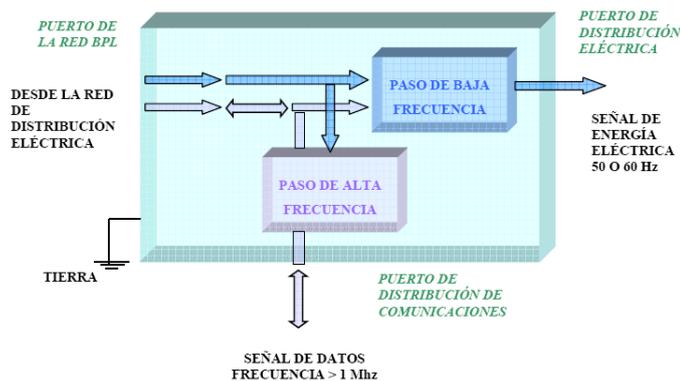


Figura 3.3. Diagrama de bloque de un puerto de red BPL.

### **-Configuración.**

Para el correcto funcionamiento de su red doméstica con adaptadores PLC-Ethernet se deberá disponer de, al menos, dos adaptadores PLC-Ethernet. Uno de estos adaptadores estará conectado al router y el otro al decodificador o a un equipo informático. La red de adaptadores PLC-

Ethernet se puede ampliar añadiendo tantos adaptadores como sea necesario, como indica en la figura 3.4.

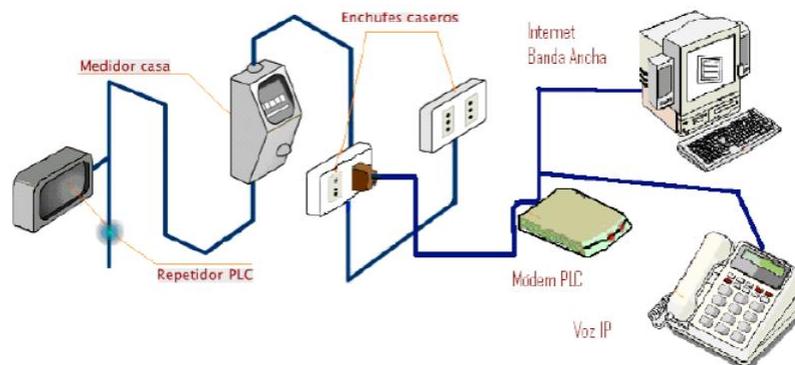


Figura 3.4. Conexiones del repetidor y módem PLC.

#### **-Consideraciones:**

Para tener una conexión a Internet, es importante tomar en consideración ciertos aspectos:

- ✓ Proteja el adaptador de temperaturas extremas. No sitúe el producto bajo la luz solar directa o cerca de elementos térmicos.
- ✓ No use el adaptador en entornos con importante acumulación de polvo o humedad.
- ✓ Proteja el producto contra fuertes golpes o sacudidas – éstas pueden dañar la electrónica interna de la unidad.

## -Instalación

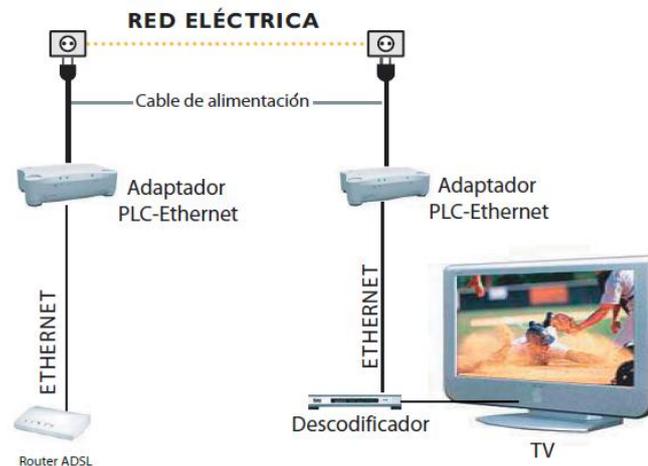


Figura 3.5. Instalación de los adaptadores PLC.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a.- Coloque uno de los Adaptadores PLC-Ethernet junto a su router.
- b.- Conecte el cable Ethernet al conector Ethernet de su Adaptador PLC-Ethernet y a uno de los conectores LAN de su router.
- c.- Conecte el cable de alimentación a su Adaptador PLC-Ethernet y a un enchufe de su red eléctrica.
- d.- Repita los pasos anteriores con el otro Adaptador PLC-Ethernet, para conectarlo a su equipo asociado (descodificador, PC,...).
- e.- Espere (alrededor de 1 minuto) a que sus adaptadores PLC-Ethernet se reconozcan y conecten entre sí. A partir de este momento tendrá conexión entre su router y su equipo asociado (descodificador, PC,...), tal como indica la figura 3.5

## -Descripción del equipo:

### -Panel frontal: (Ver figura 3.6)

- ✓ Indicador luminoso "Encendido" (1)
- ✓ Indicador luminoso "Conexión" (2)

- ✓ Indicador luminoso “Datos” (3)

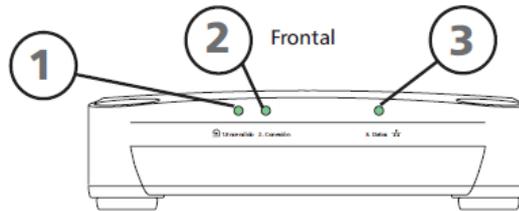


Figura 3.6. Vista frontal del adaptador PLC- Ethernet.

**-Panel posterior: (Ver figura 3.7)**

- Conector Ethernet (4)
- Conector de alimentación eléctrica (5)

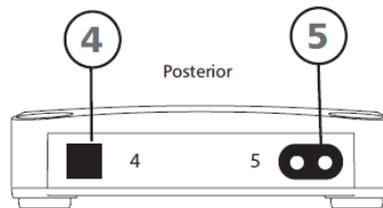


Figura 3.7. Vista Posterior del adaptador PLC- Ethernet.

**-Especificaciones Técnicas:**

Tabla 3.1. Especificaciones Técnicas del equipo adaptador PLC.

<b>Estándar de red</b>	IEEE 802.3u
<b>Velocidad de transmisión</b>	200 Mbps en nivel físico
<b>Interfaces</b>	10/100BaseT Fast Ethernet, Powerline
<b>Banda de frecuencia</b>	2 – 34 MHz
<b>Entrada de alimentación</b>	85 a 265 V AC, 50/60 Hz
<b>Dimensiones</b>	148 mm L x 106 mm W x 47 mm H
<b>Consumo de energía</b>	5W
<b>Seguridad y EMC</b>	UL/EN 60950, FCC Part 15, límites EN 55022 EMC

### **-Instalación de software con Windows 98SE, 2000 y XP:**

Existen diferentes softwares según el fabricante, en este caso se detalla la configuración de la marca OvisLink, cuya instalación es similar para otro tipo de equipos:

### **-Instalación del Software.**

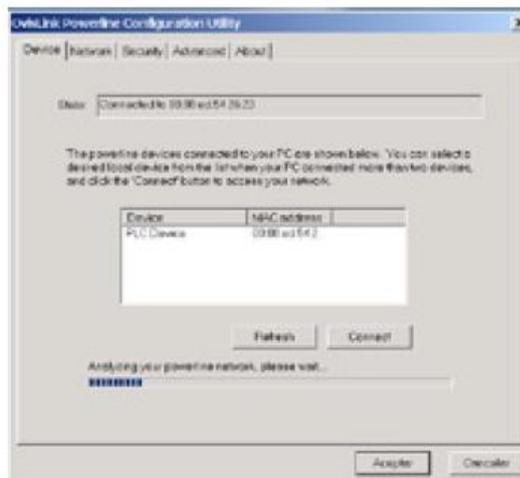


Figura 3.8. Instalación del software del fabricante del adaptador PLC-Ethernet.

Para ejecutar el programa, haga doble click sobre el icono “OvisLink Poweline Configuration Utility” de su escritorio. Aparecerá una ventana con cinco pestañas: Device, Network, Security, Advanced y About. A continuación explicaremos el propósito y la funcionalidad de cada una de ellas.(Ver figura 3.8).

### **-PESTAÑA “DEVICE”**

Mientras la utilidad de encriptación esté ejecutándose, el cuadro de diálogo muestra la lista de adaptadores PowerLine conectados a su equipo, como se indica en la figura 3.9.

Además le indicará el rendimiento de su red de datos. La ventana inicial de la sección de dispositivo aparecerá como se muestra a continuación:

La barra de progresión le muestra que la utilidad está analizando la red de equipos Powerline. Una vez hecho el análisis, aparece una pantalla similar a la que se muestra a continuación:



Figura 3.9. Opción DEVICE de la instalación del software.

Como indicábamos anteriormente, esta pantalla muestra la información de los adaptadores PowerLine conectados a su ordenador, normalmente aparecerá solo uno. En el caso que aparezca más de uno, seleccione uno de ellos y pinche en “Connect”. Asegúrese antes de que en la característica “State” le aparece que está conectado a ese mismo adaptador. Ahora ya puede manejar la red asociada a este dispositivo, asegurar la privacidad y medir la tasa de transferencia de los datos. Pulse sobre el botón “Refresh” para buscar otros adaptadores Powerline conectados a su ordenador.

En ese momento la barra de progreso le indicará la tasa de transferencia de datos de su red a través de cableado eléctrico. El color de la barra le indicará en todo momento esta característica de la siguiente forma:

- ✓ Verde: Prestaciones Excelentes
- ✓ Amarillo: Prestaciones Bajas

- ✓ Rojo: Prestaciones Pobres (Sin conexión)

### **-PESTAÑA “NETWORK”**

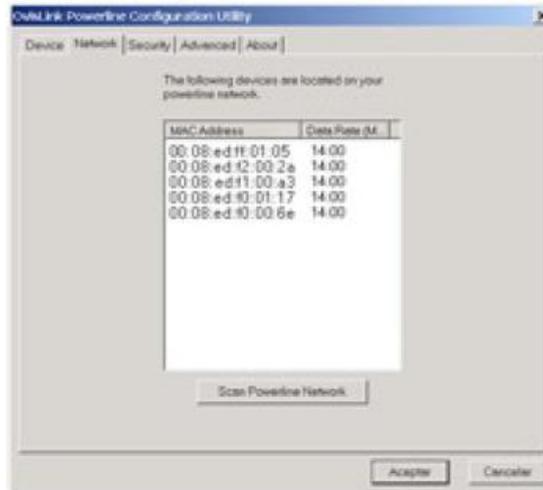


Figura 3.10 Opción NETWORK de la instalación del software.

En esta pantalla le aparecerá información sobre su red de adaptadores Powerline, de la siguiente manera:

- ✓ La ventana de texto le indica los diferentes dispositivos Powerline de su red identificada por su dirección MAC. Una segunda columna le muestra la velocidad de transferencia indicada en Mbps.
- ✓ Pulse sobre el botón “Scan Powerline Network” para actualizar la información de la lista, como indica en la figura 3.10.

### **-PESTAÑA “SECURITY”**

Todos los adaptadores Powerline utilizan por defecto la clave de red “HomePlug”. En esta sección puede cambiar esa clave genérica por una privada y aplicarla al dispositivo conectado a su ordenador.

Pinche sobre el botón “Restore Default” para reestablecer la clave por defecto “HomePlug” y aplicarla en su dispositivo.

Escriba la clave que quiera y pinche sobre el botón “Set Local” para cambiarla en su adaptador, como se indica en la figura 3.11.

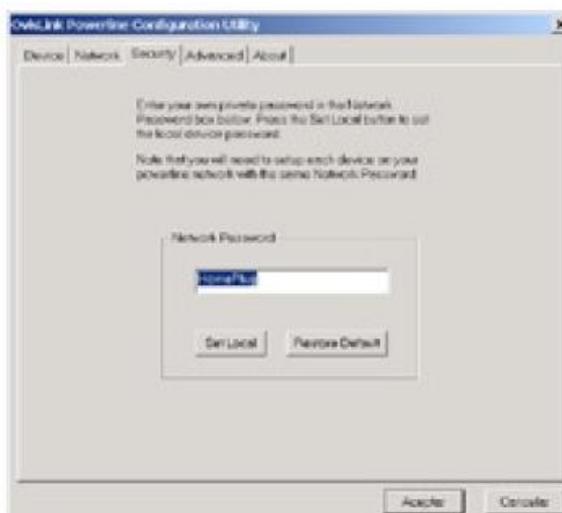


Figura 3.11. Opción SECURITY de la instalación del software.

### **-PESTAÑA “ADVANCED”**

Esta característica permite cambiar la clave de red remotamente en todos los dispositivos conectados a la red eléctrica. Escriba su clave privada de red en el cuadro de texto “Network Password”.

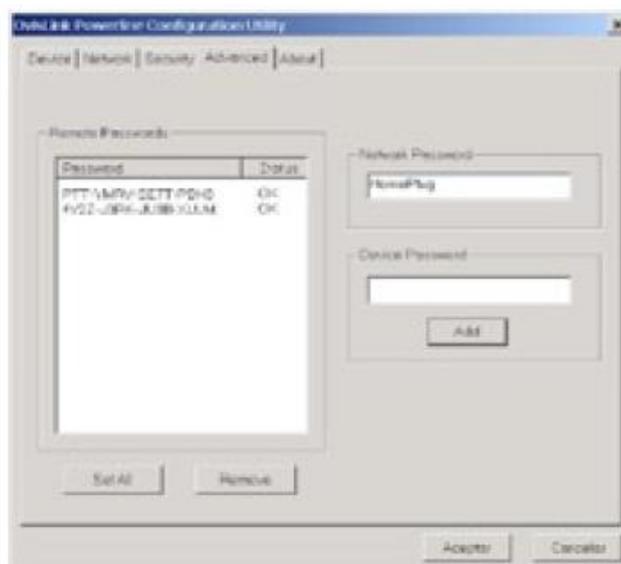


Figura 3.12. Opción ADVANCED de la instalación del software.

Los demás dispositivos de su red con capacidad de transmisión de datos por corriente eléctrica disponen de una clave de seguridad en una pegatina colocada en la parte trasera del adaptador. Busque las claves de los dispositivos que quiere manejar y escribálas una a una en el cuadro de texto “Device Password” y después pulse “Add”.

De esta forma aparecerán uno a uno esos adaptadores en el cuadro de diálogo “Remote Passwords” y podrá cambiar manualmente la clave privada de cada uno de ellos a distancia.

El “Status” nos indica la situación de cada dispositivo una vez activada su clave de seguridad. Cuando se nos muestra el mensaje “OK” significa que se encuentra preparado para realizar los cambios necesarios, por el contrario si se nos muestra como “Fail” significa que no está preparado.

Pinche sobre “Set All” para aplicar la clave de red que quiera en todos los dispositivos incluidos en “Remote Passwords”, incluso en el que está conectado y activo en su ordenador en ese momento. Si no quisiera incluir alguno de los dispositivos que aparecen en la lista, no tiene más que seleccionarlo y pinchar sobre “Remove” para retirarlo, como observamos en la figura 3.12.

## **-CONFIGURACIÓN AVANZADA**

Esta característica permite tener una configuración avanzada del dispositivo conectado a la red eléctrica; para lo cual se sigue los siguientes pasos:

### **a. RETIRADA DEL ADAPTADOR PL-USB**

1. Pinche sobre el icono “Desconectar/Retirar Hardware” de su barra de tareas.
2. Seleccione “PL-USB” y pinche en “Detener”.
3. Desconecte el dispositivo PL-USB del puerto USB de su ordenador.
4. Desconecte el dispositivo PL-USB de la toma de corriente eléctrica.

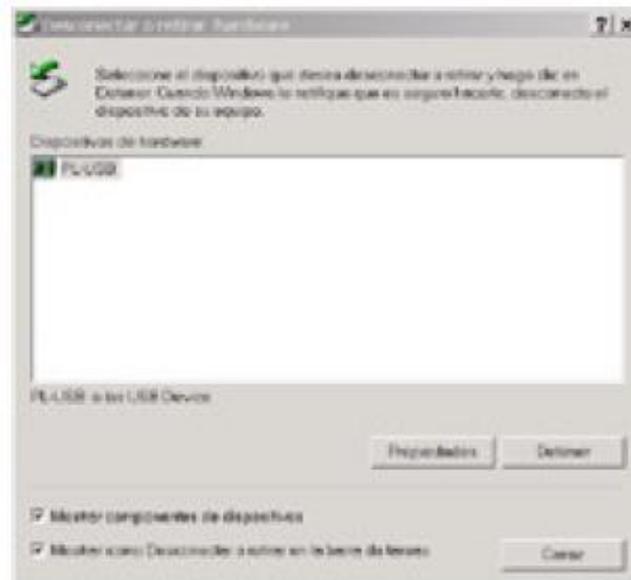


Figura 3.13. Opción AVANZADA de la instalación del software.

## **b. CONFIGURACIÓN IP DE SU ADAPTADOR DE RED**

Por defecto, Windows configurará su adaptador de red automáticamente para seleccionar una dirección IP. Para cambiar la dirección IP en Windows 98SE, siga los pasos descritos a continuación:

1. Vaya al "Panel de Control" y seleccione "Red".
2. Pinche sobre "TCP/IP>PL-RJ45" y seleccione "Propiedades" para PL-RJ45.
3. Pinche sobre "TCP/IP>( nombre sé su adaptador de red)" y seleccione "Propiedades" para PL-RJ45.
4. Seleccione "Especificar una dirección IP".
5. Introduzca una dirección IP dentro del mismo entorno de subred de los otros adaptadores powerline de su red. Introduzca como submáscara de red "255.255.255.0".
6. Pinche sobre "OK".
7. Pinche sobre "OK" para salir de la pantalla de Red.

### **c. HOME GATEWAY**

Un Home Gateway es una combinación de un CPE y un HE. Se puede usar como repetidor para amplificar la señal transmitida a grandes distancias o donde exista excesiva atenuación afectando a la señal, e incluso como un router para implementar una LAN doméstica (in-home).

Si se requiere un Home Gateway, por lo general se sitúa junto al punto de entrada de electricidad del edificio o vivienda, como el cuarto de contadores o la caja de protecciones. Esto facilita que se convierta en un excelente sistema de distribución de acceso, por ejemplo en casos como con los operadores de cable, a los que proporciona una solución efectiva en coste, para distribuir su señal sin infraestructura adicional.

Además, los Home Gateways pueden servir como puntos de acceso a la red para redes locales corporativas (LANs), incluyendo interfaces para otras tecnologías como Ethernet, WLAN, etc.

Un Home Gateway puede ser utilizado para ampliar la cobertura o mejorar el ancho de banda, en ramificaciones complicadas de la red.

#### **Equipo Gateway.**

##### **Repetidor: API-2000-GW (Low Voltage Master, Repeater or Gateway):**



Es un dispositivo empleado como repetidor entre el equipo de cabecera de las líneas de bajo voltaje y los usuarios. Maneja 64 direcciones MAC y 32 conexiones en paralelo. Los repetidores (API-2000-GW) también pueden ser empleados como cabecera de red, ampliando las posibilidades de servicio. La distribución de equipos en la red se muestra en la Figura 3.14.

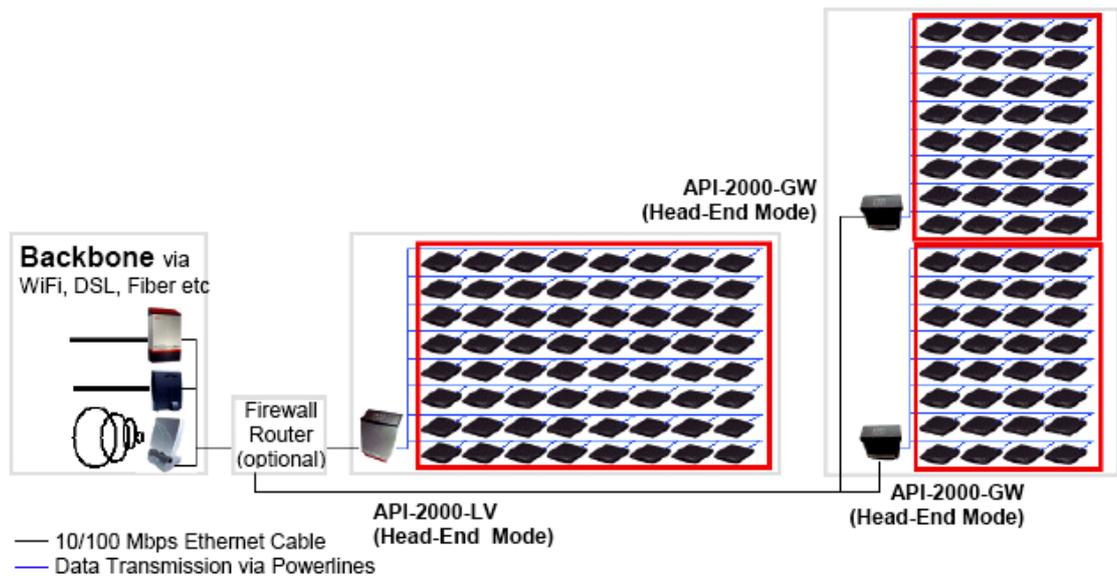


Figura 3.14. Distribución de equipos en la red.

### 3.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Las redes de distribución eléctrica domiciliarias y las instalaciones eléctricas en casas y oficinas, no fueron diseñadas para llevar datos a gran velocidad y en altas frecuencias. Estas redes se diseñaron para llevar tensiones y corrientes altas con frecuencias bajas (220V, 120V) para poder entregar a los consumidores importantes cantidades de energía. Los sistemas PLC pueden estar agregados a la instalación eléctrica y sujetos a varias limitaciones, y de esta manera proporcionar conexiones de datos entre distintos puntos de la Red Eléctrica. En general esta última no está apantallada, por lo que emite radiofrecuencia, pudiendo provocar interferencia en otros sistemas de radio comunicaciones.

### **3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN**

Las características de una línea de transmisión se denominan constantes secundarias, son la Impedancia Característica y la Constante de Propagación.

#### **a. IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA**

La Impedancia Característica ( $Z_0$ ) de una línea de transmisión, es una cantidad compleja que se expresa en ohmios, que idealmente es independiente de la longitud de la línea.

#### **b. CONSTANTE DE PROPAGACIÓN**

La Constante de Propagación (a veces llamado el coeficiente de propagación), se utiliza para expresar la atenuación (perdida de la señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. A medida que se propaga una onda a lo largo de una línea de transmisión, su amplitud se reduce con la distancia viajada.

#### **c. DETERIORO DE SEÑAL PLC**

Si la cantidad de las señales que interfieren son demasiadas grandes, con respecto a la señal atenuada y a la señal distorsionada, los receptores tendrán dificultades para reproducir la información original con fiabilidad suficiente. Varias de las señales que interfieren se generan de las cargas conectadas, debido a muchas interconexiones, diferentes tipos de conductor y, por lo tanto, tienen diferentes orígenes y características.

### **3.4. DISEÑO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN**

Los equipos ubicados en la instalación del usuario transmiten la información por medio de la red eléctrica de baja tensión hasta un equipo ubicado en el transformador de media a baja tensión, el cual sirve de

acoplador entre las líneas de diferente voltaje, como se puede observar en la figura 3.15



Figura 3.15 Red de media tensión.

Estos elementos de la red se conectan de manera directa con equipos de cabecera de medio voltaje, los cuales se interconectan en un anillo redundante de media tensión formando una red que agrupa las señales de los usuarios hasta un punto central, en el que se realiza el enlace con la red de comunicaciones o servicio portador que enlaza la red PLC con Internet, como se indica en la figura 3.16.

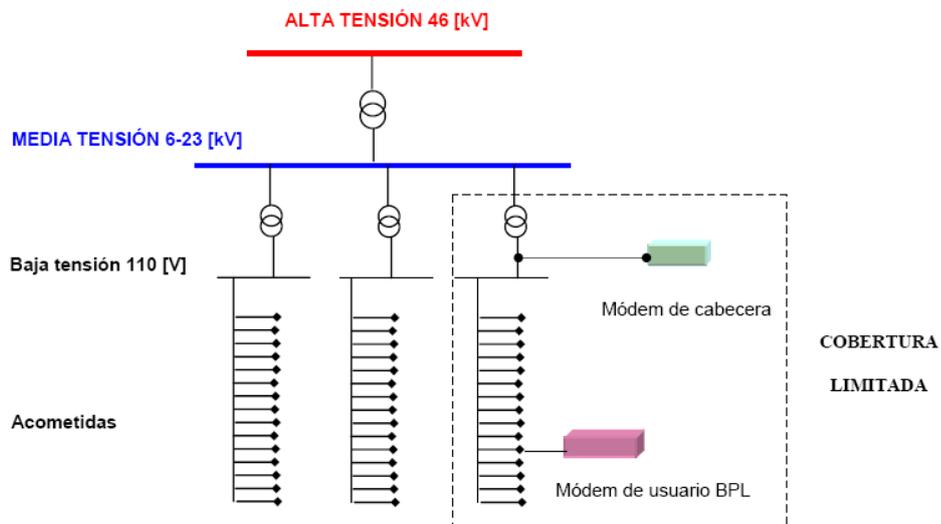


Figura 3.16. Cobertura de los equipos PLC en redes eléctricas.

Este tipo de configuración es clave porque permite enlazar múltiples usuarios y con una sola conexión permitir su acceso a redes de datos complementarias; evitando así llevar un terminal de Internet a cada uno de los transformadores de media a baja tensión; los cuales para la zona de servicio son numerosos.

### 3.4.1. EQUIPOS DE MEDIA TENSIÓN.

Este primer sistema es administrado por un equipo Cabecera PLC, que conecta a esta red con la red de transporte de telecomunicaciones o Backbone. De esta manera el equipo de cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte, como se indica en la figura 3.17

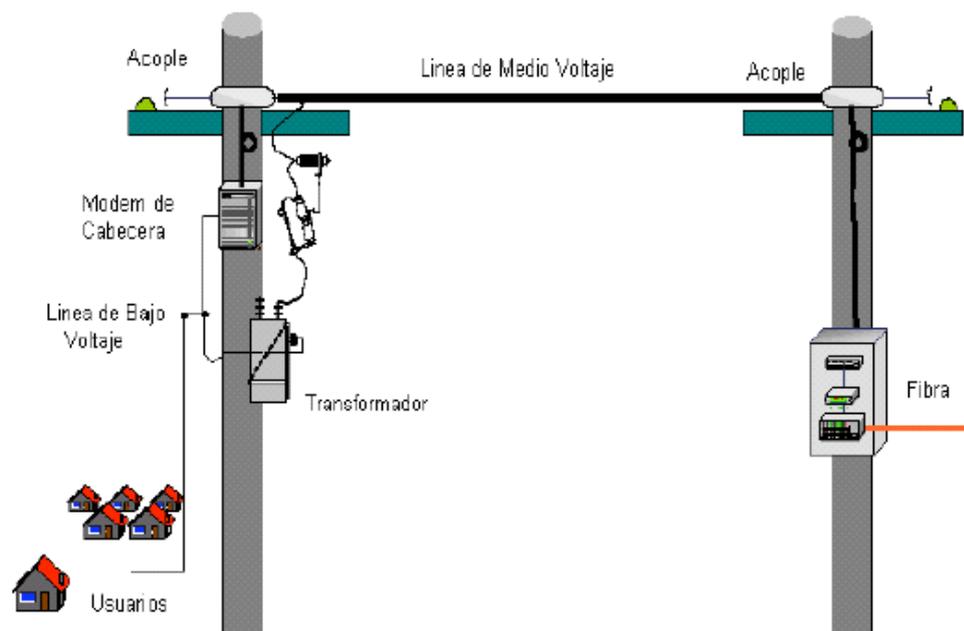


Figura 3.17. Equipos para Media Tensión con tecnología PLC.

#### 3.4.1.1. Unidad máster API-2000-MV (Medium Voltage Master, Repeater or Slave):

Es un dispositivo diseñado para operar como cabecera de red y controlar el acceso a la red. Permite una velocidad de 205 Mbps, maneja hasta 1024 direcciones MAC y 64 dispositivos conectados en paralelo. Este

equipo puede ser configurado como unidad máster, repetidor o esclavo de acuerdo a los requerimientos y configuración de la red.



Figura 3.18. Unidad Master API-2000-MV

#### **3.4.1.1.1. CONFIGURACIONES DEL API-2000-MV.**

Los dispositivos de usuario (módem PLC) localizados a cortas distancias son conectados directamente al equipo de cabecera (API-2000-MV/LV) o por medio de un repetidor (Home Gateway) para amplias zonas de transmisión.

El acceso al canal está administrado por medio del equipo de cabecera, el cual distribuye las capacidades entre los usuarios de acuerdo con la demanda instantánea, de modo de proporcionar la máxima demanda posible. Ello es posible porque se trata de transmisión de datos orientada a paquetes.

#### **3.4.1.1.2. ACOPLADORES**

Básicamente los acopladores se utilizan para inyectar y extraer la señal PLC en la red eléctrica. Para el acoplamiento a la red de media tensión se considera la utilización de acopladores inductivos o capacitivos, pues tienen mayor rendimiento en situaciones de baja impedancia (típico de las redes de media tensión), menor radiación y sobre todo gran simplicidad de uso.

### 3.4.1.1.3. ACOPLADORES INDUCTIVOS.

Los acopladores inductivos utilizan anillos de ferrita (actuando como transformadores) para inyectar la señal de comunicaciones en los circuitos primarios, sin necesidad de conexión eléctrica entre la red de energía y el equipo PLC. Esto es muy útil y seguro, desde el punto de vista práctico de la instalación.

En las redes subterráneas los cables de media y baja tensión tienen varias capas de aislamiento, se considera la necesidad de remover varias de esas capas especialmente si limitan significativamente el acoplamiento magnético, como las capas de pantalla o capas muy gruesas.

En las redes aéreas trifásicas, los cables de acometida de media tensión al transformador son AWG #4/0 sin recubrimiento, lo cual simplifica la instalación al ser un diámetro estándar y no requerir la remoción de capas de aislamiento, como indica en la figura 3.19.

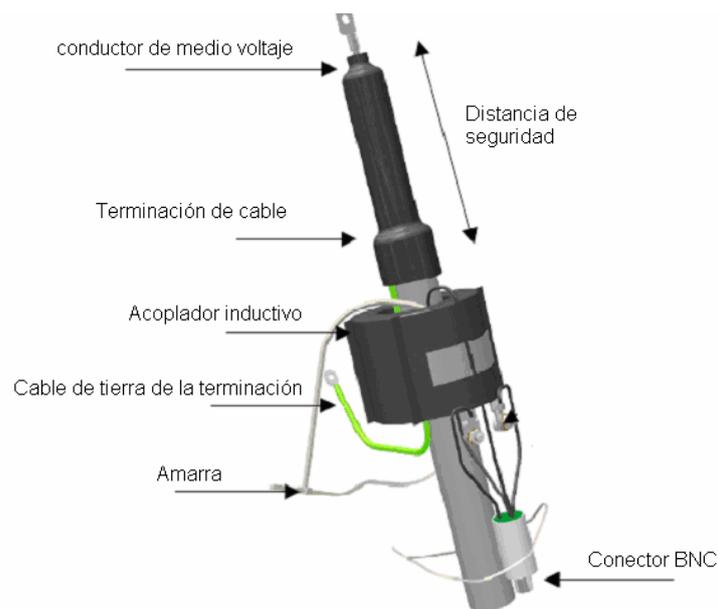


Figura 3.19. Acoplador Inductivo para Media Tensión.

#### 3.4.1.1.4. ACOPLAMIENTO CAPACITIVO.

El Acoplamiento Capacitivo, muy utilizado en líneas aéreas de media tensión, ofreciendo un buen rendimiento, tanto en banda angosta como en banda ancha, independientemente del tipo de cable y de la configuración de la Red, como se muestra en la figura 3.20.

También presenta una mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda disponible y optimizan la adaptación de impedancias entre la línea de media tensión y el equipo de comunicaciones. El alto aislamiento brinda la más completa seguridad, ya sea dando protección a los operarios y/o a los equipos de comunicaciones. Estos tipos de acoplamiento son muy utilizados para líneas aéreas, y el costo es razonable para este tipo de aplicaciones.

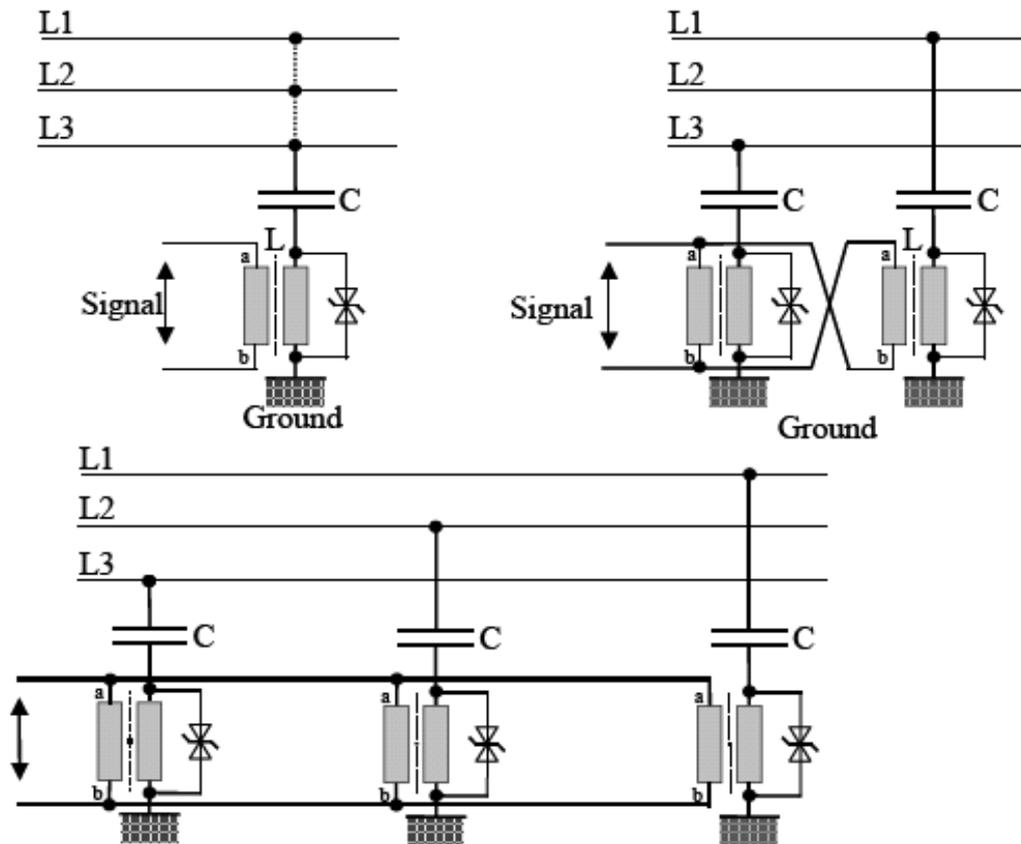


Figura 3.20. Acoplamiento Capacitivo en redes eléctricas.

#### 3.4.1.1.5. INSTALACIÓN DE LOS ACOPLADORES.

El punto de acoplamiento será después de los seccionadores eléctricos, para poder cortar el suministro eléctrico y de datos a la zona, y poder trabajar en ella en caso de requerirse. Para tener una mejor calidad de la señal el punto de acoplamiento se puede cambiar a la red de media tensión antes de la derivación al transformador.

El acoplamiento en la red de media tensión trifásica se realizará en dos fases de las tres fases de media tensión por considerar que esta técnica de acoplamiento tiene una buena relación entre complejidad y rendimiento. El Acoplamiento Inductivo puede ser un método muy utilizable conociendo exactamente las características de la Red y si hay un profundo conocimiento de la propagación de la señal. Todos los métodos inductivos tienen una gran desventaja, que es que dependen de la carga. Hay tres tipos principales de Acopladores Inductivos utilizados para inyectar la señal. Acoplamiento "invasivo" por medio de la pantalla del cable: Este método realiza la comunicación entre la tierra y la pantalla, como si fuera un sistema de un solo conductor, como se indica en la figura 3.21.

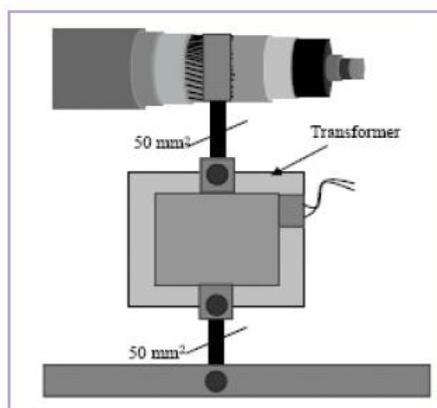


Figura 3.21. Acoplamiento "invasivo" por medio de la pantalla

Acoplamiento "no invasivo" por medio de la pantalla del cable: Este método realiza la comunicación entre tierra y la pantalla, como si fuera un sistema de un solo conductor. Este método es igual que el anterior pero

entrega normalmente una señal más débil, como se observa la figura 3.22.

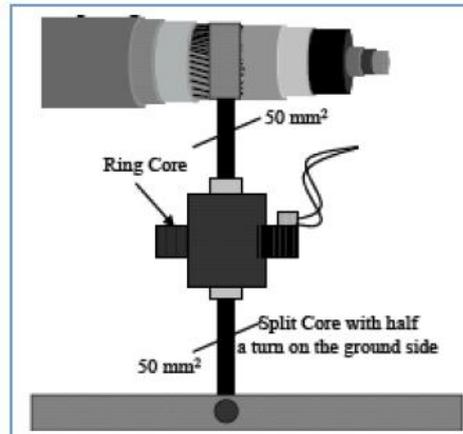


Figura 3.22. Acoplamiento "no invasivo" por medio de la pantalla

Acoplamiento "no invasivo" por medio del núcleo del cable: Este método trabaja sobre todos los cables, pero tiene una gran desventaja con respecto a los otros acoplamientos, que se refiere a la gran debilidad de este, o bien, que el acoplador muestre una alta dependencia de la corriente en el conductor debido a la saturación magnética del núcleo, como se muestra la figura 3.23.

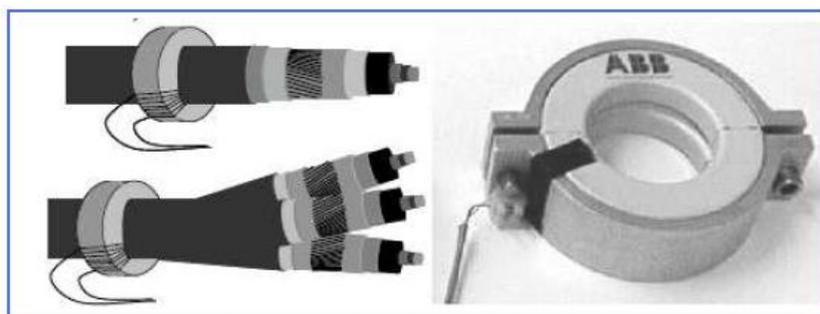


Figura 3.23. Acoplamiento "no invasivo" por medio del núcleo.

### **3.5. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE LA RED**

Los cálculos requeridos para el análisis sobre el sistema, son diferentes de acuerdo con el método de acoplamiento utilizado. También es necesario tener conocimiento de la topología de la Red y las aplicaciones de las comunicaciones que se establecerán. Los siguientes tipos de datos y cálculos pueden ser tomados y realizados respectivamente de la línea de potencia:

- ✓ Impedancia Característica.
- ✓ Atenuación.
- ✓ Relación Señal a Ruido (S/N).

#### **3.5.1. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA**

De la información ya suministrada en capítulos anteriores sobre las líneas de media tensión, con respecto a los niveles de tensión (13,8 kV), se la considera a dicha línea como corta (menor a 80 km), debido a que los ingenieros de potencia toman como una regla práctica a la multiplicación del nivel de tensión por 2, dando como resultado la distancia que tomará la línea de media tensión, es decir 26 km aproximadamente. De esta manera el circuito equivalente eléctrico de la línea queda reducido a considerar la resistencia R y la inductancia L en serie para la longitud total de la línea, todo esto es propio de las líneas de media tensión a 60Hz. Debido a nuestro proyecto utilizamos la primera banda para la atribución de servicios según PROASETEL que se encuentra en las frecuencias de 0- 30KHz, los cálculos sobre la línea de media tensión serán basados en el circuito equivalente eléctrico de una línea larga. Por ello se requerirán cálculos en términos de parámetros distribuidos.

##### **a. FORMA ANALÍTICA**

El cálculo analítico será realizado sobre cables de media tensión. El más utilizado de acuerdo a nuestra red eléctrica es conductor de sección nominal de  $85\text{mm}^2$  y de diámetro 12mm, resistencia eléctrica  $0.48\Omega/\text{Km}$ .

Como nuestra propagación se realizará entre fase y neutro, a partir de los parámetros antes mencionados, calculamos la reactancia inductiva  $X_L$  y la susceptancia capacitiva  $bc$  y obtenemos la Impedancia Característica de la línea  $Z_0$ , para la Banda de 3-30KHz según PROASETTEL.

#### **-Cálculo del valor de la reactancia inductiva**

$$X_L = 4\pi f 1000 \times 10^7 \ln \frac{D_m}{D_r} \quad (3.2)$$

Donde:

$D_m$  es la distancia media geométrica entre el conductor - tierra  
 $D_r$  es el radio del conductor desnudo.

#### **-Cálculo de la susceptancia capacitiva**

$$X_C = \frac{\ln \frac{D_m}{D_r}}{4000\pi^2 k f} \quad (3.3)$$

Donde:

$D_m$  es la distancia media geométrica entre el conductor - tierra  
 $D_r$  es el radio del conductor desnudo  
 $k$  es la permitividad que rodea a la superficie.

La susceptancia capacitiva es:

$$bc = \frac{1}{X_C} \quad (3.4)$$

**- Cálculo de  $Z_0$**

Dado que  $\omega L > R$  y  $\omega C > G$ ; la ecuación se reduce a:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} \quad (3.5)$$

$$Z_0 = 438.59 \Omega$$

**b. Forma Gráfica**

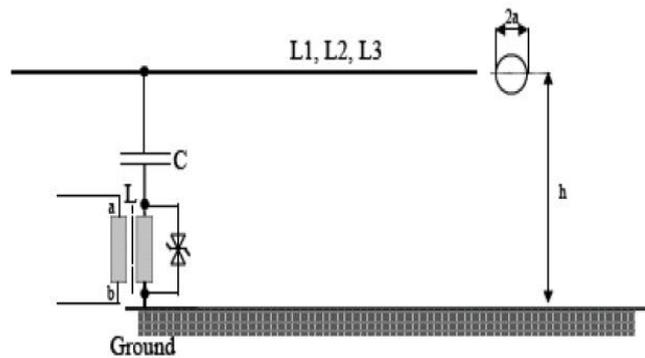


Figura 3.24. Impedancia característica para líneas aéreas

La impedancia característica para un conductor desnudo, como se indica en la figura 3.24; que se encuentra a una altura dada se calcula de la siguiente manera:

Dado que  $K_r = \frac{K}{K_0}$ , para el aire seco  $K_r = 1$  para líneas aéreas y

$$k = 8.85 \times 10^{12} \text{ F/m}$$

$$Z_0(h) = \frac{\eta}{2\pi} \ln\left(\frac{2h}{a}\right) \quad (3.6)$$

De donde:

$$n = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

Sabiendo que  $n = 120\pi \Omega$

$h$  es la altura de la red de media tensión.

$a$  es la sección de la línea de media tensión.

### 3.5.2. Cálculo de la Atenuación

Las pérdidas de la línea de tensión aumentan en función de la frecuencia. Los materiales conductores no son ideales, por lo tanto al inyectar una señal, parte de la energía que se transmite no es recibida por el receptor. (Ver figura 3.25)

Los factores de pérdida son:

- Pérdidas resistivas en los conductores
- Pérdidas en el dieléctrico
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas por Acoplamiento

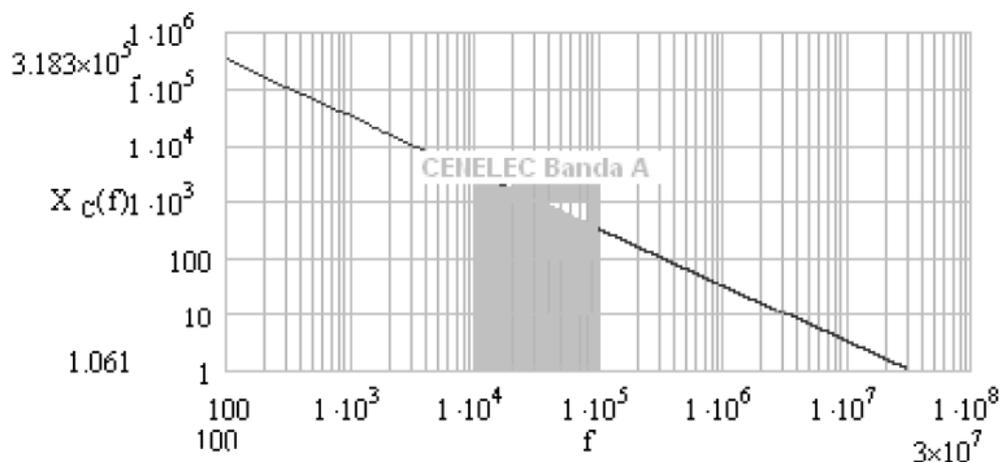


Figura 3.25. Valores de las reactancias capacitivas para la Banda A CENELEC

Los principales factores de pérdidas en una línea de media tensión en las frecuencias en las que estamos trabajando (3 a 30 kHz.), son las mencionadas anteriormente, salvo las pérdidas por calentamiento del dieléctrico y las pérdidas por radiación. Esta última, no es tomada en cuenta debido a que la separación entre conductores no es una fracción apreciable de una longitud de onda. Según nuestro rango de frecuencias y de la siguiente ecuación, tenemos:

Luego en  $\lambda = c/f$ , donde c es la velocidad de la luz que se propaga en el vacío  $c=3 \times 10^8$  m/s, tenemos que en 3Khz  $\lambda = 100000m$ , en cambio para 30 KHz, tenemos que  $\lambda = 10000m$ .

Como la separación de nuestros conductores es 9 m. (entre fase y tierra), este tipo de pérdida no afecta el cálculo de la atenuación.

Las pérdidas por calentamiento del dieléctrico ocurren al producirse una diferencia de potencial entre los conductores de una línea de transmisión. El calor es una forma de energía y tiene que tomarse de la energía que se propaga a lo largo de la línea. Para líneas dieléctricas de aire, las pérdidas de calor son despreciables, lo que sucede en nuestro caso. Sin embargo, para líneas sólidas, se incrementan las pérdidas por calentamiento del dieléctrico con la frecuencia.

Las pérdidas por acoplamiento son aquellas producidas por conexiones mecánicas, cambios en el tipo de cable, aplicaciones de cargas, etc. La magnitud de las pérdidas por acoplamiento, dependen por ejemplo de la topología de la red de distribución, de la frecuencia de la señal, y de las características del tendido de los cables.

Las pérdidas resistivas en el conductor, son causadas por la conductividad finita del mismo. A medida que aumenta la frecuencia, la

corriente fluye hacia la superficie del conductor, debido al efecto piel. Las pérdidas resistivas aumentan en función de la frecuencia.

### a. Forma Analítica

A partir de la ecuación de la constante de propagación, hacemos la siguiente deducción:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (3.7)$$

Como G es despreciable y efectuando propiedad distributiva nos queda

$$\gamma = \sqrt{(j\omega RC) + (j^2 \omega^2 CL)} \quad (3.8)$$

La cual en términos de XL y de bc nos queda

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(-bcXL) + (jRbc)} \\ |\gamma| &= \sqrt[4]{(-bcXL)^2 + (jRbc)^2} \\ |\gamma| &= 0.999 \text{ nepers / Km} \end{aligned}$$

Para obtener el valor de la atenuación utilizamos la siguiente fórmula:

$$\alpha = |\gamma| \cos(\text{rad}(\gamma)) 8.686 \quad (3.9)$$

Remplazando los valores de  $|\gamma|$  y como el  $\cos(\text{rad}(\gamma))$  es  $\approx 1$  para 20Khz obtenemos el siguiente valor de atenuación.

$$\alpha = 8.677 \text{ dB / Km}$$

### -Análisis Modal

El Análisis Modal consiste en que el acoplamiento deberá ser elegido de tal modo que toda la potencia del transmisor este inyectada en la línea en un modo de bajas pérdidas. Para acoplamientos tales como fase - tierra, fase - fase, normalmente la potencia es inyectada en una mezcla de modos, parte de estos en un modo de altas pérdidas (tierra), lo cual resulta en una cierta pérdida de conversión modal ac.

La atenuación de la línea *aline* puede calcularse de la siguiente forma:

$$a_{line} = \alpha_1 l + 2ac + a_{add} \quad (3.10)$$

Donde:

$a_{line}$  Atenuación de la línea en (dB)

$\alpha_1$  Atenuación en modo de bajas pérdidas (db/Km)

$ac$  Pérdida por conversión modal (dB)

$a_{add}$  Pérdida adicional ocasionada por diferentes factores (dB)

$l$  Longitud de la línea (Km).

Luego, utilizando la siguiente aproximación para  $\alpha_1$ , tenemos:

$$\alpha_1 \approx 7 \times 10^{-2} \left[ \frac{\sqrt{f}}{d_c \sqrt{n}} + 1 \times 10^{-3} f \right]$$

Donde:

$d_c$  = diámetro del conductor(mm)

$n$  = número de conductores por fase

Si  $f=20\text{KHz}$ ,  $d_c=12\text{mm}$ ,  $n=1$ , tenemos:  $\alpha_1 = 0.826\text{db} / \text{Km}$

Se considerará a la línea como no homogénea la cual presenta las siguientes características: transposiciones, derivaciones, uniones entre líneas aéreas y otros tipos de cables, etc. Las transposiciones de las líneas pueden causar una alta atenuación bajo ciertas circunstancias. La transmisión de la señal depende de los parámetros de la línea, de la longitud de la línea, del tipo de acoplamiento, el tipo y número de transposiciones, de la resistividad del terreno y de la frecuencia de portadora.

Como la disposición de las líneas aéreas es en forma plana u horizontal, el tipo de acoplamiento seleccionado es Fase - Neutro y las transposiciones son equiespaciadas.

La pérdida adicional ocasionada por diferentes factores estará acotada entre 3 y 8 dB para un promedio de resistividad del terreno de  $300 \Omega m$ . La pérdida por conversión modal  $a_c$  estará acotado entre 1.5 y 2 dB.

Entonces si tomamos que  $L=1Km$ ,  $a_c=2dB$ ;  $\alpha_1=0.866db/Km$  y  $a_{add} = (3 \text{ a } 8)dB$ , nos queda que la  $a_{line}$  es: (7.866 a 12.866)dB.

### 3.5.3. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN S/N Y BER

Como la modulación seleccionada es PSK M-ario con  $M=4$  (QPSK), se considerará una probabilidad de error o un umbral de error conveniente. El ambiente hostil de la comunicación en el sistema de media tensión, introducirá muchas fuentes de errores, debido a que la Red de energía eléctrica no fue diseñada para este tipo de comunicación. En presencia de un error en la señal, el símbolo 1 se confundirá con el símbolo 0 o viceversa, de esta manera tendremos una señal errónea. El efecto de los errores de bit en un canal de comunicaciones, se puede medir en términos de la probabilidad media del error de bit, también designado como tasa de error de bit (BER). Para optimizar el funcionamiento del sistema en presencia de las atenuaciones, producto del ruido del canal y el cable, la probabilidad media de error de bit necesitara ser optimizada, debido a esta razón, un umbral de S/N será elegido para determinar el estado de la comunicación en cualquier punto de la Red que se requiera. Del trabajo realizado por, se entiende que el valor de  $P_e = 10^{-3}$  se toma como un umbral mínimo típico de las Probabilidades de Error de Bit (BER) observadas en los canales de comunicaciones de PLC. El valor del BER se escogió en  $10^{-6}$  (1 error cada 1000000 bits transmitidos) debido a que es un nivel razonable para la mayoría de las tecnologías de comunicación. Según lo demostrado en la Figura 26, como el BER se

estableció a un nivel de  $10^{-6}$ , el valor marginal de la relación señal a ruido (S/N), será de alrededor de 14 dB para el esquema de la modulación de QPSK. Cuando la relación señal a ruido se encuentre por debajo de este nivel (14 dB) es el momento en donde se requerirá el aporte de un repetidor.

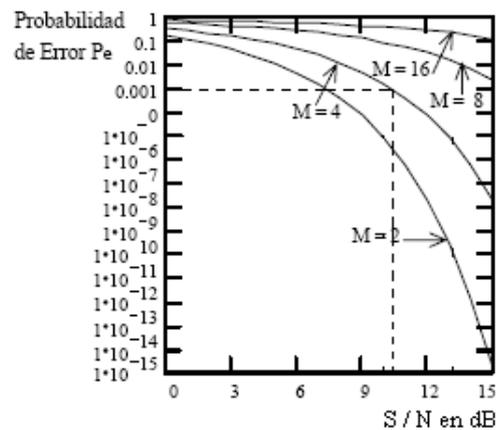


Figura 3.26. Probabilidad de Error  $P_e$  vs S/N en PSK M-ario.

### a. NIVELES DE SEÑAL

Unas especificaciones importantes en el estándar EN50065 con respecto a la Banda A CENELEC, son los niveles de tensión máximos de la señal, de 134 dB $\mu$ V (equivalentes a 5 V) especificado en 3 kHz, y de 120 dB $\mu$ V (equivalentes al 1 V) especificado en 30 kHz. Otro parámetro importante que fija la norma, es el nivel de potencia máximo de transmisión, el cual no debe exceder de 500 mW.

### b. ELECCIÓN DEL MÉTODO DE ACOPLAMIENTO

Se seleccionará el método de Acoplamiento Capacitivo, debido a que es típicamente utilizado en líneas aéreas de media tensión. Este tipo de acoplamiento es ampliamente utilizado, ofreciendo un buen rendimiento, tanto en banda angosta como en banda ancha, independientemente del tipo de cable y de la configuración de la Red. También presenta una

mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc.

El principio de operación de este dispositivo cumple con las características de propagación que se han mencionado anteriormente (fase y neutro), por lo tanto, debido a que los datos técnicos de dicho Acoplador se adapta a los requerimientos pretendidos, se seleccionó el Acoplador Capacitivo CMC12 5N0 de Cipunet. En la Figura 3.27 se muestra la imagen del Acoplador Capacitivo seleccionado.



Figura 3.27. Acoplador Capacitivo CMC12 5N0.

### 3.6. DISEÑO GENERAL

Debido a que hay estudios realizados con respecto al ruido en baja tensión, y teniendo conocimiento de que este ambiente se ve más perjudicado por este fenómeno, con respecto a las líneas de media tensión, y a su vez la ausencia de estudios hechos para esta última, se ha optado por seleccionar el nivel de ruido más desfavorable presente en baja tensión. El nivel que se utilizará a continuación será adquirido del estudio realizado y tiene un valor de 34 dBmV.

De lo mencionado en la sección anterior, el nivel máximo de salida es de 5 V (equivalente a  $S_o = 134 \text{ dB}\mu\text{V}$  o bien 74 dBmV); y teniendo en cuenta las distintas pérdidas:

- ✓ La pérdida por acoplamiento,  $P_a = 2 \times 1.4 \text{ dB} = 2.8 \text{ dB}$ .
- ✓ La pérdida por atenuación tomando el peor caso de la atenuación de línea (20kHz) siendo este,  $P_\alpha = 12.03 \text{ dB/km}$ .
- ✓ La pérdida debido al ruido presente en la línea,  $N_L = 34 \text{ dBmV}$ .

Obtenemos el valor de la S/N presente en 1 km de línea

$$S_o - P_a - P_\alpha - N_L = S/N \quad (\text{dB/km}) \quad (3.11)$$

$$74 \text{ dBmV} - 2.8 \text{ dB} - 12.03 \text{ dB/km} - 34 \text{ dBmV} = 25 \text{ dB/km}$$

El resultado es entonces es: S/N = 25 dB/km

Como nuestra elección de S/N mínima es de 14 dB y en 1 km se obtuvo 25 dB, tenemos 11 dB por encima del nivel mínimo indispensable, lo cual nos permite un margen de 900 m más. De esta manera habría que colocar un repetidor cada 1,9 km aproximadamente. Por lo tanto con todos los parámetros seleccionados y calculados se presenta a continuación, a modo de resumen lo siguiente:

Tipo de transmisión .....	serie, half-duplex.
Modo de operación.....	asíncrona.
Tipo de modulación .....	OQPSK.
Rango de frecuencias.....	3 a 30 kHz
Tasa de transmisión .....	9600 bps
Frecuencia de portadora.....	20 kHz.
Nivel máximo de tensión a 3 Khz.....	5 V - 74 dBmV
Nivel máximo de tensión a 30 Khz.....	1 V - 60 dBmV
Umbral de S/N.....	25 dB
BER.....	$10^{-6}$
Impedancia característica.....	$Z_0 = 438.59 \Omega$
Atenuación.....	$\alpha = 8.677 \text{ dB} / \text{Km}$
Tipo de acoplamiento.....	Capacitivo (fase - neutro)

### **3.7. REQUISITOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS**

- ✓ Cobertura de 339 metros en red de baja tensión
- ✓ Tenga función de repetidor
- ✓ Soporte protocolos Spanning tree
- ✓ trabaje en el rango de 3 a 30 MHz
- ✓ Que soporte Notching de forma dinámica y automática
- ✓ Permita administración remota vía SNMP
- ✓ Auto configuración mediante descarga de un archivo mediante un servidor FTP o TFTP
- ✓ Soporte para DHCP
- ✓ Acceso Remoto vía línea de consola o vía HTTP
- ✓ Permitir el control de la potencia de transmisión
- ✓ Trabaje en temperaturas de cero a 45 grados centígrados
- ✓ Consumo de energía menor a 40 Vatios
- ✓ Permita soporte para priorización de tráfico y métodos CAC
- ✓ Soporte tecnologías de encriptación como DES, 3DES, ICE O AES
- ✓ Tenga soporte para VLANs
- ✓ Permita la coexistencia con otras redes *broadband PLC in - home*
- ✓ Diseño compatible con futuros estándares
- ✓ Contenga Interfaces ethernet para interconexión entre equipos

#### **3.7.1. EQUIPO DE USUARIO**

Para suplir las necesidades del equipo del lado del usuario se puede utilizar cualquiera de los siguientes equipos:

- ✓ APA-2000-DB Low Voltage Data Wall-Plug Adapter
- ✓ APC-2000-DA Low Voltage Data CPE Device
- ✓ APC-2000-VA Low Voltage Data/Voice CPE Device
- ✓ API-2000-GW Low Voltage Gateway Device

El equipo APA-2000-DB Low Voltage Data Wall-Plug Adapter, Su diseño es específico para redes de acceso con un diseño compacto y con un buen balance entre costos y beneficios. Su desventaja principal con los

otros equipos comparados es su menor potencia de transmisión de -58dBm/Hz.

El equipo APC-2000-DA, con respecto al APA-2000-DB, ofrece un conjunto mayor de indicadores luminosos del estado del enlace, mayor potencia de transmisión (-56dBm/Hz) y soporta condiciones de trabajo mas exigentes (45°C).

El equipo APC-2000-VA ofrece mayores prestaciones al contar con un interfaz para teléfono analógico con tecnología de telefonía IP, puesto que no se está ofertando servicios de telefonía el costo adicional por esta característica no es justificable.

El equipo APC-2000-GW en redes de acceso es ideal si se sirve a usuarios que cuentan con una LAN basada en Broadband PLC compatible con Opera, sin embargo los usuarios que coinciden en esta categoría son escasos o nulos, por ello no se han considerado como equipos terminales de usuario.

Estos dispositivos no requieren de configuración adicional por parte del usuario, evitando la necesidad de personal calificado para su instalación y facilitando su comercialización. El consumidor final podría utilizar otros equipos compatibles a su conveniencia que podrían satisfacer necesidades específicas como interfaces inalámbricas o sistemas embebidos.

#### **a. APA-2000-DB Low Voltaje Data Wall-Plug Adapter**

- ✓ Este es un adaptador a líneas de potencia con una Interface de datos de 100 Base-T, como se muestra en la figura 3.28
- ✓ El APA-2000-DB es un dispositivo ideal para usuarios finales con redes de acceso con servicio de banda ancha.

- ✓ APA-2000-DB, también llamados adaptadores de enchufe de la pared expresamente son diseñados para ser portátil/móvil dentro de una casa o edificio. El diseño delgado y práctico permite la conectividad en cualquier enchufe de poder. Estos dispositivos son una compensación bien equilibrada entre el pequeño factor de forma y el funcionamiento.

Las características importantes del APA-2000-DB incluyen:

- ✓ Instalación Fácil (enchufe y listo) Ninguna configuración adicional para ser hecha por usuarios finales
- ✓ Transmisión de información Segura (cifrado, VLAN)
- ✓ Apoyo de aprovisionamiento Automático (DHCP, archivos de configuración)
- ✓ Apoyo de dirección Remoto (SNMP).



Figura 3.28. Adaptador APA-2000-DB Low Voltaje Data.

#### **Características Técnicas:**

- ✓ Señal PLC
- ✓ Banda de Frecuencias 2 - 34 MHz
- ✓ Modulación OFDM
- ✓ Ancho de Banda de la Señal 10, 20, 30 MHz

#### **Características Físicas**

- Dimensiones (HxWxD) 37x65x96mm
- Peso 200g

#### **Características Eléctricas:**

- ✓ Voltage 100 – 240 VAC, 50/60 Hz

- ✓ Power consumption < 8 W
- ✓ Ambiente Temperatura 5 - 40 °C
- ✓ Humedad 0 - 95 %
- ✓ Management/Provisioning
- ✓ SNMP, Web based, Console (Telnet), Automatic provisioning
- ✓ Seguridad 802.1Q VLAN, Encryption (DES/3DES), Authentication/blocking (per user)
- ✓ Interfases Externas
- ✓ Ethernet 10/100 Mbps RJ45
- ✓ Protocolos: SNMP V2, TCP/IP, DHCP, FTP, VLAN, HTTP, STP, 802.1p QoS
- ✓ Standards: EN55022 / EN55024 EN60950

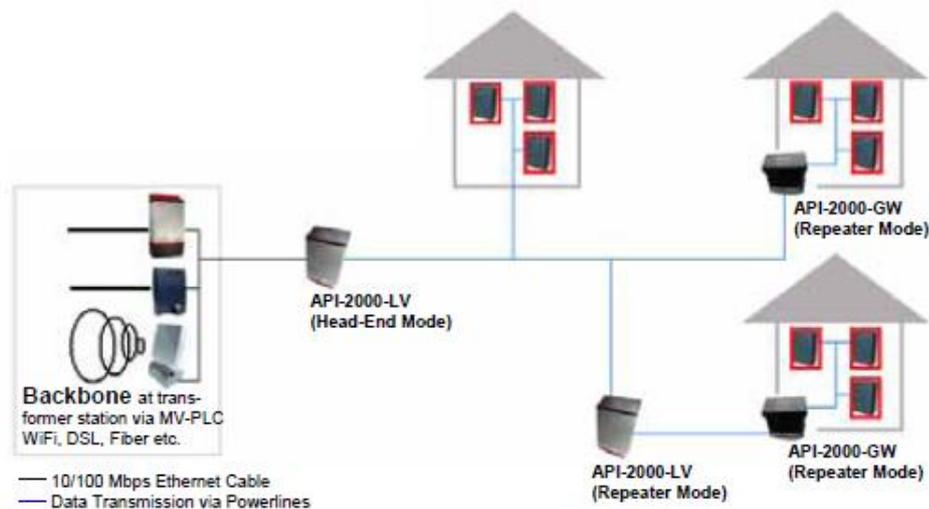


Figura 3.29. Conexión del APC-2000-DA Low Voltage Data CPE Device

Son flexibles y fáciles de instalar, son capaces de satisfacer cualquier exigencia de comunicación moderna (voz, vídeo o datos). Estos dispositivos versátiles son convenientes para el empleo en todo tipo de uso de comunicación por líneas de potencia, tal como se indica en la figura 3.29.

### 3.7.2. SISTEMAS DE BACKUP

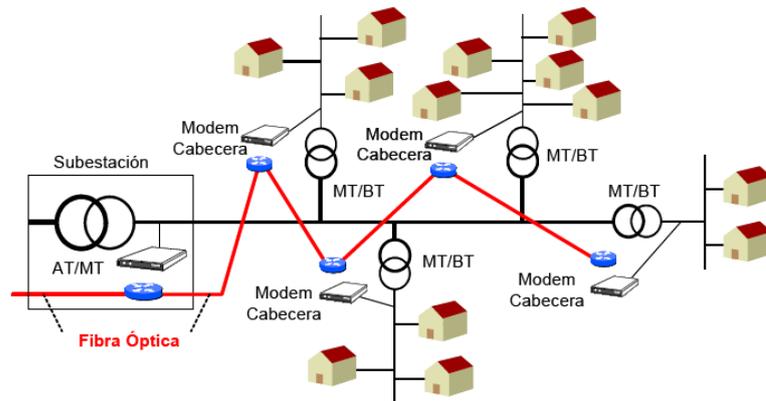


Figura 3.30 .Sistema de Back-up para la red de acceso con tecnología PLC.

Debemos tener presente, que la red eléctrica es un medio bastante hostil para los datos. En ella encontramos muchísimas desviaciones, malas conexiones, impedancias variables, ruido provocado por los equipos que se le conectan. Por lo que será necesaria la implementación de un sistema de backup, aunque este tenga un costo considerable en cuanto al tiempo de funcionamiento del sistema emergente con fibra óptica, pero actuara hasta que la red de acceso PLC se restablezca; como se observa en la figura 3.30. Se realizará un sistema de backup que entre en funcionamiento en el momento que el sistema principal esté abajo, de esta manera si el enlace principal cae, el enlace secundario entra en funcionamiento y las aplicaciones utilizadas por los usuarios no se verán afectada por el imprevisto. El sistema de backup consiste en el tendido de una red de fibra óptica entre las centrales y las subestaciones de las Unidades del ejército Ecuatoriano, por lo que las líneas de fibra se conectaran en los racks de cada central o subestación. Desde el punto de vista de prestaciones de servicios, el sistema de backup con fibra óptica, ofrece alta velocidad de transmisión de datos y el uso de múltiples aplicaciones.

### 3.8. ANÁLISIS DE COSTOS

Se concreta la transacción para la adquisición de los equipos, se debe cumplir con los procesos legales de rigor, supervisar la entrega de equipos y el ingreso al inventario. Se elabora un informe para el registro de la actividad, para facilitar el control de la ejecución del proyecto. En esta actividad se desarrollan las pruebas de campo para verificar la operación de la red Broadband PLC.

Tabla 3.2 Costo de los equipos para pruebas de la tecnología Broadband PLC.

Cantidad	Descripción	PRECIO UNITARIO ESTIMADO	P. TOTAL
1	Powerline Lab Trial Kit ASCOM Incluye: 1xAPI-2000-GW (Head-End) 1x API-2000-GW (Repeater mode) 4x APC-2000-VB (Voice/Data CPE) 2x APA-2000-DB (Data Wallplug-Adapter) 1x Laboratory Coupling unit CD containing presentations, tutorials, tools and technology documentation 2 hours of technical remote support (e-mail or phone) Evaluation EMS	4.587,45	4.587,45
		TOTAL	4.587,45

Se realiza la instalación de los equipos de pruebas de campo en la red eléctrica, la instalación de equipos de monitoreo y su respectivo software de monitoreo. Además se toman medidas para determinar la calidad de la transmisión en varios puntos de la red, para ello se utilizan varias configuraciones de los equipos de prueba. Se elabora un informe que detalla los resultados de las pruebas de transmisión y la factibilidad de continuar con el proyecto. En base al informe de las pruebas de transmisión se procede a la adquisición del equipamiento necesario. Se selecciona una oferta adecuada que cumpla con los requisitos establecidos en el diseño de la red.

#### **a.Adquisición de equipos Broadband PLC**

Se concreta la transacción para la adquisición de los equipos *Broadband PLC*, supervisar la entrega de equipos y el ingreso al inventario. Para esta tarea, se requiere el desembolso por el costo de los equipos a adquirir. Se elabora un informe para el control de la ejecución del proyecto

Tabla 3.3. Costo del Equipamiento Broadband PLC requerido.

Cantidad	Descripción	PRECIO UNITARIO ESTIMADO	P. TOTAL
22	API-2000-GW	380,45	8369,90
224	API-2000- LV	1.180,15	264353,60
276	API-2000-MV	1.147,10	316599,60
10	API-2000- V(Master)	1.087,41	10874.10
1100	APA-2000-DB.	120,75	132825
376	Cajas sujetadoras de Equipos	10,00	3760
		TOTAL	604.090,02

Tabla N°3.4.Costo de equipo personal para la instalación de la red de acceso Broadband PLC.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario Estimado	P.Total.
3	Escaleras metálicas retractiles	140,00	420,00
6	Pares de trepadoras	100,00	600,00
9	Kit de herramientas	100,00	900,00
9	Equipo de seguridad industrial personal en alturas	100,00	900,00
9	Equipo de seguridad industrial para media tensión.	100,00	900,00
139	Kit de instalación para equipos Broadband PLC trifásicos en poste.	10,00	1390,00
42	Kit de instalación para equipos Broadband PLC monofásicos en poste.	8,00	336,00
385	Kit de instalación para equipos Broadband PLC trifásicos en cámara de transformación.	8,00	3080,00
181	Kit de herraje de seguridad para equipos Broadband PLC en poste	15,00	2715,00
Total			11.241,00

### **b. Configuración de los equipos de la red Broadband PLC.**

Se procede a la configuración del equipamiento de la red de acceso, se realizaran diagnósticos para conocer el estado de los dispositivos en la red. Finalmente se elaborara un informe detallando los resultados de la instalación, configuración y diagnóstico del equipamiento en la red de acceso.

### **3.8.1. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.**

Con los resultados parciales obtenidos en los cuadros anteriores se calcula el costo total del proyecto, y se resume en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5.Costo Total del Proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL (USD)
1	Equipos de Pruebas de Campo PLC.	4587,45
2	Adquisición de equipos PLC.	604.090,02
3	Herramientas para la instalación	11.241,00
4	Costo del Personal de instalación	40.000,00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		USD: 659.918,47

### **3.8.2. ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO.**

El costo final estimado para la implementación y puesta en marcha de la red de acceso con tecnología PLC en las Unidades del Ejército Ecuatoriano como en la ESPEL nos da un total de USD 659.918,47; para una red de estas características, el monto determinado resulta económico, viable a ser invertido, manteniendo la calidad de servicio ofrecido y con posibilidades de expansión. La inversión que implica la

introducción de PLC en la red de acceso tiene una enorme retribución en cuanto se refiere a ventajas en los servicios ofrecidos por la red, la principal fuente de ingresos que se puede obtener luego de la aplicación de la red de acceso con tecnología PLC, será la transmisión de datos, se ampliará la cantidad de usuarios grandes de la red, entendiéndose como usuarios grandes a empresas que solicitan enlaces dedicados por los que se transmitirán grandes volúmenes de datos, la nueva red marcará una diferencia ingente respecto de los niveles que se manejan hasta la actualidad; al tratarse de un servicio costoso, las ganancias serán altas y se obtendrá una amortización rápida de la inversión.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **4.1. Conclusiones**

- ✓ PLC es una buena tecnología tanto para usuarios domésticos como para usuarios profesionales por ser de mayor calidad técnica (simplicidad, ubicuidad de la red eléctrica, se instalan sólo los equipos necesarios, movilidad, ausencia de obras, coexistencia con otras tecnologías, fácil despliegue, velocidades elevadas, coste reducido) que otras existentes actualmente.
  
- ✓ El proceso de estandarización de la tecnología PLC, en los últimos años ha experimentado un gran avance, gracias al impulso de varios organismos incluyendo la Unión Europea, con lo que promete convertirse en uno de los pilares del desarrollo de la sociedad de la información.
  
- ✓ Al haber estudiado la difusión que ha tenido la tecnología PLC en el Ecuador, la difusión internacional de Broadband PLC y los programas de desarrollo en la región con relación a ésta tecnología se puede concluir que el desarrollo de esta sociedad de la información requiere del empuje de los gobiernos, para generar políticas que promuevan la explotación de los recursos de comunicaciones, lo cual traería beneficios a los usuarios y a los proveedores, pues justificaría la implementación de infraestructuras de comunicación con mayores prestaciones.
  
- ✓ La tecnología PLC puede alcanzar una penetración muy alta en zonas urbanas, los últimos avances realizados en la tecnología ofrecen altas prestaciones en términos de velocidad de

transmisión, retardos, confiabilidad y pérdida de paquetes. Permiten por tanto el uso de aplicaciones exigentes como VoIP, Videoconferencia, juegos en línea, entre otras.

- ✓ El diseño de la red de acceso PLC demuestra la factibilidad técnica para su operación, las altas velocidades alcanzadas en las implementaciones actuales demuestran que se puede ofrecer grandes prestaciones, su limitación principal es la falta de estándares globalmente aceptados y la necesidad de un marco regulatorio.
- ✓ Con la tecnología PLC puede aportar de forma muy significativa a incrementar la cobertura del servicio de Internet de banda ancha, con un costo razonable que fomentaría el desarrollo de la sociedad de la información en el país.

#### **4.2. Recomendaciones**

- ✓ Que el Estado Ecuatoriano comience a explotar esta tecnología, ya que sería de gran ayuda para el desarrollo de nuestro país, las Empresas eléctricas firmen convenios de cooperación y ayuda mutua con empresas europeas que ya utilizan esta tecnología para que sean desarrolladas en nuestro país.
- ✓ Se recomienda obtener los planos de la red eléctrica actualizados del lugar en donde se vaya a implementar la red, ya que estos facilitarán la realización de los cálculos.
- ✓ Una vez estudiadas las diferentes experiencias al implementar la tecnología PLC en otros países, y observar los problemas presentados en la coexistencia con otros servicios que operan en

la misma banda de frecuencia, se ve de mucha importancia que el gobierno a través de los entes reguladores intervenga, para asegurar que los intereses de los nuevos operadores de PLC y los operadores de sistemas afectados sean respetados.

- ✓ La creación de una red de acceso con la tecnología PLC permitiría tener aplicaciones de comunicaciones que incrementarían la rentabilidad del proyecto, al explotar con mayor eficiencia los recursos instalados. Se recomienda el estudio de algunas de estas aplicaciones como servicios de telefonía IP, radios por Internet, medición remota del consumo de energía a los usuarios finales, y aplicaciones como sistemas de seguridad y cámaras de vídeo.
  
- ✓ Evite colocar los adaptadores PLC-Ethernet demasiado tapados o apilados sobre otros equipos ya que impedirían la ventilación de éstos, dos de la misma pareja, garantiza la confidencialidad y la no interferencia con otros usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Tomasi, Wayne. “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”, Pearson Educación, cuarta edición, México 2005.
  
- ✓ VÁZQUEZ RAMÍREZ José, “Estaciones de Transformación y Distribución Proyección de Sistemas Eléctricos”, Editorial Ediciones CEAC, Sexta Edición, 2000.
  
- ✓ Empresa Eléctrica Quito S.A., “Normas para Sistemas de Distribución”, Empresa Eléctrica Quito S.A., 2001.
  
- ✓ HUAIYU Dai, POOR H. Vincent,” Advanced Signal Processing for Power Line Communications , IEEE Communications Magazine, 2003.
  
- ✓ ABAD José, COMABELLA José, RUIZ David,” Extending the Power Line LAN Up to the Neighborhood Transformer”, IEEE Communications Magazine, 2003.
  
- ✓ BIGLIERI Ezio,”Coding and Modulation for a Horrible Channel” , IEEE Communications Magazine, 2003.

## PÁGINAS WEB

- ✓ <http://es.kioskea.net/contents/utile/fai.php3>, ISP proveedores de servicio
  
- ✓ [http:// www.mainnet-plc.com](http://www.mainnet-plc.com), Mainnet Official Website

- ✓ <http://www.ds2.es>, DS2 Official Website
  
- ✓ <http://www.cenelec.org> , CENELEC Official Website  
Conductores Monterrey
  
- ✓ [www.plcforum.com](http://www.plcforum.com),  
Página principal de la organización Power Line Communications Forum.
  
- ✓ [www.homeplug.com](http://www.homeplug.com),  
Página principal de la organización Home Plug Alliance.
  
- ✓ <http://www.arkados.com/>,  
Página principal de Arkados, fabricantes de chips PLC.
  
- ✓ <http://www.ds2.es/>  
Página principal de DS2, fabricantes de chips PLC.
  
- ✓ [http://www.ascom.com/plc/products\\_plc/services\\_plc.htm](http://www.ascom.com/plc/products_plc/services_plc.htm),  
Especificaciones de los equipos Broadband PLC del fabricante Ascom.
  
- ✓ [http://www.stateswire.com/targetwire/2006/02/21/tw177es/tw177es\\_es.html](http://www.stateswire.com/targetwire/2006/02/21/tw177es/tw177es_es.html),  
Especificaciones del estándar de OPERA
  
- ✓ [http://portal.etsi.org/portal\\_common/home.asp?tbkey1=PLT](http://portal.etsi.org/portal_common/home.asp?tbkey1=PLT)  
Portal de ETSI, organización de estandarización.
  
- ✓ [www.grouper.ieee.org/groups/1901/index.html](http://www.grouper.ieee.org/groups/1901/index.html)  
Portal del grupo de la IEEE dedicado a Broadband PLC.

# **ANEXOS**

## Instalaciones Aéreas

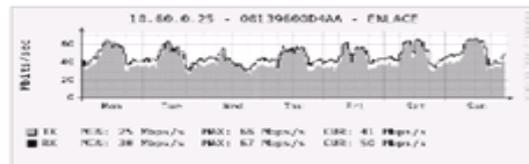
Repetidor PLC montado en poste



Inyección de Señal PLC en Media Tensión Modo Diferencial

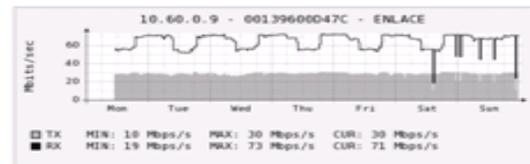
Performance de un enlace PLC de Media Tensión

Link	Master- <u>Repeater</u>
Distancia	120m
Tensión	MV-13KV
Modo de transmisión	1 (Máx 88 Mbps)



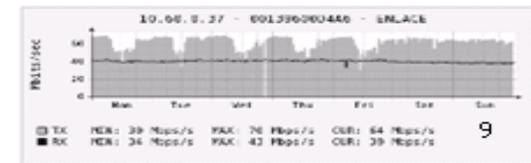
Performance de un enlace PLC de Baja Tensión

Link	Master- <u>Repeater</u>
Distancia	70m
Tensión	LV-110V
Modo de transmisión	1 (Máx 88 Mbps)

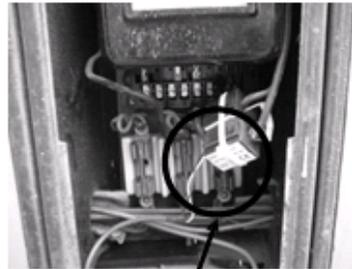


Performance del CPE de un Cliente

Link	<u>Repeater-CPE</u>
Distancia	60m
Tensión	LV-1100V
Modo de transmisión	1 (Máx 88 Mbps)



FORMA DE INSTALACIÓN DEL REPETIDOR PLC EN UN POSTE PARA MEDIA Y BAJA TENSIÓN



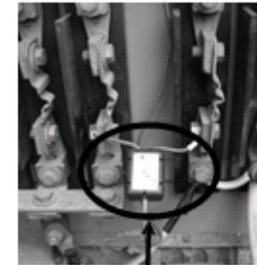
Inyección de Señal PLC en Medidor de cliente



Inyección de Señal PLC en Media Tensión



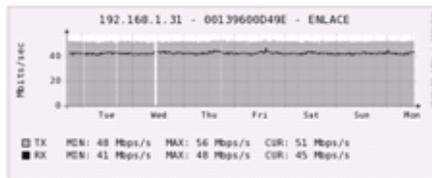
Repetidor de Señal PLC en Baja Tensión



Inyección de Señal PLC en Baja Tensión

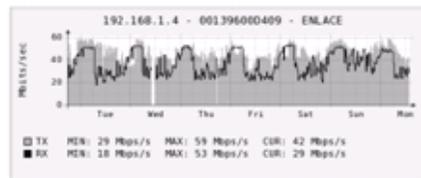
Performance de un enlace PLC de Media Tensión

Link	Master-Repeater
Distancia	80m
Tensión	MV-13KV
Modo de transmisión	5 (Máx 133 Mbps)



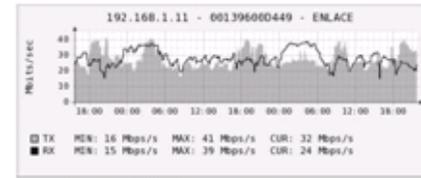
Performance de un enlace PLC de Baja Tensión

Link	Master-Repeater
Distancia	80m
Tensión	LV-220V
Modo de transmisión	1 (Máx 88 Mbps)



Performance del CPE de un Cliente

Link	Repeater-CPE
Distancia	50m
Tensión	LV-220V
Modo de transmisión	1 (Máx 88 Mbps)



FORMA DE INSTALACIÓN DEL REPETIDOR Y LA INYECCIÓN DE LA SEÑAL PLC PARA MEDIA Y BAJA TENSIÓN CON SU RESPECTIVA PERFORMANCE.

Latacunga, Abril del 2011

**ELABORADO POR:**

Cbos. Toctaguano William

Cbos. Zapata Edison Guillermo

**APROBADO POR:**

Ing. Armando Álvarez  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO POR**

Dr. Eduardo Vásquez A.  
SECRETARIO ACADÉMICO

